

Monograph

La Inhibición Parasimpática Durante el Test de Aptitud Física Intermitente 30-15 Correlaciona con su Velocidad Máxima de Carrera en Jugadores de Balonmano de Sexo Masculino

Fábio Y Nakamura¹, Luiz A Perandini^{1,2}, Patricia Chimin¹, Nilo M Okuno¹, Jorge R Perrou De Lima³ y Martin Buchheit⁴

¹Universidade Estadual de Londrina - UEL/ Centro de Educação Física e Esporte, Londrina, Brasil.

²Centro Universitário Padre Anchieta, Jundiaí, Brasil.

³Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

⁴Picardie Jules Verne University, Amiens, Francia.

RESUMEN

Los parámetros de inhibición parasimpática estimados durante el ejercicio progresivo continuo han sido utilizados como índices aeróbicos. Los propósitos de este trabajo fueron a: 1) estudiar el patrón de inhibición parasimpática durante un test de aptitud intermitente (30-15_{IFT}) y, 2) determinar la relación entre los parámetros de inhibición parasimpática estimados durante el 30-15_{IFT}, y su velocidad máxima de carrera (V_{IFT}). Trece jugadores de balonmano de sexo masculino realizaron el 30-15_{IFT}. Se estimaron los índices de variabilidad de frecuencia cardíaca (HRV) cada 45 s a lo largo del 30-15_{IFT} hasta alcanzar el 85% de frecuencia cardíaca máxima o 15 km.h⁻¹, y posteriormente fueron graficados en función del tiempo de estimación de los parámetros de inhibición parasimpática [τ , amplitud (A) y área bajo la curva (AUC)]. La inhibición parasimpática describió una curva que se ajustó a una función de disminución mono-exponencial ($r^2=0,96-0,97$). Los parámetros de inhibición parasimpática t y A mostraron una correlación leve con V_{IFT} ($r=0,29-0,46$, $p>0,05$), mientras que AUC mostró una correlación moderada-fuerte con V_{IFT} ($r=0,64-0,80$, $p<0,05$). Por lo tanto, el AUC obtenida por el modelo de disminución mono-exponencial durante el 30-15_{IFT} puede ser considerado como índice aeróbico del ejercicio intermitente.

Palabras Clave: ejercicio, variabilidad de frecuencia cardíaca, control autónomo, balonmano

INTRODUCCION

Diferentes investigaciones han descrito la inhibición parasimpática durante el ejercicio progresivo como una curva de disminución monoexponencial determinada por los índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca (HRV) (1-5). Lewis et al. (6) calcularon la tasa de inhibición parasimpática estimando la intensidad del ejercicio asociada con la reducción de 50% en la potencia del ancho de banda de alta frecuencia (HF) de la densidad de potencia espectral total, ajustada según la frecuencia de respiración, durante ejercicio progresivo realizado al 85% de frecuencia cardíaca máxima (HR máx.). Esta intensidad presentó una elevada correlación con la potencia aeróbica máxima, lo que sugeriría que los parámetros relacionados al sistema vagal podrían proporcionar un índice indirecto de rendimiento aeróbico. Es importante destacar que después de que se alcanza el punto de compensación respiratoria, la HRV puede aumentar como resultado de los efectos mecánicos de una actividad ventilatoria elevada en el nodo sinusal (7-9), independientemente de la influencia vagal. Por consiguiente, detener el registro de HRV en las intensidades submáximas parecería evitar que se incluya este fenómeno.

El método propuesto por Lewis et al. (6) para sujetos jóvenes, utiliza la frecuencia respiratoria en cada fase, para definir el límite superior del ancho de banda de HF. Entonces, es necesario contar con algún analizador de gases, lo que hace que sea poco práctico para los entrenadores y preparadores físicos.

Por lo tanto, se necesitan cálculos de HRV más simples que no requieran mediciones respiratorias para evaluar el rendimiento aeróbico en los tests no exhaustivos. Este tipo de métodos sería de interés práctico para la evaluación deportiva ya que evitan la fatiga severa, permitiendo realizar valoraciones de aptitud cardiorrespiratoria sin alcanzar esfuerzos máximos en atletas (sobre todo en presencia de lesiones o sobreentrenamiento agudo) y en personas que no son atletas.

Nosotros previamente hemos estimado el área bajo la curva (AUC) entre las medidas de HRV [esto es, la raíz cuadrática media de las diferencias de intervalos RR normales sucesivos - RMSSD; y la desviación estándar a corto plazo proveniente del gráfico de Poincaré - SD1] y el tiempo hasta alcanzar el 85% de HR máx. en el test progresivo de carrera de ir y volver de 20-m de Léger (10). Estos índices de inhibición parasimpática presentaron una alta correlación con la velocidad aeróbica máxima. Así, al igual que Lewis et al. (6), nosotros proporcionamos un método submáximo para valorar la aptitud cardiorrespiratoria, pero empleando una técnica más sencilla que no requiere realizar mediciones respiratorias.

Hasta la fecha, ningún estudio fue realizado para demostrar si es posible observar la inhibición parasimpática y además si se relaciona con el rendimiento en los protocolos intermitentes progresivos. El test de aptitud física intermitente 30-15 (30-15_{IFT}) es una prueba de campo aplicada para atletas que realizan deportes de equipo, que consiste en etapas progresivas de carrera, intercaladas con períodos cortos de recuperación pasiva (11). Además de ser confiable, se sabe que la velocidad máxima de carrera intermitente que se alcanza en 30-15_{IFT} (V_{IFT}) está relacionada con el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.), y también con capacidades de salto y de esprint de 10-m (11). Así, la V_{IFT} puede ser considerada una medida integrada de diferentes características necesarias en los deportes de equipo (11), especialmente con respecto a la aptitud cardiorrespiratoria (11,12).

Los objetivos del trabajo fueron: (a) estudiar el patrón de inhibición parasimpática durante un test intermitente (es decir, 30-15_{IFT}) y; (b) determinar la relación entre los parámetros de inhibición parasimpática, estimados usando el índices de HRV durante el test 30-15_{IFT} y la aptitud cardiorrespiratoria (es decir, V_{IFT}). Planteamos la hipótesis que se produciría una reducción progresiva en el flujo parasimpático a lo largo del test, y que los parámetros específicos de inhibición parasimpática se correlacionarían significativamente con V_{IFT} .

METODOS

Sujetos

Un grupo de 13 jugadores de balonmano de sexo masculino de nivel nacional (edad: $23,8 \pm 4,1$ años; talla, $184,5 \pm 0,1$ cm; peso, $86,4 \pm 11,3$ kg; VO_2 máx.: $47,2 \pm 2,0$ mL.kg⁻¹.min⁻¹, HR en reposo sentados: $72,4 \pm 10,5$ lat.min⁻¹, experiencia en entrenamiento, $12,2 \pm 3,9$ años) participaron en esta investigación.

Estaban en la etapa de "preparación general" para la competencia principal (Campeonato Brasileño). Los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio. El mismo fue aprobado por el Comité de Revisión de

Ética Humana de la Universidad. El tamaño de la muestra fue calculado, asumiendo un valor mínimo para obtener una correlación fuerte ($r=0,80$) (13) entre las variables en estudio, y considerando un β de 0,80 y un α de 0,05. El tamaño muestral estimativo, necesario para realizar el estudio fue de 9 atletas (*Medcalc® v 9,2,1,0*).

Procedimientos

Protocolo Experimental

Los procedimientos se llevaron a cabo en dos días diferentes, separados por un mínimo de 48 h. En el primer día, se realizaron las primeras cinco etapas del 30-15_{IFT} para familiarizar a los sujetos con el test, mientras que en el segundo día, se solicitó a los jugadores que realicen el test hasta el agotamiento para realizar la recolección completa de datos. Antes de realizar el test 30-15_{IFT}, siguiendo las recomendaciones del fabricante, se colocó en el pecho de cada sujeto, un cinturón de transmisión con un electrodo y los atletas debieron permanecer sentados 10-min en un cuarto tranquilo para determinar la HRV en reposo. Los participantes podían respirar espontáneamente pero no hablar, ya que la tasa respiratoria normal no produce índices derivados de HR significativamente diferentes respecto de la respiración controlada (14).

Posteriormente, realizaron una entrada en calor estándar que consistió en 10-min de trote y caminata de baja intensidad. A continuación, los sujetos descansaron pasivamente durante 5-min antes de comenzar el test. Se solicitó a los sujetos que no realizaran actividad física intensa en las 24-h previas al test. También se les solicitó que permanecieran en ayuno en las 3-h previas al test, y que no ingirieran bebidas con cafeína y alcohol durante las 24-h previas al test.

Test de Aptitud Intermitente 30-15

El 30-15_{IFT} fue realizado según los procedimientos descritos por Buchheit (11). Brevemente, los atletas realizaron 30 s de carrera de ir y volver, intercalada con 15 s de recuperación pasiva, con una velocidad inicial de 10 km.h⁻¹, que se iba incrementando 0,5 km.h⁻¹ cada 45 s. El 30-15_{IFT} fue realizado mediante una carrera de ir y volver de 40 m de distancia, en donde el sujeto tenía que correr de un lado a otro siguiendo un ritmo marcado por una señal sonora grabada, de modo que en cada sonido corto los sujetos debían estar dentro de zonas de 3 m en cada extremo o en el medio de la pista. Durante el período de recuperación de 15 s, los atletas caminaban hacia delante hasta la línea más cercana, donde comenzarían la próxima etapa en posición de pie. Se definió el agotamiento como la incapacidad para recorrer la distancia siguiendo el ritmo de la señal de audio en tres ocasiones consecutivas. La última etapa completada (V_{IFT}) fue utilizada para estimar el VO_2 máx. utilizando la siguiente ecuación, propuesta por Buchheit et al. (15):

$$VO_2 \text{ máx. (mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = 28,3 - (2,15 \times G) - (0,741 \times A) - (0,0357 \times W) + (0,0586 \times AG \times V_{IFT}) + (1,03 \times V_{IFT})$$

Donde G es el género (mujeres = 2; varones = 1), AG es la edad, y W es el peso.

Análisis de Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca

Los intervalos RR grabados durante los 10 min de descanso y a lo largo del 30-15_{IFT} fueron extraídos y editados manualmente de modo que los artefactos y latidos no sinusales pudieran ser reemplazados por interpolación de los intervalos RR normales adyacentes. Se sabe que el dispositivo de registro RR (*Protrainer 4,0 Polar, Electro Polar, Kempele, Finlandia*) es tan confiable como los electrocardiogramas estándar (16,17). El análisis del dominio temporal y de los gráficos de Poincaré (*HRV Analysis Software v1.1, Biosignal Laboratory, University of Kuopio, Finlandia*) se llevó a cabo en los 30-15_{IFT} cada 45 s (es decir, la duración de una fase completa más el período de recuperación respectivo), debido a que los parámetros de HRV utilizados en este estudio explican la no estacionariedad de los datos.

Análisis del Dominio Temporal

Los intervalos RR fueron analizados a través de la raíz cuadrática media de las diferencias de intervalos RR normales sucesivos (RMSSD).

Análisis de los Gráficos de Poincaré

Cada intervalo RR fue graficado como una función del intervalo RR anterior en un gráfico de dispersión, y se calculó la desviación estándar de los datos de la variabilidad instantánea latido por latido (SD1).

Determinación de los Parámetros de Inhibición Parasimpática

Los valores de SD1 o RMSSD calculados en los últimos 5 min con los sujetos sentados y en reposo y en cada etapa de 45 s del 30-15_{IFT} fueron ajustados según una curva de disminución exponencial de primer orden:

$$y = y_0 + A \cdot e^{-x/\tau}$$

Donde, y = RMSSD o SD1 (ms); A = amplitud (ms); x = tiempo (s); τ =constante de tiempo (s).

Luego de ajustar los datos de SD1 y RMSSD a la curva de disminución exponencial de primer orden, se estimó el área bajo la curva (AUC) a partir de una función integrada [adaptada de Perandini et al. (10)] (*Microcal Origin 6.0 Northampton, EE.UU.*).

Para estimar los parámetros de inhibición parasimpática (A , τ y AUC; Figura 1), los datos de SD1 y de RMSSD fueron calculados hasta que se alcanzara la fase correspondiente al 85% de HR máx. (SD1 85% HR máx. y RMSSD 85% HR máx.), mediante procedimientos adaptados de los publicados por Lewis et al. (6). La inhibición parasimpática fue valorada hasta esta intensidad relativa, porque después del umbral respiratorio de compensación (~85% de HR máx.), la combinación entre un gran retorno de sangre venosa y una actividad ventilatoria alta, induce estímulos mecánicos y de estiramiento exacerbados en el nodo sinusal del corazón. Este fenómeno eléctrico inducido provoca incrementos de HRV independiente de la actividad vagal (9). Es más, nosotros también usamos los datos de SD1 y RMSSD hasta una fase fija de 15 km.h⁻¹ (SD1 15 km.h⁻¹ y RMSSD 15 km.h⁻¹) para evitar que los mejores atletas alcancen mayores AUC debido a su menor HR en una intensidad dada (5).

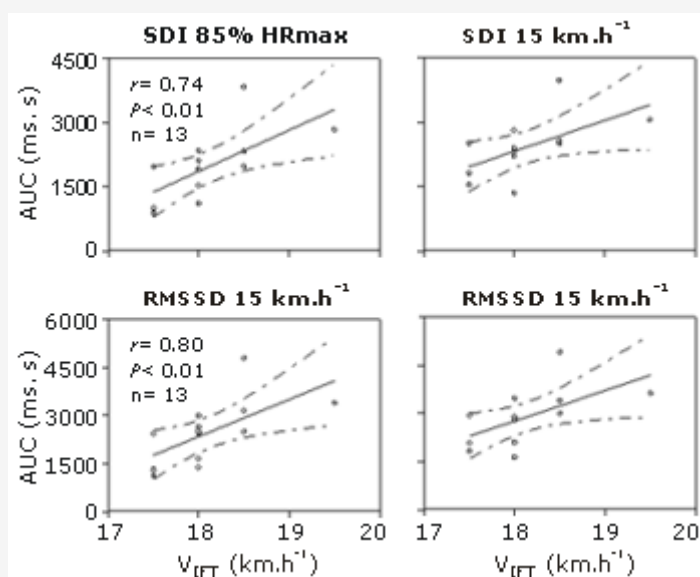


Figura 1. Esquema de estimación de la amplitud (A), tau (τ) y área bajo la curva (AUC) durante el test de aptitud intermitente 30-15 ($30-15_{ITT}$). Análisis Estadísticos.

Los resultados se expresaron en forma de media \pm desviación estándar (Media \pm DS). La distribución Gaussiana de los datos fue corroborada por la prueba Kolmogorov-Smirnov (con la corrección de Lilliefors). Los coeficientes de correlación por rangos de Spearman fueron utilizados para cuantificar las relaciones entre los parámetros de inhibición parasimpática y V_{ITT} , mientras que para establecer las relaciones entre los parámetros de inhibición parasimpática se utilizó la correlación momento producto de Pearson. Este mismo análisis fue utilizado para determinar la asociación entre HR_B y la HRV en reposo, con los parámetros de inhibición parasimpática y rendimiento. El nivel de significancia estadística fue fijado en $p < 0,05$. El análisis de los datos fue realizado completamente con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS), versión 13.0 para Windows.

RESULTADOS

Los coeficientes de determinación (r^2) para el ajuste de las curvas de SD1 y RMSSD hasta el momento en que se alcanzó el 85% HR máx., y para SD1 y RMSSD hasta alcanzar 15 km.h⁻¹ en los $30-15_{ITT}$, fueron todos elevados (Tabla 1). En la Tabla 1 se presentan los parámetros de inhibición parasimpática.

	r^2	A (ms)	τ (s)	AUC (ms.s)
SD1 85% HR máx.	0,96 \pm 0,07	31,95 \pm 19,35	37,29 \pm 31,28	1975 \pm 794
RMSSD 85% HR máx.	0,97 \pm 0,04	45,88 \pm 26,86	36,14 \pm 24,56	2483 \pm 997
SD1 15 km.h ⁻¹	0,96 \pm 0,05	34,17 \pm 18,83	43,18 \pm 33,68	2416 \pm 697
RMSSD 15 km.h ⁻¹	0,96 \pm 0,04	45,08 \pm 26,66	42,56 \pm 30,14	2882 \pm 879

Tabla 1. Valores de los coeficientes de determinación (r^2) del ajuste a las curvas de disminución exponencial de primer orden y de la amplitud resultante (A), constante de tiempo (τ) y área bajo la curva (AUC).

Las relaciones entre A y τ , con V_{IFT} fueron todas bajas y no significativas (SD1 85% HR máx.: A vs. V_{IFT} , $r=0,36$, $p=0,22$; τ vs. V_{IFT} , $r=0,30$, $p=0,32$; RMSSD 85% HR máx.: A vs. V_{IFT} , $r=0,36$, $p=0,22$; τ vs. V_{IFT} , $r=0,46$, $p=0,11$; SD1 15 km.h⁻¹: A vs. V_{IFT} , $r=0,39$, $p=0,21$; τ vs. V_{IFT} , $r=0,36$, $p=0,25$; RMSSD 15 km.h⁻¹: A vs. V_{IFT} , $r=0,31$, $p=0,30$; τ vs. V_{IFT} , $r=0,29$, $p=0,34$). Por otra parte, las estimaciones del AUC derivadas de las diferentes curvas de ajuste presentaron una correlación moderada a fuerte y significativa con V_{IFT} (Figura 2). Las correlaciones entre A y AUC también fueron moderadas (SD1 85% HR máx.: A vs. AUC, $r=0,69$, $P < 0,01$; RMSSD 85% HR máx.: A vs. AUC, $r=0,70$, $P < 0,01$; SD1 15 km.h⁻¹: A vs. AUC, $r=0,79$, $p < 0,01$; RMSSD 15 km.h⁻¹: A vs. AUC, $r=0,77$, $p < 0,01$), lo que sugiere que los valores de HRV iniciales altos se traducen en mayores AUC asociadas a la inhibición parasimpática.

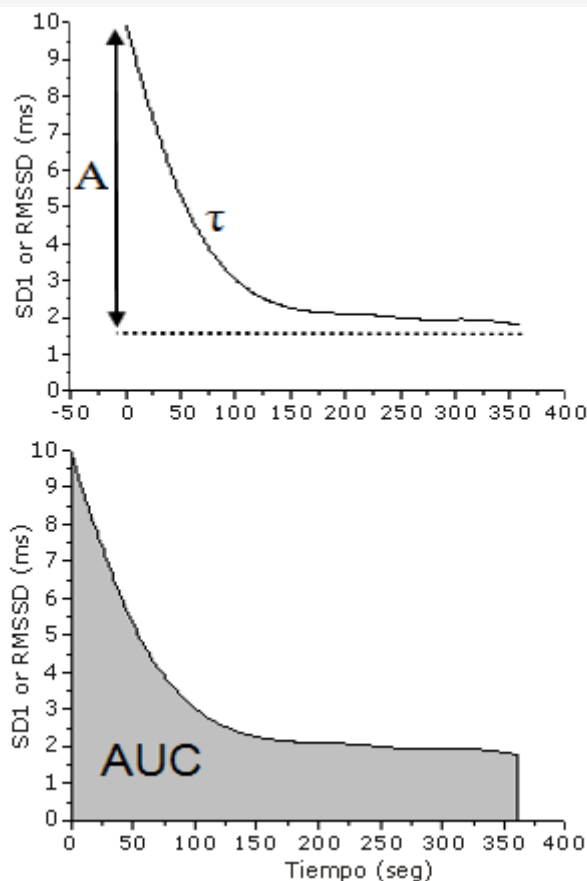


Figura 2. Coeficientes de correlación entre V_{IFT} y los parámetros de inhibición parasimpática (área bajo la curva - AUC) estimados hasta 85% HR máx. y 15 km.h⁻¹, utilizando SD1 y RMSSD. SD1 y RMSSD fueron estimados cada 45-s del Test de Aptitud Intermitente 30-15, fueron graficados en función del tiempo, y ajustados a una curva de disminución para calcular mediante derivación, el área bajo la curva (AUC).

El parámetro de inhibición parasimpática τ no presentó correlación significativa con HR_b (SD1 85% HR máx.: τ vs. HR_b , $r=0,04$, $p=0,89$; RMSSD 85% HR máx.: τ vs. HR_b , $r=0,01$, $p=0,96$; SD1 15 km.h⁻¹: τ vs. HR_b , $r=0,05$, $p=0,87$; RMSSD 15

km.h⁻¹: τ vs HR_B, $r=0,03$, $p=0,92$) y HRV en reposo (SD1 85% HR máx.: τ vs. SD1R, $r=-0,29$, $p=0,33$; RMSSD 85% HR máx.: τ vs. RMSSD_R, $r=-0,36$, $p=0,23$; SD1 15 km.h⁻¹: τ vs. SD1R, $r=-0,47$, $p=0,12$; RMSSD 15 km.h⁻¹: τ vs. RMSSD_R, $r=-0,45$, $p=0,12$). De manera contraria, A y AUC presentaron una correlación de moderada a fuerte con HR_B (SD1 85% HR máx.: A vs. HR_B, $r=-0,60$, $p=0,03$, AUC vs. HR_B, $r=-0,67$, $p=0,01$; RMSSD 85% HR máx.: A vs. HR_B, $r=-0,62$, $p=0,02$, AUC vs. HR_B, $r=-0,70$, $p=0,001$; SD1 15 km.h⁻¹: A vs. HR_B, $r=-0,62$, $p=0,03$, AUC vs. HR_B, $r=-0,70$, $p=0,01$; RMSSD 15 km.h⁻¹: A vs. HR_B, $r=-0,61$, $p=0,03$, AUC vs. HR_B, $r=-0,72$, $p=0,01$) y HRV en reposo (SD1 85% HR máx.: A vs. SD1R, $r=0,99$, $p=0,001$, AUC vs. SD1R, $r=0,69$, $p=0,01$; RMSSD 85% HR máx.: A vs. RMSSD_R, $r=0,99$, $p=0,001$, AUC vs. RMSSD_R, $r=0,70$, $p=0,01$; SD1 15 km.h⁻¹: A vs. SD1R, $r=0,99$, $p=0,001$, AUC vs. SD1R, $r=0,78$, $p=0,01$; RMSSD 15 km.h⁻¹: A vs. RMSSD_R, $r=0,99$, $p=0,001$, AUC vs. RMSSD_R, $r=0,77$, $p=0,001$).

DISCUSION

Los resultados principales de este estudio fueron que la inhibición parasimpática, estimada a través de la HRV durante una prueba intermitente progresiva, presentó un modelo de disminución monoexponencial, similar al observado por Lewis et al. (6), durante los protocolos continuos y que el AUC se correlacionó de manera significativa con V_{IFT}.

Esto sugiere que los parámetros de inhibición parasimpática estimados a partir del ajuste de las curvas de los índices HRV (SD1 y RMSSD) a la ecuación de disminución monoexponencial, están relacionados con la aptitud cardiorrespiratoria obtenida en la prueba intermitente. La varianza compartida fue 41-64%. La inhibición parasimpática está determinada principalmente por el aumento en la frecuencia respiratoria durante el ejercicio progresivo, el cual reduce la arritmia sinusal respiratoria y por consiguiente la HRV (18). Debido a la no estacionaridad de los intervalos RR a lo largo del test, no es posible realizar un análisis espectral clásico con los datos (19). Por lo tanto, en el presente estudio, la inhibición parasimpática durante 30-15_{IFT} fue valorada a través de los índices SD1 y RMSSD.

Se utilizaron estos dos parámetros debido a que los mismos, no son influenciados por la frecuencia respiratoria (20) y porque explican la no estacionaridad de los datos del intervalo RR (21), típica del ejercicio progresivo (2). Los coeficientes de determinación obtenidos del ajuste de las curvas de SD1 y RMSSD a la ecuación de disminución monoexponencial y la correlación de los parámetros de inhibición parasimpática con V_{IFT} fueron todos similares. Esto confirma los resultados de Brennan et al. (22), quienes concluyeron que SD1 y RMSSD, representan, de hecho, índices equivalentes matemáticamente. Por lo tanto, los mismos pueden ser utilizados indistintamente.

El presente estudio fue el primero en valorar los parámetros de inhibición parasimpática en un protocolo de ejercicios progresivos intermitentes a campo. Los coeficientes de determinación de la curva de ajuste monoexponencial de inhibición parasimpática ($r^2=0,96 - 0,97$) fueron tan altos como los que encontraron Lewis et al. (6) y Perandini et al. (10) en ejercicios progresivos continuos ($r^2=0,85 - 0,90$ y $0,99$, respectivamente). Parecería que la inhibición parasimpática comparte el mismo modelo en los protocolos progresivos continuos y en los intermitentes. Sin embargo, a pesar de que los mismos presentaron un modelo similar, la comparación de los parámetros obtenidos del modelo de inhibición parasimpática no es simple. En el test 30-15_{IFT} podría producirse alguna reactivación parasimpática durante los períodos de recuperación (23, 24) lo que produciría una reducción de la tasa de inhibición parasimpática y una mayor AUC, en comparación con los protocolos continuos. Sin embargo, el nivel de esta influencia no pudo ser determinado en este estudio. Por lo tanto, la relación entre los índices autónomos derivados de estos protocolos, no ha sido aún establecida.

En los períodos de recuperación del 30-15_{IFT}, ruidos causados por la producción de reactivación parasimpática transiente, podrían haber perjudicado el ajuste de la inhibición parasimpática a la ecuación de disminución monoexponencial. Esto no se observó claramente en nuestro estudio, dado que se encontraron elevados valores de r^2 asociados con el ajuste de la curva. La caminata ligera durante el corto período de recuperación de 15 s podría haber mantenido una leve actividad simpática que, a su vez, podría haber atenuado una eventual reactivación parasimpática. Además de esto, el dominio temporal y los índices geométricos de HRV adoptados en el presente estudio, son menos susceptibles a las fluctuaciones causadas por la reactivación parasimpática que los índices derivados del dominio de frecuencias, dado que en éste último, es imprescindible asumir la estacionariedad de RR para ejecutar el análisis.

Los parámetros de inhibición parasimpática estimados en el presente estudio fueron τ , A y AUC, mientras que Lewis et al. (6) estimaron la tasa de reducción a través de la tasa de trabajo asociada con una reducción del 50% en el flujo vagal durante el ejercicio progresivo. El último presentó una fuerte correlación con la potencia aeróbica máxima estimada en el test progresivo [Lewis et al. (6)]. Sin embargo, hay que señalar que el método propuesto por Lewis et al. (6) utiliza la tasa respiratoria en los cálculos. Por lo tanto, no tendría aplicación práctica en el campo, para los entrenadores y preparadores (es decir, sin el analizador de gases). En nuestro estudio, el AUC estimado solamente a partir de los parámetros de HRV

presentó una correlación moderada a fuerte con V_{IFT} ($r=0,64-0,80$, $p<0,01$). Se observaron correlaciones tanto en las estimaciones realizadas hasta el 85% de HR máx. como en las estimaciones hasta $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, lo que demostraría que no fueron influenciados por la selección de un valor de HR fijo (85% de HR máx.). En nuestro estudio previo realizado con ejercicios progresivos continuos (10), el AUC estimado hasta 85% de HR máx. también presentó una correlación moderada con la velocidad máxima de carrera ($r=0,70-0,71$, $p<0,05$).

Al igual que en nuestro estudio previo con ejercicios progresivos continuos, el τ estimado en el ajuste de la curva hasta 85% HR máx. y $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ presentó una correlación baja con V_{IFT} (10). Esto significa que la constante de tiempo de la disminución en la inhibición parasimpática no se relaciona con la velocidad final del test, que es considerada un índice de aptitud física integrado específico del ejercicio intermitente (11, 25, 26). Aunque A no presentó ninguna correlación significativas con V_{IFT} , si se correlacionó moderadamente con AUC ($r=0,69-0,79$, $p<0,01$). Esto sugiere que la estimación de AUC estaba influenciada por la amplitud (A) de la disminución de la inhibición parasimpática. Además, a través de los valores de HR y HRV en reposo, también se podría determinar indirectamente el rendimiento del test intermitente.

La estimación de AUC en nuestro estudio fue el único parámetro de inhibición parasimpática que presentó buenos coeficientes de correlación con V_{IFT} , lo que demostraría que AUC puede ser una alternativa para la valoración de aptitud física en el ejercicio intermitente. Por otra parte, Leicht et al. (27) y Martinmäki et al. (28) observaron un aumento en el flujo parasimpático con cargas absolutas submáximas durante un test progresivo después de un entrenamiento de alta intensidad y después de un entrenamiento con dosis bajas, respectivamente. Esto sugiere que el entrenamiento puede aumentar el AUC. De hecho, nosotros también observamos aumentos en SD1 después de entrenamiento de alta intensidad a corto plazo (5), sugiriendo que los entrenamientos pueden aumentar el AUC y V_{IFT} . Esto debería probarse en futuras investigaciones longitudinales para establecer más evidencias de su posible relación. No obstante, nuestros resultados apoyan el uso de etapas sub-máximas solamente en el test 30-15 $_{IFT}$ para obtener un "índice de aptitud" sin necesidad de realizar el test hasta el agotamiento.

Si bien el presente estudio sólo evaluó la inhibición parasimpática, la misma está recíprocamente asociada con aumentos de la actividad simpática que apuntan a acelerar la frecuencia cardíaca e incrementar la fuerza de eyección, y por consiguiente el gasto cardíaco, para proporcionar el adecuado flujo de sangre para cumplir con los requisitos metabólicos de los músculos que están realizando actividad.

Durante el ejercicio progresivo, el predominio simpático coincide con la inhibición parasimpática (2,29). La activación simpática de la glucógenolisis muscular está fuertemente asociada con la aparición del umbral de lactato y ventilatorio (29). Por consiguiente, el equilibrio simpato-vagal parece determinar cambios metabólicos y fisiológicos que están asociados con la tolerancia frente al ejercicio.

El predominio prolongado de la modulación parasimpática durante el ejercicio progresivo, puede prevenir el cambio en la actividad metabólica que se produce en las fases tempranas, inducido por el sistema simpático, afectando su rendimiento.

La principal limitación del presente estudio fue la ausencia de pruebas de confiabilidad para los parámetros de inhibición parasimpática. Además, en el presente estudio, no se pudo determinar si los procedimientos pueden ser adecuados para otras poblaciones de atletas entrenados en otras disciplinas y para sujetos que no realizan deportes.

Conclusiones

La inhibición parasimpática durante los protocolos progresivos intermitentes presenta un patrón de disminución monoexponencial similar al previamente observado en los protocolos progresivos continuos.

En lo que respecta a la tasa de inhibición parasimpática y a la amplitud de ésta disminución, los parámetros de inhibición parasimpática, no se correlacionaron con la velocidad máxima alcanzada en el test de aptitud intermitente. Por otro lado, el área bajo la curva de los parámetros de variabilidad de la frecuencia cardíaca (es decir, SD1 y RMSSD) presentó una correlación de moderada a fuerte con la velocidad máxima alcanzada, demostrando que puede ser utilizada como un factor de predicción de la velocidad máxima que se alcanzará en el protocolo progresivo intermitente.

Agradecimientos

Agradecemos a Lúcio Flávio Soares Caldeira y a Lucas Carvalho Leme por su ayuda técnica en la recolección de los datos.

Dirección para Envío de Correspondencia

Nakamura FY, Dr, Rodovia Celso Garcia Cid, km 380, Campus Universitário, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brazil, 86015-990. Phone 55(43) 3371-4238; FAX: 55(43) 3371-4144; correo electrónico: fabioy_nakamura@yahoo.com.br

REFERENCIAS

1. Yamamoto Y., Hughson R. L., Nakamura Y (1992). Autonomic nervous system responses to exercise in relation to ventilatory threshold. *Chest* 101 (suppl): 206-210
2. Tulppo M. P., Makikallio T. H., Takala T. E., Seppanen T., Huikuri H. V (1996). Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*; 271: H244-H252
3. Banach T., Grandys M., Juszcak K., Kolasińska-Kloch W., Zośka J., Laskiewicz J. et al (2004). Heart rate variability during incremental cycling exercise in healthy untrained young men. *Folia Med Cracov*; 45 (1-2): 3-12
4. Fronchetti L., Nakamura F. Y., de-Oliveira F. R., Lima-Silva A. E., Lima J. R. P (2007). Effects of high-intensity interval training on heart rate variability during exercise. *J Exerc Physiol*; 10(4):01-9
5. Lewis M. J., Kingsley M., Short A. L., Simpson K (2007). Rate of reduction of heart rate variability during exercise as an index of physical work capacity. *Scand J Med Sci Sports*; 17(6):696-702
6. Buchheit M., Solano R., Millet G. P (2007). Heart-rate deflection point and the second heart-rate variability threshold during running exercise in trained boys. *Pediatric Exerc Sci*; 19(2):192-204
7. Perandini L. A. B., Siqueira-Pereira T. A., Okuno N. M., Caldeira L. F. S., Bertolotti H., Nakamura F. Y (2008). Retirada vagal durante exercício progressivo como indicador de capacidade aeróbia em atletas de elite de taekwondo. In: *II Congresso Brasileiro de Metabolismo, Nutrição e Exercício*, 110
8. Buchheit M (2008). The 30-15 intermittent fitness test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J Strength Cond Res* 2008; 22 (2): 365-374
9. Buchheit M., Al Haddad H., Millet G. P., Lepretre P. M., Newton M., Ahmaidi S (2009). Cardiorespiratory and cardiac autonomic responses to 30-15 intermittent fitness test in team sport players. *J Strength Cond Res*; 23 (1): 93-100
10. Santos C (2007). Estatística Descritiva: Manual de Auto-aprendizagem. *Lisboa, Edições Silabo*
11. Bloomfield M. D., Magnano A., Bigger J. T. Jr., Rivadeneira H., Parides M., Steinman R. C (2001). Comparison of spontaneous vs. metronome-guided breathing on assessment of vagal modulation using RR variability. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*; 280(3):H1145-150
12. Buchheit M., Laursen P. B., Millet G. P., Pactat F., Ahmaidi S (2008). Predicting intermittent running performance: critical velocity versus endurance index. *Int J Sports Med*; 29 (4): 307-315
13. Gamelin F. X., Berthoin S., Bosquet L (2006). Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc*; 38 (5): 887-893
14. Vanderlei L. C., Silva R. A., Pastre C. M., Azevedo F. M., Godoy M. F (2008). Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res, in press*
15. Anosov O., Patzak A., Kononovich Y., Persson P. B (2000). High-frequency oscillations of the heart rate during ramp load reflect the human anaerobic threshold. *Eur J Appl Physiol*; 83 (4-5): 388-394
16. Blain G., Meste O., Bouchard T., Bermon S (2005). Assessment of ventilatory thresholds during graded and maximal exercise test using time varying analysis of respiratory sinus arrhythmia. *Br J Sports Med*; 39(7):448-452
17. Morettin P. A., Tolo C. M. C (2006). Análise de séries temporais. 2. ed. *São Paulo: Edgard Blücher*
18. Brennan M., Palaniswami M., Kamen P (2001). Do existing measures of Poincaré plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability?. *IEEE Trans Biomed Eng*; 48(11): 1342-1347
19. Imai K., Sato H., Hori M., Kusuoka H., Ozaki H., Yokoyama H. et al (1994). Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*; 24(6):1529-1535
20. Buchheit M., Gindre C (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*; 291(1): H451-H458
21. Buchheit M., Haddad H. A., Millet G. P., Lepretre P. M., Newton M., Ahmaidi S (2008). Cardiorespiratory and cardiac autonomic responses to 30-15 Intermittent Fitness Test in team sport players. *J Strength Con Res, in press*
22. Buchheit M., Millet G. P., Parisy A., Pourchez S., Laursen P. B., Ahmaidi S (2008). Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Med Sci Sports Exerc*; 40 (2): 362-71
23. Leicht A. S., Allen G. D., Hoey A. J (2003). Influence of intensive cycling training on heart rate variability during rest and exercise. *Can J Appl Physiol*; 28(6):898-909
24. Karapetian G. K., Engels H. J., Gretebeck R. J (2008). Use of heart rate variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med*; 29(8):652-657

Cita Original

Perandini L.A., Chimin P., Okuno N.M., Lima J.R.P., Buchheit M., Nakamura F.Y. Parasympathetic withdrawal during 30-15 Intermittent Fitness Test correlates with its maximal running speed. *JEPonline*; 2 (1): 29-39, 2009.