

Article

# Uso de Dispositivos Individuales para Medir los Intervalos R-R y la Frecuencia Cardíaca

Leonardo Farah<sup>1</sup>, Marcelo Romanovitch Ribas<sup>2</sup>, Nelson Wasch Junior<sup>2</sup>, Rodrigo Villaverde Cendon<sup>3</sup>, Fabiano de Macedo Salgueirosa<sup>2</sup> y Julio Cesar Bassan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Posgrado en Ingeniería Biomédica. Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Curitiba, PR, Brasil

<sup>2</sup>Itech. Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Curitiba, PR, Brasil

<sup>3</sup>Soluciones TI Kairós. Curitiba, PR, Brasil

## RESUMEN

La evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es una técnica de medición no invasiva simple que muestra las oscilaciones entre los intervalos R-R del complejo QRS. Los instrumentos como el ECG, los monitores de frecuencia cardíaca y los convertidores analógicos se utilizan para evaluar la VFC de forma lineal o no lineal. Sin embargo, se requieren dispositivos más modernos y simplificados para monitorear e interpretar la HRV. Este estudio analizó la correlación entre un dispositivo Pulso WCS diseñado para medir los intervalos R-R y el electrocardiograma (ECG). La media  $\pm$  DE para los intervalos R-R usando el Pulso WCS y el ECG fue de  $913,6 \pm 82,2$  ms y  $988,1 \pm 96,8$  ms, respectivamente. Para los valores SDNN, el Pulso WCS fue de  $82,2 \pm 27,2$  ms y el ECG fue de  $86,1 \pm 26,1$  ms, y para los valores de FC, el Pulso WCS fue de  $66,1 \pm 10,8$  latidos $\cdot$ min<sup>-1</sup> y el ECG fue de  $61,4 \pm 6,4$  latidos $\cdot$ min<sup>-1</sup>. El coeficiente de correlación de Pearson indicó que todas las variables presentaron una fuerte correlación. Los valores R-R fueron  $r = 0,93$  y  $r^2 = 0,8648$ . Para SDNN, los valores fueron  $r = 0,9844$  y  $r^2 = 0,9691$  para el dominio de tiempo. Por último, la FC presentó  $r = 0,9391$  y  $r^2 = 0,882$ . Todas las variables presentaron una diferencia significativa de  $P < 0,0001$ . Las correlaciones intraclase fueron  $0,7779$  para R-R,  $0,9633$  para SDNN y  $0,7662$  para FC, lo que representa una excelente reproducibilidad.

**Palabras Clave:** Sistema Nervioso Autónomo, Dispositivos para Medir Intervalos R-R, Frecuencia Cardíaca

## INTRODUCCIÓN

El sistema nervioso autónomo (SNA) regula varios procesos fisiológicos del cuerpo humano durante condiciones normales y patológicas. El SNA se evalúa a través de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), que es una medida simple no invasiva de los impulsos autónomos. Por lo tanto, la VFC se puede utilizar para evaluar la modulación del SNA en condiciones fisiológicas que incluyen los efectos del entrenamiento físico y ciertas patologías (20). Una baja VFC se relaciona con un mayor índice de morbilidad y mortalidad cardiovascular, lo que justifica el hecho de que la VFC es un marcador fisiológico importante que caracteriza la interacción tanto del sistema nervioso parasimpático (SNPS) como del sistema nervioso simpático (SNS) (2,14).

Durante el ejercicio, el proceso fisiológico interno autorregulador se ajusta de acuerdo con un movimiento del cuerpo

relativamente seguro y necesario (como cuando se pasa de estar sentado a correr). La frecuencia cardíaca (FC), por ejemplo, aumenta para ayudar a facilitar un aumento necesario en el gasto cardíaco que finalmente proporciona más oxígeno a los músculos. Curiosamente, la medición de la VFC durante un movimiento puede permitir un análisis no invasivo adicional del control neuronal de la FC durante el movimiento (2). Por lo tanto, los cambios en los patrones de VFC proporcionan una indicación de la regulación de las condiciones internas, considerando que una alta VFC es un signo de una buena respuesta fisiológica que caracteriza a un individuo sano con una respuesta autónoma eficiente. Por el contrario, una VFC baja suele ser un signo que indica una adaptación insuficiente del SNA. La implicación es que la función fisiológica del individuo es pobre (20).

La VFC muestra oscilaciones entre las frecuencias cardíacas constantes (intervalos RR) del complejo QRS (4) en una variedad de estudios con sujetos que incluyen cuádruplésicos y pacientes cardíacos (7,21), pacientes diabéticos (5,11) así como individuos de mediana edad que participan en deportes de fuerza (5). Entender la VFC permite su uso como un marcador fisiológico para indicar la anomalía del organismo por un lado y la recuperación muscular de atletas de alto nivel por el otro.

Entre las marcas disponibles en el mercado para medir la VFC, el POLAR (Polar Eletro Oy, Kempele, Finlandia) y el SUUNTO (Suunto Oy, Vantaa, Finlandia) son los más utilizados (16,22). Los monitores de frecuencia cardíaca miden los latidos cardíacos del sujeto por minuto (latidos·min<sup>-1</sup>) y la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC). Ambas marcas usan el software Kubios que convierte y analiza la información (19). En cuanto a los métodos de medición de VFC, pueden ser lineales (para dominio frecuencia-tiempo) o no lineales, medidos para el dominio del tiempo con resultados expresados en milisegundos (ms) y para intervalos R-R. Hay otros índices, incluyendo en particular el dominio de frecuencia (6) que se usa con el individuo en reposo durante un tiempo preestablecido, desde el cual el análisis comprende 4 rangos de frecuencia: alta frecuencia (AF) 0,15 a 0,4 Hz, baja frecuencia (BF) 0,04 a 0,15 Hz, muy baja frecuencia (MBF) 0,003 a 0,04 Hz, y frecuencia ultra-baja (FUB) por debajo de 0,003 Hz.

El comportamiento de la VFC durante el ejercicio se ha estudiado en diferentes tipos de actividades deportivas, como voleibol (15), levantamiento de pesas (13), deportistas españoles (11), corredores de larga distancia (8), atletas de slalom en canoa (12), ejercicios de acondicionamiento físico (2) y bicicleta estacionaria (17) para analizar el control autónomo de la FC durante la intensidad moderada. Sin embargo, a pesar de las observaciones con ejercicios esencialmente aeróbicos, se sabe relativamente poco sobre las diferencias en la recuperación de la FC después de los ejercicios de fuerza máxima (13). Parece haber acuerdo en que los cambios en patrones elevados de VFC en el dominio del tiempo o frecuencia proporcionan un indicador anticipado y sensible de la buena adaptación fisiológica de los atletas a sus programas de entrenamiento (1) mientras que los patrones bajos de VFC muestran una mala adaptación de los atletas (20).

Paschoa y colegas (13) realizaron un estudio con 12 sujetos jóvenes y físicamente activos en los que determinaron que la VFC era de  $42 \pm 17$  ms antes del ejercicio y  $14 \pm 7$  ms durante los ejercicios de entrenamiento de fuerza, que se recuperaron a  $30 \pm 17$  ms en el período de 30 segundos después de la finalización de los ejercicios. Los hallazgos indican un buen estado de estos individuos jóvenes. En otro estudio, Kawaguchi et al. (8) analizaron 10 atletas y 10 individuos sedentarios (20 a 25 años de edad). Encontraron un promedio de la FC de  $51,01 \pm 2,4$  latidos·min<sup>-1</sup> y  $73,59 \pm 2,5$  latidos·min<sup>-1</sup> y una VFC de  $1,189,18 \pm 6,9$  ms y  $826,58 \pm 5,3$  ms, respectivamente, después de un análisis en reposo. Messias y sus colegas (12) monitorearon a 6 atletas de slalom en canoa durante 15 minutos en reposo después de 6 sesiones semanales de 2 hrs·d<sup>-1</sup>. Las condiciones previas y posteriores al entrenamiento mostraron un predominio del SNPS y no presentaron ningún cambio al final del entrenamiento.

Los instrumentos utilizados para medir la VFC, como el electrocardiograma (ECG), el monitor de frecuencia cardíaca y el convertidor analógico (9,22) son costosos, lo que a menudo dificulta su uso en atletismo y/o programas de deportes recreativos. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue llenar un vacío y proporcionar un dispositivo tecnológico para medir la VFC a un costo competitivo en el mercado.

## MÉTODOS

---

### Sujetos

Este estudio analizó 18 sujetos varones con una edad media de  $28,4 \pm 3,4$  años que habían practicado el Jiu-Jitsu brasileño durante más de 2 años. Los atletas entrenaron 3 veces·sem<sup>-1</sup> durante un promedio de 60 min·d<sup>-1</sup>. Todos los sujetos fueron informados sobre los procedimientos de investigación y las implicaciones y, luego, firmaron un formulario de consentimiento informado. Para que la muestra sea más homogénea, los atletas incluidos en el estudio tenían más de 18 años y no practicaron otro tipo de ejercicio físico además del brasileño Jiu-Jitsu.

El sistema que se utilizó tenía un pequeño sensor portátil suministrado por un cable de conexión USB y un transmisor torácico Polar codificado T-31. El software midió los intervalos R-R y, al final, guardó todos los intervalos R-R en un archivo de bloc de notas. El software para el análisis y generación de información de la VFC fue Kubios HRV 2.2, que es una aplicación gratuita. La prueba duró 7 minutos con un punto de corte en el 1er y 7º minuto seguido por el análisis de 5 minutos en reposo, de acuerdo con el protocolo (6).

Para demostrar la confiabilidad del producto, se comparó con el gold standard para la medición de la VFC utilizando un ECG analógico, modelo M90 de MRL, donde los datos se convirtieron al formato digital a través de DATAQ Instruments Hardware Manager. Los datos se exportaron a Microsoft Excel 2007 para la conversión a VFC utilizando el software Kubios.

### Análisis Estadístico

Se usaron estadísticas descriptivas para analizar los datos. Los valores se presentaron como media  $\pm$  DE. El coeficiente de correlación de Pearson se utilizó para comprender las variables obtenidas con el ECG y el dispositivo de prueba. La correlación intraclase (CI) se realizó para garantizar la fiabilidad de la muestra y la replicabilidad de la muestra de prueba. Se utilizó el Software BioStat 5.3 2007 para generar los datos estadísticos.

## RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados para las variables de dominio de tiempo: RR, SDNN y FC.

**Tabla 1.** Media, Desviación Estándar y Correlaciones entre el Dispositivo Gold Standard y el Dispositivo de Prueba.

<b>Variables</b>	<b>Dispositivo de Prueba (Media <math>\pm</math> DE)</b>	<b>ECG (Media <math>\pm</math> DE)</b>	<b>r</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>P</b>
<b>RR (ms)</b>	913,6 $\pm$ 121,2	988,1 $\pm$ 96,8	0,93	0,8648	<0,0001
<b>SDNN (ms)</b>	82,2 $\pm$ 27,2	86,1 $\pm$ 26,1	0,9844	0,9691	<0,0001
<b>FC (latidos·min<sup>-1</sup>)</b>	66,1 $\pm$ 10,8	61,4 $\pm$ 6,4	0,9391	0,882	<0,0001

**RR** = Media de intervalos R-R; **SDNN** = Desviación estándar de intervalos R-R; **FC** = Frecuencia cardíaca

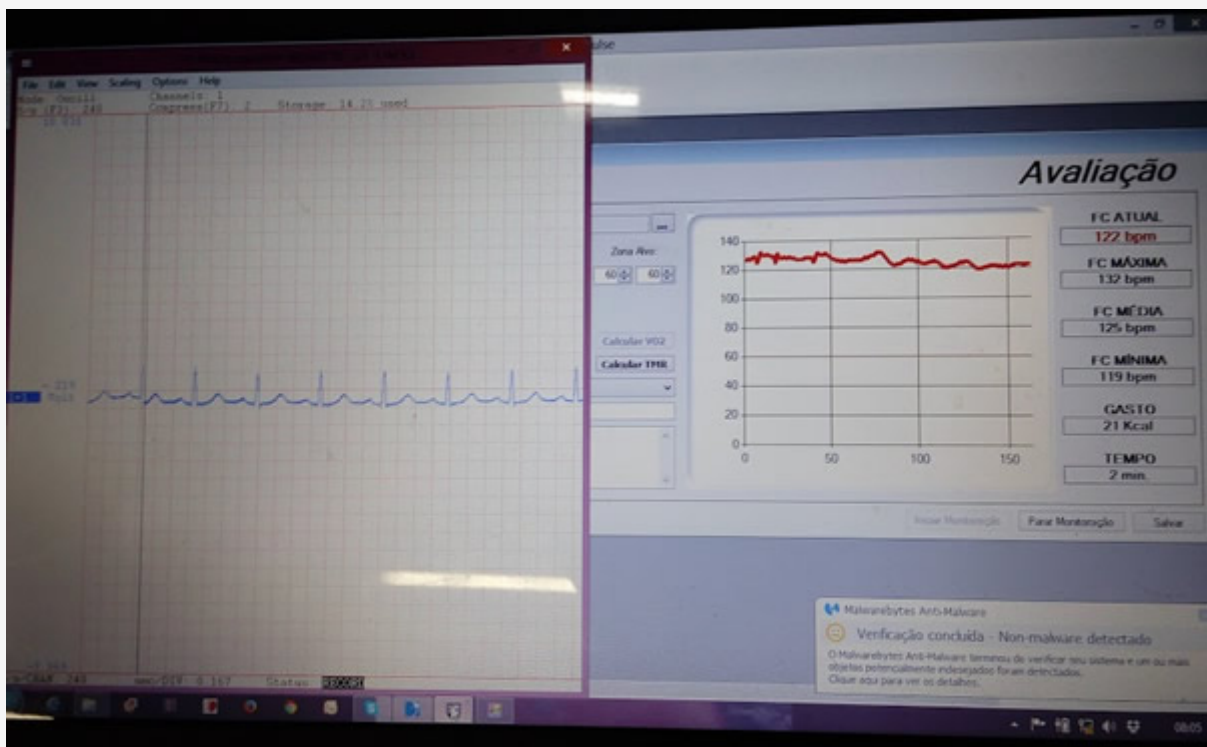
La Tabla 2 muestra los resultados para las variables de dominio de tiempo: RR, SDNN y FC en la correlación intraclase (CI) y la clasificación de replicabilidad. Después de usar la CI para comparar el dispositivo Pulso WCS con el ECG, estaba claro que las variables presentaban una replicabilidad excelente.

**Tabla 2.** Correlación entre el ECG y el Dispositivo de Pulso WCS.

<b>Variables</b>	<b>CI</b>	<b>Replicabilidad</b>
<b>RR (ms)</b>	<b>0,7779</b>	<b>RE</b>
<b>SDNN (ms)</b>	<b>0,9633</b>	<b>RE</b>
<b>FC (latidos·min<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,7662</b>	<b>RE</b>

**RR** = Media de intervalos R-R; **SDNN** = Desviación estándar de intervalos R-R; **FC** = Frecuencia cardíaca; **CI** = Correlación intraclase; **RE** = Replicabilidad excelente

La Figura 1 muestra las señales del ECG en el lado izquierdo y la información para los intervalos de R-R y la FC del software del dispositivo de prueba de Pulso WCS en el lado derecho de la pantalla de la computadora. La Figura 2 muestra cómo los sujetos fueron monitoreados por el ECG y el dispositivo de prueba.



**Figura 1.** La Pantalla de la Computadora Muestra el Monitoreo de las Variables: RR, SDNN y FC.



El dispositivo Pulso WCS captura el pulso eléctrico cardíaco a través de un transmisor torácico. Los datos se recopilan utilizando un receptor calibrado para detectar pulsos de radiofrecuencia a 5 KHz ( $\pm 100$  Hz). Este mismo receptor está vinculado a un cable USB de 3 m de largo para transmitir los datos recibidos a una computadora en cada pulso cardíaco detectado. Los intervalos R-R se capturan y registran a medida que se produce cada potencial eléctrico en el corazón donde existe un umbral electrocardiográfico. Luego, la onda se detecta a través de una interfaz de comunicación para ser almacenada en el software en el formato de ms.

## DISCUSIÓN

---

Sotiriou et al. (18) publicaron un documento que describía la evaluación de 45 sujetos varones sanos que se sometieron a un monitoreo de electrocardiograma continuo (ECG) ambulatorio de 24 horas para el cálculo de los índices de VFC de los dominios tiempo y frecuencia. Los sujetos se dividieron en 3 grupos: (a) el primer grupo consistió en 14 jugadores de fútbol activos; (b) el segundo grupo de 15 sujetos consistió en jugadores de fútbol no activos; y (c) el tercer grupo estaba compuesto por 16 no deportistas que eran sedentarios. Los resultados de SDNN de los jugadores de fútbol fueron  $159 \pm 23,8$  ms en comparación con  $131 \pm 30,07$  ms para los jugadores no activos y  $125 \pm 28,3$  ms para los individuos sedentarios. La conclusión es que los atletas de fútbol físicamente activos lograron una mejor actividad autónoma cardíaca que sus contrapartes sedentarias.

Como se indicó anteriormente, el electrocardiograma (ECG), el monitor de frecuencia cardíaca y el convertidor analógico son los instrumentos comúnmente utilizados para medir la VFC. Por supuesto, el problema es que los instrumentos son caros. Es por eso que el dispositivo Pulso WCS es atractivo para los no investigadores. Los valores medios para el RR desde el dispositivo de prueba fueron  $913,6 \pm 82,2$  ms y desde el ECG fueron  $988,1 \pm 96,8$  ms. Los valores medios para SDNN del dispositivo de prueba Pulso WCS y del ECG fueron  $82,2 \pm 27,2$  ms y  $86,1 \pm 26,1$  ms, respectivamente. Los valores medios para la FC desde el dispositivo de prueba Pulso WCS y desde el ECG fueron  $66,1 \pm 10,8$  latidos·min<sup>-1</sup> y  $61,4 \pm 6,4$  latidos·min<sup>-1</sup>, respectivamente. Después de usar el coeficiente de correlación de Pearson, todas las variables presentaron una fuerte correlación. Los intervalos R-R presentaron 0,93 y 0,8648 para r y r<sup>2</sup>, respectivamente. Para SDNN, los valores fueron r = 0,9844 y r<sup>2</sup> = 0,9691 para el dominio de tiempo. Por último, los valores de la FC fueron r = 0,9391 y r<sup>2</sup> = 0,882.

## CONCLUSIONES

---

Con respecto al dispositivo de prueba, el dispositivo Pulso WCS se usó para medir el intervalo R-R en los atletas de Jiu-Jitsu. Los hallazgos mostraron una fuerte correlación con el electrocardiograma, que es el gold standard para medir los intervalos R-R. Por lo tanto, el Pulso WCS es un dispositivo de bajo costo que puede utilizarse en la investigación y en diferentes tipos de deportes para proporcionar un control no invasivo del estado físico de los atletas.

## AGRADECIMIENTOS

---

Cardiomed Comércio de Equipamentos Médicos Ltda

**Dirección de correo:** Leonardo Farah, Cardiomed - Pedro Collere, 1209, código postal 82.320-320, Curitiba / PR, Brasil, correo electrónico: [leonardofarah@gmail.com](mailto:leonardofarah@gmail.com)

## REFERENCIAS

1. Achten J, Jeukendrup AE. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Med.* 2003;33(7):517-538.
2. Alonso DO, Forjaz CLM, Rezende LO, Braga, ANFW, Barretto ACP, Negrão CEN, Maria Rondon UPB. (1998). Comportamento da frequência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. *Arq Bras Cardiol.* 1998;71(6):787-792.
3. Buck F, Farah L, Junior CDA, Bassan JC. (2014). Dissociação entre: Intervalos dos batimentos cardíacos (IBI) e frequência cardíaca em praticantes de parkour. *XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica - CBEB.* 2014;1750-1752.
4. Caldeira JB, Sancho AG, Manoel F, Rosa JS. (2013). Avaliação da função autonômica cardiovascular em portadores de lesão medular submetidos à variabilidade da frequência cardíaca. *Motricidade.* 2013;9(2):37-50.
5. Ewing DJ, Martyn CN, Young RJ, Basil F, Clarke, BF. (1985). The value of cardiovascular autonomic function tests: 10 years experience in diabetes. *Diabetes Care.* 1985;8(5): 491-495.
6. GUIDELINE - Heart rate variability. (1996). 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 (Membership of the Task Force listed in the Appendix).* *Eur Heart J.* 1996;17:354-381.
7. Junior RF, Salgado HC. (2005). Estudo de variabilidade de parâmetros cardiovasculares como ferramenta para avaliação da modulação simpática cardiovascular. *Revista Brasileira de Hipertensão.* 2005;12(4):242-244.
8. Kawaguchi LYA, Nascimento ACP, Lima MS, Frigo L, Junior ARP, Tierra-Criollo CJ, Lopes-Martins RAB. (2007). Caracterização da variabilidade de frequência cardíaca e sensibilidade do barorreflexo em indivíduos sedentários e atletas do sexo masculino. *Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte.* 2007;13(4):231-236.
9. Lopes PFF, Oliveira MIB, André SMS, Nascimento DLA, Silva CSS, Rebouças GM, Felipe TR, Filho NJBA, Medeiros HJ. (2013). Aplicabilidade clínica da variabilidade da frequência cardíaca. *Rev Neurocienc.* 2013;21(4):600-603.
10. Lopes FL, Pereira FM, Reboredo MM, Castro TM, Vianna JM, Novo Jr. JM, Silva LP. (2007). Redução da variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos de meia-idade e o efeito do treinamento de força. *Revista Brasileira de Fisioterapia.* 2007;11(2):113-119.
11. Manso JMG. (2013). Aplicación de la variabilidad de la frecuencia cardiaca al control del entrenamiento deportivo: Análisis en modo frecuencia. *Arch Med Deporte.* 2013;30 (1):43-51.
12. Messias LHD, Moreno MA, Vieira NA, Terezani DR, Bom DP, Machado-Gabatto FB. (2013). Efeitos do treinamento físico específico e monitorado sobre a variabilidade da frequência cardíaca de canoístas slalom. *Revista da Faculdade de Educação Física da UNICAMP.* 2013;11(1):16-28.
13. Paschoa DC, Coutinho JFS, Almeida MB. (2006). Análise da variabilidade da frequência cardíaca no exercício de força. *Revista da SOCERJ.* 2006;19(5):385-390.
14. Rocha AC, Sartori M, Rodrigues B, Angelis K. (2013). Influência do número de séries nos ajustes cardiovasculares e autonômicos ao exercício resistido em homens fisicamente ativos. *Rev Bras Med Esporte.* 2013;19(5):332-335.
15. Salgueirosa MF. (2011). Efeitos agudos promovidos pelo treinamento pliométrico no controle autonômico em atletas de voleibol. *Relatório de Pesquisa Departamento Científico de Ergonomia e Saúde no Trabalho da Universidade Tuití do Paraná.* 2011.
16. Schönfelder M, Hinterseher G, Peter P, Splizenpfell P. (2011). Scientific comparison of different online heart rate monitoring systems. *Inter J Telemed Applicat.*
17. Shin K, Minamitami H, Onishi S, Yamazaki H, Lee M. (1995). The power spectral analyses of heart rate variability in athletes during dynamic exercise. *Clin Cardiol.* 1995;18:664-672.
18. Sotiriou P, Kouidi E, Samaras T. (2013). Linear and non-linear analysis of heart rate variability in master athletes and healthy middle-aged non athletes. *Med Eng Phys.* 2013;35: 676-1681.
19. Tarvanen MP, Niskanen JP, Lipponen JA, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. (2013). Kubios HRV - Heart rate variability analysis software. *Comp Meth Prog Biomed.* 2013;2(3):210-220.
20. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hosshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. (2017). Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2009;24(2):205-2017.
21. Vasconcelos DF, Junior LFJ. (2012). Funções autonômica cardíaca e mecânica ventricular na cardiopatia chagásica crônica assintomática. *Arq Bras Cardiol.* 2012;98(2):111-119.
22. Weippert M, Kumar M, Kreuzfeld S, Arndt D, Rieger A, Stoll R. (2010). Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109:779-786.

### Cita Original

Farah L, Ribas MR, Junior NW, Cendon RV, Salgueirosa FM, Bassan JC. Uso de Dispositivos Individuales para Medir los Intervalos R-R y la Frecuencia Cardíaca. *JEPonline* 2017;20(4):58-65.