

Respuesta Autónoma y su incidencia con el Indicador de Aptitud Física, Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca y el VO2Max en Nadadores Jóvenes Sanos

Autonomous Response and its incidence with the Fitness Indicator, Heart Rate Variability and VO2Max in Young Healthy Swimmers

Alfonso Barbosa Domínguez¹.

¹ Docente Instituto Tecnológico Superior libertad Quito Ecuador Maestría en Fisiología Aplicada al Deporte Universidad de Kiev Ucrania (URSS), PHD en Neurofisiología aplicada al Deporte Universidad de Colonia Alemania. medicina65@outlook.com

Resumen: El objetivo de la investigación fue evaluar la respuesta autónoma en diferentes microciclos de entrenamiento en nadadores sanos de la Selección Colombia de Natación Clásica, y su relación con el indicador de Aptitud física (IAF), Variable de frecuencia cardiaca (VFC) y Consumo Máximo de Oxígeno (VO2max). Siete nadadores de participación nacional e internacional realizaron el entrenamiento de tres microciclos durante los meses de junio, julio y agosto. La variabilidad de la frecuencia cardiaca se registró antes de la primera sesión de entrenamiento, diariamente. Se aplicó un Análisis de Varianza para observar las diferencias entre la variación de la frecuencia cardiaca, la respuesta autónoma y el Vo2max, analizado sobre el microciclo aplicado, y se puso a prueba la correlación entre el Indicador de Aptitud Física, la Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca y el Volumen Máximo de Oxígeno. El microciclo de la potencia aeróbica presentó indicadores de aumento de la actividad simpática en comparación con otros microciclos anaeróbicos lácticos. Un aumento absoluto de la actividad vagal se observó en el ciclo anaeróbico láctico, mientras que el ciclo anaeróbico aláctico mostró una disminución en la actividad vagal, en comparación con el láctico. Los indicadores de la aptitud física, la grasa corporal y el VO2 máx han tenido un impacto positivo en el control simpático-vagal. La intensidad del control autónomo de los microciclos de entrenamiento de natación es mínimamente perceptible después de un período de recuperación con una relación aparente entre el entrenamiento de la potencia aeróbica y la actividad simpática. La actividad vagal es más evidente durante el entrenamiento anaeróbico láctico. Los resultados confirman que los indicadores de aptitud física impactan en el control simpático-vagal, en especial en la actividad simpática.

Palabras Claves: Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca, Indicador de Aptitud Física, Capacidad Anaeróbica, Consumo Máximo de Oxígeno, Actividad Simpática, Control Simpático Vagal.

Abstract: The objective of the research was to evaluate the autonomous response in different training microcycles in healthy swimmers of the Colombian Selection of Classic Swimming, and its relationship with the indicator of Physical Fitness (IAF), Variable heart rate (VFC) and Maximum Consumption of Oxygen (VO2max). Seven swimmers of national and international participation carried out the training of three microcycles during the months of June, July and August. Heart rate variability was recorded before the first training session, daily. An Analysis of Variance was applied to observe the differences between the variation of the heart rate, the autonomous response and the Vo2max, analyzed on the applied microcycle, and the correlation between the Physical Fitness Indicator, the Variability of the Frequency was tested. Cardiac and Maximum Oxygen Volume. The aerobic power microcycle showed indicators of increased

sympathetic activity compared to other anaerobic lactic microcycles. An absolute increase in vagal activity was observed in the lactic anaerobic cycle, while the lactic anaerobic cycle showed a decrease in vagal activity, compared to lactic. Indicators of physical fitness, body fat and VO₂ max have had a positive impact on sympathetic-vagal control. The intensity of autonomous control of swimming training microcycles is minimally noticeable after a recovery period with an apparent relationship between aerobic power training and sympathetic activity. Vagal activity is most evident during lactic anaerobic training. The results confirm that the physical fitness indicators have an impact on the sympathetic-vagal control, especially on the sympathetic activity.

Keywords: Heart Rate Variability, Physical Fitness Indicator, Anaerobic Capacity, Maximum Oxygen Consumption, Sympathetic Activity, Sympathetic Vagal Control.

Introducción

El alto rendimiento se consigue en los deportes mediante la observación de pequeños detalles (Macnamara, Moreau & Hambrick, 2016; Tonello, Reichert, Oliveira-Silva, Del Rosso, Leicht & Boullosa, 2015), en el talento de los nadadores, el entrenamiento efectivo y bien planeado, una recuperación óptima, una dieta equilibrada y factores psicológicos.

El control de este sistema complejo proporciona un equilibrio a los nadadores, que a su vez es percibido por el sistema nervioso central (Rossi, Ricci-Vitor, Sabino, Vanderlei & Freitas, 2014). El sistema nervioso autónomo refleja el equilibrio del sistema nervioso central (Guyton & Hall, 2011) a través de las ramas simpática y parasimpática, pero no está identificado claramente porque varían las respuestas autónomas vagal y cómo esta tiene incidencia en el indicador de aptitud física y el consumo de oxígeno (VO₂).

Se presume que una forma de comprobar estos cambios en la respuesta del sistema vagal, es mediante el registro de la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), una técnica sencilla, económica y no invasiva (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and electrophysiology 1996; Vanderlei et al., 2009).

Está bien documentado en la literatura que un aumento en la VFC es un signo positivo de adaptación al ejercicio, mostrando un individuo sano con mecanismos autónomos eficientes (Sandercock, Bromley & Brodie, 2005; Tonello, Reichert, Oliveira-Silva, Del Rosso, Leicht & Boullosa, 2015). Es digno de mención que el ejercicio físico tiene efectos positivos en el cuerpo humano (Droguett, Santos, Medeiros, Marqués, Nascimento y Brasileiro-Santos, 2015).

Por otra parte, la literatura señala que, según la intensidad del estímulo y el tiempo de recuperación (Soporte Fisiológicos de Aplicación de la carga), el cuerpo puede reaccionar de manera diferente a resultando y en situaciones que impliquen la reducción del rendimiento, es decir, exralimitación y sobre entrenamiento (Bosquet, Merkari, Arvisais & Aubert, 2008.). Por otra parte, la característica del estímulo, es decir, aeróbico o anaeróbico, puede generar diferentes resultados autónomos (Daniłowicz-Szymanowicz, Raczak, Szwoch, Ratkowski & Torunski, 2010), que tienden a normalizarse el día siguiente a la estimulación (Droguett, Santos, Medeiros, Marqués, Nascimento y Brasileiro-Santos, 2015). Por esta razón, es importante que los entrenadores y atletas presten atención a la VFC.

Está claro que el género no es un factor determinante en la respuesta autónoma o una condición para la diferenciación entre personas (Kappus, Ranadive, Yan, Lane-Cordova, Cook, Sun, Harvey, Wilund, Woods & Fernhall, 2015). Sin embargo, el estado de salud de un individuo, por ejemplo, el estrés, influye mucho en el control autónomo

(Jandackova, Scholes, Britton & Steptoe, 2016; J Am Heart Assoc, 2016; Oliveira-Silva y Boullosa, 2015; Aerosp Med Hum Perform, 2015) como un factor en los estudios que examinan la VFC. Por lo tanto, es importante que el estado de salud de los individuos sea estandarizado para poder identificar la variación entre la respuesta autónoma y su relación con el indicador de aptitud física y el VO₂.

En cuanto a la aptitud física del atleta, hay evidencia que muestra que los niveles óptimos de grasa corporal y el VO₂ máx son factores de protección para la salud (Droguett, Santos, Medeiros, Marqués, Nascimento y Brasileiro-Santos, 2015). Aunque cada uno desempeña un papel importante en el control del sistema nervioso autónomo (Oliveira-Silva y Boullosa, 2015; Aerosp Med Hum Perform, 2015), la grasa corporal parece tener una mayor influencia sobre la modulación autónoma (Rossi, Ricci-Vitor, Sabino, Vanderlei & Freitas, 2014).

Según los conocimientos, no existen estudios que hayan investigado los efectos de diferentes microciclos de entrenamiento de natación (es decir, aeróbico, anaeróbico láctico, anaeróbico aláctico) en la modulación autónoma y su relación con la variable de la frecuencia cardiaca y el indicador de la aptitud física. Por lo tanto, el propósito de este estudio es comprobar la respuesta autónoma en diferentes microciclos de entrenamiento de natación y su relación con las diferentes variables en nadadores.

Métodos

Sujetos

Participaron en este estudio siete atletas nadadores pertenecientes a la selección Colombia de natación (4 hombres y 3 mujeres) de 17 a 26 años de edad, 4 hombres entre los 26 y 21 años y 3 mujeres entre los 17 y 21 años con estatura promedio de 1.78 a 1.97 mts y envergaduras entre 1.90 y 2.10 mts, con un peso promedio de 57 y 82 Kg y un % de grasa corporal entre 19.7 y 27.1 con un VO₂ máx entre 42 y 59.5 ml/Kg/min; rankeados internacionalmente por FINA entre los 15 primeros lugares y a nivel de FECNA entre los primeros 5 puestos a nivel nacional.

Todos con más de 12 años de práctica/entrenamiento continuo de la natación con sus diferentes procesos de formación deportiva a través de fases de: Iniciación, Fundamentación, Perfeccionamiento, Rendimiento fase 1, Rendimiento fase 2, Alto rendimiento fase 1 y Alto rendimiento fase 2. Nadadores inscritos a la Liga Vallecaucana de Natación y la Liga Antioqueña de Natación; sin antecedentes en enfermedad crónica conocida (como diabetes, hipertensión, enfermedad cardiovascular y depresión) o uso de drogas que podrían interferir en la evaluación de las variables fisiológicas de los nadadores. Todas las características de los atletas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características Generales de los Atletas Incluidos en el Estudio.

Sujeto	Género	Edad	Peso	Altura	IMC	%GC	VO₂ máx
1	Masculino	20	82.2	1.83	24.55	13.1	52.5
2	Masculino	17	78.1	1.83	23.32	10.2	59.5
3	Masculino	19	76.7	1.68	27.18	8.0	59.5
4	Masculino	26	84.1	1.83	25.11	8.3	59.5
5	Femenino	18	57.0	1.70	19.72	17.0	45.5
6	Femenino	19	57.4	1.68	20.34	21.8	42.0
7	Femenino	20	59.2	1.70	20.48	16.1	45.5
Media ± DE	Masculino	20 ± 3	80.28 ± 3.46	1.79 ± 0.08	25.04 ± 1.61	9.90 ± 2.35	57.75 ± 3.50
Media ± DE	Femenino	19 ± 1	57.87 ± 1.17	1.69 ± 0.01	20.18 ± 0.40	18.30 ± 3.06	44.33 ± 2.02

VO₂max: Consumo Máximo de Oxígeno, IMC: Índice de Masa Corporal

%GC: Porcentaje de Grasa corporal

Procedimientos

La investigación fue de tipo descriptiva, cuantitativa, de campo, diseño no experimental y de corte trasversal. Los datos fueron recolectados en fichas técnicas y hojas de ingeniería diseñadas para tal fin, luego se digitalizaron en el programa Excel para Microsoft versión 2.010 y luego fueron extrapoladas/Exportadas al software versión 12.0, para su respectivo análisis estadístico descriptivo e inferencial y luego trascibirlo.

El estudio se realizó entre los meses de junio del 2015 y se terminó en el mes de agosto del 2015, con una duración de tres (3) meses, la sede que se asignó para la realización de la investigación fue la ciudad de Cali a una altitud de 1.200 msnm, en Piscinas Panamericanas con estándares internacionales. El equipo que participó en la realización del estudio pertenecía al Comité Olímpico colombiano (COC), la Federación Colombiana de Natación (FECNA), Centro de Medicina Del Deporte, los entrenadores asignados a la Selección Colombia de Natación y dos observadores internacionales de la federación Rusa de Natación, que supervisaron todo los métodos y procesos.

Inicialmente, los sujetos fueron sometidos a una evaluación médica y fisiológica (1^a Fase) durante la primera semana de junio entre las 9:00 y 11:00 a.m. La evaluación se realizó teniendo en cuenta los estándares del Colegio Americano de Medicina Deportiva (ASMD), acompañados con pruebas de laboratorio bioquímicas estandarizadas por la Federación Internacional de Medicina Deportiva (FIMD), soporte médico y fisiológico para comprobar que el nadador cumpliera con todos los criterios de inclusión.

Por otra parte, las pruebas de composición corporal se llevaron a cabo bajo los estándares de la International Society for the Advancement of Kineantropometria (ISAK), para estimar el índice de masa corporal (IMC) y el % de grasa corporal.

A continuación, los nadadores fueron sometidos a una prueba de rendimiento de 400 m (v400) en una piscina de 25 metros para determinar el rendimiento aeróbico. Al día siguiente, los atletas realizaron la segunda prueba para evaluar la potencia aeróbica en una pista de atletismo de 400 m. La variabilidad de la frecuencia cardiaca de los sujetos se registró durante 5 min, durante la 2^a, 3^a y 4^a semanas de julio (2^a fase) a las 9:00 a.m. La temperatura ambiente varió entre 17 y 28 °C, con una humedad relativa del 27% calibrada por hidrómetro GHT-56.

Composición Corporal

El peso corporal y la altura se midieron utilizando una balanza calibrada (PL 200, Filizola, Brasil) y un estadiómetro (Seca, Sanny, Brasil), respectivamente. El porcentaje de grasa corporal se estimó a partir de mediciones de pliegues cutáneos. La densidad corporal se calculó utilizando los siete pliegues del protocolo sugerido por Jackson y Pollock (Jackson & Pollock, 1978; Br J Nutr., 1978). Las mediciones fueron realizadas por un único examinador, usando un calibrador de pliegues cutáneos (Lange, Cambridge Scientific Instruments, Cambridge, Maryland, EE.UU.). Despues de calcular la densidad del cuerpo, esta se convierte a porcentaje de grasa utilizando la ecuación propuesta por Siri (Siri, 1961; National Academy of Sciences, National Research Council, 1961).

Estimación de la Potencia Aeróbica

Se aplicaron dos pruebas para estimar la velocidad asociada con el VO₂ máx. Una en un medio acuoso, la prueba V400, en la cual el atleta, después de un precalentamiento de 10 minutos en la piscina a una intensidad moderada 50% de Tiempo de Competencia, nadó a velocidad máxima una distancia de 400 m (Vmax400). Se registró el tiempo total para la distancia recorrida (Lavoie & Montpetit, 1986; Sports Med., 1986), y se realizó otro registro en la pista de atletismo, utilizando la "Prueba de Pista de Université de Montreal" (UMTT). (Léger & Boucher, 1980; Can J Appl Sport Sci., 1980).

Esto se hizo para determinar la velocidad aeróbica máxima de los sujetos (VAM) y, posteriormente, una estimación del consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx) [VAM en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1} \times 3,5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$]. El protocolo comenzó a 7 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, seguido de incrementos de 1 kmh^{-1} cada 2 minutos hasta que el sujeto no pudiera mantener la velocidad impuesta por el ciclista que estableció el ritmo de carrera (Boullosa & Tuimil, 2009; J Strength Cond Res., 2009). Se registró el tiempo total de prueba (TUMTT) (Boullosa & Tuimil, 2009); J Strength Cond Res., 2009), así como la velocidad más alta que el atleta fue capaz de lograr.

Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca

La VFC de los sujetos siempre se registró a las 9 a.m. a diario usando un monitor de frecuencia cardiaca (RS800, Polar Electro Oy, Finlandia), el cual fue validado previamente (Wallén, Hasson, Theorell, Canlon & Osika, 2011; Eur J Appl Physiol. 2011). Se les pidió a todos los sujetos que lleguen al menos 20 minutos antes al centro deportivo. Cuando llegaron, se quedaron quietos durante 15 minutos. Al final del período de tiempo, se registró la VFC durante 5 min. Las mediciones se llevaron a cabo en un espacio sin interferencia o contacto con otros atletas o sujetos.

Las frecuencias cardiacas registradas fueron inspeccionadas visualmente y filtradas de forma manual mediante el software Pro Polar (v 5.35.161, Polar Electro Oy, Finlandia) y, posteriormente, analizadas mediante la VFC Kuopio (v2.0, Universidad de Kuopio, Finlandia). Los parámetros de la VFC analizados fueron: (a) media y desviación de la frecuencia cardiaca (FC) en latidos por minuto; (b) intervalo RR medio (RR); (c) media cuadrática de las diferencias sucesivas entre los intervalos RR normales (RMSSD); (d) media cuadrática de todos los intervalos RR (SDNN); (e) variabilidad de los intervalos RR a corto plazo; (f) gráfico Poincaré latido a latido (DE1); (g) variabilidad del intervalo RR a largo plazo; (h) gráfico Poincaré de latido (DE2); (Azevedo, Brum, Rosemblatt, Perlingeiro, Barreto, Negrão & Matos, 2007; Arq Bras Cardiol, 2007) entropía de muestra (SampEn); y (j) exponente de escala fractal a corto plazo por 4-11 (α_1).

Periodización

Se utilizaron tres protocolos de entrenamiento (microciclos) divididos por una semana. En el 1º microciclo, los sujetos realizaron 13 sesiones de entrenamiento que duraron alrededor de 80 minutos cada una. Las sesiones de entrenamiento se llevaron a cabo los lunes, miércoles y viernes de 9:00 a 10:20 a.m., de 4:00 a 5:20 p.m. y de 7:00 a 8:00 p.m. También, el entrenamiento tuvo lugar los martes y jueves por la mañana de 09:00 a 10:20 a.m. y por la tarde de 4:00 a 5:20 p.m. No hubo una tercera sesión de entrenamiento.

El entrenamiento de la mañana era exclusivamente en la piscina (natación de estilo libre). En la sesión de la tarde, parte del entrenamiento (~ 60 min) se llevó a cabo en la piscina (natación de estilo libre), seguido de 20 minutos de entrenamiento de fuerza en el gimnasio, que se centró en el desarrollo de fuerza y resistencia muscular. Las sesiones de entrenamiento de la noche se llevaron a cabo de la misma manera que las sesiones de la mañana.

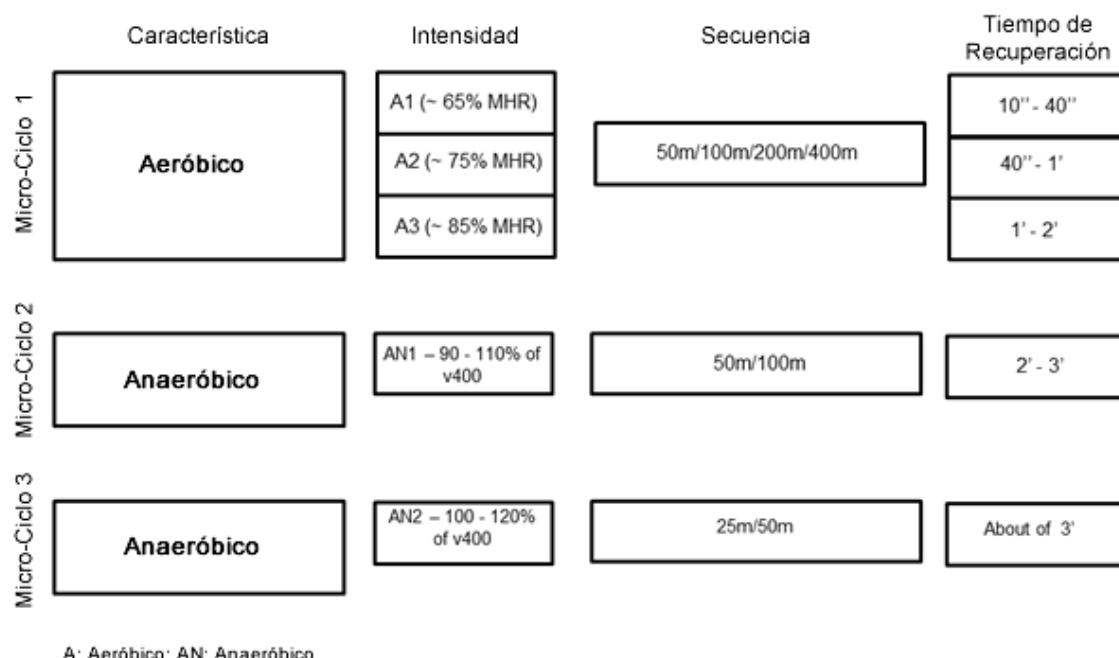
El volumen total del entrenamiento en la piscina fue de 36 km·sem-1. Los sujetos se sometieron a 13 sesiones de entrenamiento, donde las intensidades se alternaron entre: A1 (es decir, FC entre 130 a 140 latidos·min-1); A2 (es decir, FC entre 150 y 160 latidos·min-1), y A3 (es decir, FC entre 170 a 180 latidos·min-1).

Los atletas fueron sometidos a una serie de 50 hasta los 400 metros de natación de estilo libre, con intervalos de descanso de 20 a 40 segundos para la intensidad A1, de 40 a 60 segundos para la intensidad A2, y de 60 a 120 segundos para la intensidad A3. Este entrenamiento destacó el ciclo de entrenamiento aeróbico del estudio.

En el segundo microciclo, las sesiones de entrenamiento tuvieron la misma cantidad de tiempo y se llevaron a cabo en los mismos días y horas del primer microciclo, excepto que, en este período de entrenamiento, los atletas también tuvieron una sesión de entrenamiento el sábado por la tarde (de 04:00 a 5:20 p.m.). El volumen total del entrenamiento en piscina fue de 26 km·sem-1. Los nadadores fueron sometidos a una serie de 50 y 100 metros de natación de estilo libre con la intensidad del 90 al 110% (RLC) de la velocidad media obtenida en la prueba de 400 m (V400). Este entrenamiento destacó el ciclo de entrenamiento anaeróbico láctico del estudio.

En el tercer microciclo, los atletas tuvieron 5 sesiones de entrenamiento que duraron alrededor de 80 minutos cada una, siempre en la mañana de 9:00 a 10:20 a.m. Este entrenamiento destacó el ciclo de entrenamiento de resistencia anaeróbico aláctico (RL) del estudio, así como también puso énfasis en el ritmo, las salidas y las vueltas. Se les pidió a los atletas que realicen los máximos esfuerzos durando hasta 10 segundos (descanso pasivo) con un intervalo de descanso de 180 segundos entre series (Series Rotas).

Gráfico 1. Organigrama de los microciclos aplicados durante el estudio.



Análisis

La normalidad y la homogeneidad de varianza se probaron utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Todos los datos se expresaron como media, desviación estándar y límites de confianza (95%).

Para comparar los valores de variabilidad de frecuencia cardiaca entre (semanas) y dentro de los microciclos (día) se usó un ANOVA mixto, seguido por el test post hoc de Bonferroni. La hipótesis de esfericidad se verificó mediante el test de Mauchly y, cuando se violaron los grados de libertad, fueron corregidos por las estimaciones de Greenhouse-Geisser.

El tamaño del efecto (TE) entre las semanas se evaluó utilizando el Cohen d. Los coeficientes de correlación de Pearson se utilizaron para verificar las relaciones entre los diferentes indicadores de la aptitud física (VO₂ máx y % de grasa corporal) y los marcadores de dominio del tiempo de variabilidad de la frecuencia cardiaca (RMSSD y SDNN).

El nivel de significancia estadística se estableció en $P \leq 0.05$. Todos los datos fueron analizados utilizando el programa SPSS para Windows/v. 22.0 (Statistical Package for the Social Sciences, Chicago, IL, EE.UU.).

Resultados

Todas las características de los atletas se presentan en la Tabla 1.

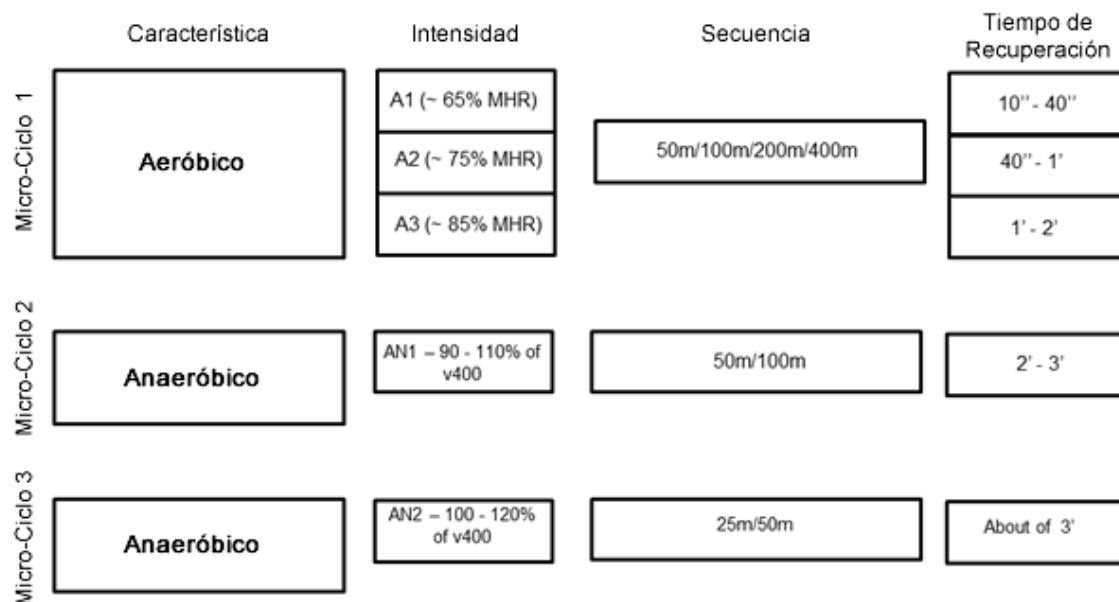
Tabla 2. Características Generales de los Atletas Incluidos en el Estudio.

Sujeto	Género	Edad	Peso	Altura	IMC	%GC	VO ₂ máx
1	Masculino	20	82.2	1.83	24.55	13.1	52.5
2	Masculino	17	78.1	1.83	23.32	10.2	59.5
3	Masculino	19	76.7	1.68	27.18	8.0	59.5
4	Masculino	26	84.1	1.83	25.11	8.3	59.5
5	Femenino	18	57.0	1.70	19.72	17.0	45.5
6	Femenino	19	57.4	1.68	20.34	21.8	42.0
7	Femenino	20	59.2	1.70	20.48	16.1	45.5
Media ± DE	Masculino	20 ± 3	80.28 ± 3.46	1.79 ± 0.08	25.04 ± 1.61	9.90 ± 2.35	57.75 ± 3.50
Media ± DE	Femenino	19 ± 1	57.87 ± 1.17	1.69 ± 0.01	20.18 ± 0.40	18.30 ± 3.06	44.33 ± 2.02

VO₂max: Consumo Máximo de Oxígeno, IMC: Índice de Masa Corporal

%GC: Porcentaje de Grasa corporal

Gráfico 2. Organigrama de los microciclos aplicados durante el estudio.



A: Aeróbico; AN: Anaeróbico

El ciclo de potencia aeróbica presentó indicadores de mayor actividad simpática en comparación con los otros microciclos, mientras que los dos microciclos con características anaeróbicas se relacionaron más con la actividad vagal.

Se observó un aumento absoluto de la actividad vagal en el ciclo anaeróbico láctico, mientras que el ciclo anaeróbico aláctico mostró una disminución en la actividad vagal en comparación con el láctico (Tabla 2).

Tabla 3. Comparación de los Diferentes Indicadores de Variabilidad de la Frecuencia Cardiaca en los Tres Micro-Ciclos de Entrenamiento de Natación.

VFC	Micro-Ciclo 1	Micro-Ciclo 2	Micro-Ciclo 3	P	TE 1º x 2º	TE 1º x 3º	TE 2º x 1º
FC (lpm)	80 ± 5 (75 - 85)	79 ± 7 (72 - 85)	76 ± 4 (72 - 80)	NS	0.18	0.88	0.58
RR (ms)	770.31 ± 46.04 (727.73 - 812.89)	750.88 ± 43.54 (710.61 - 791.15)	801.78 ± 48.34 (757.07 - 846.49)	0.00	0.65	0.44	1.11
SDNN (ms)	102.45 ± 17.84 (85.94 - 118.96)	83.49 ± 16.35 (68.36 - 98.62)	85.06 ± 15.73 (70.51 - 99.61)	0.07	1.15	1.06	0.12
RMSSD (ms)	50.26 ± 11.06 (40.02 - 60.49)	50.88 ± 7.03 (44.38 - 57.39)	48.38 ± 12.78 (36.56 - 60.20)	NS	0.06	0.17	0.24
LF (ms ²)	3076.71 ± 1435.20 (1749.37 - 4404.05)	2449.82 ± 847.60 (1665.91 - 3233.72)	2259.28 ± 1068.08 (1271.47 - 3247.09)	NS	0.53	0.64	0.19
FA (ms ²)	880.51 ± 395.27 (514.94 - 1246.08)	968.02 ± 468.14 (535.06 - 1400.99)	854.05 ± 519.92 (373.20 - 1334.90)	NS	0.20	0.05	0.23
FB/FA (ms ²)	3.52 ± 1.52 (2.10 - 4.93)	3.57 ± 1.03 (2.62 - 4.53)	3.79 ± 0.85 (3.00 - 4.58)	NS	0.04	0.22	0.17
SD1 (ms)	35.64 ± 7.70 (28.51 - 42.77)	36.71 ± 5.01 (32.07 - 41.34)	34.70 ± 8.95 (26.42 - 42.98)	NS	0.16	0.13	0.29
pNN50 (ms)	27.45 ± 4.86 (22.95 - 31.95)	27.38 ± 6.77 (21.11 - 33.64)	24.41 ± 10.09 (15.07 - 33.75)	NS	0.00	0.39	0.36
SampEn	1.10 ± 0.18 (0.93 - 1.28)	1.31 ± 0.22 (1.10 - 1.51)	1.22 ± 0.18 (1.05 - 1.40)	NS	1.04	0.66	0.44
α1	1.38 ± 0.07 (1.31 - 1.45)	1.36 ± 0.05 (1.31 - 1.41)	1.34 ± 0.08 (1.26 - 1.42)	NS	0.33	0.53	0.30

VFC = variabilidad de frecuencia cardiaca; FC = frecuencia cardiaca; RR = intervalo R-R medio; SDNN = desviación estándar para todos los intervalos R-R; RMSSD = media cuadrática de las diferencias sucesivas entre los intervalos R-R sinusales normales; FB = componente de frecuencia baja; FA = frecuencia alta; SD1 = variabilidad del R-R latido a latido a corto plazo del gráfico Poincaré; pNN50 = porcentaje de intervalos R-R normales adyacentes diferentes por más de 50 ms; SampEn = entropía de la muestra; α1 = fluctuaciones sin tendencia estocástica de escala fractal a corto plazo; TE = tamaño del efecto; NS = no significativo

En cuanto a la asociación de los indicadores autónomos con los marcadores de condición física, los resultados sugieren que, como se esperaba, el aumento de la adiposidad se asocia con una menor variabilidad de la frecuencia cardíaca (SDNN) y, por lo tanto, el aumento de la actividad nerviosa simpática ($r = -.76$).

Por otra parte, los resultados indican que un mayor VO₂ máx se asocia con una mayor variabilidad de la frecuencia cardiaca (SDNN), es decir, una mayor actividad vagal ($r = .75$). Del mismo modo, el indicador vagal de dominio de tiempo (RMSSD), mostró que una mayor adiposidad se asocia con una menor actividad vagal ($r = -.36$) y los valores altos de VO₂ máx están asociados con la actividad vagal aumentada ($r = 0.37$), aunque las asociaciones fueran más débiles en comparación con el indicador global de la actividad nerviosa autónoma (SDNN) (Gráfico 3).

Gráfico 3. Indicadores globales de la actividad nerviosa autónoma

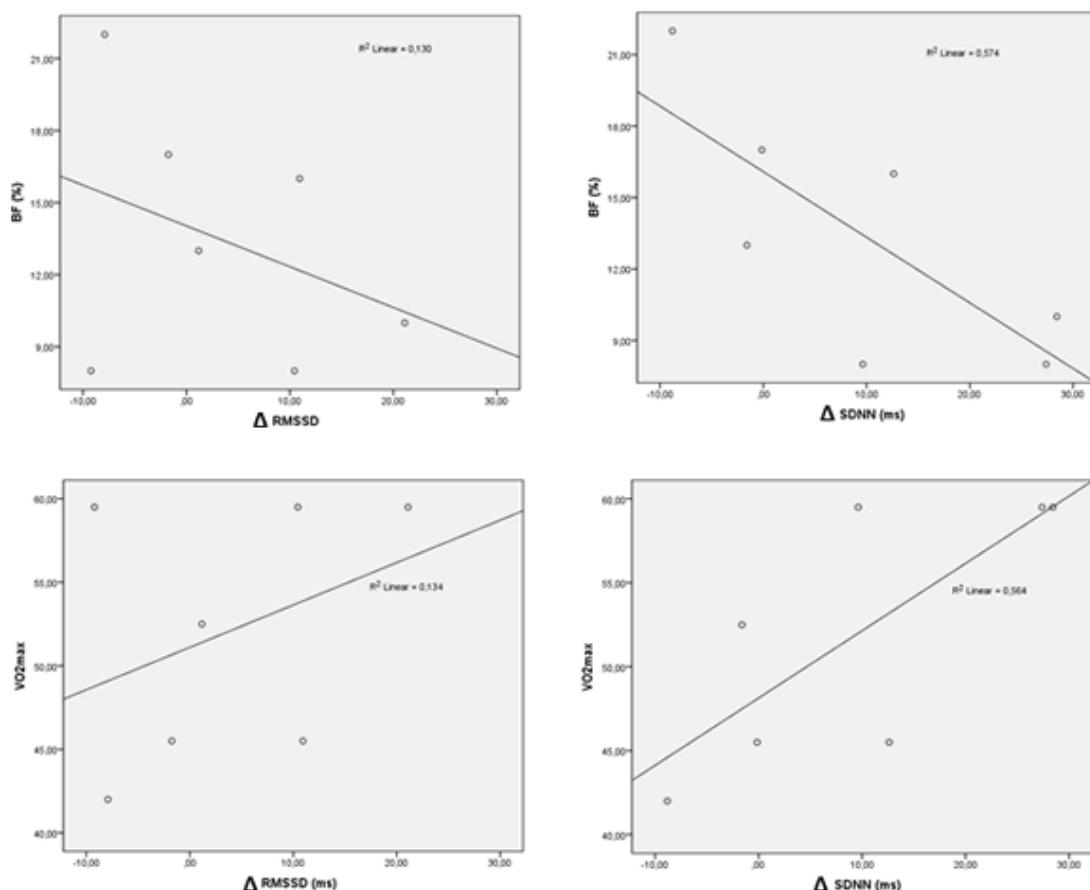


Gráfico 3. Relación entre Δ SDNN (Actividad Simpática) y Δ RMSSD (Actividad Parasimpática) y los Indicadores de Aptitud Física.

Discusión

Este estudio tuvo como objetivo analizar los efectos del Indicador de Aptitud Física, Variable de Frecuencia Cardiaca, Volumen Máximo de Oxígeno sobre la respuesta del sistema vegetativo, monitoreados y evaluados en diferentes microciclos de entrenamiento, aplicados en nadadores de nivel nacional e internacional de la selección Colombia, con un tiempo de entrenamiento/práctica de 12 años consecutivos.

Los principales resultados de este estudio indican que los microciclos de entrenamiento tienen poca influencia en el control autónomo. No obstante, es evidente que existe una relación importante entre la actividad nerviosa autónoma y la potencia aeróbica. Los resultados confirman que los dos indicadores de la aptitud física (el % de grasa corporal y el VO₂ máx) impactan en el control simpático-vagal, en especial en la actividad simpática que tiende a aumentar.

Es de interés mencionar, que no existe un consenso en la literatura sobre las respuestas autónomas inducidas por el entrenamiento específico de natación. Duarte et al. (2015), reportaron mayores niveles de actividad vagal bajo el entrenamiento aeróbico. Por otra parte, Caruso y sus colegas (2016), descubrieron un aumento en la actividad simpática inducido por el entrenamiento aeróbico, que era posiblemente debido a la relación descrita por Rossi et al. (2014). Ellos demostraron que la grasa corporal es el componente de aptitud física de los nadadores que influye en la actividad autónoma.

En comparación con varios estudios sobre la respuesta del balance simpático y parasimpático (RVSP), el índice de la variación de la frecuencia cardiaca (VFC) y el

consumo de O₂ (Vo_{2max}) y su incidencia directa o indirectamente sobre estos a través de sesiones de entrenamiento aeróbico, aeróbico aláctico, anaeróbico láctico; evaluados y monitoreados a través de microciclos de entrenamiento o compitiendo.

Un primer estudio fue realizado en el 2016 en la Universidad de Granada, en la Maestría en Fisiología Aplicada al Ejercicio, con ciclistas de ruta de nivel nacional de España y evaluados en 1 semana de entrenamiento Aeróbico. Hubo un manejo de 108 kilómetros por sesión, frecuencia cardiaca de entrenamiento promedio de 168-175 ppm, velocidades promédiales entre 48 y 52 Km/h; con 16 ciclistas, 8 mujeres y 8 hombres; demostrando que tiene un aumento significativo en trabajos Aeróbico (tierra) y la respuesta del balance autónomo sobre la baja frecuencia; y una alta frecuencia posterior al entreno, presentó una baja significativa de la alta frecuencia durante la recuperación lo que significa aumento en la actividad de la recuperación parasimpática.

Un segundo estudio se realizó en la Universidad católica de Murcia 2.017 donde se investigó acerca del ejercicio Aeróbico y su incidencia sobre la función cerebral y el sistema nervioso, se evaluaron atletas, triatletas y ciclistas de rendimiento y alto rendimiento, con edades promedios entre 18-35 años, donde se evaluó el sistema autónomo central evocado (ERPS), funcionamiento del sistema nervioso autónomo y la respuesta cardiovascular evocada a eventos, demostrando que los atletas de mejor condición aeróbica mantuvieron una mejor amplitud en el potencial P3, comportamiento bidireccional entre el sistema nervioso central y periférico; este asociado a los deportistas de mejor condición cardiovascular. Se observó una mejor y mejor respuesta a nivel neuronal indicado por un aumento en el potencial cortical llamado: Contingent Negative Variation (CNV) y reflejado a nivel periférico sobre el músculo esquelético (recuperatorio).

Y un tercer estudio fue realizado en el centro andaluz de medicina deportiva en el 2009 donde se estudió la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV) en un deportista juvenil durante una competencia de Badminton de máximo nivel (Microciclo Anaerobio Láctico). El objetivo fue analizar la variabilidad de la frecuencia cardiaca en reposo, tras jugar un partido a muy alta intensidad, donde se observó un descenso progresivo en la variación de la frecuencia cardiaca media, observados en los ejes trasversales del electrocardiograma se redujo el gráfico de Poincaré, mientras que en los ejes longitudinales apenas se modificaron, los tacogramas de la toma basal y después de cada partido reflejaron un descenso de la VFC desde el primer partido. Como conclusión se puede decir que, al acumular partidos (5 partidos seguidos) se observó una reducción de la VFC llegando a valores que se tomaron en reposo, lo que sería considerado riesgoso para la salud cardiovascular del deportista (SDRR de 34.07ms y PDR 50% igual a 0.68%). Esto indica el desequilibrio autónomo que provoca un aumento en la estimulación simpática sobre la FC, y, se relaciona más a una inhibición de la actividad parasimpática y a una mayor simpática.

Con estos resultados parece evidente que no solo las características del entrenamiento conducen a la respuesta autónoma. Este trabajo de investigación y su comparación con otros estudios muy parecidos donde se valoró tres contantes: Índice de aptitud física, Variación de la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno y el IMC, y cómo estas influencias e inciden sobre el sistema nervioso y su modulación autónoma durante el entreno, hace posibles unas conclusiones parciales sobre los microciclos aplicados en estudios como son: microciclos de potencia aeróbica, producen aumentos en la respuesta autónoma en comparación con otros microciclos, en los microciclos de potencia anaeróbica láctica, se observó un aumento absoluto en la actividad vagal en comparación con otros microciclos y en los microciclos anaeróbico alácticos se observó una baja en la

respuesta vagal en comparación con otros microciclos. Y por efecto de la disminución de la actividad simpática y aumento de la parasimpática se produce el descenso de la frecuencia cardiaca en reposo (bradicardia), por disminución del ritmo de la descarga nodo sinoauricular.

Sin embargo, se enfatiza que el tiempo utilizado para cada ciclo de entrenamiento (es decir, 3 semanas) puede haber tenido resultados limitantes. Vernillo et al. (2015), demostró con corredores (atletismo), cambios autónomos significativos con 8 semanas de entrenamiento.

Otro factor que merece una mención es el cambio en la intensidad del entrenamiento, que parece tener poca influencia en el control autónomo de acuerdo con el estudio de Azevedo et al. (2007). Este estudio informó que la falta de diferencias significativas durante las fases del entrenamiento puede ser debido al alto nivel de VO₂ máx de los atletas, que parece ser reforzado por Rossi et al. (2014). Además de este punto, está el factor “ansiedad” que tiene lugar en la competencia y se conoce en la Psicología del deporte como “fiebre de arrancada previa”. Asimismo, el tamaño de la muestra en el presente estudio puede haber minimizado los resultados, aunque la muestra fue formada por los mejores nadadores a nivel Nacional (Nivel Nacional FECNA rankeados entre los 5 primeros puestos, pero rankeados internacionalmente entre los primeros 15 puestos primeros, según la FINA).

Se necesitan más estudios para investigar la relación entre la grasa corporal y ΔRMSSD. De hecho, los nadadores con menor porcentaje de grasa corporal tuvieron grandes cambios en las últimas 3 semanas de entrenamiento, que están avalados en la literatura (Rossi, Ricci-Vitor, Sabino, Vanderlei & Freitas, 2014). Por lo tanto, RMSSD es un buen indicador para comprender la fatiga del atleta y, en consecuencia, sirve como un parámetro para la prescripción técnica del entrenamiento (Macrosciclos de Entrenamiento).

Sin embargo, en la actualidad no está claro cuál es la intensidad del cambio. Es importante tener en cuenta que el método de registro de la VFC (es decir, 5 min), la postura de los sujetos, el número de registros, la intensidad de las sesiones, y el período de recuperación de la finalización del registro al día siguiente, pueden haber influido en los resultados (Boullosa, Barros, Del Rosso, Nakamura & Leicht, 2014; Int J Sports Med, 2014; Plews, Laursen, Kilding & Buchheit, 2012; Eur J Appl Physiol, 2012; Young & Leicht, 2011; Appl Physiol Nutr Metab, 2011).

Conclusiones

Los microciclos de entrenamiento de natación ejercieron pocos cambios en el control autónomo después del período de recuperación. Sin embargo, hay evidencia de una relación “aparente” entre el entrenamiento de potencia aeróbica y la actividad simpática, mientras que la actividad vagal es más evidente durante el entrenamiento anaeróbico láctico.

El % de grasa corporal está asociada a la baja deplección de glucógeno, a la baja de acidosis láctica, los ácidos grasos libres (AGL) son transportados desde el citoplasma hasta la mitocondria por la activación de la enzima carnitina transferasa y el VO₂ máx, estos influenciados por el control simpático-vagal manifestándose en mejora de la eficiencia mecánica y metabólica atero-venosa y cardiaca.

El % de grasa presentó una gran influencia sobre el aumento de la actividad simpática. Con relación al índice de aptitud física y la frecuencia cardiaca de recuperación; este se asocia a los índices menores de catecolaminas, de esta manera las mitocondrias necesitan

menos oxígeno para el mismo gasto cardíaco asociado a los cambios de los barorreceptores y quimiorreceptores nerviosos.

Se considera que parte de los cambios que se presentan en el presente estudio, a diferencia de los otros estudios comparativos, son producidos por los cambios ortostáticos corporales que se dan en natación efectuados a través de los cambios de planos anatómicos en piscina, posiciones segmentarias, rotaciones de ejes, cambios en la física, adaptaciones ortostáticas de órganos internos, cambios hemodinámicos y presurización del corazón, efectos ortostáticos sobre el sistema nervioso central y periférico, simpático y parasimpático que se dan en tierra pero que se incrementan en el medio acuático y subacuático.

Agradecimientos

A todos los nadadores y especialmente a la Universidad del Valle y su Maestría en Fisiología del Deporte, Centro de Medicina del Deporte, Gerencia para el fomento del Deporte del Valle del Cauca, Liga de Natación de Antioquia, Liga de Natación del Valle del Cauca, el Comité Olímpico Colombiano (COC) y la Federación Nacional De Natación De Colombia (FECNA) que abrió sus puertas a la investigación y el conocimiento.

Componente Bioético

Se tuvieron en cuenta para prevalecer las conductas, la vida y el medio ambiente de los participantes, protocolos internacionales avalados para este tipo de investigaciones por la Federación Internacional de Natación Amateur (FINA), Comité Olímpico Colombiano (COC) y la Federación Colombiana De Natación (FECNA) dándoles una charla técnica y médica previa explicativa a través de los médicos de la Asociación Colombiana de Medicina del Deporte (AMCD) y luego se les hizo llenar un consentimiento bioético donde aceptaban la participación y quedaban claras las pruebas y exámenes a practicarles durante la investigación referenciados en: “Manual de consentimiento Bioético de la Federación Internacional De Natación Amateur”, Formulario para nadadores fechados GFT-K pág. 536-537 y la del “Comité Olímpico Colombiano”, Ficha técnica y encuesta para deportistas inscritos y avalados; participantes en investigaciones médicas- Manual FPN21-78 pág. 102-104.

Referencias

- Azevedo LF, Brum PC, Rosemblatt D, Perlingeiro OS, Barreto ACP, Negrão CE, Matos LDNJ. (2007). *Características cardíacas y metabólicas de corredores de longa distância do ambulatório de cardiologia do esporte e exercício, de um hospital terciário*. Arq Bras Cardiol. 2007;88(1):17-25.
- Billman GE. (2011). *Heart rate variability – A historical perspective*. Front in Physiol. 2011; 29(2):86-91.
- Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, Aubert AE. (2008). *Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature*. Br J Sports Med. 2008;42(9): 709-714.
- Boullosa DA, Barros ES, Del Rosso S, Nakamura FY, Leicht AS (2014). *Reliability of heart rate measures during walking before and after running maximal efforts*. Int J Sports Med. 2014;35(12):999-1005.
- Boullosa DA, Tuimil JL. (2009). *Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols*. J Strength Cond Res. 2009;23(5):1560-1565.
- Caruso FR, Bonjorno JC Jr, Arena R, Phillips SA, Cabiddu R, Mendes RG, Arakelian VM, Bassi D, Borghi-Silva A. (2016). *Hemodynamic, autonomic, ventilatory, and*

- metabolic alterations after resistance training in patients with coronary artery disease: A randomized controlled trial.* Am J Phys Med Rehabil
- Daniłowicz-Szymanowicz L, Raczak G, Szwoch M, Ratkowski W, Toruński AB. (2010). *The effect of anaerobic and aerobic tests on autonomic nervous system activity in healthy young athletes.* Biol. Sport. 2010; 27:65-69.
- Droguett VSL, Santos AC, Medeiros CE, Marques DP, Nascimento LS, Brasileiro-Santos MS. (2015). *Cardiac autonomic modulation in healthy el Derby after different intensities of dynamic exercise.* Clin Interv Aging. 2015; 10:203-208.
- Duarte A, Soares PP, Pescatello L, Farinatti P. (2015). *Aerobic training improves vagal reactivation regardless of resting vagal control.* Med Sci Sports Exerc. 2015;47(6): 1159-1167.
- Guyton AC, Hall JE. (2011). *Tratado De Fisiología Médica.* (12th Edition). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan
- Jackson AS, Pollock ML. (1978). *Generalized equations for predicting body density of men.* Br J Nutr. 1978;91(1):161-168.
- Jandackova VK, Scholes S, Britton A, Steptoe A. (2016). *Are changes in heart rate variability in middle-aged and older people normativa or caused.* J Am Heart Assoc. 2016;5(2).
- Kappus RM, Ranadive SM, Yan H, Lane-Cordova AD, Cook MD, Sun P, Harvey IS, Wilund KR, Woods JA, Fernhall B. (2015). *Sex differences in autonomic function following maximal exercise.* Biol Sex Differ. 2015; 6:28.
- Lavoie JM, Montpetit RR. (1986). *Applied physiology of swimming.* Sports Med. 1986; 3:165-189.
- Léger L, Boucher R. (1980). *An indirect continuous running multistage field test: The Université de Montréal track test.* Can J Appl Sport Sci. 1980;5(2):77-84.
- Macnamara BN, Moreau D, Hambrick DZ. (2016). *The relationship between deliberate practice and performance in sports: A meta-analysis.* Perspect Psychol Sci. 2016;11 (3):333-350.
- Oliveira-silva I, Boullosa DA. (2015). *Physical fitness and dehydration influences on the cardiac autonomic control of fighter pilots.* Aerosp Med Hum Perform. 2015;86(10): 875-880.
- Plews DJ, Laursen PB, Kilding AE, Buchheit M. (2012). *Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison.* Eur J Appl Physiol. 2012;112(11):3729-3741.
- Rossi FE, Ricci-Vitor AL, Sabino JP, Vanderlei LC, Freitas IF Jr. (2014). *Autonomic modulation and its relation with body composition in swimmers.* J Strength Cond Res. 2014;28(7):2047-2053.
- Sandercock GR, Bromley PD, Brodie DA. (2005). *Effects of exercise on heart rate variability: Inferences from meta-analysis.* Med Sci Sports Exerc. 2005;37(3):433-439.
- Siri W. Body composition from fluid spaces and density. Analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A. (Editors). (1961). *Techniques for Measuring Body Composition.* Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, 1961, p. 223-244.
- Sullivan GM, Feinn F. (2012). *Using effect size - or why the P value is not enough.* J Grad Med Educ. 2012;4(3):279-282.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and electrophysiology. (1996). *Heart rate variability. Standards of*

- measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*. 1996; 93:1043.
- Tonello L, Reichert FF, Oliveira-Silva I, Del Rosso S, Leicht, AS, Boullosa, DA. (2015). *Correlates of heart rate measures with incidental physical activity and cardiorespiratory fitness in overweight female workers*. *Front Physiol*. 2015; 6:405.
- Vanderlei LCM. et al. (2009). *Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica*. *Revista Brasileira Cirurgia Cardiovascular*. 2009;24(2):205-217.
- Vernillo G, Agnello L, Barbuti A, Di Meco S, Lombardi G, Merati G, La Torre A. (2015). *Post exercise autonomic function after repeated-sprints training*. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(11):2445-2455.
- Wallén MB, Hasson D, Theorell T, Canlon B, Osika W. (2011). *Possibilities and limitations of the Polar RS800 in measuring heart rate variability at rest*. *Eur J Appl Physiol*. 2011; 112(3):1153-1165.
- Young FL, Leicht AS. (2011). *Short-term stability of resting heart rate variability: Influence of position and gender*. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(2):210-218.