**Título: Modificaciones de los parámetros no lineales de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en relación con la prueba de cálculo aritmético.**

**Autores:**

* Elys María Pedraza-Rodríguez.**1** Email: [elysmaria98@gmail.com](mailto:elysmaria98@gmail.com)

Teléfono: +53 58252606

* Carlos Rafael Almira-Gómez.2 Email: cralmirag@infomed.sld.cu
* Sergio Cortina Reyna.**3** Email: ncpsergio7@gmail.com
* David de J. Bueno-Revilla.**4** Email: [davidejesusbueno@gmail.com](mailto:davidejesusbuenorevilla@gmail.com)
* Erislandis López-Galán.**4** Email: [erislandislopez@nauta.cu](mailto:erislandislopez@nauta.cu)
* Miguel E. Sánchez-Hechavarría.**5** Email:[miguel.sanchez881119@gmail.com](file:///C:\\Users\\Saily\\Desktop\\Publicación%20de%20Variabilidad%20de%20la%20FC\\miguel.sanchez881119@gmail.com)

**1** Estudiante de Medicina. Universidad de Ciencias Médicas de Villa Clara. Cuba.

**2** Estudiante de Medicina. Universidad de Ciencias Médicas de Holguín. Cuba.

**3** Estudiante de Medicina. Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Cuba.

**4** Doctor en Medicina. Especialista en Fisiología. Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Facultad de Medicina. Laboratorio de Ciencias Básicas Biomédicas. Cuba.

**5** Doctor en Medicina. Especialista en Fisiología. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Medicina. Departamento de Ciencias Básicas. Chile.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

**\*Autor para correspondencia:** Elys María Pedraza-Rodríguez

**E-mail del autor para correspondencia:** [elysmaria98@gmail.com](mailto:elysmaria98@gmail.com)

**Número de teléfono del autor para correspondencia:** +53 58252606

**Dirección Postal del autor para correspondencia:** Calle 4ta del Oeste No. 25 entre 2da y 3ra del Norte. Placetas, Villa Clara, Cuba. Código postal: 60500

**RESUMEN**

**Introducción:** El sistema nervioso autónomo se ha relacionado con un aumento de la frecuencia cardíaca, de la tensión arterial y del gasto cardíaco ante las situaciones de estrés.

**Objetivo:** Determinar las modificaciones que experimentan los parámetros no lineales en la regulación autonómica cardiovascular de la variabilidad de la frecuencia cardíaca sometidos a estrés mental mediante la prueba del cálculo aritmético.

**Material y Método:** Estudio no observacional cuasi experimental de tipo antes-después sin grupo de control; en la Facultad No. 1 del Laboratorio de Ciencias Básicas de la Universidad de Ciencias Médica de Santiago de Cuba, en el periodo comprendido entre marzo del 2016 - agosto del 2018. La población estuvo constituida por 10 pacientes y la muestra ocupó el total de la población.

**Resultados:** Dentro de los parámetros no lineales que se modificaron con el estímulo estresor resultaron la Frecuencia cardíaca (p = 0.000), SD1 (p = 0.002), Relación SD2/SD1 (p = 0.000), Entropía muestral (p = 0.026), Fluctuaciones de corto plazo α 1 (p = 0.000), Dimensión correlacional (p = 0.020), Longitud Máxima Lineal (p = 0.017), Tasa de Recurrencia (p = 0.007), Determinismo (p = 0.003), Entropía multiescala valor mínimo (p = 0.001) y Entropía multiescala valor máximo (p = 0.000), Entropía multiescala promedio (p = 0.001).

**Conclusiones:** Los parámetros no lineales en la regulación autonómica cardiovascular de Frecuencia cardíaca, SD1, Relación SD2/SD1, Entropía muestral, Fluctuaciones de corto plazo α 1, Dimensión correlacional, Longitud Máxima Lineal, Tasa de Recurrencia, Determinismo, Entropía multiescala valor mínimo, Entropía multiescala valor máximo y Entropía multiescala promedio experimentaron variaciones en los pacientes sometidos a estrés mental mediante la prueba del cálculo aritmético.

**Palabras clave:** estrés mental, variabilidad de la frecuencia cardiaca, parámetros no lineales, cálculo.

**INTRODUCCIÓN**

La Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca (VFC), es la variación de la frecuencia del latido cardíaco durante un intervalo de tiempo definido, nunca superior a 24 horas en un análisis de períodos circadianos consecutivos. Sus cambios y variaciones están regidos por el sistema nervioso autónomo. 1

Tradicionalmente, la frecuencia cardíaca (FC) se ha considerado un producto de la respuesta emocional al estrés, pero es evidente que el intervalo entre latidos es un marcador de la capacidad para regular las demandas internas y externas. Los intervalos no son constantes, pero difieren de un latido a otro: esencialmente, una VFC más alta indica una mejor salud general. En esencia, la multitud de formas en que diferentes mecanismos fisiológicos se modulan entre sí asegura que el estudio de un aspecto del cuerpo de forma aislada limite nuestra comprensión. **2**

Los niveles de estrés a los que están sometidos los estudiantes universitarios pueden ser considerados como altos, por lo que los niveles de ansiedad antes situaciones estresantes deben ser menores en el orden en que la tolerancia a dichas situaciones se puede adquirir a medida que se exponen continuamente a estas.

En las últimas dos décadas, las intervenciones basadas en la práctica de la coherencia cardíaca se han utilizado con éxito para tratar una variedad de afecciones relacionadas con el dolor y la ansiedad. Además, la coherencia cardíaca ayuda a mantener la modulación cardíaca parasimpática en condiciones estresantes. **3**

La determinación de los parámetros de la VFC que experimentan las modificaciones durante la exposición a un estrés mental supone un posible uso de esta herramienta para evaluar la capacidad de respuesta de los mismos ante situaciones extremas.

También se han realizado varios estudios para evaluar el efecto del estrés mental en la VFC, principalmente observando la variabilidad durante el tiempo de examen para estudiantes universitarios sanos. En presencia de un factor de estrés mental, se interrumpe el equilibrio del sistema nervioso autónomo del organismo, lo que provoca un aumento de la actividad simpática y una disminución de la actividad vagal del corazón. En las condiciones del examen, los estudiantes presentan una menor variabilidad de latido a latido en comparación con las situaciones no académicas normales y, posteriormente, presentan la FC más alta durante el examen. **4**

Entonces se puede considerar que un estímulo estresor mental pudiera causar variaciones en la modulación de la actividad cardíaca por el sistema nervioso autónomo, que gracias a las técnicas de recolección digital de los registros de la actividad eléctrica del corazón pueden ser almacenados y analizados por expertos en el tema.

Las tareas cognitivas (como el test de cálculo aritmético) tienen un impacto en el VFC. Los individuos bajo estrés mental muestran componentes de VFC reducidos en comparación con un grupo de control. Durante una tarea de atención, se observó una menor potencia de VFC total, además de un cambio en la frecuencia cardíaca, en comparación con la línea de base. El análisis espectral de VFC podría ser utilizado para predecir el tiempo de trabajo óptimo bajo estrés mental. 5

**OBJETIVO**

Determinar las modificaciones que experimenta la dinámica no lineal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante la regulación autonómica cardiovascular en pacientes sometidos a estrés mental mediante la prueba de cálculo aritmético.

**MÉTODOS**

Se realizó un estudio no observacional cuasi-experimental sin grupo control de tipo antes y después en el período comprendido de febrero del 2016 hasta agosto 2018, en el Laboratorio de Ciencias Básica Biomédica, Facultad de Medicina No. 1 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba.

La población de estudio estuvo constituida por estudiantes de primero y segundo año de la carrera de Medicina en las edades comprendidas entre 17 y 19 años en la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba (N=10). La muestra coincidió con la población y esta fue analizada en dos momentos:

**Estado de Estrés mental:** Se le realizó el registro electrocardiográfico mediante un polígrafo de 8 canales PowerLab a cada sujeto, induciéndole simultáneamente a cierto grado de estrés mental mediante la prueba de cálculo aritmético.

**Estado Basal:** Se le realizó el registro a cada sujeto de la misma manera, sin inducirle ningún tipo de estrés físico ni mental.

Los individuos fueron seleccionados de manera aleatoria simple.

**Criterios de exclusión**

* Individuos que se encontraban bajo algún tratamiento farmacológico en la actualidad o en el último mes.
* Individuos con diabetes mellitus y/o hipertensión arterial.
* Individuos que presentaran enfermedades con conocida afectación autonómica.
* Individuos que no estuviesen de acuerdo en participar en el estudio.

**Definición de la Prueba de Cálculo aritmético**

Se realizó en reposo un registro holter de 20 minutos (control) y con posterioridad otra grabación de 20 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 como era una tarea de sustracción (ir restando hacia atrás de 7 en 7 unidades desde el 100) típica descrita en la literatura.

**Variables**

Frecuencia cardíaca en latidos por minuto (l/min), Desviación estándar 1 (SD1), Desviación estándar 2 (SD2), Relación SD 2/SD 1 (SD2/SD1), Entropía aproximada, Entropía muestral, Fluctuaciones cortas α 1, Fluctuaciones cortas α 2, Dimensión correlacional, Longitud media lineal en latidos, Longitud máxima lineal en porciento (%), Tasa de recurrencia en porciento (%), Determinismo, Entropía de Shannon, Entropía Multiescala Mínima, Entropía Multiescala Máxima, Entropía Multiescala Promedio y exposición a la prueba de cálculo aritmético.

**Procedimiento experimental y recogida de datos**

Los datos fueron recolectados durante los meses de febrero y marzo de 2016 en el Laboratorio de Ciencias Básicas Biomédicas de la Facultad 1 de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, mediante el polígrafo de 8 canales PowerLab**®** (ADInstruments), y almacenados mediante el Software Kubios**®** versión 3.0.4 Premium.

Cada medición fue registrada por la misma persona en el Laboratorio de Mediciones corporales del ya mencionado laboratorio de Ciencias Biomédicas Básicas, con el fin de minimizar los errores de metodología.

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 grados Celsius y luz tenue. En estas condiciones se les permitió descansar por 10-15 minutos hasta lograr una mejor adaptación a las condiciones del local.

Se colocaron los electrodos correspondientes a las derivaciones de los miembros, para registrar el trazado electrocardiográfico durante 5 minutos. 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.

**Análisis y procesamiento de la información:**

La datos obtenidos fueron almacenados y procesados en el paquete estadístico “Statistical Package for Social Sciences” (SPSS) versión 21 para Windows. Las medias fueron comparadas a través del test de Wilcoxon de comparación de medias para muestras relacionadas. Los resultados se muestran como media más desviación estándar (Media ± DE). Se decidió que existieron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de cada variable cuando el valor de p < 0,05.

**Aspectos Éticos**

La investigación fue aprobada por el comité de ética de la institución rectora. Se cumplieron rigurosamente todos los principios éticos establecidos en las normas relacionadas con las investigaciones biomédicas establecidas en la Declaración de la Asamblea Médica Mundial de Helsinki. Cada individuo firmó un consentimiento informado y los datos personales y de identificación de los pacientes no fueron publicados.

**RESULTADOS**

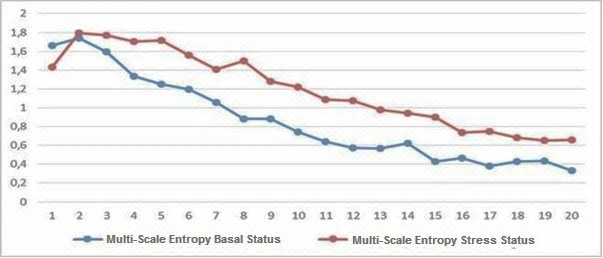
La Tabla 1 muestra la comparación de las medias de los parámetros no lineales de VFC analizados en cada individuo en el estado basal y de estrés según el test de Wilcoxon para muestras relacionadas. Existieron diferencias significativas entre los dos estados en las variables Frecuencia cardíaca, Desviación estándar 1 (SD1), Relación SD2/SD1, Entropía Muestral, Fluctuaciones de corto plazo α1, Dimensión correlacional, Longitud máxima lineal (%), Tasa de recurrencia (% ), Determinismo, Entropía multiescala valor mínimo, Entropía multiescala valor máximo y Entropía multiescala promedio.

**Tabla 1.** Parámetros no lineales de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en el estado basal y de estrés. Laboratorio de Ciencias Biomédicas Básicas. Facultad 1. Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. 2016-2018

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Variables | Estado Basal | Estrés mental | Total | *p 1* |
| Frecuencia cardíaca | 74.5 ± 4.88 | 95.5 ± 12.51 | 85.00 ± 14.19 | **0.000\*** |
| SD1 | 42.45 ± 16.93 | 26.64 ± 15.33 | 34.54 ± 17.68 | **0.002\*** |
| SD2 | 63.36 ± 23.62 | 59.08 ± 27.10 | 61.22 ± 24.84 | 0.571 |
| SD2/SD1 | 1.60 ± 0.42 | 2.53 ± 0.68 | 2.06 ± 0.73 | **0.000\*** |
| Entropía aproximada | 1.90 ± 2.45 | 1.15 ± 0.08 | 1.52 ± 1.73 | 0.359 |
| Entropía muestral | 1.66 ± 0.30 | 1.43 ± 0.25 | 1.54 ± 0.30 | **0.026\*** |
| Fluctuaciones cortas α 1 | 0.83 ± 0.15 | 1.28 ± 0.16 | 1.06 ± 0.28 | **0.000\*** |
| Fluctuaciones largas α 2 | 0.25 ± 0.05 | 0.38 ± 0.21 | 0.32 ± 0.16 | 0.080 |
| Dimensión correlacional | 3.81 ± 0.47 | 2.41 ± 1.52 | 3.11 ± 1.31 | **0.020\*** |
| Longitud media lineal (latidos) | 8.91 ± 1.85 | 9.55 ± 1.81 | 9.23 ± 1.81 | 0.289 |
| Longitud máxima lineal (%) | 81.90 ± 32.30 | 190.1 ± 120.1 | 136.0 ± 102.0 | **0.017\*** |
| Tasa de recurrencia (%) | 22.56 ± 4.96 | 27.10 ± 5.26 | 24.83 ± 5.50 | **0.007\*** |
| Determinismo | 96.24 ± 1.46 | 97.61 ± 1.28 | 96.92 ± 1.51 | **0.003\*** |
| Entropía de Shannon | 2.92 ± 0.23 | 2.97 ± 0.19 | 2.95 ± 0.21 | 0.478 |
| Entropía Multiescala Mínima | 0.26 ± 0.10 | 1.41 ± 0.65 | 0.83 ± 0.74 | **0.001\*** |
| Entropía Multiescala Máxima | 0.88 ± 0.64 | 2.08 ± 0.30 | 1.48 ± 0.79 | **0.000\*** |
| Entropía Multiescala Promedio | 0.57 ± 0.36 | 1.14 ± 0.09 | 0.86± 0.39 | **0.001\*** |
| Fuente: procesamiento estadístico; 1 Significación asintótica bilateral del test de Wilcoxon. \* Estadísticamente significativo. | | | | |

En la figura 1 los valores de la Entropía Multiescala en el estado de estrés mental aumentaron con respecto al basal. Por otra parte, a lo largo de la toma de la muestra en ambos estados se observa una disminución de sus valores, demostrando una posible adaptabilidad a corto plazo de la regulación autonómica frente a estímulos estresantes, como es el caso de la prueba de cálculo aritmético.

**Figura 1.** Distribución de los valores de Entropía Multiescala en estado basal y estrés Mental.



**DISCUSIÓN**

Los resultados del presente estudio muestran los parámetros de la variabilidad de la frecuencia cardíaca que experimentan variaciones al someter a un grupo de diez estudiantes de Medicina a la prueba de cálculo aritmético.

Existieron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros de Frecuencia Cardiaca en ambos grupos. Existe evidencia científica de que los trastornos de la FC constituyen un factor de riesgo importante para la mortalidad cardiovascular, mientras que la VFC proporciona información sobre los cambios autonómicos generales asociados con diferentes estados de enfermedad. 6 Los autores del presente consideran que el estado de estrés mental mantenido constituye un factor de riesgo importante para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares.

Hammoud et al 4 en un estudio donde se comparó la dinámica no lineal de la VFC en estudiantes universitarios antes y después de un examen obtuvo que la SD1 y la SD2 mostraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con los resultados durante el período previo al examen y el posterior.

Se ha demostrado que la VFC se encuentra disminuida en casos de enfermedades cardiovasculares y en pacientes con niveles altos de estrés mental.

Lazo de la Vega et al 7 en un estudio realizado en La Habana donde se comparó la respuesta al estrés mental en los pacientes sanos y cardiópatas obtuvo que la VFC disminuyó ante el esfuerzo mental. Ante mayores exigencias mentales, mayor fue la disminución de los parámetros de la VFC, sobre todo en un grupo de los cardiópatas, y el valor promedio de la línea de base en los cardiópatas también resultó menor.

En el presente estudio la media de los valores de la entropía aproximada comparada en ambos grupos no resultó significativamente diferente, esto coincide con lo descrito por Sánchez Moya et al **8** en un estudio muy similar realizado en España, donde demostró una cierta tendencia a menor complejidad del sistema de la Entropía con el estrés mental, pero sin significación estadística.

Castaldo et al **9** realizó un estudio donde comparó los valores de la VFC en un grupo de individuos sanos en estado basal y en estado de estrés mental inducido por el Stroop Color Word Test (CWT), en el cual obtuvo que los parámetros no lineales mostraron una disminución general durante el estrés mental agudo.

Las variaciones en los valores de los parámetros no lineales de la VFC durante el estrés inducido por la prueba de cálculo aritmético responden a los cambios hacia un comportamiento más estable y periódico del ritmo cardíaco bajo estrés, los cuales se asocian con una mayor regularidad y, por tanto, una desactivación parcial de los mecanismos reguladores nerviosos del sistema cardiovascular.

Los resultados obtenidos por Cornforth et al **10** muestran que la Entropía Multiescala no mostraron diferencias entre los diferentes niveles de estrés. Los resultados del presente estudio muestran que existieron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los valores mínimo, máximo y promedio de la Entropía Multiescala, mostrando además que los valores de dicho parámetro disminuyen a medida que avanza el test de cálculo aritmético, demostrando así lo que pudiese ser una adaptabilidad a corto plazo de la dinámica no lineal de la VFC.

**CONCLUSIONES**

La dinámica no lineal de la variabilidad de la frecuencia cardíaca durante la regulación autonómica cardiovascular de Frecuencia cardíaca, SD1, Relación SD2/SD1, Entropía muestral, Fluctuaciones de corto plazo α 1, Dimensión correlacional, Longitud Máxima Lineal, Tasa de Recurrencia, Determinismo, Entropía multiescala valor mínimo, Entropía multiescala valor máximo y Entropía multiescala promedio experimentaron variaciones en los pacientes sometidos a estrés mental mediante la prueba del cálculo aritmético.

**Declaración de autoría:**

Elys María Pedraza-Rodríguez: concepción y diseño del estudio, análisis estadístico de los datos, interpretación de los resultados, redacción del artículo. Carlos Rafael Almira-Gómez: concepción y diseño del estudio, análisis estadístico de los datos, interpretación de los resultados, revisión crítica del artículo. Sergio Cortina Reyna: interpretación de los resultados, revisión crítica del artículo. David de J. Bueno-Revilla: recolección de los datos, revisión crítica del artículo. Erislandis López-Galán: recolección de los datos, revisión crítica del artículo. Miguel E. Sánchez-Hechavarría: concepción y diseño del estudio, recolección de los datos, revisión crítica del artículo. Todos los autores han leído y aprobado el artículo final.

**Agradecimientos**

Esta investigación fue realizada en la Primera Beca Internacional de Investigación en Psicofisiología Cardiovascular “Iván Pavlov”.

**REFERENCIAS**

1. Amat Macías IM, Sarabia Cachadiña E, Naranjo Orellana J. Variabilidad de la frecuencia cardíaca en relación con el ciclo menstrual: revisión. Revista Andaluza de Medicina del Deporte [Internet]. diciembre de 2015 [citado 10 de abril de 2019];8(4):176-176. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1888-75462015000400012&lng=es&nrm=iso&tlng=es>
2. Young HA, Benton D. Heart-rate variability: a biomarker to study the influence of nutrition on physiological and psychological health? BehavPharmacol [Internet]. abril de 2018 [citado 10 de abril de 2019];29(2-):140-51. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5882295/>
3. Deschodt-Arsac V, Lalanne R, Spiluttini B, Bertin C, Arsac LM. Effects of heart rate variability biofeedback training in athletes exposed to stress of university examinations. PLOS ONE [Internet]. 26 de julio de 2018 [citado 10 de abril de 2019];13(7):e0201388. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0201388>
4. Hammoud S, Karam R, Mourad R, Saad I, Kurdi M. Stress and Heart Rate Variability during University Final Examination among Lebanese Students. BehavSci (Basel). 27 de diciembre de 2018[citado 10 de abril de 2019]; 9(1). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6358958/>
5. McDuff D, Gontarek S, Picard R. Remote measurement of cognitive stress via heart rate variability. En: 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2014. [citado 10 de abril de 2019]; p. 2957-60. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25570611>
6. Sacha J. Interaction between Heart Rate and Heart Rate Variability. Annals of Noninvasive Electrocardiology [Internet]. 1 de mayo de 2014 [citado 19 de abril de 2019];19(3):207-16. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anec.12148>
7. Lazo de la Vega MP, Hernández PJA, Barreda AP. Evaluación del efecto del esfuerzo mental sobre la variabilidad de la frecuencia cardíaca. Invest Medicoquir. [Internet]. 2014 [citado 19 de abril de 2019];6(2):179-97. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/invmed/cmq-2014/cmq142d.pdf>
8. Sánchez Molla M , de Paula Palacios Ortega F, Leal Costa C, Vander Hofstadt Román CJ. Efecto del estrés mental sobre los índices de variabilidad de la frecuencia cardiaca y la entropía aproximada. Revista de Psicología de la Salud. [Internet]. 2012 [citado 19 de abril de 2019];20-24(1). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4597474>
9. Castaldo R, Melillo P, Pecchia L. Acute Mental Stress Detection via Ultra-short term HRV Analysis. In: Jaffray D. (eds) World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering. [Internet]. 2015 Junio 7-12 [citado 19 de abril de 2019] IFMBE Proceedings, vol 51. Springer, Cham. Disponible en: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19387-8_260>
10. Cornforth D, Jelinek HF, Tarvainen M. A Comparison of Nonlinear Measures for the Detection of Cardiac Autonomic Neuropathy from Heart Rate Variability. Entropy [Internet]. 19 de marzo de 2015. [citado 19 de abril de 2019]; 17, 1425-1440. Disponible en: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1033038135>