

Original

## Variabilidad de la frecuencia cardíaca: validez de grabaciones ultra cortas de índices de balance autonómico de sujetos en reposo

José Gallardo<sup>a, b, c, \*</sup>, Giannina Bellone<sup>c, d, e</sup>, Marcelo Riska<sup>a, c, f</sup>

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional (UTN, FRBA), Argentina.

<sup>b</sup> Universidad de la Marina Mercante, Argentina.

<sup>c</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

<sup>d</sup> Departamento de Ciencia y Tecnología, Laboratorio de Cronobiología, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina.

<sup>e</sup> Laboratorio de Cronofisiología, Instituto de Investigaciones Biomédicas (BIOMED), Universidad Católica Argentina (UCA), Argentina.

<sup>f</sup> Instituto de Medicina Translacional e Ingeniería Biomédica (IMTIB-CONICET), Argentina.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO: Recibido 09 de Febrero de 2021; Aceptado 06 de Febrero de 2024

### RESUMEN

**Objetivo:** hallar los tiempos mínimos de registro de variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) de plazo-ultra-corto, menor a 5min, para que los índices extraídos del diagrama de Poincaré, SS y S/PS, indicadores del balance autonómico puedan ser equivalentes a los obtenidos mediante VFC de corto-plazo (5min).

**Método:** el estudio incluyó un grupo de 23 sujetos. Las series RR, extraídas de la señal del electrocardiograma, fueron registradas durante 300s en reposo y se obtuvieron series de 60s, 90s, 120s y 240s. Los índices de VFC se calcularon para cada serie y fueron comparados con el índice correspondiente de la serie de 300s, empleando diferentes métodos de análisis de concordancia, correlación de Pearson, Bland y Altman y Delta de Cohen.

**Resultados:** los índices SS en registros de duración mínima de 120s mostraron ser equivalentes a los de VFC de corto-plazo y ln(S/PS) de 90s.

**Conclusiones:** se obtuvieron índices de VFC de plazo-ultra-corto equivalentes a los obtenidos para análisis de VFC de corto-plazo. Esta reducción en los tiempos de medición permitirá ampliar el empleo de la VFC para el monitoreo del estado de salud y bienestar de las personas, y ayudando a que los preparadores físicos logren un mejor rendimiento en el registro y procesamiento de la información obtenida.

Los resultados hallados motivan la realización de nuevos estudios para analizar el comportamiento de estos indicadores en diferentes poblaciones y con el empleo de distintos métodos de pre-procesamiento de las series RR.

**Palabras clave:** VFC; Poincaré; SS; ln(S/SP); VFC de plazo-ultra-corto.

## Heart Rate Variability: validity of ultra short recordings of autonomic balance indexes of subjects in rest

### ABSTRACT

**Objective:** the minimum ultra-short-term heart rate variability (HRV) recording times, less than 300 seconds, thus the indices extracted from the Poincaré diagram, SS and S/PS, and indicators of autonomic balance, may be equivalent to those obtained by short-term HRV (5min).

**Method:** this study included a group of 23 subjects. The RR series, extracted from the electrocardiogram signal, were recorded for 300s at rest and series of 60s, 90s, 120s and 240s were obtained. The HRV indices were calculated for each series and were compared with the corresponding index of the 300s series, using different methods of concordance analysis, Pearson correlation, Bland-Altman and Delta of Cohen.

**Results:** the SS index in records of a minimum of 120s showed to be equivalent to indexes of short-term HRV and ln(S/PS) of 90s.

**Conclusions:** Equivalent ultra-short-term HRV indices were obtained for short-term HRV analysis (5min), this reduction in measurement times will allow a more wide use of HRV for health monitoring health and well-being of people. Thus allowing physical trainers to obtain a better performance in the registration and processing of the information obtained.

\* Autor para correspondencia: [jmg@df.uba.ar](mailto:jmg@df.uba.ar). (José Gallardo)

<https://doi.org/10.33155/ramd.v16i3-4.908>

ISSN-e: 2172-5063 / © Consejería de Turismo, Cultura y Deporte de la Junta de Andalucía. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. . (CC BY-NC-ND 4.0) .

The results found motivate the performance of new studies to analyze the behavior of these indicators in different populations and with the use of different pre-processing methods of the RR series.

**Keywords:** HRV; Poincaré; SS;  $\ln(S/SP)$ ; ultra-short-term HRV.

## Variabilidade da frequência cardíaca: Validade dos registros ultracurtos dos índices de equilíbrio autonômico de sujeitos em repouso

### RESUMO

**Objetivo:** Encontrar os tempos mínimos de registro da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em ultracurto prazo, inferiores a 5min, de forma que os índices extraídos do diagrama de Poincaré, SS e S/PS, indicadores de equilíbrio autonômico, sejam equivalentes aos obtido pela VFC de curto prazo (5min).

**Método:** O estudo incluiu um grupo de 23 sujeitos. As séries RR, extraídas do sinal do eletrocardiograma, foram registradas por 5 min (300s) em repouso e foram obtidas séries de 60s, 90s, 120s e 240s. Os índices da VFC foram calculados para cada série e comparados com o índice correspondente da série 300s, utilizando diferentes métodos de análise de concordância, correlação de Pearson, Bland-Altman e Delta de Cohen.

**Resultados:** O índice SS requer um registro mínimo de 120s para ser equivalente ao da VFC de curto prazo e  $\ln(S/PS)$  de 90s.

**Conclusões:** Índices de VFC de ultracurto-prazo equivalentes foram obtidos com os obtidos para a análise de VFC de curto prazo (5min), esta redução nos tempos de mensuração permitirá um aumento no uso da VFC para monitoramento da saúde, saúde e bem-estar das pessoas. Permitindo também aos preparadores físicos obter um melhor desempenho no registro e processamento das informações obtidas.

Os resultados encontrados motivam a realização de novos estudos para analisar o comportamento desses indicadores em diferentes populações e com a utilização de diferentes métodos de pré-processamento da série RR.

**Palavras-chave:** VFC; Poincaré; SS;  $\ln(S/PS)$ ; VFC de ultracurto-prazo.

### INTRODUCCIÓN

La variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) es un fenómeno fisiológico, donde la acción reguladora del sistema nervioso autónomo (SNA) sobre el nodo sinusal, produce cambios latido a latido. La VFC se analiza, de manera no invasiva, mediante el registro del electrocardiograma (ECG), en cuyo trazado se identifican las ondas R. La distancia temporal entre dos ondas R consecutivas (periodo cardíaco) se define como la duración del intervalo RR<sup>1</sup>.

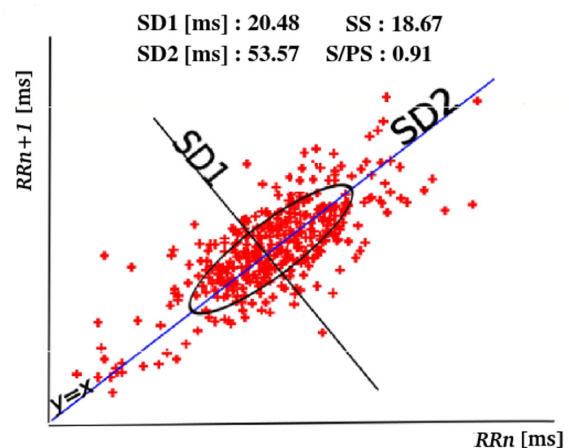
La VFC se utiliza como parámetro indicador del nivel de salud cardiovascular, dado que es posible estudiar los cambios en el balance simpático-vagal de la respuesta cardíaca, resultando una herramienta muy útil en el estudio y análisis de la evaluación de individuos que realizan actividades deportivas<sup>2</sup>.

Dependiendo de la duración de los registros, los estudios de VFC se clasifican en estudios de largo plazo (registros de 24h)<sup>3</sup> y estudios de corto plazo (registros de 5min)<sup>1,4,5</sup>.

Recientemente los análisis de VFC de corto plazo para el monitoreo del estado de salud y bienestar de las personas se incrementaron debido al empleo de dispositivos portátiles (relojes y pulseras inteligentes) y aplicaciones para teléfonos inteligentes, un registro de 5min es muy extenso en comparación a otras medidas fisiológicas como niveles de glucosa en sangre, presión arterial, temperatura corporal, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno y peso corporal, entre otras. Actualmente existe una tendencia al empleo de registros de plazo-ultra-corto para VFC, con tiempos menores a 5m<sup>6</sup>, lo cual permitiría un monitoreo prácticamente en tiempo real, pudiendo facilitar el empleo de la VFC en la clínica diaria<sup>7</sup>. Si bien aún no existen directrices claras ni un método estándar para analizar VFC de plazo-ultra-corto.

Los métodos actualmente empleados en VFC de corto plazo son; el análisis en el dominio temporal mediante un enfoque estadístico<sup>2</sup>, análisis en el dominio frecuencial, por estimación espectral de potencia, análisis geométricos y no lineal<sup>8</sup>.

El análisis de la trama de Poincaré es un método geométrico que permite analizar visualmente o a través de cálculos de los parámetros de la trama, la información latido a latido sobre el comportamiento del corazón y puede ser una mejor manera de monitorear el cambio dinámico de la función autonómica<sup>9</sup>, Figura 1.



**Figura 1.** Gráfico de Poincaré. Abscisa representa el intervalo temporal RRn, la ordenada el intervalo siguiente RRn+1, en ms. Se representa el ajuste a una elipse, la recta identidad  $y=x$ , SD1 ancho de la elipse (dispersión perpendicular de los intervalos RR), SD2 longitud de la elipse (dispersión longitudinal de los intervalos RR) respecto a la línea de identidad  $y=x$ .

El eje transversal (SD1) refleja cambios de corto tiempo en RR y está directamente relacionado con la actividad parasimpática. Sin embargo, el eje longitudinal (SD2) no está tan bien definido, pero parece ser inversamente proporcional a la actividad simpática<sup>10</sup>. La relación SD1/SD2 o su inversa SD2/SD1, se usa normalmente para evaluar la interacción entre la actividad parasimpática-simpática (SD1/SD2) o simpática-parasimpática (SD2/SD1)<sup>11</sup>. Sin embargo, su interpretación aún no está clara, cuando ambos términos de

la relación aumentan o disminuyen simultáneamente, por lo que se <sup>10</sup> propusieron nuevos índices del nivel de estrés (SS) (stress score) y del balance simpático-parasimpático (S/PS) (sympathetic-parasympathetic ratio).

El empleo de SS como cálculo directo para la evaluación de la actividad simpática y S/PS como indicador del equilibrio autónomo utilizados en deportistas mejora la interpretación fisiológica de la VFC <sup>10</sup>.

Recientes trabajos sugieren longitudes mínimas de la serie RR para VFC de plazo-ultra-corto dependiendo del índice a calcular <sup>6</sup>, pero aún no hallamos estudios donde se analicen SS y S/PS.

Por lo que el objetivo de este trabajo es hallar los tiempos mínimos de registro para VFC de plazo ultra corto, requeridos para que los índices SS y S/PS resulten equivalentes a los obtenidos mediante VFC de 5min.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Participantes

Veintitrés sujetos con edades comprendidas entre 21 y 25 años, participaron voluntariamente en el experimento. Los sujetos estaban sanos y libres de medicación. Cada sujeto proporcionó su consentimiento por escrito antes de comenzar el experimento y todos los sujetos eran libres de terminar el experimento en cualquier momento.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética e Investigación de la Universidad de Quilmes, Buenos Aires, Argentina (04/07/2016/No.3).

### Análisis de VFC

La señal de ECG de cada sujeto se obtuvo en la posición de reposo supino, durante 5min (300s) y 2min de tiempo de estabilización, con un holter, mediante la derivación DI, a una frecuencia de muestreo de 225Hz. Esta señal de ECG fue procesada, se le aplicó un filtro notch de 50Hz para quitar las interferencias de la red de alimentación eléctrica, se eliminó la tendencia no lineal del ECG mediante su diferencia con un polinomio de orden 6 previamente ajustado a la señal y luego sobre-muestreada a 1KHz. Se empleó el algoritmo Pan-Tompkin modificado <sup>12</sup> para detectar los picos R, en el complejo QRS del ECG, seguido de una inspección visual, luego se calculó la serie de intervalos de tiempo RR. A esta serie se le eliminó la tendencia lineal y la componente continua, además para poder detectar los latidos atípicos se utilizó un filtro de rechazo de impulsos <sup>13,14</sup>. Los latidos atípicos fueron reemplazados mediante interpolación por otro intervalo cuyo valor era el promedio de los seis intervalos RR vecinos al considerado artefacto <sup>15,16</sup>. Posteriormente, para el análisis de VFC de plazo-ultra-corto, a cada serie de 300s (las series "Gold Standard" (GS)) se le extrajeron ventanas de diferentes longitudes temporales (60s, 90s, 120s, 180s y 240s), comenzando desde el inicio.

### Dominio geométrico de Poincaré

La trama de Poincaré, **Figura 1**, describe la naturaleza de las fluctuaciones del intervalo RR al graficar un cierto intervalo RR<sub>n</sub> versus el siguiente RR<sub>n+1</sub>. Para extraer los parámetros de VFC, se ajusta la gráfica a una elipse donde el ancho respecto al eje y=x, es SD1 (Desvío Estándar intervalos RR a corto plazo) se puede considerar como indicador de la actividad parasimpática, (1).

$$SD1 = \sqrt{\text{Var}\left(\frac{RR_n - RR_{n+1}}{\sqrt{2}}\right)} \quad (1)$$

La longitud de la elipse sobre el eje es SD2 (Desvío Estándar intervalos RR a largo plazo) es una función inversa de la actividad simpática, (2),

$$SD2 = \sqrt{\text{Var}\left(\frac{RR_n + RR_{n+1}}{\sqrt{2}}\right)} \quad (2)$$

donde Var representa la varianza <sup>17</sup>.

Se calculó a partir de los índices extraídos del diagrama de Poincaré <sup>10</sup>;

$$SS = 1000 * 1/SD2 \text{ y } S/PS = SS/SD1,$$

Para las series de 300s, GS, de VFC a corto plazo y las de ultra-corto-plazo, de 60s, 90s, 120s, 180s y 240s.

Todo el procesamiento de las señales y los cálculos de VFC fueron realizados mediante algoritmos desarrollados en GNU Octave, software libre de un lenguaje de programación científico bajo entorno GNU/Linux.

### Análisis estadístico

Se aplicó una transformación logaritmo natural al indicador S/PS (ln(S/PS)) para obtener una distribución normal <sup>18</sup>. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de los datos. Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson (r) <sup>19</sup> de la serie SS del GS y cada uno de los indicadores SS correspondiente a las series de VFC de plazo-ultra-cortos, de 60s, 90s, 120s, 180s y 240s, de la misma manera se procedió con el indicador ln(S/PS).

Para establecer el grado de acuerdo se empleó el método de Bland-Altman (BA) <sup>18,20</sup> entre la serie GS y cada una de las series ultra-cortas para cada índice. Se calculó el sesgo (Sesgo) como la diferencia entre la media de las mediciones de VFC del GS y la de cada serie ultra corta todo esto para cada índice. Se utilizó el test de Student entre las diferencias del índice del GS y la serie ultra corta. También se calculó la magnitud (Mag) como el valor medio del promedio del parámetro calculado por ambos métodos y las relaciones, en porcentaje, Sesgo/Mag y LoA/Mag que muestran una medida relativa del sesgo y del LoA respectivamente.

Además, se calculó el delta de Cohen, (d) <sup>21,22</sup>, para cuantificar el tamaño del efecto, una medida cuantitativa de la magnitud de un fenómeno, en este caso, el sesgo de las mediciones del parámetro de VFC de las diferentes series longitudes temporales y el GS <sup>23</sup>. El valor de d puede valer entre 1 y -1, siendo el umbral propuesto por Cohen <sup>21</sup> para d < 0,2 un tamaño de efecto "insignificante", d < 0,5 "pequeño", d < 0,8 "medio" y "grande", para otra situación.

En todas las pruebas se consideró como estadísticamente significativos valores de p < 0,05.

También se calculó, para cada índice SS y ln(S/PS), el porcentaje de error (e) entre la serie GS y cada una de las series RR ultra-cortas, mediante (3) y (4) <sup>24</sup>:

$$e(\%) = \left| \frac{\text{media}(GS_{SS}) - \text{media}(\text{serie}X_{SS})}{\text{media}(GS_{S/PS})} \right| * 100 \quad (3)$$

$$e(\%) = \left| \frac{\text{media}(GS_{S/PS}) - \text{media}(\text{serie}X_{S/PS})}{\text{media}(GS_{S/PS})} \right| * 100 \quad (4)$$

Con X = 60, 90, 120, 180 y 240.

**Tabla 1.** Coeficiente de correlación, tamaño del efecto, % de error e información de la grafica de Bland-Altman para el análisis de acuerdo entre las series de diferentes longitudes y la GS del índice SS.

	Correlación Pearson (r) [i. c. 95%]	Delta de Cohen (d) [i. c. 95%]	% de error (e)	Magnitud (Mag)	Sesgo [i. c. 95%]	t Student Sesgo [i. c. 95%]	LoA 95%	Sesgo/Mag*100	LoA/Mag*100
300s vs 60s	0.76 [0.51 0.90]	0.34 [0.04 0.63]	17.08	14.78	-2.33 [-3.31 -1.34]	[-4.34 -0.27]	[-11.62 6.97]	-11.82	125.80
300s vs 90s	0.89 [0.75 0.95]	0.27 [0.06 0.47]	9.52	14.27	-1.30 [-1.78 -0.81]	[-2.30 -0.29]	[-5.83 3.25]	-8.75	63.66
300s vs 120s	0.93 [0.85 0.97]	0.14 [-0.01 0.29]	4.70	13.94	-0.64 [-0.99 -0.29]	[-1.36 0.08]	[-3.92 2.64]	-4.88	47.09
300s vs 180s	0.97 [0.92 0.99]	0.13 [0.02 0.24]	4.75	13.94	-0.65 [-0.92 -0.38]	[-1.21 -0.09]	[-3.19 1.90]	-4.45	36.47
300s vs 240s	0.98 [0.95 0.99]	0.12 [0.03 0.21]	4.19	13.91	-0.57 [-0.78 -0.36]	[-1.01 -0.14]	[-2.54 1.40]	-4.10	28.40

Todos los algoritmos para los cálculos estadísticos fueron desarrollados con software libre R, un lenguaje de programación orientado al análisis estadístico, bajo entorno GNU/Linux.

**RESULTADOS**

Las señales de ECG de los 23 sujetos en situación de reposo, fueron procesadas y como resultado se obtuvieron las series de intervalos temporales RR las que previamente al análisis de VFC mediante el gráfico de Poincaré, se les aplicaron métodos de edición y corrección de artefactos.

Los valores medios y los desvíos estándar de los indicadores SS y ln(S/PS) para las diferentes longitudes de las series de intervalos temporales RR, 60s, 90s, 120s, 180s, 240s y 300s para SS son prácticamente constantes. Similar situación ocurre con las series RR de 90s, 120s, 180s, 240s y 300s para ln(S/PS) (no se incluye la serie de 60s por no poseer una distribución normal).

La Figura 2 representa el grafico de Bland-Altman correspondiente al análisis de acuerdo entre la serie de 120s y la GS del índice ln(S/PS).

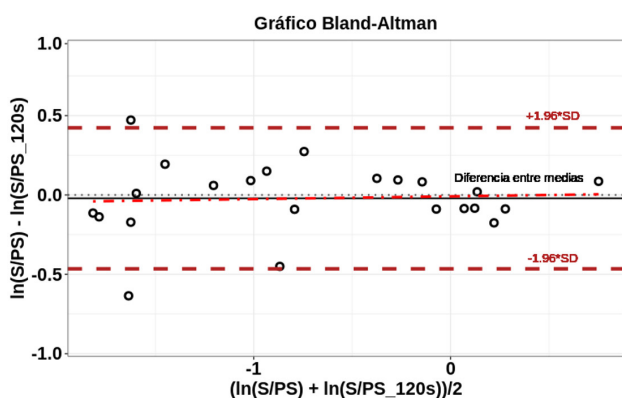
En Tabla I, se presentan los resultados para los diferentes métodos empleados en la comparación entre la serie GS y cada una de las series RR para el indicador SS.

Se observa, en esta tabla, que conforme se incrementa la longitud de la serie incrementan los valores de (r) coeficiente correlación de Pearson con  $r > 0.90$  a partir de la serie de 120s y disminuyen los valores correspondientes a d delta de Cohen siendo pequeño para las series de 60s y 90s y despreciable para las series de 120s, 180s y 240s, mientras que el % de error (e) también disminuye con el incremento de la longitud de la serie temporal siendo menor al 10% a partir de la serie de 90s. Los valores extraídos de la gráfica de Bland-Altman, muestran que el valor de Magnitud (Mag) permanece casi constante a partir de la serie 120s, es decir el valor medio del promedio entre los valores medidos de las series, en el caso del Sesgo, los valores negativos muestra una sobre estimación de la serie GS, Los valores correspondientes al LoA 95%, al valor absoluto del Sesgo/Mag\*100 y LoA/Mag\*100 disminuyen con el incremento temporal de la serie, evidenciando la disminución del Sesgo y el LoA. El análisis de los intervalos de confianza del test de Student muestra que eventualmente el Sesgo podrá valer 0 en la serie de 120s.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de la comparación entre las series correspondientes al indicador ln(S/SP). Se observa un elevado valor de correlación entre las serie GS y la de 60s con un valor de  $r = 0.95$  en coeficiente de correlación de Pearson (r) que se incrementa hasta llegar a  $r = 0.99$  para la serie de 240s. Los valores correspondiente a las delta de Cohen (d) denotan diferencias despreciables entre la serie GS y cada una de las series de 90s, 120s y 240s. Los % de error (e) son menores al 10% en todos los casos de comparación. Los valores de Magnitud son en valor absolutos similares para todas las comparaciones entre series, también en este indicador. Los valores correspondiente al Sesgo también son negativos mostrando una sobre estimación de la serie GS en cada comparación, aunque los valores del Sesgo son menores que para el caso de SS y en la prueba de Student se observa que podría, el Sesgo, tomar el valor nulo en cualquiera de las comparaciones. Los demás valores extraídos de las gráficas de Bland-Altman LoA 95%, Sesgo/Mag\*100 y LoA/Mag\*100 muestran una disminución con el aumento temporal de las series evidenciando un mejor nivel de acuerdo entre cada serie temporal y la GS.

**DISCUSIÓN**

Los indicadores SS y S/PS hallados <sup>10</sup> proponen una interpretación más clara para la comprensión del significado fisiológico del equilibrio autónomo resultante del análisis del diagrama de Poincaré, y además proporcionan valores de referencia,



**Figura 2.** Gráfico de Bland Altman para el análisis de acuerdo entre los valores de ln(S/PS) de la serie GS y la serie de 120s de longitud temporal. En la abscisa se representa los valores del promedio de ln(S/PS) de la serie GS y ln(S/PS) de la de 120s. En la ordenada la diferencia entre ln(S/PS) de la serie GS y ln(S/PS) de la serie de 120s. La línea punteada corresponde al valor 0 de la diferencia entre los valores medios de las series. La línea gruesa corresponde al valor medio de las diferencias (sesgo) del índice S/PS entre las series GS y la de 120s, la línea roja raya punto raya, corresponde a la línea de regresión calculada para las diferencias, las líneas a rayas, rojas, corresponden a los valores del 95% del limite de acuerdo (LoA).



**Tabla 2.** Coeficiente de correlación, tamaño del efecto, % de error e información de la gráfica de Bland-Altman para el análisis de acuerdo entre las series de diferentes longitudes y la GS del índice ln(S/PS).

	Correlación Pearson (r) [i. c. 95%]	Delta de Cohen (d) [i. c. 95%]	% de error (e)	Magnitud (Mag)	Sesgo [i. c. 95%]	t Studen Sesgo [i. c. 95%]	LoA 95%	Sesgo/Mag*100	LoA/Mag*100
300s vs 90s	0.95 [0.88 0.98]	0.08 [-0.05 0.21]	9.09	-0.69	-0.06 [-0.12 -0.01]	[-0.18 0.05]	[-0.58 0.45]	-52.76	-148.29
300s vs 120s	0.96 [0.91 0.98]	0.03 [-0.09 0.15]	2.92	-0.71	-0.02 [-0.07 0.03]	[-0.12 0.08]	[-0.47 0.42]	-11.14	-124.84
300s vs 180s	0.98 [0.95 0.99]	0.03 [-0.06 0.12]	3.33	-0.71	-0.02 [-0.06 0.01]	[-0.10 0.05]	[-0.36 0.31]	-7.50	-94.89
300 vs 240s	0.99 [0.98 1.00]	0.06 [0.00 0.11]	6.31	-0.70	-0.05 [-0.07 -0.02]	[-0.09 -0.00]	[-0.25 0.16]	-4.39	-58.85

para el análisis de VFC de corto-plazo en jugadores de fútbol de élite <sup>10</sup>.

Actualmente los análisis de VFC de corto-plazo se han incrementado en el deporte pero los preparadores físicos requieren de procesos de registros de VFC de menor duración y con resultados de simple interpretación, por lo cual existe un gran interés en la VFC de plazo-ultra-corto, si bien aún no existen directivas claras para la realización de estos estudios ni de los tiempos requeridos para la medición de los diferentes índices (Forner-Llácer FJ. La Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca como Indicador de Fatiga en el Fútbol Profesional. Tesis Doctoral. Univ. Católica de Valencia. 2021). Por otro lado no hemos hallados estudios de análisis de registros ultra-corto para SS y S/PS. Por esto, en este trabajo, se utilizó un método riguroso para evaluar de manera confiable que las características de VFC de plazo-ultra-corto, de los indicadores SS y ln(S/PS), puedan ser un sustituto de las VFC de corto-plazo.

En nuestro estudio de comparación entre los indicadores SS y ln(S/PS) de VFC de corto-plazo (5min) y cada una de las series, se adoptó como criterio de corte un valor de  $r = 0.90$ , como mínimo <sup>6</sup>.

El análisis de los resultados muestra una similitud entre los valores medios de las diferentes series de cada índice. Se observa en general un incremento en todos los indicadores de los niveles de acuerdo calculados conforme se incrementa la longitud de la serie, tanto para SS como para ln(S/PS), sin embargo la serie ultra corta, del indicador SS, cuyo valor de correlación cumple con el criterio de corte se da a partir de la serie de 120s, donde además se observa un valor de diferencia despreciable para la Delta de Cohen, valores muy bajos del error (e) y un comportamiento similar de las series de 180s y 240s. Los valores extraídos de los gráficos de Bland-Altman reflejan un elevado nivel de acuerdo entre la serie GS y la de 120s, similar a GS con 180s y GS con la de 240s de longitud temporal, mostrando la similitud existente entre las series. Esto permite el intercambio de una serie por otra, es decir la serie 120s del indicador SS es equivalente a la serie GS del mismo indicador.

Mediante a un análisis similar para el indicador ln(S/PS) se concluye que las series son similares al GS a partir de 90s, es decir la serie de 90s es equivalente a la serie GS del indicador ln(S/PS).

Este estudio es preliminar y posee limitaciones como el tamaño de la muestra, el análisis del efecto de las variables asociadas a la VFC como la edad, el sexo, el nivel de actividad física, etc.. Por otro lado no se analizaron diferentes tiempos de estabilización previos a los registros. Y por otro los registros fueron adquiridos solamente en reposo supino. Por todo esto es necesario realizar mayores estudios.

## CONCLUSIÓN

Se obtuvieron registros ultra-cortos de 120s para SS y de 90s para ln(S/PS) equivalentes con los obtenidos para análisis de VFC de corto-plazo (5min), esta reducción en los tiempos de medición permitirá un incremento en el empleo de la VFC para el monitoreo

del estado de salud y bienestar de las personas. Posibilitando a los preparadores físicos obtener un mejor rendimiento en el registro y procesamiento de la información obtenida.

Los resultados hallados motivan la realización de nuevos estudios para analizar el comportamiento de estos indicadores en diferentes poblaciones y con el empleo de distintos métodos de pre-procesamiento de las series RR.

**Autoría.** Todos los autores han contribuido intelectualmente en el desarrollo del trabajo, asumen la responsabilidad de los contenidos y, asimismo, están de acuerdo con la versión definitiva del artículo. **Financiación.** Los autores declaran no tener financiación. **Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflicto de intereses. **Origen y revisión.** No se ha realizado por encargo, la revisión ha sido externa y por pares. **Responsabilidades éticas.** Protección de personas y animales: Los autores declaran que los procedimientos seguidos están conforme a las normas éticas de la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. **Confidencialidad:** Los autores declaran que han seguido los protocolos establecidos por sus respectivos centros para acceder a los datos de las historias clínicas para poder realizar este tipo de publicación con el objeto de realizar una investigación/divulgación para la comunidad. **Privacidad:** Los autores declaran que no aparecen datos de los pacientes en este artículo.

## REFERENCIAS

1. Malik M. Heart rate variability guidelines: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J.* 1996;17:354-381.
2. Garrido Esquivel A, de la Cruz Torres B, Garrido Salazar MA, Medina Corrales M, Naranjo Orellana J. Variabilidad de la frecuencia cardíaca en un deportista juvenil durante una competición de bádminton de máximo nivel. *Rev Andal Med Deporte.* 2009;2(2):70-4.
3. Risk M, Sobh J, Barbieri R, Armentano R, Ramirez A, Saul J. Variabilidad de las señales cardiorespiratorias. Parte 2: Variabilidad a largo plazo. *Rev Argentina Bioingeniería.* 1996;2(2).
4. Risk M, Sobh J, Barbieri R, Armentano R, Ramirez A, Saul J. Variabilidad de las señales cardiorespiratorias. Parte 1: Variabilidad a corto plazo. *Rev Argentina Bioingeniería.* 1996;2(1).
5. Gamero L, Risk M, Sobh J, Ramirez A, Saul J. Heart rate variability analysis using wavelet transform." *Computers in Cardiology, Indianapolis, IN, USA, 1996;*( ):177- 180, doi: 10.1109/CIC.1996.542502.
6. Shaffer F, Shearman S, Meehan Z. The Promise of Ultra-Short-Term (UST) Heart Rate Variability Measurements. *Biofeedback.* 2016; 44(4): 229-233.

7. Massaro S, Pecchia L. Heart Rate Variability (HRV) Analysis: A Methodology for Organizational Neuroscience. *Organizational Research Methods*. 2016; 22(12).
8. V.R.F.S. Marães. Frequência cardíaca e sua variabilidade: análises e aplicações. *Rev Andal Med Deporte*. 2010;3(1):33-42.
9. Bracale U, Rovani M, Bracale M, Pignata G, Corcione F, Pechia L. Totally laparoscopic gastrectomy for gastric cancer: meta-analysis of short-term outcomes. *Minimally Invasive Therapy Allied Technol* 2012;21(3):150-160.
10. Naranjo Orellana J, de la Cruz Torres B, Sarabia Cachadiña E, de Hoyo M, Domínguez Cobo S. Two New Indexes for the Assessment of Autonomic Balance in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2015;10:452-457.
11. Gallardo J, Bellone G, Plano S, Vigo D, Risk M. Heart Rate Variability: Influence of Pre-processing Methods in Identifying Single-Night Sleep-Deprived. *Journal of Medical and Biological Engineering*. 2021;():1-7. doi:0.1007/s40846-020-00595-8.
12. Sathyapriya L, L. Murali L, Manigandan T. Analysis and detection R-peak detection using Modified Pan-Tompkins algorithm. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Advanced Communication, Control and Computing Technologies, ICACCT 2014, (978):483-487*.
13. McNames J, Thong T, Aboy M. Impulse rejection filter for artifact removal in spectral analysis of biomedical signals. *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Francisco*. 2004;1():145-8.
14. Thuraisingham RA. Preprocessing RR interval time series for heart rate variability analysis and estimates of standard deviation of RR intervals. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2006;83(1).
15. Wejer D, Makowiec D, Struzik ZR, Żarczyńska-Buchowiecka M. Impact of the Editing of Patterns with Abnormal RR intervals on the Assessment of Heart Rate Variability. *Acta Physica Polonica B*. 2014;45(11)2103-2121.
16. Aubert AE, D. Ramaekers D, and F. Beckers F. Analysis of heart rate variability in unrestrained rats. *Assessment of method and results. Med. Biol. Eng. Comp.* 1999;60(3):197-213.
17. Brennan M, Palaniswami M, Kamen P. Do existing measures of Poincaré plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability?, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 200;48(11):1342- 1347. doi: 10.1109/10.959330.
18. Bland JM, D. G. Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 1986;1():307-310.
19. Guzik P, Piskorski J, Krauze T, Schneider R, Wesseling KH, Wykretowicz, A et al., Correlations between the Poincaré Plot and Conventional Heart Rate Variability Parameters Assessed during Paced Breathing. *J. Physiol. Sci.* 2007;1(): 63-71.
20. Bland JM, D. G. Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*. 1999; 8():135-160.
21. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. United States of America: Lawrence Earlbaum Associates. Hillsdale, NJ, 1988.
22. Muñoz M, Van Roon A, Riese H, Chris Thio C, Oostenbroek E, Iris Westrik I et al. Validity of (Ultra) Short recordings for heart rate variability measurements. *PLoS ONE*. 2015;10(9):1-15.
23. Subramanya M, Vivek J, V, Narayan V, Mithun Manjnath N, Rangavittal N. Continuous monitoring of stress on smartphone using heart rate variability. 2015 IEEE 15th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE). 2015. 1-5. doi: 10.1109/BIBE.2015.7367627.
24. Nardelli M, Greco A, Bolea J, Valenza G, Scilingo EP, Bailon R. Reliability of Lagged Poincaré Plot parameters in ultra-short Heart Rate Variability series: Application on Affective Sounds. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2018;22(3):741-749.