

Polar S810 como Recurso Alternativo al Electrocardiograma en la Prueba de Ejercicio de 4 Segundos

Alan Santos Pimentel¹, Eduardo da Silva Alves¹, Rafael de Oliveira Alvim¹, Rogério Tasca Nunes¹, Carlos Magno Amaral Costa¹, Júlio Cesar Moraes Lovisi², Jorge Roberto Perroux de Lima¹

Universidade Federal de Juiz de Fora - Laboratório de Avaliação Motora¹; Clínica de Medicina do Exercício e Reabilitação Cardiovascular - CUORE², Juiz de Fora, MG - Brasil

Resumen

Fundamento: El test de ejercicio de 4 segundos (T4s) evalúa el tono vagal cardíaco durante el transiente inicial de la frecuencia cardíaca (FC), en ejercicio dinámico súbito, por medio de la identificación del índice vagal cardíaco (IVC) obtenido a partir del electrocardiograma (ECG).

Objetivo: Probar la utilización del monitor de frecuencia cardíaca (MFC) Polar S810 como recurso alternativo al ECG en la aplicación del T4s.

Métodos: En este trabajo, 49 individuos del sexo masculino (25 ± 20 años, 176 ± 12 cm, 74 ± 6 kg) llevaron el T4s. Los intervalos RR fueron registrados simultáneamente por ECG y MFC. Se calcularon el promedio y la desviación estándar del último intervalo RR del período pre ejercicio o el primer del período de ejercicio, aquel que fuera más largo (RRB), del más corto intervalo RR del período de ejercicio (RRC) y del IVC obtenidos por ECG y MFC. Se utilizó la prueba *t* de Student para muestras dependientes ($P \leq 0,05$) para probar la significancia de las diferencias entre los promedios. Para identificar la concordancia entre el ECG y el MFC, se utilizó la regresión lineal, con cálculo del coeficiente de correlación de Pearson y la estrategia propuesta por Bland y Altman.

Resultados: La regresión lineal expresó r^2 de 0,9999 para el RRB, 0,9997 para el RRC y 0,9996 para el IVC. La estrategia de Bland y Altman expresó desviación estándar de 0,92 ms para el RRB, 0,86 ms para el RRC y 0,002 para el IVC.

Conclusión: El MFC Polar S810 se halló eficiente en la aplicación del T4s cuando comparado al ECG. (Arq Bras Cardiol 2010;94(5):562-566)

Palabras clave: Muscular, corazón, frecuencia cardíaca, ejercicio, mediciones.

Introducción

La reducción del tono vagal cardíaco está fuertemente asociada al aumento del riesgo de muerte por eventos cardiovasculares¹⁻⁵. Por causa de su relación con la integridad vagal cardíaca, el comportamiento de la frecuencia cardíaca (FC) viene siendo ampliamente estudiado en el transiente inicial de diferentes modalidades y condiciones asociadas al ejercicio. La prueba de ejercicio de 4 segundos (T4s) que objetiva evaluar el tono vagal cardíaco calcula el índice vagal cardíaco (IVC) a partir del análisis del registro electrocardiográfico llevado a cabo durante el transiente inicial de la FC en ejercicio dinámico súbito, llevado a cabo en condiciones respiratorias controladas¹.

En la década de 1980, se crearon los primeros monitores de frecuencia cardíaca (MFC) para uso durante el ejercicio

que, posteriormente, se validaron con la intención de monitorear la intensidad de la actividad aerobia. En los años siguientes, muchos estudios confirmaron la correlación entre las series temporales de la FC obtenidas por los MFC en relación con el electrocardiograma (ECG) y al Holter, durante variadas intensidades y modalidades de ejercicios⁶⁻¹⁵. Con el desarrollo de las posibilidades electrónicas, algunos modelos de MFC como el Polar S810 incorporaron, además de la FC, la capacidad de registrar los intervalos RR. Así, Nunan et al¹⁶ encontraron una fuerte correlación cuando compararon el registro y la edición de los intervalos RR entre el ECG convencional y el MFC Polar S810 en condición de reposo, comprobando así la capacidad y aplicabilidad de este instrumento en la adquisición de estos datos. Finalmente, relacionando la validez de estos registros en momentos y maniobras distintos, Kingsley et al¹⁷ no constataron diferencias significativas entre las mediciones del MFC Polar S810 y el ECG para todas las intensidades de ejercicio probadas.

El protocolo de lo T4s prevé la realización repentina de ejercicio en cicloergómetro o ergómetro de miembros superiores¹⁸ durante 4 s, tras inmovilidad inicial de 4 s. Dicha maniobra provoca variaciones rápidas y acentuadas en los

Correspondencia: Rafael de Oliveira Alvim •

Av. Engenheiro Heitor Antônio Eiras Garcia, 79/21B - Jardim Esmeralda - 05588-000 - São Paulo, SP - Brasil

E-mail: alvimfaeid@ig.com.br, r.alvim@hotmail.com

Artículo recibido el 25/03/09; revisado recibido el 29/07/09; aceptado el 01/09/09.

intervalos RR. La utilización del MFC Polar S810 todavía no se estudió en situación semejante. Además de ello, hay la necesidad de observar si la amplitud del intervalo de concordancia, eventualmente encontrado entre el MFC y el ECG, podría interferir en la identificación del IVC. Siendo así, el objetivo del presente estudio fue probar la viabilidad operacional y la utilización del monitor de frecuencia cardíaca Polar S810 como recurso alternativo al ECG en la aplicación del T4s.

Métodos

Voluntarios

Las personas que firmaron el formulario de consentimiento informado en cuanto a los procedimientos utilizados en el estudio. El proyecto fue aprobado por el comité de ética de la institución vigente bajo el nº 171/2008. Participaron en el estudio personas con condiciones clínicas distintas: atletas, betabloqueantes y postinfartados.

Test de 4 segundos

Cada individuo, tras reposo de 5 min, llevó a cabo 3 ejecuciones consecutivas del T4s, según el protocolo original¹⁹. La primera ejecución sirvió como medio de familiarización al procedimiento, y se eligió como representativo del IVC el mejor resultado de las dos ejecuciones subsiguientes. El intervalo entre las repeticiones del protocolo fue de 1 a 2 minutos, esperándose que la FC retornara a los valores pre maniobra antes de repetirse el protocolo. El T4s consistió en la ejecución de ejercicio dinámico súbito en cicloergómetro (Funbec, Brasil) sin resistencia (carga cero), del 4º al 8º segundo de apnea inspiratoria máxima de 12 s. El individuo, tras ajuste del sillín y reposo de 5 min, obedeció a cuatro comandos consecutivos, separados entre sí por un intervalo de 4 s, de conformidad al esquema detallado en la Tabla 1.

Adquisición de los señales de ECG y MFC

Los intervalos RR se registraron simultáneamente, durante

Tabla 1 - Esquema de aplicación del test de ejercicio de 4 segundos (T4s)

Comando	Tiempo (s)	Acción
		Pre ejercicio
1	0	Inspiración máxima es rápida por la boca y mantenimiento de apnea (hasta el final de la prueba), sin pedalear, sentado en la bicicleta, durante 4 s.
		Ejercicio
2	4	Manteniendo la apnea, pedalear lo más rápido posible durante 4 s (al menos 5 rotaciones de los pedales).
		Post ejercicio
3	8	Parar de pedalear de forma abrupta y permanecer sentado en la bicicleta por 4 s, manteniendo la apnea.
		Final del test
4	12	Retomar la respiración normal y finalizar el test.

todo el test, por el ECG y por el monitor de FC. Se utilizó el ECG digital (Micromed, Wincardio, Brasil) cuyas señales, registrada a la velocidad de 25 mm/s, se analizaron por *software* específico (Ergo PC Elite versión 3.2.1.5). Se utilizó también MFC (Polar S810, Finlandia) que dispone de interfaz (IR interfaz, Polar Electro OY, Finlandia) para transferencia de datos para computador donde se analizaron analizados por *software* específico (Polar Precision Performance, versión 3.01). Se utilizaron comandos verbales que funcionaron como marcadores de eventos para iniciar y cerrar simultáneamente los registros de ambos equipos. Al tórax de los sujetos, se conectaron los electrodos adhesivos (Blue Sensor, Brasil) del ECG en la derivación CM5 y el trasmisor estándar del MFC (TM 31, Polar Electro OY, Finlandia).

Cálculo del índice vagal cardíaco (IVC)

El primer paso para el cálculo del IVC fue la identificación del último intervalo RR del período pre ejercicio o el primer del período de ejercicio (aquel que sea el más largo) denominado RRB, y del más corto intervalo RR del período de ejercicio denominado RRC. El IVC se obtiene por la razón RRB/RRC. Para identificación de los RRB y RRC, inicialmente, las series temporales de los intervalos RR obtenidas por ambos los equipos fueron sometidas a la inspección visual y eliminación de artefactos. Acto seguido, los registros del MFC fueron sometidos a filtrado realizado automáticamente por el *software* específico (Polar Precision Performance, versión 3.01). De las series temporales con intervalos RR válidos, teniendo como referencia los tiempos de los comandos, se seleccionaron los intervalos RRB y RRC tanto del ECG como del monitor de FC para cálculo del IVC¹.

Tratamiento estadístico

Se calcularon promedio y desviación estándar de las características de la muestra y de los valores de RRB, RRC y IVC obtenidos por ECG y MFC. Se utilizó la prueba *t* de Student para datos pareados ($P \leq 0,05$) para probar la significancia de las diferencias entre los promedios. Para identificar la concordancia entre las mediciones llevadas a cabo por ECG y MFC, se utilizó la regresión lineal, con cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, y también se aplicó la estrategia propuesta por Bland y Altman²⁰ que consiste en el cálculo del promedio individual de las mediciones del ECG (ECG) y MFC (MFC) $([ECG + MFC] / 2)$ y del trazado de las diferencias entre las mediciones hechas por el MFC y dichos promedios.

Resultados

El T4s se aplicó a 49 personas del sexo masculino (25 ± 20 años, 176 ± 12 cm, 74 ± 6 kg). Los registros efectuados por ECG y MFC fueron sincronizados por los marcadores temporales (comandos verbales). Tras la inspección visual de los registros, cuando se retiraron los artefactos y los intervalos característicos de extrasístole, cada evaluador, de forma independiente, identificó los RRB y RRC de cada evaluado, entre los intervalos RR válidos. Se produjo coincidencia del 100% en cuanto a la ubicación de los intervalos identificados, y no se observaron diferencias significantes ($P \leq 0,05$) entre los promedios de las mediciones llevadas a cabo por ECG

y MFC para RRB, RRC e IVC, de conformidad a la Tabla 2.

La regresión lineal de los valores obtenidos por ECG en función de los obtenidos por el monitor de FC expresó r^2 de 0,9999 para el RRB, r^2 de 0,9997 para el RRC y r^2 de 0,9996 para el IVC. El trazado de las diferencias entre los valores medidos pelo MFC y el promedio de las mediciones presentó desviación estándar de 0,92 ms para el RRB, 0,86 ms para el RRC y 0,002 para el IVC (fig. 1, 2 y 3).

Discusión

Monitores cardíacos, como el Polar S810, se vienen utilizando para medición de la FC. En el presente estudio, cuando se compararon los resultados del T4s obtenidos por ambos los dispositivos (ECG y MFC), se encontraron fuertes correlaciones, r^2 de 0,9999 para el RRB (último intervalo RR del período pre ejercicio o el primer del período de ejercicio, aquel que fuera más largo) y r^2 de 0,9997 para el RRC (más corto intervalo RR del período de ejercicio). La alta correlación observada en el RRB y RRC resultó en correlación de 0,9996 en la identificación del IVC, el que se obtuvo por la razón RRB/RRC. En cuanto a los límites de concordancia determinados por la estrategia Bland y Altman²⁰, se obtuvieron los siguientes resultados: $0,08 \pm 0,92$ ms para el RRB, $-0,10 \pm 0,86$ ms para el RRC y $0,000 \pm 0,002$ para el IVC. No se produjo diferencia significativa entre las mediciones ($P > 0,05$).

En este estudio, el tratamiento estadístico empleado fue semejante a otros aquí reportados, de forma a facilitar la comparación de los resultados. Se debe resaltar que, en el presente estudio, se utilizó el registro de los intervalos RR en el transiente inicial de ejercicio con inicio repentino. A pesar de ello, se encuentran valores semejantes a los reportados por Kingsley et al¹⁷ y Gamelin et al²¹, que estudiaron la validez del MFC en ejercicio progresivo y en reposo. Los límites de concordancia aquí encontrados fueron menores que los reportados en los estudios ya citados, tal vez porque, en este estudio, se utilizaron en la comparación solamente los intervalos RR usados en la identificación del IVC y no las series completas (> 5 min), usualmente utilizadas.

Hay pocos datos en la literatura que hacen referencia a la cuestión de la eficiencia del MFC Polar S810 para capturar los intervalos RR de la FC para la determinación de los valores del IVC. Sin embargo, recientes estudios²²⁻²⁴ vienen demostrando la eficacia y aplicabilidad de este dispositivo en el análisis de los índices de variabilidad de la FC, tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia,

Tabla 2 - Valores de RRB, RRC e IVC obtenidos por ECG y MFC

	RRB (ms)		RRC (ms)		IVC	
	MFC	ECG	MFC	ECG	MFC	ECG
Promedio	869,5	869,3	684,3	684,5	1,280	1,279
DE	154,5	154,2	107,2	107,3	0,191	0,190

RRB - último intervalo RR del período pre ejercicio o el primer del período de ejercicio, aquel que fuera más largo; RRC - más corto intervalo RR del período de ejercicio; IVC; índice vagal cardíaco; ECG - electrocardiograma; MFC - monitor de frecuencia cardíaca.

posibilitando así una evaluación fidedigna, de bajo costo y no invasiva del balance autonómico. A pesar de tratarse de métodos de evaluación diferentes, tanto el IVC obtenido a través del T4s como los índices adoptados para análisis de la VFC advienen de la medición del intervalo RR, lo que nos permite asociar los resultados encontrados en los estudios citados anteriormente.

De acuerdo a la experiencia clínica de los autores, la aplicación del T4s es un procedimiento muy seguro. Aunque la prueba elevó potencial arritmogénico debido a los rápidos cambios observados en la actividad autonómica, no se observaron eventos cardiovasculares. Además de ello, aunque se produzcan arritmias, estas son, en la mayor parte de las veces, autolimitadas y de baja complejidad.

Cabe resaltar que la medición de los intervalos RR monitoreados por el MFC Polar S810 y transferidos al software Polar Precision Performance deriva de la captación de los pulsos eléctricos generados por el pico de la onda R del complejo QRS (despolarización ventricular), independientemente si este se determinó por un latido normal originado en el nodo sinusal o por una extrasístole.

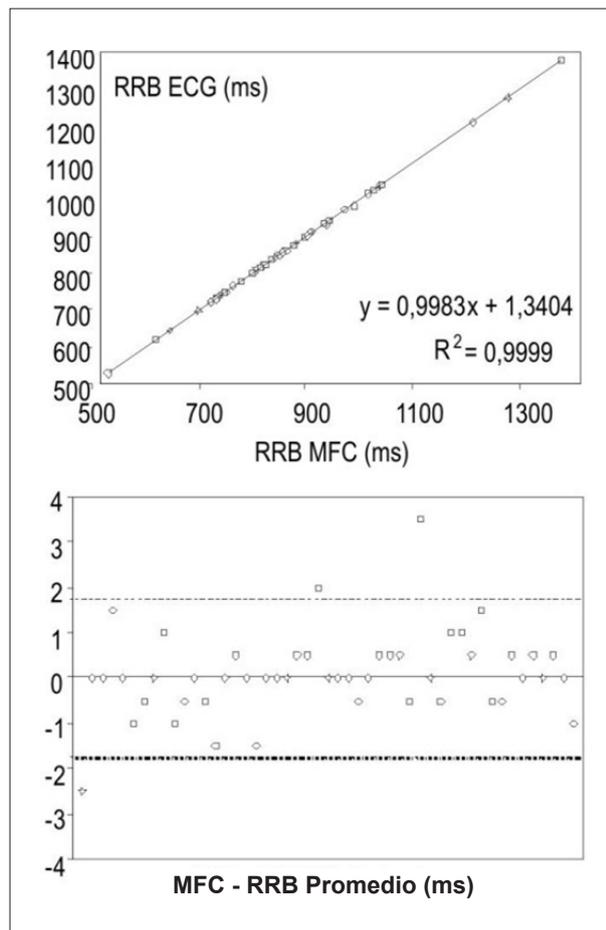


Fig. 1 - RRB ECG - último intervalo RR del período pre ejercicio o el primer del período de ejercicio (aquel que fuera más largo) obtenido por el ECG; RRB MFC - último intervalo RR del período pre-ejercicio o el primer del período de ejercicio (aquel que fuera más largo) obtenido por el monitor de frecuencia cardíaca; MFC - RRB promedio - promedio de los valores medidos por ECG y MFC.

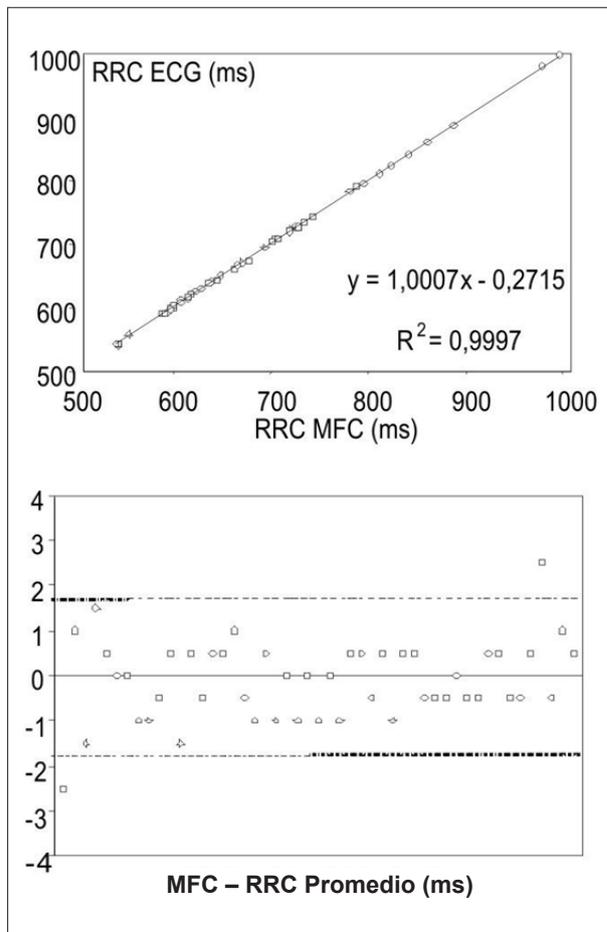


Fig. 2 - RRC ECG – el más corto intervalo RR del período de ejercicio obtenido por el ECG; **RRC MFC** – el más corto intervalo RR del período de ejercicio obtenido por el monitor de frecuencia cardiaca; **MFC – RRC promedio** – promedio de los valores medidos por ECG y MFC.

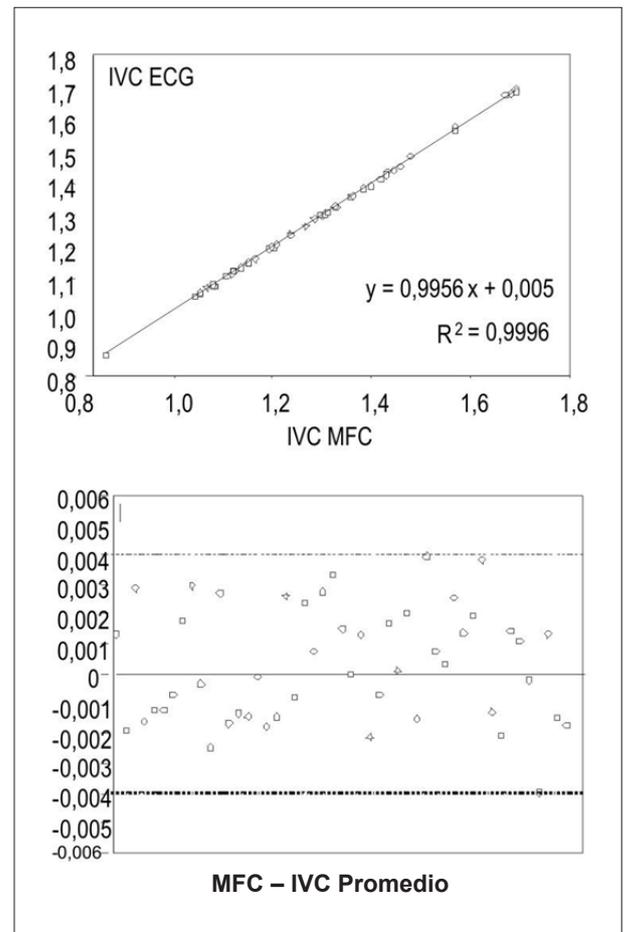


Fig. 3 - IVC ECG: índice vagal cardíaco obtenido por el ECG; **IVC MFC**: índice vagal cardíaco obtenido por el monitor de frecuencia cardiaca; **MFC – IVC promedio**: Promedio de los valores medidos por ECG y MFC.

De esta forma, la ocurrencia de extrasístoles durante el T4s puede limitar la interpretación de los intervalos RR por el MFC. En nuestra casuística, este no fue un factor limitador, ya que, cuando de la ocurrencia de extrasístoles con intervalo de acoplamiento muy corto (ES muy precoces), el observador responsable por el registro del MFC consiguió identificar claramente el artefacto generado, excluyendo de las mediciones lo que, en última instancia, puede ser confirmado por los altos índices de correlación aquí observados. Sin embargo, en las extrasístoles con intervalo de acoplamiento un poco más largo (próximo de las mediciones del RR basal), la identificación de los artefactos a través del software Polar Precision Performance se vuelve significativamente más difícil, lo que puede eventualmente limitar el análisis de las medidas de los intervalos utilizados en el método. En esta muestra de características heterogéneas con grande variabilidad del IVC, la ocurrencia de extrasístoles se hace de forma indistinta en personas sanas y en cardiópatas, y, aunque fue más frecuente en estos últimos, no se produjo interferencia en la correcta interpretación de los índices por el observador del MFC.

Conclusión

Se concluye que el MFC Polar S810 puede ser utilizado como recurso alternativo al ECG en la aplicación del T4s. La utilización de monitores de FC amplía las posibilidades de aplicación del T4s, debiendo, sin embargo, resaltar que su uso no sustituye el ECG en el diagnóstico cardiológico. Como la reducción del tono vagal cardíaco se asocia a un aumento del riesgo de muerte por eventos cardiovasculares, la mayor aplicabilidad de un método sencillo y seguro como el T4s por medio de una metodología más asequible utilizando el MFC podría permitir la identificación de un número mayor de pacientes con estas características, aumentando los beneficios derivados de esta observación. En individuos sanos, se puede aplicar por profesionales de salud, como un procedimiento de rutina en la evaluación y en el monitoreo de las adaptaciones autonómicas provocadas por el entrenamiento aeróbico.

Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

Fuentes de Financiación

El presente estudio no tuvo Fuentes de Financiación externas.

Vinculación Académica

No hay vinculación de este estudio a programas de postgrado.

Referencias

1. Ricardo DR. Teste de exercício de 4 segundos: aspectos metodológicos e implicações prognósticas. [Tese]. Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho; 2004.
2. Kleiger RE, Miller JP, Bigger JT Jr, Moss AJ. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol.* 1987; 59 (4): 256-62.
3. Stein PK, Domitrovich PP, Huikuri HV, Kleiger RE; Cast Investigators. Traditional and nonlinear heart rate variability are each independently associated with mortality after myocardial infarction. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2005; 16 (1): 13-20.
4. Tapanainen JM, Thomsen PE, Kober L, Torp-Pedersen C, Makikallio TH, Still AM, et al. Fractal analysis of heart rate variability and mortality after an acute myocardial infarction. *Am J Cardiol.* 2002; 90 (4): 347-52.
5. La Rovere MT, Pinna GD, Hohnloser SH, Marcus FI, Mortara A, Nohara R, et al. Baroreflex sensitivity and heart rate variability in the identification of patients at risk for life-threatening arrhythmias: implications for clinical trials. *Circulation.* 2001; 103 (16): 2072-7.
6. Karvonen J, Chwalbinska-Monet J, Säynäjäkangas S. Comparison of heart rates measured by ECG and microcomputer. *Physician Sport Med.* 1984; 12 (6): 65-9.
7. Vogelaere P, De Meyer F, Duquet W, Vandeveld P. Sport Tester PE 3000 vs Holter ECG for the measurement of heart rate frequency. *Sci and Sports.* 1986; 1 (4): 321-9.
8. Leger L, Thivierge M. Heart rate monitors: validity, stability and functionality. *Physician Sport Med.* 1988; 16 (5): 143-51.
9. Thivierge M, Leger L. Critical review of heart rate monitors. *CAHPER J.* 1989; 55 (3): 26-31.
10. Seaward BL, Sleamaker RH, Mc Auliffe T, Clapp JF 3rd. The precision and accuracy of a portable heart rate monitor. *Biomed Instrum Technol.* 1990; 24 (1): 37-41.
11. Godsen R, Caroll T, Stone S. How well does the Polar Vantage XL Heart Rate Monitor estimate actual heart rate? [abstract]. *Med Sci Sports Exerc.* 1991; 23 (Suppl 4): 14.
12. Lewis D, Salisury C; Officer Commanding Research. An investigation into the accuracy of the Polar Favor and the Polar Edge heart rate monitors compared with direct ECG measurements. Report to Leisure System International; 1992.
13. Kinnunen J, Heikkila L. The timing accuracy of the Polar Vantage NV heart rate monitor. *J Sports Sci.* 1998; 16: S107-10.
14. Laukkanen RMT, Virtanen P. Heart rate monitors: state of the art. *J Sports Sci.* 1998; (Suppl 16): 53-7.
15. Terbizan DJ, Dolezal BA, Albano C. Validity of seven commercially available heart rate monitors. *Measurement in Physical Education and Exercise Science.* 2002; 6 (4): 243-7.
16. Nunan D, Jakovljevic DG, Donovan G, Hodges DL, Sandercock GRH, Brodie DA. Levels of agreement for RR intervals and short-term heart rate variability obtained from the Polar S810 and an alternative system. *Eur J Appl Physiol.* 2008; 103: 529-37.
17. Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE. Comparison of Polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int J Sports Med.* 2005; 26 (1): 39-44.
18. Silva MB, Vianna LC, Oliveira RB, Ricardo DR, Araújo CG. Similar cardiac vagal withdrawal at the onset of arm and leg dynamic exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2008; 102 (6): 695-701.
19. Araújo CG, Nóbrega AC, Castro CL. Vagal activity: effect of age, sex and physical activity pattern. *Braz J Med Biol Res.* 1989; 22 (7): 909-11.
20. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *Lancet.* 1986; 1: 307-10.
21. Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the Polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38 (5): 887-93.
22. Porto LG, Junqueira LF Jr. Comparison of time-domain short-term heart interval variability analysis using a wrist-worn heart rate monitor and the conventional electrocardiogram. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009; 32 (1): 43-51.
23. Nunan D, Donovan G, Jakovljevic DG, Hodges LD, Sandercock GR, Brodie DA. Validity and reliability of short-term heart-rate variability from the Polar S810. *Med Sci Sports Exerc.* 2009; 41 (1): 243-50.
24. Vanderlei LC, 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. *Braz J Med Biol Res.* 2008; 41(10): 854-9.