

Índices Geométricos de Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca en Niños Obesos y Eutróficos

Luiz Carlos Marques Vanderlei¹, Carlos Marcelo Pastre¹, Ismael Forte Freitas Júnior², Moacir Fernandes de Godoy³

Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Univ Estadual Paulista, Departamento de Fisioterapia¹; Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP - Univ Estadual Paulista, Departamento de Educação Física², Presidente Prudente, São Paulo; Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto - Departamento de Cardiologia e Cirurgia Cardiovascular³, São José do Rio Preto, São Paulo - Brasil

Resumen

Fundamento: Obesidad promueve alteraciones en la modulación autonómica cardíaca.

Objetivo: Investigar la modulación autonómica de niños obesos y eutróficos por medio de índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) obtenidos por métodos geométricos.

Métodos: Fueron analizados datos de 133 niños, de edad entre 8 y 13 años, divididos en dos grupos: obeso (n = 61) y eutrófico (n = 72), según el índice de masa corporal para sexo y edad. Para el análisis de la VFC, la frecuencia cardíaca fue captada latido-a-latido. Los intervalos RR obtenidos fueron convertidos en figuras geométricas y, a partir de ellas, fueron calculados el índice triangular (RRtri), interpolación triangular de los intervalos RR (TINN), los índices SD1, SD2 y relación SD1/SD2, obtenidos del *plot* de Poincaré. Fue también realizado análisis visual del *plot*. Se realizaron el test *t* de Student para datos no apareados y el test de Mann-Whitney, con nivel de significancia de 5,0%, para análisis de los datos.

Resultados: En niños obesos, fueron observadas reducciones de los índices RRtri (0,0730 vs 0,1084 [media]), TINN (171,80 ± 55,08 vs 218,26 ± 51,12), SD1 (19,93 ± 9,10 vs 24,10 ± 8,03) y SD2 (51,63 ± 16,53 vs 69,78 ± 17,19). La relación SD1/SD2 no presentó diferencias significativas (0,3781 ± 0,12 vs 0,3467 ± 0,08). El análisis visual del *plot*, en niños obesos, mostró menor dispersión de los intervalos RR tanto latido-a-latido, como a largo plazo, indicando menor VFC.

Conclusión: Niños obesos presentaron modificaciones en el sistema nervioso autónomo, caracterizadas por reducciones en la actividad parasimpática y en la variabilidad global. (Arq Bras Cardiol 2010; 95(1) : 35-40)

Palabras clave: Frecuencia cardíaca, niño, obesidad, índice de masa corporal, sistema nervioso autónomo.

Introducción

Alteraciones en la frecuencia cardíaca, definidas como variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), son normales y esperadas e indican la habilidad del corazón para responder a los múltiples estímulos fisiológicos y ambientales, así como compensar desórdenes inducidos por enfermedades¹.

Se trata de una medida no invasiva que puede ser utilizada para identificar fenómenos relacionados con el sistema nervioso autónomo (SNA)². Entre los métodos utilizados para análisis de la VFC, se encuentran los métodos geométricos - índice triangular (RRtri), interpolación triangular de histograma de intervalos NN (TINN) y *plot* de Poincaré - los cuales convierten los intervalos RR en estándares geométricos y permiten analizar la VFC por medio de las propiedades geométricas o gráficas del estándar resultante²⁻⁴.

El RRtri y el TINN son calculados a partir de la construcción de un histograma de densidad de los intervalos RR normales, que contienen en el eje x el largo de los intervalos RR, y en el eje y, la frecuencia con que ocurrieron. La unión de los puntos de las columnas del histograma forma una figura semejante a un triángulo del cual son extraídos esos índices^{2,4,5}.

El *plot* de Poincaré es una representación gráfica bidimensional de la correlación entre intervalos RR consecutivos, en que cada intervalo es plotado contra el próximo intervalo^{6,7} y su análisis puede ser hecho de forma cualitativa, por medio de la evaluación de la figura formada por su atractor, la cual muestra el grado de complejidad de los intervalos RR^{8,9}, o cuantitativa, por el ajuste de una elipse a la figura formada por el *plot*, de donde se obtienen los índices: SD1, SD2 y la razón SD1/SD2^{10,11}. Además de eso, el análisis del *plot* de Poincaré es considerado por algunos autores como basado en la dinámica no lineal^{7,12}.

El análisis de la VFC por métodos no lineales viene ganando creciente interés, pues existen evidencias de que los mecanismos envueltos en la regulación cardiovascular probablemente interactúen entre sí de modo no lineal¹³.

Correspondencia: Luiz Carlos Marques Vanderlei •

Rua Roberto Simonsen, 305 - Departamento de Fisioterapia - 19060-900 - Presidente Prudente, SP - Brasil

E-mail: lcvanderlei@fct.unesp.br

Artículo recibido el 16/09/09; revisado recibido el 12/11/09; aceptado el 29/12/09.

Esos métodos describen las fluctuaciones complejas del ritmo y consiguen separar estructuras de comportamiento no lineal en las series temporales de latidos cardíacos más adecuadamente que los métodos lineales¹⁴. SE ha especulado que el análisis de VFC basado en métodos de la dinámica no lineal puede proveer valiosas informaciones para interpretaciones fisiológicas de la VFC y para evaluación del riesgo de muerte súbita⁷, además de posibilitar mejor entendimiento de la naturaleza de sistemas dinámicos y complejos que ocurren en el cuerpo humano, tanto en la salud como en la enfermedad¹⁵.

Estudios han demostrado que la obesidad produce alteraciones en la función del sistema nervioso autónomo en niños y adolescentes^{16,17}. Tal condición de desequilibrio puede representar un factor negativo importante, ya que el funcionamiento autonómico controla parte de las funciones internas del cuerpo y, en ese sentido, merece atención.

Los trabajos referidos a obesidad en niños y el análisis del SNA, por medio de la evaluación de la VFC, han presentado resultados controvertidos. Sekine et al¹⁸, analizando índices de VFC en el dominio de la frecuencia, sugieren que tienen mayor actividad simpática y menor actividad parasimpática cuando es comparado con niños eutróficos, mientras que Nagai et al¹⁹ y Nagai y Moritani²⁰ observaron actividades tanto simpática cuanto parasimpática disminuidas en niños obesos. Ya Yakinci et al²¹, utilizando tests autonómicos funcionales, observaron actividad simpática normal e hipo actividad parasimpática, y, más recientemente, Kaufman et al¹⁶ observaron aumento de la relación LF/HF y disminución del índice HF. Pascoal et al²² constataron mayor tono cardíaco en la posición bípeda cuando son comparados niños obesos con niños eutróficos.

Esos trabajos evalúan la VFC utilizando métodos lineales, mientras, se destaca que, después de búsqueda sistemática en bases de datos pertinentes apuntando a la elaboración de este manuscrito, no fueron encontrados trabajos que utilicen métodos geométricos como forma de análisis.

Siendo así, con el propósito de acrecentar elementos relacionados al tema expuesto en la literatura, se pretende con este trabajo, investigar la modulación autonómica de niños obesos t eutróficos por medio de índices de VFC obtenidos a través de métodos geométricos.

Métodos

Población

Para la realización de este trabajo, fueron analizados datos de 133 niños, independientemente de sexo, en una franja etaria entre 8 y 13 años. Los niños fueron divididos en dos grupos según el estado nutricional: obesos y eutróficos. La obesidad fue definida según los criterios establecidos para edad y sexo por Cole et al²³.

El grupo obeso fue constituido por 61 niños, 28 del sexo masculino (45,90%) y 33 del sexo femenino (54,10%), mientras que el grupo eutrófico fue formado por 72 niños (35 del sexo masculino [48,60%] y 37 del sexo femenino [51,40%]). Las características de estos niños (edad, peso, altura e índice de masa corpórea) pueden ser vistos en la Tabla 1.

No fueron incluidos en este estudio, niños con relato de por lo menos una de las siguientes características: uso de medicamentos que influyesen en la actividad autonómica del corazón, como por ejemplo, propranolol y atropina, infecciones, enfermedades metabólicas o del sistema cardiorrespiratorio conocidas.

Los voluntarios y sus responsables fueron debidamente informados sobre los procedimientos y objetivos de este estudio, y después de concordar, el responsable firmó un término de consentimiento libre y aclarado. Todos los procedimientos utilizados fueron aprobados por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Ciencias y Tecnología - FCT/UNESP (Proc. n° 187/2007).

Protocolo experimental

Antes del comienzo del procedimiento experimental, los niños fueron identificados recogiendo las siguientes informaciones: edad, sexo, peso, altura e índice de masa corporal. Las medidas antropométricas fueron obtenidas de acuerdo con las recomendaciones descritas por Lohman et al²⁴.

El peso fue medido en una balanza digital (Filizzola PL 150, Filizzola Ltda., Brasil) con precisión de 0,1 kg, con los niños usando ropas livianas y sin zapatos. La altura fue medida usando un estadiómetro con precisión de 0,1 cm y 2 metros de largo. El IMC fue calculado usando la siguiente fórmula: peso (kg)/altura (m)².

La recolección de datos fue realizada en una sala con temperatura entre 21°C y 23° C y humedad entre 40 y 60%. Después de la evaluación inicial, fueron explicados todos los procedimientos necesarios para la realización de la recolección de datos, que fue realizada de forma individual. Los niños fueron orientados a mantenerse en reposo, evitando conversar durante la recolección.

Después de tales procedimientos, fue colocada en el tórax de los niños, al nivel del tercio distal del esternón, la cinta de captación y, en su muñeca, el receptor de frecuencia cardíaca Polar S810i (Polar Electro, Finlandia), equipamiento

Tabla 1 - Valores medios, seguidos de los respectivos desvíos-estándar, intervalo de confianza a 95,0% y valor de p para edad, peso, altura e índice de masa corporal de los grupos obeso y eutrófico

Variabes	Obeso	Eutrófico	Valor p
Edad	10,20 ± 1,47	10,57 ± 1,51	0,152
	[9,82 – 10,57]	[10,21 – 10,92]	
Peso	66,43 ± 19,44 [61,80] ^a	38,72 ± 8,17 [37,00] ^a	< 0,000*
	[61,45 – 71,41]	[36,80 – 40,64]	
Altura	149,16 ± 11,29	148,45 ± 10,65	0,715
	[146,27 – 152,05]	[145,95 – 150,96]	
IMC	29,30 ± 4,74 [28,24]	17,37 ± 1,82 [17,15]	< 0,000*
	[28,09 – 30,51]	[16,94 – 17,80]	

^a Valor de la Media; *Diferencia significativa entre los grupos (Test de Mann-Whitney; p < 0,05); IMC - índice de masa corporal.

previamente validado para captación de la frecuencia cardíaca latido-a-latido y la utilización de sus datos para análisis de la VFC en niños y adultos^{25,26}.

Después de la colocación de la cinta y del monitor, los niños fueron colocados en decúbito dorsal en una colchoneta y permanecieron en reposo y con respiración espontánea 20 minutos. Después de ese período de recolección, los niños fueron liberados.

Para análisis de la VFC, el estándar de su comportamiento fue registrado latido-a-latido, durante todo el protocolo experimental, con una tasa de muestreo de 1.000 Hz. Para análisis de los datos, fueron utilizados 1.000 intervalos RR consecutivos, después de haber sido hecho un filtrado digital, complementado por manual, para eliminación de latidos ectópicos prematuros y artefactos, y solamente series con más de 95,0% de latidos sinusales fueron incluidas en el estudio²⁷.

Análisis de los índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca

El análisis de la VFC fue realizado por medio de los métodos geométricos: RRtri, TINN y *plot* de Poincaré (SD1, SD2, relación SD1/SD2).

El RRtri fue calculado a partir de la construcción de un histograma de densidad de los intervalos RR, el cual contiene en el eje horizontal todos los posibles valores de los intervalos RR medidos, en una escala discreta con cajas de 7,8125 ms (1/128 segundos) y, en el eje vertical, la frecuencia con que ocurrió cada uno de ellos. La unión de los puntos de las columnas del histograma forma una figura semejante a un triángulo. El RRtri fue obtenido dividiendo el número total de intervalos RR utilizados para la construcción del histograma por la frecuencia modal de los mismos (valor del intervalo RR que más apareció en la serie RR)².

El TINN consiste en la medida de la base de un triángulo, siendo utilizado el método de la diferencia de los mínimos cuadrados para la determinación del triángulo². El RRtri y el TINN expresan la variabilidad global de los intervalos RR².

El *plot* de Poincaré es un mapa de puntos en coordenadas cartesianas, construido a partir de los valores de los intervalos RR obtenidos, donde cada punto es representado en el eje x (horizontal/abscisa) por el intervalo RR normal precedente y, en el eje y (vertical/ordenada), por el intervalo RR siguiente.

Para análisis cuantitativo del *plot*, fue ajustada una elipse a los puntos del gráfico, con centro determinado por la media de los intervalos RR, y fueron calculados los índices SD1, que mide el desvío-estándar de las distancias de los puntos a la diagonal $y = x$, y SD2 que mide el desvío-estándar de las distancias de los puntos a la recta $y = -x + RRm$, donde RRm es la media de los intervalos RR. El SD1 es un índice de registro instantáneo de la variabilidad latido-a-latido y representa la actividad parasimpática, mientras que el índice SD2 representa la VFC, en registros de larga duración, y refleja la variabilidad global. La relación de ambos (SD1/SD2) muestra la razón entre las variaciones corta y larga de los intervalos RR¹¹.

El análisis cualitativo del *plot* fue hecho por medio del análisis de las figuras formadas por su atractor, las cuales fueron

descriptas por Tulppo et al²⁸ en:

Figura en la cual un aumento en la dispersión de los intervalos RR es observado con aumento en los intervalos, característica de un *plot* normal.

Figura con pequeña dispersión global latido-a-latido y sin aumento de la dispersión de los intervalos RR, a largo plazo.

El software HRV analysis - Versión 2.0 fue utilizado para el cálculo de esos índices²⁹.

Tratamiento estadístico

Para comparación de los grupos, inicialmente fue determinada la normalidad de los datos por medio del test Shapiro-Wilks. Cuando la distribución normal fue aceptada, el test *t* de Student para datos no apareados fue aplicado (edad, altura, TINN, SD1, SD2 y relación SD1/SD2) y en las situaciones donde la distribución normal no fue aceptada, fue aplicado el test de Mann-Whitney (peso, IMC, RRtri). Diferencias en esos tests fueron consideradas estadísticamente significativas cuando el valor de "P" fue menor o igual a 0,05.

Resultados

La Tabla 2 muestra los valores obtenidos para los índices RRtri, TINN, SD1, SD2 y relación SD1/SD2 de los grupos obeso y eutrófico. Se observan valores significativamente menores para el grupo obeso en comparación al grupo eutrófico, excepto para la relación SD1/SD2 que no presentó diferencia estadísticamente significativa entre los grupos.

Las Figuras 1 y 2 muestran ejemplos estándares del *plot* de Poincaré para niños obesos y controles.

Discusión

Los resultados obtenidos por medio de los índices de VFC, en el presente estudio, mostraron que en los niños obesos analizados ocurrieron reducciones de los índices geométricos, sugiriendo que, en estos niños, la variabilidad de la frecuencia cardíaca está reducida.

El índice SD1, que representa el eje transversal del *plot* de Poincaré, muestra el desvío-estándar de la variabilidad instantánea de la frecuencia cardíaca latido-a-latido¹¹ e indica la influencia parasimpática sobre el nódulo sinoatrial¹⁰. Los menores valores del índice SD1 en niños obesos sugieren que, en estos niños, la actividad parasimpática está reducida.

Actividad parasimpática disminuida en niños obesos fue también relatada por otros autores^{16,19,21}. Tal reducción está asociada al aumento del riesgo para morbilidad y mortalidad por todas las causas y al desarrollo de varios factores de riesgo³⁰.

Martini et al³¹ observaron que niños obesos tienen mayores valores de presión arterial, de glucosa sanguínea, de insulina y de niveles de triglicéridos, y menores valores de lipoproteína de alta densidad (HDL), cuando es comparada con niños no obesos. Paschoal et al²² también relataron menores valores de HDL y aumento de triglicéridos en niños obesos. La presencia de tales características en niños portadores de obesidad puede estar asociada a alteraciones en la actividad del SNA según afirma Sekine et al¹⁸.

Tabla 2 - Valores medios, seguidos de los respectivos desvíos-estándar, intervalo de confianza a 95,0% y valor de p para análisis de índices geométricos de los grupos obeso y eutrófico

Variables	Obeso	Eutrófico	Valor p
RRTri	0,0730 ± 0,02 [0,070]* [0,0660 – 0,0788]	0,1084 ± 0,13 [0,094]* [0,0789 – 0,1380]	0,000 ^a
TINN	171,80 ± 55,08 [157,70 – 185,91]	218,26 ± 51,12 [206,24 – 230,29]	0,000 ^b
SD1	19,93 ± 9,10 [17,60 – 22,26]	24,10 ± 8,03 [22,21 – 25,99]	0,006 ^b
SD2	51,63 ± 16,53 [47,39 – 55,86]	69,78 ± 17,19 [65,74 – 73,83]	0,000 ^b
Relación SD1/SD2	0,3781 ± 0,12 [0,3482 – 0,4081]	0,3467 ± 0,08 [0,3271 – 0,3663]	0,082

*Valor de la Media; ^aDiferencia significativa entre los grupos (Test de Mann-Whitney; $p < 0,05$); ^bDiferencia significativa entre los grupos (Test t de Student para datos no apareados; $p < 0,05$); RRtri - índice triangular; TINN - interpolación triangular de los intervalos RR; SD1 - desvío-estándar de la variabilidad instantánea latido-a-latido; SD2 - desvío-estándar a largo plazo de los intervalos R-R continuos.

Los índices SD2, TINN y RRtri también presentaron reducción en los niños obesos en comparación con los niños del grupo eutrófico. Esos índices expresan la variabilidad global de los intervalos RR^{2,11}, lo que sugiere que niños obesos presentan reducción de la variabilidad global de la frecuencia cardíaca.

Sekine et al¹⁸ y Martini et al³¹, evaluando la variabilidad global en niños obesos por medio del índice SDNN (desvío-estándar de los intervalos RR), no encontraron diferencias estadísticamente significativas en este índice, con todo los valores se presentaron menores en estos niños, en comparación con los no obesos. Reducción significativa de ese índice fue relatada por Rabbia et al³² en adolescentes obesos (edad de $13,9 \pm 1,7$ años).

Fue descrita en la literatura una reducción en la actividad simpática en niños obesos^{19,20}. Este sistema participa del control del metabolismo de la glucosa y de la grasa³³ y menor actividad simpática fue asociada a menor gasto energético y, consecuentemente, un balance energético positivo y aumento de peso³⁴.

En cuanto a la relación SD1/SD2, los análisis mostraron que no ocurrieron diferencias significativas de ese índice cuando

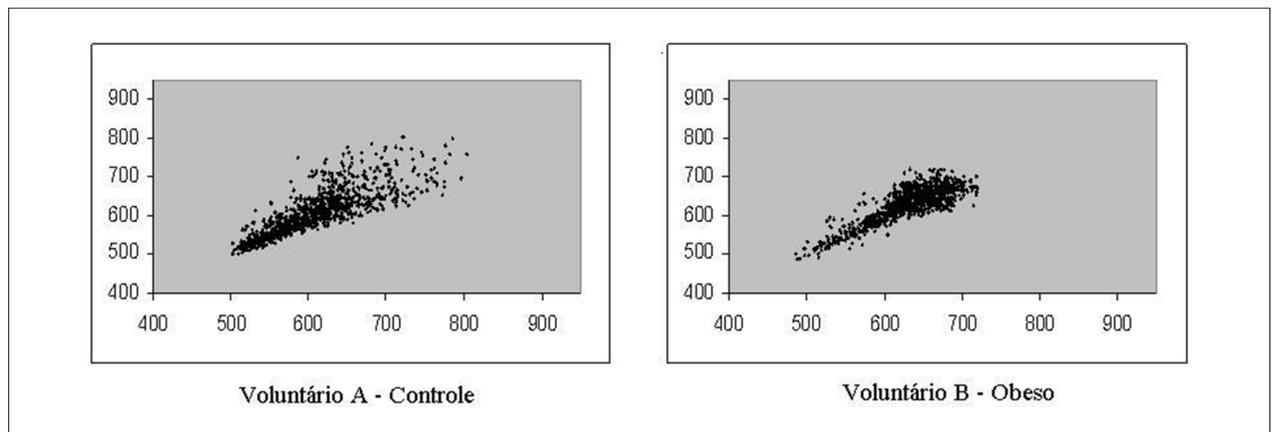


Fig. 1 - Standard visual del plot de Poincaré observado en el grupo eutrófico (Voluntario A – SD1 = 24,1 e SD2 = 75,6) y obeso (Voluntario B – SD1 = 17,0 e SD2 = 57,2).

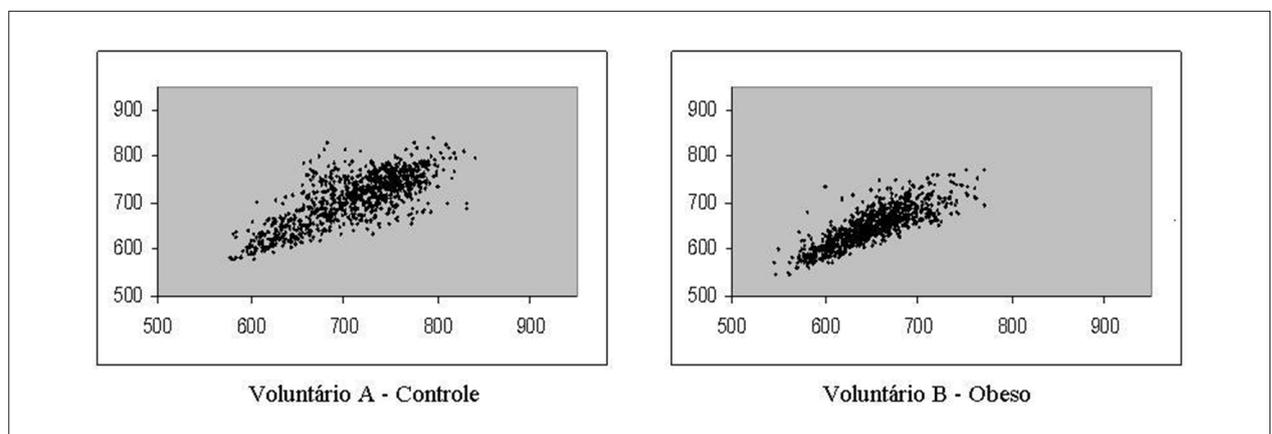


Fig. 2 - Standard visual del plot de Poincaré observado en el grupo eutrófico (Voluntario A – SD1 = 25,2 e SD2 = 70,1) y obeso (Voluntario B – SD1 = 16,2 e SD2 = 52,9).

fue comparado el grupo obeso con el grupo eutrófico, lo que puede ser justificado por la reducción observada tanto en el índice SD1 como en el SD2, en niños obesos.

El análisis visual del *plot* de Poincaré mostró en los niños eutróficos una mayor dispersión latido-a-latido de los intervalos RR, así como mayor dispersión de los intervalos RR a largo plazo, en comparación con los niños obesos, indicando que estos niños poseen mayor VFC.

En individuos saludables, en reposo, los intervalos entre los latidos cardíacos son bastante irregulares, sobre todo por el predominio vagal en la modulación cardíaca, haciendo que se visualice, en el *plot* de Poincaré, una nube de puntos con la forma aproximada de una elipse^{28,35}, lo que puede ser observado en los niños eutróficos.

A diferencia de lo que fue observado en los niños eutróficos, los análisis de las figuras del *plot* de los niños obesos mostraron menor dispersión de los intervalos RR, tanto latido-a-latido como a largo plazo, indicando menor VFC.

En resumen, los resultados de este trabajo sugieren que niños obesos presentan disfunciones autonómicas, caracterizadas por reducciones en la actividad parasimpática y de la variabilidad global. Tales hallazgos, asociados a los graves problemas que pueden ser producidos por la obesidad³⁶, refuerzan la necesidad de tratamiento de la obesidad infantil y, en este sentido, la actividad física y una dieta hipocalórica, fundamentadas en conductas apropiadas, pueden ser herramientas eficientes para revertir las alteraciones fisiológicas provocadas por la obesidad. Esos procedimientos, además de

reducir el peso corporal, llevan a la disminución de la actividad simpática y de la presión arterial, mejoran la sensibilidad a la insulina, disminuyen las concentraciones plasmáticas de triglicéridos y aumentan las de HDL-colesterol³⁷⁻³⁹, aspectos que pueden ser benéficos para aliviar o eliminar los riesgos producidos por la obesidad.

Conclusiones

Los resultados sugieren que niños obesos presentan modificaciones en el sistema nervioso autónomo, caracterizadas por reducciones en la actividad parasimpática y en la variabilidad global, lo que demuestra la necesidad de atención precoz a estos niños, para evitar complicaciones futuras.

Potencial Conflicto de Intereses

Declaro no haber conflicto de intereses pertinentes.

Fuentes de Financiación

El presente estudio fue financiado por la *Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo* - Proceso FAPESP nº 2008/05414-0.

Vinculación Académica

No hay vinculación de este estudio con programas de post-grado.

Referencias

1. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2009; 24 (2): 205-17.
2. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*. 1996; 93 (5): 1043-65.
3. Majercak I. The use of heart variability in cardiology. *Bratisl Lek Listy*. 2002; 103 (10): 368-77.
4. Rajendra Acharya U, Paul Joseph K, Kannathal N, Lim CM, Suri JS. Heart rate variability: a review. *Med Biol Eng Comput*. 2006; 44 (12): 1031-51.
5. Rocha RM, Albuquerque DC, Albanesi Filho FM. Variabilidade da frequência cardíaca e ritmo circadiano em pacientes com angina estável. *Rev SOCERJ*. 2005; 18 (4): 429-42.
6. Lerma C, Infante O, Pérez-Grovas H, José MV. Poincaré plot indexes of heart rate variability capture dynamic adaptations after haemodialysis in chronic renal failure patients. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2003; 23 (2): 72-80.
7. Khaled AS, Owis MI, Mohamed ASA. Employing time-domain methods and poincaré plot of heart rate variability signals to detect congestive heart failure. *BIME Journal*. 2006; 6 (1): 35-41.
8. Woo MA, Stevenson WG, Moser DK, Trelease RB, Harper RM. Patterns of beat to beat heart rate variability in advanced heart failure. *Am Heart J*. 1992; 123: 704-10.
9. Vito GD, Galloway SDR, Nimmo MA, Maas P, McMurray JJV. Effects of central sympathetic inhibition on heart rate variability during steady-state exercise in healthy humans. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002; 22: 32-8.
10. Tulppo MP, Makikallio TH, Takala TES, Seppanen T, Huikuri HV. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol (Circ Physiol)*. 1996; 271 (7): H244-H252.
11. Brunetto AF, Silva BM, Roseguini BT, Hirai DM, Guedes DP. Limiar ventilatório e variabilidade da frequência cardíaca em adolescentes. *Rev Bras Med Esporte*. 2005; 11 (1): 22-7.
12. Voss A, Schroeder R, Truebner S, Goernig M, Figulla HR, Schirdewan A. Comparison of nonlinear methods symbolic dynamics, detrended fluctuation, and Poincaré plot analysis in risk stratification in patients with dilated cardiomyopathy. *Chaos*. 2007; 17 (1): 015120.
13. Huikuri HV, Makikallio TH, Perkiomaki J. Measurement of heart rate variability by methods based on nonlinear dynamics. *J Electrocardiol*. 2003; 36 9 (Suppl): 95-9.
14. Voss A, Kurths J, Kleiner HJ, Witt A, Wessel N, Saparin P, et al. The application of methods of non-linear dynamics for the improved and predictive recognition of patients threatened by sudden cardiac death. *Cardiovasc Res*. 1996; 31: 419-33.
15. Higgins JP. Nonlinear systems in medicine. *Yale J Biol Med*. 2002; 75 (5-6): 247-60.
16. Kaufman CL, Kaiser DR, Steinberger J, Kelly AS, Dengel DR. Relationships of cardiac autonomic function with metabolic abnormalities in childhood obesity. *Obesity*. 2007; 15 (5): 1164-71.
17. Tonhajzerova I, Javorka M, Trunkvalterova Z, Chroma O, Javorkova J, Lazarova Z, et al. Cardio-respiratory interaction and autonomic dysfunction in obesity. *J Physiol Pharmacol*. 2008; 59 (Suppl 6): 709-18.
18. Sekine M, Izumi I, Yamagami T, Kagamimori S. Obesity and cardiac autonomic

- nerve activity in healthy children: results of the Toyama Birth Cohort Study. *Environm Health Prev Med.* 2001; 6: 149-53.
19. Nagai N, Matsumoto T, Kita H, Moritani T. Autonomic nervous system activity and the state and development of obesity in japanese school children. *Obes Res.* 2003; 11: 25-32.
 20. Nagai N, Moritani T. Effect of physical activity on autonomic nervous system function in lean and obese children. *Int J Obesity.* 2004; 28: 27-33.
 21. Yakinci C, Mungen B, Karabiber H, Tayfun M, Evereklioglu C. Autonomic nervous system functions in obese children. *Brain Dev.* 2000; 22: 151-3.
 22. Paschoal MA, Trevizan PF, Scodeler NF. Variabilidade da frequência cardíaca, lípidos e capacidade física de crianças obesas e não-obesas. *Arq Bras Cardiol.* 2009; 93 (3): 239-46.
 23. Cole TM, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ.* 2000; 320 (6): 1-6.
 24. Lohman TG, Roche AF, Martorell R. Anthropometric standardization reference manual. Champaign: Human Kinetics Books; 1988.
 25. Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 to measure R-R intervals in children. *Int J Sports Med.* 2008; 29: 134-8.
 26. Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res.* 2008; 41 (10): 854-9.
 27. Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. Relevância da análise do comportamento dinâmico não-linear (Teoria do Caos) como elemento prognóstico de morbidade e mortalidade em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica. *Arq Cienc Saúde.* 2005; 12 (4): 167-71.
 28. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol.* 1998; 274 (2Pt 2): H424-9.
 29. Niskanen JP, Tarvainen MP, Ranta-aho PO, Karjalainen PA. Software for advanced HRV analysis. *Comp Meth Progr Biomed.* 2004; 76: 73-81.
 30. Thayer JF, Lane RD. The role of vagal function in the risk for cardiovascular disease and mortality. *Biol Psychol.* 2007; 74: 224-42.
 31. Martini G, Riva P, Rabbia F, Molini V, Ferrero GB, Cerutti F, et al Heart rate variability in childhood obesity. *Clin Auton Res.* 2001; 11 (2): 87-91.
 32. Rabbia F, Silke B, Conterno A, Grosso T, De Vito B, Rabbone I, et al. Assessment of cardiac autonomic modulation during adolescent obesity. *Obes Res.* 2003; 11 (4): 541-8.
 33. Nonogaki K. New insight into sympathetic regulation of glucose and fat metabolism. *Diabetologia.* 2000; 43: 533-49.
 34. Peterson HR, Rothschild M, Weinberg CR, Fell RD, McLeish KR, Pfeifer MA. Body fat and the activity of the autonomic nervous system. *N Engl J Med.* 1988; 318: 1077-83.
 35. Mouro L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J. Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 91 (1): 79-87.
 36. Daniels SR. Complications of obesity in children and adolescents. *Int J Obes.* 2009; 33 (Suppl 1): S60-S65.
 37. Ribeiro MM, Silva AG, Santos NS, Guazzelle J, Matos LNJ, Trombetta IC, et al. Diet and exercise training restore blood pressure and vasodilatory responses during physiological maneuvers in obese children. *Circulation.* 2005; 111 (15): 1915-23.
 38. Carnethon MR, Craft LL. Autonomic association between exercise and diabetes: autonomic nervous system function. *Exerc Sport Sci Rev.* 2008; 36 (1): 12-8.
 39. Sichieri R, Souza RA. Estratégias para prevenção da obesidade em crianças e adolescentes. *Cad Saúde Pública.* 2008; 24(supl. 2): S209-S234.