

Análisis de la evolución de la variabilidad de la frecuencia cardíaca antes y después de un partido de tenis de mesa en función del resultado

Jon M. Picabea, Jesús Cámara, Javier Yanci

Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco (UPV-EHU). Vitoria-Gasteiz.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00077

Recibido: 18/05/2021

Aceptado: 23/12/2021

Resumen

El objetivo del estudio fue analizar el comportamiento de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) de jugadores de tenis de mesa antes y después de un partido ateniendo al resultado (ganar o perder). Se midió la VFC antes (PRE) y después (POST) del partido a 21 jugadores de tenis de mesa en un total de 30 partidos. No se observaron diferencias significativas ni en el PRE ni en el POST en función del resultado. Se observó un descenso ($p < 0,05$) en la media de los intervalos RR (media RR), la desviación estándar de los intervalos R-R (SDNN), el logaritmo natural de la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R (LnRMSSD), el porcentaje de los intervalos RR consecutivos que discrepan en más de 50 ms entre sí (pNN50), el eje transversal (SD1) y longitudinal (SD2) del diagrama de Poincaré en el POST con respecto al PRE en ambos grupos. Sin embargo, las variables de la banda de baja frecuencia expresada en fuerza absoluta (LF Power), la banda de alta frecuencia expresadas en fuerza absoluta (HF Power) y fuerza normalizada (HF Power) mostraron tendencias distintas en función del resultado ($p < 0,05$). Los resultados muestran un descenso en la VFC después de disputar un partido de tenis de mesa independientemente del resultado del partido en el dominio del tiempo y en variables no lineales. No obstante, el dominio de la frecuencia muestra una tendencia distinta en función del resultado.

Palabras clave:

Fatiga. Tenis de mesa.
Sistema nervioso autónomo.
Competición. Rendimiento.

Analysis of heart rate variability evolution on table tennis depending in match result

Summary

The aim of this study was to compare heart rate variability (HRV) indices before and after a table tennis match, depending in match result. HRV indices were measured before (PRE) and after (POST) match periods to 21 table tennis players (21.86 ± 8.34 yr) in 30 matches. No significant differences were found neither in PRE nor in POST measures comparing winners and losers. A significantly lower value ($p < 0.05$) was found in mean of RR intervals (mean RR), standard deviation of RR intervals (SDNN), the natural logarithm transform of the root mean square of successive differences between normal heartbeats (LnRMSSD), relative number of successive RR interval pairs that differ more than 50 ms (pNN50), cross (SD1) and longitudinal (SD2) axis of Poincaré plot comparing POST values with PRE values. Nevertheless, low frequency index expressed in absolute power (LF Power) and high frequency indices expressed in absolute power (HF power) and normalised power (HF Power) showed different trends depending on the results ($p < 0.05$). The obtained results show a HRV decrease after table tennis match regardless the match result, in both time domain and non-linear indices. However, frequency domain indices show a different trend depending on the match outcome.

Key words:

Fatigue. Table tennis.
Autonomous nervous system.
Competition. Performance

Correspondencia: Javier Yanci

E-mail: javier.yanci@ehu.es

Introducción

El tenis de mesa es un deporte de raqueta de carácter intermitente, en el que se alternan breves ciclos de trabajo de alta intensidad con periodos incompletos de recuperación¹⁻³. Debido a las exigencias de la competición, el tenis de mesa se considera un deporte mixto, donde tanto el sistema aeróbico como el anaeróbico están continuamente solicitados⁴. El sistema aeróbico es la fuente principal de energía durante los partidos, permitiendo una recuperación adecuada durante las interrupciones que se dan durante el juego^{2,3}. Por otro lado, debido a las continuas acciones de alta intensidad que se dan durante los partidos, el sistema anaeróbico resulta fundamental en los periodos de esfuerzo^{2,3}. Además de las exigencias físicas, el tenis de mesa se caracteriza por ser una modalidad donde los deportistas necesitan realizar, de manera coordinada y a máxima velocidad, diferentes acciones técnicas con los miembros superiores después de haber realizado desplazamientos cortos y rápidos con continuos cambios de dirección². Al mismo tiempo, se requiere de un gran repertorio de movimientos por parte de los jugadores teniendo que seleccionar el golpe correcto lo más rápidamente posible en función de las acciones del rival⁵. Además de la alta exigencia física, las continuas decisiones tácticas que se dan en cada punto y la necesidad de ejecutar con precisión distintas acciones técnicas, los jugadores están sometidos a una alta demanda cognitiva y a un alto nivel de estrés mental⁶. Esta modalidad deportiva, es, por tanto, una modalidad con una alta exigencia tanto física como psicológica^{2,6}.

Anteriores estudios han expuesto que tanto las exigencias físicas como psicológicas afectan al estado del sistema nervioso autónomo (SNA)⁷. Durante el ejercicio, debido al aumento de intensidad, se produce un incremento de la actividad simpática y una disminución de la actividad parasimpática, produciéndose en consecuencia un aumento de la frecuencia cardíaca (FC)^{8,9}. Con el fin de conocer la activación del SNA, tanto en deportes individuales como en deportes colectivos, se ha utilizado la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC)^{10,11}. La VFC es una herramienta no invasiva que muestra la variación del tiempo que transcurre entre latidos consecutivos a través del análisis de los intervalos R-R, permitiendo un análisis de la actividad del SNA y, mostrando así el nivel de activación del sistema nervioso simpático y parasimpático^{12,13}. En este sentido, el análisis de la VFC permite observar la respuesta del SNA en diferentes situaciones de ejercicio^{9,14}. Las variables utilizadas para medir la VFC son las que se basan en variables del dominio del tiempo, del dominio de la frecuencia y variables no lineales¹⁵. Los parámetros comúnmente utilizados en el análisis en función del dominio del tiempo son la raíz cuadrada del valor medio de la suma de diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R sucesivos (RMSSD) y la desviación estándar de periodos R-R consecutivos (SDNN)¹⁶. Estas variables analizan las variaciones de la FC, por lo que dependen de esta¹⁵. Para aislar el análisis de la VFC de la FC de cada participante, y así poder comparar diferentes situaciones independientemente de la FC, se ha utilizado el logaritmo natural de la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R (LnRMSSD)¹⁷. Por otro lado, el análisis a través del dominio de frecuencias descompone la señal R-R en diferentes componentes, mostrando así: i) la banda de alta frecuencia (HF), que muestra la actividad del sistema nervioso parasim-

pático, ii) la banda de baja frecuencia (LF), afectada tanto por el sistema nervioso simpático como parasimpático y iii) el ratio LF/HF, que refleja dominancia simpática cuando este tiene un valor alto¹⁷. Sin embargo, se ha observado anteriormente que los patrones de respiración afectan a los valores del dominio de la frecuencia, lo que dificulta la interpretación de los resultados^{7,18}. Además, el análisis a través de parámetros no lineales de la VFC muestran la modulación parasimpática sin la afectación de la respiración¹⁹. Concretamente, los parámetros utilizados son el SD1, que refleja la actividad parasimpática en el corazón, y el SD2, que refleja tanto la actividad simpática como parasimpática²⁰.

Debido a la información que se obtiene sobre la activación del SNA, la VFC se ha investigado en distintas situaciones de entrenamiento y competición en deportes individuales y colectivos^{8,9,21,22}. Varios estudios han analizado la variación de la VFC antes y después de diferentes esfuerzos físicos, con el objeto de analizar la influencia de la actividad física sobre la VFC^{9,17,22,23}. Concretamente en jugadores de bádminton, modalidad deportiva similar en estructura al tenis de mesa, se ha observado un descenso de los valores del SDNN y RMSSD post-ejercicio en comparación con valores pre-ejercicio, mostrando así un incremento en la actividad del sistema nervioso simpático inducido por la acumulación de esfuerzo^{8,22,24}. Además, un estudio reciente también con jugadores de bádminton ha analizado la VFC pre-post competición en función del resultado competitivo (ganar o perder), con el fin de observar si el resultado competitivo puede afectar a la evolución de la VFC²⁵. En dicha investigación se observó que los jugadores que ganaban el partido tenían mayores valores en la ratio LF/HF y una menor magnitud de las variables HF y LF que los jugadores que perdían, mostrando así una mayor activación simpática del SNA en los ganadores. Sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas en parámetros del dominio del tiempo o variables no lineales. A pesar de la importancia que puede tener la evolución de la VFC antes y después de disputar un partido de tenis de mesa atendiendo al resultado obtenido, no existen estudios que analicen este aspecto. Este análisis permitiría un conocimiento más exhaustivo de la exigencia competitiva y del comportamiento del SNA en tenis de mesa en función de ganar o perder el partido, debido a que el resultado del partido parece afectar a la VFC²⁵.

Por lo tanto, los objetivos del presente estudio fueron, por un lado, analizar el comportamiento de la VFC de jugadores de tenis de mesa antes y después de disputar un partido atendiendo al resultado obtenido por los jugadores (ganar o perder) y, por otro lado, analizar si la duración del partido afecta a la VFC.

Material y método

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 21 jugadores de tenis de mesa (21,86 ± 8,34 años, 1,73 ± 0,08 m, 64,09 ± 13,39 kg y 21,46 ± 4,38 kg·m⁻²), que competían en alguna de las categorías oficiales de tenis de mesa, tanto a nivel nacional como provincial de la comunidad autónoma del País Vasco. Los criterios de inclusión en el estudio fueron tener una licencia federativa en vigor expedida por la Federación Española de Tenis de Mesa y no encontrarse lesionado o estar recuperándose de una lesión en el momento de la investigación. Todos los participantes

tenían experiencia en competición de tenis de mesa superior a dos años. Todos fueron informados de los objetivos y procedimientos de la investigación y aceptaron voluntariamente formar parte de la misma, previa firma del consentimiento informado. En el caso de los jugadores y jugadoras menores de edad, el consentimiento informado también fue firmado por sus padres, madres o tutores legales. El estudio se realizó bajo el consentimiento del club al que pertenecían. Todos los procedimientos siguieron las pautas marcadas por la Declaración de Helsinki (2013), respetando lo establecido en la Ley Orgánica de Protección de Datos de Carácter Personal (LOPDPCP). Así mismo el estudio fue aprobado por el Comité de Ética para las Investigaciones con Seres Humanos (CEISH, N° 2080310018-INB0059) de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

Procedimiento

Se analizaron 30 partidos de tenis de mesa jugados al mejor de 5 sets disputados fuera de la temporada competitiva, obteniéndose 60 registros. En cada uno de los partidos se tuvo en cuenta el resultado obtenido por los jugadores (ganar o perder). Antes y después de los partidos se midió a los participantes la VFC. La VFC se registró durante 8 min PRE y POST partido, teniendo en cuenta para su análisis los últimos 3 min PRE y los primeros 3 min POST. A cada participante se le indicó que se mantuviera tumbado boca arriba durante 8 min antes^{26,27} y después del partido^{8,9,23,28}. Los registros PRE partido se realizaron antes de los 2 min de calentamiento y el registro POST partido se realizó inmediatamente después de terminar el partido. Se realizó un calentamiento previo a cada partido, que consistió en 2 min de peloteo tanto de derecha como de revés y con golpeo de *topspin*.

Mediciones

Análisis de la VFC: La señal del ritmo cardíaco se midió mediante una banda de pecho con tecnología Bluetooth Smartyse que se registró en un monitor Polar (V800, Kempele, Finlandia). Los datos obtenidos se transfirieron al ordenador mediante un software específico (Polar Flow, Kempele, Finlandia) y fueron exportados para el análisis de la VFC usando el programa informático Kubios v3.0. (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group at the Department of Applied Physics, University of Kuopio, Kuopio, Finlandia).

Los parámetros del dominio del tiempo que se obtuvieron fueron los siguientes: i) la media del intervalo R-R (Media RR), ii) la desviación estándar de los intervalos R-R (SDNN) la cual responde tanto a alteraciones en el sistema simpático como en el parasimpático; iii) la media de la frecuencia cardíaca (FC Media); iv) la desviación estándar de la frecuencia cardíaca (FC STD); v) la frecuencia cardíaca mínima registrada (FC Min); vi) la frecuencia cardíaca máxima registrada (FC Máx); vii) el logaritmo natural de la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R (LnRMSSD) que refleja la varianza entre latidos en la FC y estima los cambios vagales y viii) el porcentaje de intervalos R-R consecutivos que se distancian más de 50 milisegundos entre sí (pNN50), y que se ha observado que está correlacionado con cambios en el sistema nervioso parasimpático y el RMSSD²⁹. Los parámetros anteriores cuantifican la cantidad de VFC observada durante los periodos de monitorización²⁹.

De los parámetros del dominio de la frecuencia, los cuales muestran la contribución tanto del sistema nervioso simpático como parasimpático, se registraron: i) los picos de potencia entre 0,04-0,15 Hz (Baja frecuencia (LF)), ii) los picos de potencia entre 0,15-0,40 Hz (Alta frecuencia (HF)) y iii) el ratio entre LF y HF (LF/HF), cuyos valores altos están asociados a un dominio del sistema simpático¹⁷. Estos valores analizan la frecuencia en la que la distancia del intervalo R-R cambia¹⁷ siendo medido en tres unidades diferentes; i) fuerza absoluta (ms^2); ii) fuerza logarítmica (log) iii) fuerza normalizada (u.n.).

En cuanto a los parámetros no lineales analizados, se analizaron los siguientes: i) el eje transversal del diagrama de Poincaré (SD1), que analiza la VFC a corto plazo y es indicador de la actividad simpática²⁹; el eje longitudinal del diagrama de Poincaré (SD2), que analiza la VFC a largo plazo, correlaciona con el LF y es indicador de la actividad parasimpática²⁹; iii) el ratio SD2/SD1 que se utiliza para analizar el balance autónomo y el equilibrio entre la actividad simpática y parasimpática²⁹.

Análisis estadístico

Los resultados se muestran como media y desviación estándar (DE). La normalidad de los datos se analizó mediante el test de Shapiro-Wilk, observándose que los datos no mostraban una distribución normal. Se utilizó la prueba U de Mann-Whitney para analizar las diferencias entre los jugadores que ganaron y los que perdieron tanto en el momento PRE como en el POST. Por otro lado, se utilizó la prueba de Wilcoxon para analizar si existían diferencias entre los valores PRE partido y POST partido de forma independiente en cada uno de los grupos. El porcentaje de diferencia (Δ , %) se calculó en cada caso mediante la siguiente fórmula: Δ (%) = $[(\text{media POST} - \text{media PRE}) / \text{media PRE}] \times 100$. Se calculó el tamaño del efecto (TE) tanto para las diferencias entre grupos en cada momento como para las diferencias entre el PRE y el POST en cada uno de los grupos³⁰. Tamaños del efecto menores de 0,2, entre 0,2 y 0,5, entre 0,5 y 0,8 y superiores a 0,8 se consideraron triviales, bajos, moderados y altos, respectivamente. Se analizó la relación entre la duración de los partidos y las diferentes variables de la VFC mediante el coeficiente de correlación de Spearman (r). Las correlaciones obtenidas se consideraron altas cuando el valor absoluto se encontraba entre 1 y 0,70, moderadas, entre 0,69 y 0,50, bajas, entre 0,49 y 0,20 y muy bajas, entre 0,19 y 0,09³¹. La significatividad estadística se estableció en $p < 0,05$. El análisis estadístico se realizó con el programa Statistical Package for Social Sciences (versión 23,0, SPSS® Inc. Chicago, IL, EE.UU.).

Resultados

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos en los valores del dominio del tiempo de la VFC en el PRE partido y el POST partido tanto por los jugadores que ganan como por los que pierden el partido. Ni en los valores PRE ni en los valores POST de ninguna de las variables del dominio del tiempo de la VFC se observaron diferencias significativas comparando los jugadores que ganaron el partido con los que lo perdieron ($p > 0,05$, TE = -0,4 a 0,28, bajo). Los parámetros media RR, SDNN, LnRMSSD y pNN50 mostraron un descenso significativo en el POST partido con respecto al PRE ($p < 0,05$, TE = -0,44 a -2,26, moderado

Tabla 1. Parámetros descriptores de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en el dominio del tiempo pre partido (PRE) y post partido (POST), divididos por el resultado obtenido en el partido (ganar o perder).

		PRE	POST	Δ. (%)	TE
Media RR (ms)	GANAR	784,81 ± 126,01	591,59 ± 90,04**	-24,62	-2,15
	PERDER	771,68 ± 125,02	574,96 ± 87,12**	-25,49	-2,26
	Δ. (%)	-1,67	-2,81		
	TE	-0,11	-0,19		
SDNN (ms)	GANAR	41,48 ± 16,47	31,97 ± 21,76**	-22,92	-0,44
	PERDER	38,79 ± 12,96	29,23 ± 20,64**	-24,64	-0,46
	Δ. (%)	-6,49	-8,57		
	TE	-0,21	-0,13		
FC Media (latidos/min)	GANAR	78,12 ± 11,06	103,60 ± 15,02**	32,62	1,7
	PERDER	79,49 ± 11,39	106,85 ± 17,54**	34,42	1,56
	Δ. (%)	1,75	3,13		
	TE	0,12	0,18		
FC STD (latidos/min)	GANAR	5,38 ± 2,34	5,89 ± 4,09	9,44	0,12
	PERDER	5,29 ± 1,49	5,62 ± 3,21	6,24	0,1
	Δ. (%)	-1,78	-4,65		
	TE	-0,06	-0,09		
FC Min (latidos/min)	GANAR	66,34 ± 7,32	85,48 ± 12,13**	28,86	1,58
	PERDER	68,17 ± 10,15	89,84 ± 17,31**	31,8	1,25
	Δ. (%)	2,76	5,1		
	TE	0,18	0,25		
FC Max (latidos/min)	GANAR	93,93 ± 16,86	131,42 ± 23,86**	39,91	1,57
	PERDER	96,27 ± 14,04	138,08 ± 24,12**	43,44	1,73
	Δ. (%)	2,48	5,07		
	TE	0,17	0,28		
LnRMSSD (ms)	GANAR	3,37 ± 0,56	2,92 ± 0,75**	-13,31	-0,6
	PERDER	3,25 ± 0,46	2,75 ± 0,71**	-15,33	-0,71
	Δ. (%)	-3,43	-5,69		
	TE	-0,25	-0,24		
pNN50 (%)	GANAR	12,36 ± 16,75	6,21 ± 11,73**	-49,78	-0,52
	PERDER	8,75 ± 11,16	3,13 ± 7,72**	-64,27	-0,73
	Δ. (%)	-29,16	-49,61		
	TE	-0,32	-0,4		

Media RR: Media del intervalo R-R; SDNN: Desviación estándar de los intervalos R-R; FC Media: Media de la frecuencia cardíaca; FC STD: Desviación estándar de la frecuencia cardíaca; FC Min: Frecuencia cardíaca mínima; FC Max: Frecuencia cardíaca máxima; LnRMSSD: Logaritmo natural de la raíz cuadrada del valor medio de la suma de las diferencias al cuadrado de todos los intervalos R-R; pNN50: Porcentaje de intervalos R-R consecutivos que discrepan más de 50 milisegundos entre sí; TE: Tamaño del efecto; Δ. (%): Porcentaje de variación.

**p < 0,01 diferencias significativas con respecto al PRE.

a alto) tanto en el grupo de jugadores que ganaron como en el que perdió el partido. Sin embargo, la FC Media, FC Min y FC Max mostraron un aumento significativo en el POST partido con respecto al PRE ($p < 0,05$, TE = 1,25 a 1,7, alto) en ambos grupos. No se observaron diferencias significativas entre el PRE y el POST en la variable FC STD en ninguno de los dos grupos ($p > 0,05$, TE = 0,1 a 0,12, trivial).

La Tabla 2 muestra los valores del dominio de la frecuencia de la VFC obtenidos tanto por los jugadores que ganan como por los que pierden el partido en el PRE y el POST partido. Ni en los valores PRE ni en los valores POST de ninguna de las variables del dominio de la frecuencia

se observaron diferencias significativas comparando los jugadores que ganaron el partido con los que lo perdieron ($p > 0,05$, TE = -0,66 a 0,53, moderado). Las variables LF Power (log) y HF Power (log) mostraron un descenso significativo en el POST con respecto a los valores PRE partido ($p < 0,05$, TE = -0,43 a -0,82, moderado a alto) tanto en los jugadores que ganaron como en los que perdieron el partido. Sin embargo, el LF Power (ms^2), HF Power (ms^2) y HF Power (u.n.) mostraron una tendencia distinta en ambos grupos. Mientras que el LF Power (ms^2) en el grupo que ganó el partido disminuyó significativamente en el POST con respecto al PRE ($p < 0,05$, TE = -0,45, moderado), en los jugadores que perdieron el par-

Tabla 2. Parámetros descriptores de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en el dominio de la frecuencia pre partido (PRE) y post partido (POST), divididos por el resultado obtenido en el partido (ganar o perder).

		PRE	POST	Δ. (%)	TE
LF Power (ms ²)	GANAR	1250,28 ± 1263,59	756,09 ± 1099,08**	-39,53	-0,45
	PERDER	948,03 ± 836,46	998,96 ± 2500,83**	5,37	0,02
	Δ. (%)	-24,17	32,12		
	TE	-0,36	0,1		
LF Power (log)	GANAR	6,74 ± 0,89	6,06 ± 1,02**	-10,15	-0,67
	PERDER	6,55 ± 0,78	5,69 ± 1,54**	-13,22	-0,56
	Δ. (%)	-2,86	-6,18		
	TE	-0,25	-0,24		
LF Power (u.n.)	GANAR	68,02 ± 15,03	68,49 ± 18,78	0,69	0,03
	PERDER	68,79 ± 14,47	76,19 ± 14,53**	10,76	0,51
	Δ. (%)	1,12	11,24		
	TE	0,05	0,53		
HF Power (ms ²)	GANAR	657,82 ± 935,46	816,72 ± 2431,46	24,16	0,07
	PERDER	439,21 ± 487,93	297,09 ± 789,74**	-32,36	-0,18
	Δ. (%)	-33,23	-63,62		
	TE	-0,45	-0,66		
HF Power (log)	GANAR	5,87 ± 1,03	5,17 ± 1,63**	-12,01	-0,43
	PERDER	5,66 ± 0,88	4,36 ± 1,58**	-22,95	-0,82
	Δ. (%)	-3,68	-15,65		
	TE	-0,25	-0,51		
HF Power (u.n.)	GANAR	31,91 ± 14,99	31,44 ± 18,76	-1,49	-0,03
	PERDER	31,13 ± 14,44	23,71 ± 14,45**	-23,83	-0,51
	Δ. (%)	-2,45	-24,58		
	TE	-0,05	-0,53		
LF/HF Power (ms ²)	GANAR	3,32 ± 2,51	3,03 ± 1,63	-8,72	-0,18
	PERDER	4,06 ± 2,89	3,78 ± 2,69	-6,67	-0,1
	Δ. (%)	22,31	24,93		
	TE	0,26	0,28		

LF: Baja frecuencia; HF: Alta frecuencia; LF/HF: Ratio entre LF y HF; Power (ms²): Fuerza absoluta; Power (log): Fuerza logarítmica; Power (u.n.): Fuerza normalizada; TE: Tamaño del efecto; Δ. (%): Porcentaje de variación.

**p < 0,01 diferencias significativas con respecto al PRE.

tido, el LF Power (ms²) aumentó significativamente (p < 0,05, TE = 0,02, trivial). En cuanto a HF Power (ms²) y HF Power (u.n.), no se observaron cambios significativos en el POST con respecto al PRE partido en el grupo que ganó el partido (p > 0,05, TE = -0,03 a 0,07, trivial), mientras que el grupo que perdió el partido mostró un descenso significativo (p < 0,05, TE = -0,18 a -0,51, trivial a moderado). Con respecto a LF Power (u.n.) no se observaron cambios significativos entre el PRE y el POST en el grupo que ganó el partido (p > 0,05, TE = 0,03, trivial), mientras que el grupo que perdió el partido mostró un aumento significativo (p < 0,05, TE = 0,51, moderado). No se observaron diferencias significativas entre el PRE y POST en ninguno de los dos grupos en la variable LF/HF Power (ms²) (p > 0,05, TE = -0,1 a -0,18, trivial).

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos tanto por los jugadores que ganan el partido como por los que pierden el partido en el PRE y

en el POST partido en los valores no lineales de la VFC. Ni en los valores PRE ni en los valores POST de ninguna de las variables no lineales se observaron diferencias significativas comparando los jugadores que ganaron el partido con los que lo perdieron (p > 0,05, TE = -0,37 a 0,2, trivial a bajo). El SD1 y SD2, mostraron un descenso significativo en el POST con respecto al PRE (p < 0,05, TE = -0,38 a -0,48, bajo) tanto en los jugadores que ganaron como en los perdieron el partido. No se observó ninguna diferencia entre PRE y POST en ninguno de los dos grupos en el SD2/SD1 (p > 0,05, TE = 0,24 a 0,28, bajo).

No se obtuvo ninguna asociación significativa entre la duración del partido con las variables de VFC ni en el PRE ni en el POST en ninguno de los grupos. Únicamente se encontraron correlaciones significativas entre la duración del partido y el Δ. (%) FC Min en el grupo que ganó (r = 0,375, p < 0,05) y en el que perdió el partido (r = 0,479, p < 0,01).

Tabla 3. Parámetros descriptores de la variabilidad de la frecuencia cardíaca en el dominio no lineal pre partido (PRE) y post partido (POST), divididos por el resultado obtenido en el partido (ganar o perder).

		PRE	POST	Δ. (%)	TE
Diagrama de Poincaré, SD1	GANAR	24,47 ± 17,16	17,85 ± 17,47**	-27,05	-0,38
	PERDER	20,45 ± 10,95	14,43 ± 12,55**	-29,46	-0,48
	Δ. (%)	-16,41	-19,17		
	TE	-0,37	-0,27		
Diagrama de Poincaré, SD2	GANAR	52,48 ± 18,41	40,96 ± 26,06**	-21,95	-0,44
	PERDER	50,45 ± 16,12	37,73 ± 26,60**	-25,21	-0,48
	Δ. (%)	-3,87	-7,88		
	TE	-0,13	-0,12		
Diagrama de Poincaré, SD2/SD1	GANAR	2,60 ± 1,01	2,86 ± 0,94	10,04	0,28
	PERDER	2,79 ± 0,92	3,05 ± 1,10	9,34	0,24
	Δ. (%)	7,1	6,43		
	TE	0,2	0,17		

SD1: Eje transversal del diagrama de Poincaré; SD2: Eje longitudinal del diagrama de Poincaré; SD2/SD1: Ratio entre SD1 y SD2; TE: Tamaño del efecto; Δ. (%): Porcentaje de variación. **p < 0,01 diferencias significativas con respecto al PRE.

Discusión

El objetivo del presente estudio fue analizar el comportamiento de la VFC de jugadores de tenis de mesa antes y después de disputar un partido, atendiendo al resultado obtenido (ganar o perder). La VFC es un herramienta útil y no invasiva que permite analizar el comportamiento del SNA^{12,32} y ha sido utilizada anteriormente para analizar estados de sobre-entrenamiento, conocer las adaptaciones al entrenamiento y cuantificar el nivel de estrés pre-competitivo^{23,33,34}, aspectos que permiten planificar estrategias adecuadas de entrenamiento para la mejora del rendimiento deportivo. Aunque el análisis de la VFC se ha utilizado anteriormente también para comparar los valores previos y posteriores al partido en varias modalidades deportivas^{9,21,35} y también en deportes de raqueta como el bádminton^{8,22}, no se ha realizado este tipo de análisis en jugadores de tenis de mesa. Además, el presente trabajo es el primer estudio en el que se analiza la evolución de la VFC antes y después de disputar un partido en función del resultado deportivo (ganar o perder) en tenis de mesa, habiéndose encontrado tan solo un estudio en esta línea en bádminton²⁵. El análisis de la VFC antes y después de los partidos permite observar cambios en el balance simpático-parasimpático, mostrando así el estado de fatiga del deportista⁹ y el análisis diferenciado en función del resultado puede ser relevante debido a que ganar o perder el partido puede generar distinta fatiga, afectando así a la activación del SNA²⁵. En este sentido, este análisis permitiría un conocimiento más exhaustivo de la exigencia competitiva de forma diferenciada entre los que ganan y pierden el partido.

Las variables del dominio del tiempo de la VFC se han utilizado en otros deportes de raqueta tales como en el bádminton, para analizar la fatiga post partido^{8,22,24}, mostrando un descenso de los valores del SDNN y pNN50, mientras que se observa un aumento de las variables de la FC, posiblemente relacionado con el aumento de la fatiga¹⁷. Los resultados

de este estudio mostraron un descenso en la media RR, SDNN, LnRMSSD y pNN50 de los valores POST con respecto a los valores PRE, tanto en los jugadores que ganan como en los que pierden el partido. Por el contrario, se apreció un aumento en la FC media, FC Min y FC Max en el POST con respecto al PRE en ambos grupos. Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios anteriores^{8,24,36}, los cuales mostraron un descenso en las variables del dominio del tiempo y un aumento en las variables de FC, asociadas al aumento de la fatiga competitiva. Además, la presente investigación aporta información diferenciada, atendiendo al resultado obtenido en el partido, coincidiendo los resultados obtenidos con un estudio anterior realizado con jugadores de bádminton²⁵. Estos autores encontraron descensos en las variables del dominio del tiempo de los valores POST con respecto al PRE en partidos de bádminton, tanto en los jugadores que ganaron como en los que perdieron, sin encontrarse diferencias significativas entre los grupos²⁵, resultados que coinciden con los obtenidos en el presente estudio ya que las variables del dominio del tiempo de la VFC no mostraron diferencias entre los ganadores y perdedores en la evolución PRE-POST de la VFC. Los resultados obtenidos sugieren que el nivel de fatiga puede haber sido parecido en ambos grupos. La ausencia de diferencias en la evolución de la VFC entre los jugadores ganadores y perdedores pueden deberse a que los partidos analizados fueron disputados entre jugadores de nivel similar, con marcadores muy ajustados y exigencia competitiva alta hasta el final de los partidos. Por lo tanto, podría ser interesante en futuros estudios analizar si la evolución de la VFC puede estar asociada a la carga de la competición y si la carga competitiva es distinta para los jugadores ganadores o perdedores.

Las variables del dominio de la frecuencia descomponen la potencia de la señal RR en diferentes componentes frecuenciales, mostrando así el estado del sistema nervioso autónomo¹⁵. A pesar de que el análisis de las variables del dominio de la frecuencia se ha utilizado anteriormente en otros deportes para analizar la fatiga post partido^{21,24,25,35}, no se ha

utilizado anteriormente en tenis de mesa. Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron un descenso en el LF Power (log) y HF Power (log) comparando los valores POST con los valores PRE, tanto en los jugadores que ganan como en los que pierden el partido. Estos resultados concuerdan parcialmente con estudios anteriores en bádminton^{24,25}, rugby²¹, baloncesto y fútbol³⁵. En jugadores de bádminton, se encontraron descensos en HF Power (%) comparando valores pre y post partido, pero no se obtuvo esa diferencia en LF Power (%)^{24,25}. Por otro lado, en jugadores de rugby²¹, baloncesto y fútbol³⁵, aunque no diferencian entre jugadores que ganan y pierden el partido, se obtuvo un descenso en el post con respecto al pre ejercicio tanto en LF como en HF, mostrando así una activación del sistema nervioso simpático inducido por el ejercicio. Así mismo, en el presente estudio, no se observaron cambios significativos entre los valores pre y post partido en la variable LF/HF en ninguno de los dos grupos. Sin embargo, estudios anteriores encontraron un aumento significativo en esta variable en jugadores de bádminton^{24,25}, de fútbol o de baloncesto³⁵ y de atletas³⁶, mostrando así una mayor activación del sistema simpático después de la competición respecto a valores previos a la competición. Una de las principales novedades del presente estudio, es que analiza la evolución de la VFC de forma diferenciada atendiendo al resultado del partido (ganar o perder) en tenis de mesa. Los resultados obtenidos sugieren que las variables LF Power (ms²), HF Power (ms²), HF Power (u.n.) y LF Power (u.n.) mostraron tendencias diferentes en función del resultado del partido. En el grupo que ganó el partido, se observaron descensos en la variable LF Power (ms²), mientras que la variable HF Power (ms²) aumentaba y las variables LF Power (u.n.) y HF Power (u.n.) no variaban, comparando los valores PRE y POST partido. Por otro lado, en el grupo que perdió el partido se observó que las variables HF Power (ms²) y HF Power (u.n.) descendían, mientras que las variables LF Power (ms²) y LF Power (u.n.) aumentaban, comparando los valores antes y después del partido. Estos resultados no coinciden con los resultados obtenidos en un estudio similar realizado con jugadores de bádminton²⁵, en el que observaron las mismas tendencias pre-post tanto en los jugadores que ganan como los que pierden el partido, excepto para la variable LF Power (%), que a pesar de que las diferencias pre-post no fueron significativas, en el grupo que ganaba se observaba un descenso en esta variable, mientras que en el grupo que perdía el partido se observaba un aumento. Tal y como indican estudios anteriores^{7,18}, es posible que estos resultados contradictorios se deban, por un lado, a que los valores del dominio de la frecuencia pueden estar afectados por los patrones de respiración, los cuáles no se controlaron en esta investigación, y por otro lado, a que el tipo de ejercicio realizado pueda afectar a las variables del dominio de la frecuencia³⁴, así como la atención, el estrés o el estado anímico del deportista^{7,25}. En este sentido, tal y como indican otros estudios¹⁸, se recomienda que se realice el análisis de la VFC mediante el dominio del tiempo o medidas no lineales, ya que aportan datos independientemente del patrón de respiración. De cara a futuras investigaciones, convendría analizar aspectos como la gestión del estrés o la respiración, con el fin de conocer cómo afectan en los valores del dominio de la frecuencia en función del resultado del partido.

Como se ha comentado anteriormente, las variables no lineales de la VFC muestran la modulación parasimpática sin la afectación de la respiración¹⁹. Los métodos no lineales se han utilizado anteriormente

en otros deportes como herramienta de análisis de fatiga^{8,22,24,25}. Los resultados de este estudio muestran un descenso significativo entre el PRE y el POST en SD1 y SD2 tanto en los jugadores que ganan como en los que pierden el partido. Estos resultados concuerdan con estudios realizados anteriormente en otros deportes de raqueta como el bádminton^{8,22,24,25}, en los que se produce un aumento de la actividad simpática y una reducción de la actividad parasimpática al final del partido con respecto al inicio. Sin embargo, contrariamente a los resultados obtenidos en las variables del dominio de la frecuencia, no existen diferencias entre los jugadores que ganaron y los que perdieron en las variables no lineales, coincidiendo los resultados obtenidos con un estudio anterior realizado con jugadores de bádminton²⁵. Estas diferencias en las tendencias observadas entre los valores de las variables del dominio de la frecuencia y de las variables no lineales de la VFC pueden ser debidas a que en los métodos no lineales los patrones de respiración no afectan a los resultados obtenidos^{7,18,25}, mientras que la respiración sí puede afectar a las variables del dominio de la frecuencia.

A pesar de que anteriores investigadores observaron que la duración y el tiempo de la sesión del ejercicio afectan directamente a la VFC⁷, debido principalmente a la activación del sistema simpático y descenso de la actividad del sistema nervioso parasimpático, existe controversia en este aspecto. Contrariamente a los resultados expuestos en estudios previos⁷, un estudio realizado con corredores de larga distancia mostró que la VFC inmediatamente post ejercicio no estaba relacionada con la duración del ejercicio³⁷. Sin embargo, estos autores exponen que cuanto mayor intensidad tenía el ejercicio, más tiempo debía transcurrir para que los valores de la VFC post ejercicio volvieran a los valores basales³⁷. En el presente estudio, a excepción de la FC Min, no se encontraron correlaciones significativas entre las variables de la VFC y la duración del partido de tenis de mesa ni en el grupo de jugadores que ganó ni en el que perdió el partido. La ausencia de asociación significativa entre la duración del partido y los parámetros de la VFC obtenida en este estudio parecen confirmar las conclusiones obtenidas en estudios anteriores^{37,38}, en los que se expone que, tanto en ejercicio de carácter continuo como intermitente, la VFC puede estar influenciada en mayor medida por la intensidad del ejercicio que por su duración. Por lo tanto, en futuros estudios sería interesante controlar la evolución de la VFC y además cuantificar la intensidad del partido, para analizar si existe alguna asociación entre ambas variables.

La limitación principal de este estudio es la ausencia de investigaciones previas con las que comparar los resultados obtenidos, tan solo permitiendo comparar las diferencias pre y post partido en la VFC en función del resultado de la competición con el bádminton. Tampoco hemos encontrado ningún estudio que analizara la VFC en jugadores de tenis de mesa, teniendo que comparar los resultados obtenidos con otros deportes similares como el bádminton y otras modalidades menos similares como el fútbol, el baloncesto o el rugby. Por otro lado, los resultados se obtuvieron mediante partidos simulados, por lo que es posible que, en una competición real, el estrés psicológico, entre otros factores, pudieran afectar de distinta forma al comportamiento de la VFC. Sería conveniente que en futuros estudios se analizara si la VFC varía en función del resultado del partido en competición oficial, controlando otras variables que afectan a la VFC como la intensidad del partido, la calidad del sueño o el estrés competitivo.

Conclusiones

Tal y como se ha observado en este estudio, existe un descenso en la VFC después de disputar un partido simulado de tenis de mesa, debido al esfuerzo realizado, independientemente del resultado del partido. Sin embargo, a pesar de que se observen descensos tanto en las variables del dominio del tiempo como en las variables no lineales en ambos grupos, no existe esta tendencia en las variables del dominio de la frecuencia, posiblemente debido a la afectación de la respiración en estas variables. Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio parecen evidenciar que no existe relación entre la duración del partido de tenis de mesa y la VFC.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del subproyecto Enfoque de método mixto en el análisis de rendimiento (en entrenamiento y competición) en el deporte de élite y academia [PGC2018-098742-B-C33] (2019-2021) [del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MCIU), la Agencia Estatal de Investigación (AEI) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)], que forma parte del proyecto coordinado New approach of research in physical activity and sport from mixed methods perspective (NARPAS_MM) [SPGC201800X098742CV0].

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

Bibliografía

- Katsikadelis M, Piliianidis T, Mantzouranis N. Test-retest reliability of the "table tennis specific battery test" in competitive level young players. *Eur Psychomot J*. 2014;6:3–11.
- Zagatto AM, Morel EA, Gobatto CA. Physiological responses and characteristics of table tennis matches determined in official tournaments. *J Strength Cond Res*. 2010;24:942–9.
- Zagatto AM, Papoti M, Gobatto CA. Validity of critical frequency test for measuring table tennis aerobic endurance through specific protocol. *J Sport Sci Med*. 2008;7:461–6.
- Melero C, Pradas de la Fuente F, Vargas C. Control biomédico del entrenamiento en tenis de mesa. Ejemplo de test de campo. *Apunt Educ Fis y Deport*. 2005;81:67–76.
- Faber IR, Pion J, Munivra G, Faber NR, Nijhuis-Van der Sanden MWG. Does a perceptuomotor skills assessment have added value to detect talent for table tennis in primary school children? *J Sports Sci*. 2018;36:2716–23.
- Abenza L, Olmedilla A, Martínez C. Proposal of psychological training integrated into sport training in two table tennis players table-tennis: an experience in the CAR Sant Cugat de Barcelona. *Infpsicol*. 2016;112:74–94.
- Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sport Med*. 2003;33:889–919.
- Garrido A, De La Cruz B, Garrido MA, Medina M, Naranjo J. Variabilidad de la frecuencia cardiaca en un deportista juvenil durante una competición de bádminton de máximo nivel. *Rev Andaluz Med del Deport*. 2009;2:70–4.
- Hernández-Cruz G, Quezada-Chacon JT, González-Fimbres RA, Flores-Miranda FJ, Naranjo-Orellana J, Rangel-Colmenero BR. Effect of consecutive matches on heart rate variability in elite volleyball players. *Rev Psicol del Deport*. 2017;26:9–14.
- Cervantes JC, Rodas G, Capdevila L. Heart-rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*. 2009;21:531–6.
- Bricout VA, DeChenaud S, Favre-Juvin A. Analyses of heart rate variability in young soccer players: The effects of sport activity. *Auton Neurosci Basic Clin*. 2010;154:112–6.
- Laborde S, Mosley E, Thayer JF. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research - Recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting. *Front Psychol*. 2017;8:1–18.
- Gavrilova EA. Heart rate variability and sports. *Hum Physiol*. 2016;42:571–8.
- Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Brazilian J Med Biol Res*. 2008;41:854–9.
- Rodas G, Caballido CP, Ramos J, Capdevila L. Variabilidad de la frecuencia cardíaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Arch Med Deport*. 2008;25:41–7.
- Bourdillon N, Schmitt L, Yazdani S, Vesin JM, Millet GP. Minimal window duration for accurate HRV recording in athletes. *Front Neurosci*. 2017;11:456.
- Djaoui L, Haddad M, Chamari K, Dellal A. Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiol Behav*. 2017;181:86–94.
- Saboul D, Pialoux V, Hautier C. The impact of breathing on HRV measurements: Implications for the longitudinal follow-up of athletes. *Eur J Sport Sci*. 2013;13:534–42.
- Buchheit M. Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Front Physiol*. 2014;5:1–19.
- Makivic B, Nikic MD, Willis MS. Heart rate variability (HRV) as a tool for diagnostic and monitoring performance in sport and physical activities. *J Exerc Physiol*. 2013;16:103–27.
- Edmonds RC, Sinclair WH, Leicht AS. Effect of a training week on heart rate variability in elite youth rugby league players. *Int J Sports Med*. 2013;34:1087–92.
- Garrido A, De La Cruz B, Medina M, Garrido MA, Naranjo J. Heart rate variability after three badminton matches. Are there gender differences? *Arch Med Deport*. 2011;28:257–64.
- Fortes LS, da Costa BDV, Paes PP, do Nascimento Júnior JRA, Fiorese L, Ferreira MEC. Influence of competitive-anxiety on heart rate variability in swimmers. *J Sport Sci Med*. 2017;16:498–504.
- Bisschoff CA, Coetzee B, Esco MR. Relationship between autonomic markers of heart rate and subjective indicators of recovery status in male, elite badminton players. *J Sport Sci Med*. 2016;15:658–69.
- Bisschoff CA, Coetzee B, Esco MR. Heart rate variability and recovery as predictors of elite, African, male badminton players' performance levels. *Int J Perform Anal Sport*. 2018;18:1–16.
- Plews DJ, Laursen PB, Le Meur Y, Hausswirth C, Kilding AE, Buchheit M. Monitoring training with heart rate-variability: how much compliance is needed for valid assessment? *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9:783–90.
- Schmitt L, Regnard J, Parmentier AL, Mauny F, Mourot L, Coulmy N, et al. Typology of "fatigue" by heart rate variability analysis in elite nordic-skiers. *Int J Sports Med*. 2015;36:999–1007.
- Buchheit M, Millet GP, Parisy A, Pourchez S, Laursen PB, Ahmaidi S. Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40:362–71.
- Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front Public Heal*. 2017;5:1–17.
- Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
- Salaj S, Markovic G. Specificity of jumping, sprinting, and quick change of direction motor abilities. *J Strength Cond Res*. 2011;25:1249–55.
- Lucini D, Marchetti I, Spataro A, Malacarne M, Benzi M, Tamorri S, et al. Heart rate variability to monitor performance in elite athletes: Criticalities and avoidable pitfalls. *Int J Cardiol*. 2017;240:307–12.
- Ravé G, Fortrat JO. Heart rate variability in the standing position reflects training adaptation in professional soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116:1575–82.
- Dong JG. The role of heart rate variability in sports physiology. *Exp Ther Med*. 2016;11:1531–6.
- Esco MR, Williford HN, Flatt AA, Freeborn TJ, Nakamura FY. Ultra-shortened time-domain HRV parameters at rest and following exercise in athletes: an alternative to frequency computation of sympathovagal balance. *Eur J Appl Physiol*. 2018;118:175–84.
- Luft CDB, Takase E, Darby D. Heart rate variability and cognitive function: Effects of physical effort. *Biol Psychol*. 2009;82:196–201.
- Saboul D, Balducci P, Millet G, Pialoux V, Hautier C. A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *Eur J Sport Sci*. 2016;16:172–81.
- Stanley J, Peake JM, Buchheit M. Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: Implications for training prescription. *Sport Med*. 2013;43:1259–77.