

Índices Geométricos de Variabilidade da Frequência Cardíaca em Crianças Obesas e Eutróficas

Geometric Indexes of Heart Rate Variability in Obese and Eutrophic Children

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

Resumo

Fundamento: Obesidade promove alterações na modulação autonômica cardíaca.

Objetivo: Investigar a modulação autonômica de crianças obesas e eutróficas por meio de índices de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) obtidos por métodos geométricos.

Métodos: Foram analisados dados de 133 crianças, com idade entre 8 e 13 anos, divididas em dois grupos: obeso (n = 61) e eutrófico (n = 72), segundo o índice de massa corporal para sexo e idade. Para a análise da VFC, a frequência cardíaca foi captada batimento-a-batimento. Os intervalos RR obtidos foram convertidos em figuras geométricas e, a partir delas, foram calculados o índice triangular (RRtri), interpolação triangular dos intervalos RR (TINN), os índices SD1, SD2 e relação SD1/SD2, obtidos do *plot* de Poincaré. Análise visual do *plot* foi também realizada. Realizaram-se o teste *t* de Student para dados não pareados e o teste de Mann-Whitney, com nível de significância de 5,0%, para análise dos dados.

Resultados: Em crianças obesas, foram observadas reduções dos índices RRtri (0,0730 vs 0,1084 [mediana]), TINN (171,80 ± 55,08 vs 218,26 ± 51,12), SD1 (19,93 ± 9,10 vs 24,10 ± 8,03) e SD2 (51,63 ± 16,53 vs 69,78 ± 17,19). A relação SD1/SD2 não apresentou diferenças significantes (0,3781 ± 0,12 vs 0,3467 ± 0,08). A análise visual do *plot*, em crianças obesas, mostrou menor dispersão dos intervalos RR tanto batimento-a-batimento, como a longo prazo, indicando menor VFC.

Conclusão: Crianças obesas apresentaram modificações no sistema nervoso autônomo, caracterizadas por reduções na atividade parassimpática e na variabilidade global. (Arq Bras Cardiol. 2010; [online]. ahead print, PP.0-0)

Palavras-chave: Frequência cardíaca, criança, obesidade, índice de massa corporal, sistema nervoso autônomo.

Abstract

Background: Obesity causes changes in cardiac autonomic modulation.

Objective: To investigate the autonomic modulation of eutrophic and obese children by means of indexes of heart rate variability (HRV) obtained through geometric methods.

Methods: We analyzed data from 133 children aged 8 to 13, divided into two groups: obese (n = 61) and eutrophic (n = 72) according to body mass index for age and sex. For the analysis of HRV, heart rate was recorded beat-to-beat. The RR intervals were transformed into geometric figures, and from them, we calculated the triangular index (RRtri), triangular interpolation of RR intervals (TINN), the indexes SD1, SD2 and SD1/SD2 ratio, obtained from the Poincaré plot. Visual analysis of the plot was also performed. Student's t test was performed for unpaired data and Mann-Whitney's test, with significance level of 5.0%, for data analysis.

Results: In obese children, RRtri indexes were proven to be reduced (0.0730 vs 0.1084 [median]), TINN (171.80 ± 55.08 vs 218.26 ± 51.12), SD1 (19.93 ± 9.10 vs 24.10 ± 8.03) and SD2 (51.63 ± 16.53 vs 69.78 ± 17.19). The SD1/SD2 ratio showed no significant differences (0.3781 ± 0.12 vs 0.3467 ± 0.08). Visual analysis of the plot, in obese children, revealed a smaller dispersion of RR intervals both beat-to-beat, and in the long term, indicating lower HRV.

Conclusion: Obese children presented changes in the autonomic nervous system characterized by decreases in parasympathetic activity and overall variability. (Arq Bras Cardiol. 2010; [online]. ahead print, PP.0-0)

Key words: Heart rate; child; obesity; body mass index, autonomic nervous system.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Luiz Carlos Marques Vanderlei •

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

E-mail: lcmvanderlei@fct.unesp.br

Artigo recebido em 16/09/09; revisado recebido em 12/11/09; aceito em 29/12/09.

Introdução

Alterações na frequência cardíaca, definidas como variabilidade da frequência cardíaca (VFC), são normais e esperadas e indicam a habilidade do coração em responder aos múltiplos estímulos fisiológicos e ambientais, bem como compensar desordens induzidas por doenças¹.

Trata-se de uma medida não invasiva que pode ser utilizada para identificar fenômenos relacionados ao sistema nervoso autônomo (SNA)². Dentre os métodos utilizados para análise da VFC, encontram-se os métodos geométricos - índice triangular (RRtri), interpolação triangular de histograma de intervalos NN (TINN) e *plot* de Poincaré - os quais convertem os intervalos RR em padrões geométricos e permitem analisar a VFC por meio das propriedades geométricas ou gráficas do padrão resultante²⁻⁴.

O RRtri e o TINN são calculados a partir da construção de um histograma de densidade dos intervalos RR normais, que contém no eixo x o comprimento dos intervalos RR, e no eixo y, a frequência com que eles ocorreram. A união dos pontos das colunas do histograma forma uma figura semelhante a um triângulo do qual são extraídos esses índices^{2,4,5}.

O *plot* de Poincaré é uma representação gráfica bidimensional da correlação entre intervalos RR consecutivos, em que cada intervalo é plotado contra o próximo intervalo^{6,7} e a sua análise pode ser feita de forma qualitativa, por meio da avaliação da figura formada pelo seu atrator, a qual mostra o grau de complexidade dos intervalos RR^{8,9}, ou quantitativa, pelo ajuste de uma elipse à figura formada pelo *plot*, de onde se obtém os índices: SD1, SD2 e a razão SD1/SD2^{10,11}. Além disso, a análise do *plot* de Poincaré é considerada por alguns autores como baseada na dinâmica não linear^{7,12}.

A análise da VFC por métodos não lineares vem ganhando crescente interesse, pois existem evidências de que os mecanismos envolvidos na regulação cardiovascular provavelmente interagem entre si de modo não linear¹³.

Esses métodos descrevem as flutuações complexas do ritmo e conseguem separar estruturas de comportamento não linear nas séries temporais de batimentos cardíacos mais adequadamente do que os métodos lineares¹⁴. Tem sido especulado que a análise de VFC baseada em métodos da dinâmica não linear pode fornecer valiosas informações para interpretações fisiológicas da VFC e para avaliação do risco de morte súbita⁷, além de possibilitar melhor entendimento da natureza de sistemas dinâmicos e complexos que ocorrem no corpo humano, tanto na saúde como na doença¹⁵.

Estudos têm demonstrado que a obesidade produz alterações na função do sistema nervoso autônomo em crianças e adolescentes^{16,17}. Tal condição de desequilíbrio pode representar um fator negativo importante, já que o funcionamento autonômico controla parte das funções internas do corpo e, nesse sentido, merece atenção.

Os trabalhos envolvendo a obesidade em crianças e a análise do SNA, por meio da avaliação da VFC, têm apresentado resultados controversos. Sekine e cols.¹⁸, analisando índices de VFC no domínio da frequência, sugerem que elas têm maior atividade simpática e menor atividade parassimpática quando comparadas com crianças

eutróficas, enquanto que Nagai e cols.¹⁹ e Nagai e Moritani²⁰ observaram atividades tanto simpática quanto parassimpática diminuídas em crianças obesas. Já Yakinci e cols.²¹, utilizando testes autonômicos funcionais, observaram atividade simpática normal e hipoatividade parassimpática, e, mais recentemente, Kaufman e cols.¹⁶ observaram aumento da relação LF/HF e diminuição do índice HF. Pascoal e cols.²² constataram maior tônus cardíaco na posição bípede quando comparadas crianças obesas com crianças eutróficas.

Esses trabalhos avaliam a VFC utilizando métodos lineares, entretanto, destaca-se que, após busca sistemática em bases de dados pertinentes visando à elaboração deste manuscrito, não foram encontrados trabalhos que utilizam métodos geométricos como forma de análise.

Sendo assim, com intuito de acrescentar elementos relacionados ao tema exposto na literatura, pretende-se, com este trabalho, investigar a modulação autonômica de crianças obesas e eutróficas por meio de índices de VFC obtidos através de métodos geométricos.

Métodos

População

Para a realização deste trabalho, foram analisados dados de 133 crianças, independente do sexo, numa faixa etária entre 08 e 13 anos. As crianças foram divididas em dois grupos segundo o estado nutricional: obesas e eutróficas. A obesidade foi definida segundo os critérios estabelecidos para idade e sexo por Cole e cols.²³.

O grupo obeso foi constituído por 61 crianças, sendo 28 do sexo masculino (45,90%) e 33 do sexo feminino (54,10%), enquanto que o grupo eutrófico foi formado por 72 crianças (35 do sexo masculino [48,60%] e 37 do sexo feminino [51,40%]). As características dessas crianças (idade, peso, altura e índice de massa corpórea) podem ser visibilizadas na Tabela 1.

Não foram incluídas neste estudo, crianças com relato de pelo menos uma das seguintes características:

Tabela 1 - Valores médios, seguidos dos respectivos desvios-padrão, intervalo de confiança a 95,0% e valor de p para idade, peso, altura e índice de massa corpórea dos grupos obeso e eutrófico

Variáveis	Obeso	Eutrófico	Valor p
Idade	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]	

^aValor da Mediana; *Diferença significativa entre os grupos (Teste de Mann-Whitney; p < 0,05); IMC - índice de massa corpórea.

uso de medicamentos que influenciassem a atividade autonômica do coração, como por exemplo, propranolol e atropina, infecções, doenças metabólicas ou do sistema cardiorrespiratório conhecidas.

Os voluntários e seus responsáveis foram devidamente informados sobre os procedimentos e objetivos deste estudo, e após concordarem, o responsável assinou um termo de consentimento livre e esclarecido. Todos os procedimentos utilizados foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP (Proc. nº 187/2007).

Protocolo experimental

Antes do início do procedimento experimental, as crianças foram identificadas coletando-se as seguintes informações: idade, sexo, peso, altura e índice de massa corpórea. As medidas antropométricas foram obtidas de acordo com as recomendações descritas por Lohman e cols.²⁴.

O peso foi mensurado em uma balança digital (Filizzola PL 150, Filizzola Ltda., Brasil) com precisão de 0,1 kg, com as crianças usando roupas leves e sem sapatos. A altura foi mensurada usando um estadiômetro com precisão de 0,1 cm e 2 metros de comprimento. O IMC foi calculado usando a seguinte fórmula: peso (kg)/altura (m)².

A coleta dos dados foi realizada em uma sala com temperatura entre 21° C e 23° C e umidade entre 40 e 60%. Após a avaliação inicial, foram explicados todos os procedimentos necessários para realização da coleta de dados, que foi realizada de forma individual. As crianças foram orientadas a manterem-se em repouso, evitando conversarem durante a coleta.

Após tais procedimentos, foi colocada no tórax das crianças, ao nível do terço distal do esterno, a cinta de captação e, no seu pulso, o receptor de frequência cardíaca Polar S810i (Polar Electro, Finlândia), equipamento previamente validado para captação da frequência cardíaca batimento-a-batimento e a utilização dos seus dados para análise da VFC em crianças e adultos^{25,26}.

Após a colocação da cinta e do monitor, as crianças foram colocadas em decúbito dorsal em um colchonete e permaneceram em repouso e com respiração espontânea por 20 minutos. Após esse período de coleta, as crianças foram liberadas.

Para análise da VFC, o padrão de seu comportamento foi registrado batimento-a-batimento, durante todo o protocolo experimental, com uma taxa de amostragem de 1.000 Hz. Para análise dos dados, foram utilizados 1.000 intervalos RR consecutivos, após ter sido feita filtragem digital, complementada por manual, para eliminação de batimentos ectópicos prematuros e artefatos, e somente séries com mais de 95,0% de batimentos sinusais foram incluídas no estudo²⁷.

Análise dos índices de variabilidade da frequência cardíaca

A análise da VFC foi realizada por meio dos métodos geométricos: RRtri, TINN e *plot* de Poincaré (SD1, SD2, relação SD1/SD2).

O RRtri foi calculado a partir da construção de um histograma de densidade dos intervalos RR, o qual contém no eixo horizontal todos os possíveis valores dos intervalos RR mensurados, em uma escala discreta com caixas de 7,8125 ms (1/128 segundos) e, no eixo vertical, a frequência com que cada um deles ocorreu. A união dos pontos das colunas do histograma forma uma figura semelhante a um triângulo. O RRtri foi obtido dividindo-se o número total de intervalos RR utilizados para construção do histograma pela frequência modal dos mesmos (valor do intervalo RR que mais apareceu na série RR)².

O TINN consiste na medida da base de um triângulo, sendo o método da diferença dos mínimos quadrados utilizado para determinação do triângulo². O RRtri e o TINN expressam a variabilidade global dos intervalos RR².

O *plot* de Poincaré é um mapa de pontos em coordenadas cartesianas, construído a partir dos valores dos intervalos RR obtidos, onde cada ponto é representado no eixo x (horizontal/abscissa) pelo intervalo RR normal precedente e, no eixo y (vertical/ordenada), pelo intervalo RR seguinte.

Para análise quantitativa do *plot*, foi ajustada uma elipse aos pontos do gráfico, com centro determinado pela média dos intervalos RR, e foram calculados os índices SD1, que mede o desvio-padrão das distâncias dos pontos à diagonal $y = x$, e SD2 que mede o desvio-padrão das distâncias dos pontos à reta $y = -x + RRm$, onde RRm é a média dos intervalos RR. O SD1 é um índice de registro instantâneo da variabilidade batimento-a-batimento e representa a atividade parassimpática, enquanto que o índice SD2 representa a VFC, em registros de longa duração, e reflete a variabilidade global. A relação de ambos (SD1/SD2) mostra a razão entre as variações curta e longa dos intervalos RR^{1,11}.

A análise qualitativa do *plot* foi feita por meio da análise das figuras formadas pelo seu atrator, as quais foram descritas por Tulppo e cols.²⁸ em:

1. Figura na qual um aumento na dispersão dos intervalos RR é observado com aumento nos intervalos, característica de um *plot* normal.
2. Figura com pequena dispersão global batimento-a-batimento e sem aumento da dispersão dos intervalos RR, a longo prazo.

O software HRV analysis - Versão 2.0 foi utilizado para o cálculo desses índices²⁹.

Tratamento estatístico

Para comparação dos grupos, inicialmente foi determinada a normalidade dos dados por meio do teste Shapiro-Wilks. Quando a distribuição normal foi aceita, o teste t de Student para dados não pareados foi aplicado (idade, altura, TINN, SD1, SD2 e relação SD1/SD2) e nas situações onde a distribuição normal não foi aceita, foi aplicado o teste de Mann-Whitney (peso, IMC, RRtri). Diferenças nesses testes foram consideradas estatisticamente significantes quando o valor de "P" foi menor ou igual a 0,05.

Resultados

A Tabela 2 mostra os valores obtidos para os índices RRtri,

TINN, SD1, SD2 e relação SD1/SD2 dos grupos obeso e eutrófico. Observam-se valores significativamente menores para o grupo obeso em comparação ao grupo eutrófico, exceto para a relação SD1/SD2 que não apresentou diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

As Figuras 1 e 2 mostram exemplos padrões do *plot* de Poincaré para crianças obesas e controles.

Discussão

Os resultados obtidos por meio dos índices de VFC, no presente estudo, mostraram que nas crianças obesas analisadas ocorreram reduções dos índices geométricos, sugerindo que, nestas crianças, a variabilidade da frequência cardíaca está reduzida.

O índice SD1, que representa o eixo transversal do *plot* de Poincaré, mostra o desvio-padrão da variabilidade instantânea da frequência cardíaca batimento-a-batimento¹¹ e indica a influência parassimpática sobre o nódulo sinoatrial¹⁰. Os menores valores do índice SD1 em crianças obesas sugerem que, nestas crianças, a atividade parassimpática está reduzida.

Atividade parassimpática diminuída em crianças obesas foi também relatada por outros autores^{16,19,21}. Tal redução

Tabela 2 - Valores médios, seguidos dos respectivos desvios-padrão, intervalo de confiança a 95,0% e valor de p para análise de índices geométricos dos grupos obeso e eutrófico

Variáveis	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 ^b
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
Relação SD1/SD2	0,3781 ± 0,12 [0,3482 – 0,4081]	0,3467 ± 0,08 [0,3271 – 0,3663]	0,082

*Valor da Mediana; ^aDiferença significativa entre os grupos (Teste de Mann-Whitney; $p < 0,05$); ^bDiferença significativa entre os grupos (Teste t de Student para dados não pareados; $p < 0,05$); RRtri - índice triangular; TINN - interpolação triangular dos intervalos RR; SD1 - desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento; SD2 - desvio-padrão a longo prazo dos intervalos R-R contínuos.

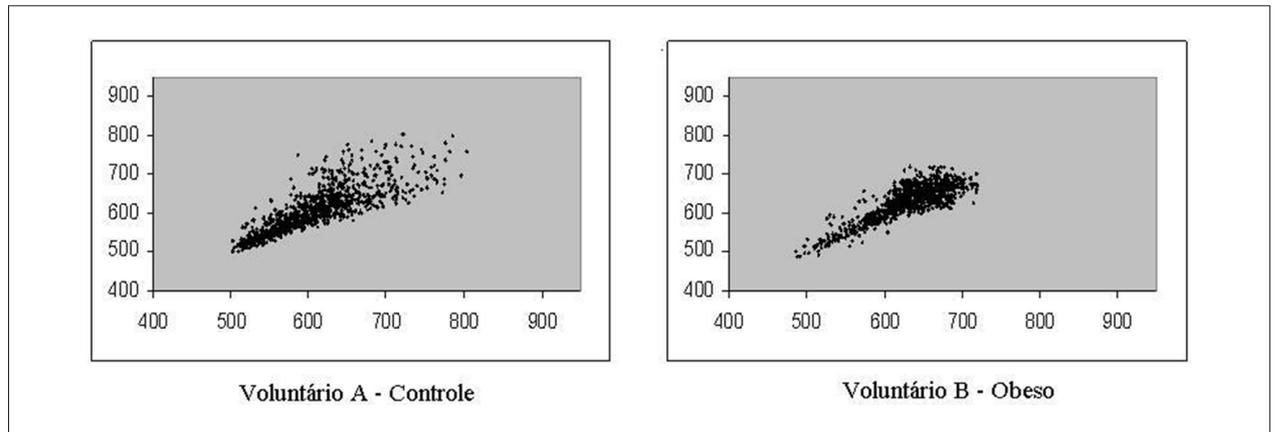


Fig. 1 - Padrão visual do plot de Poincaré observado no grupo eutrófico (Voluntário A - SD1 = 24,1 e SD2 = 75,6) e obeso (Voluntário B - SD1 = 17,0 e SD2 = 57,2).

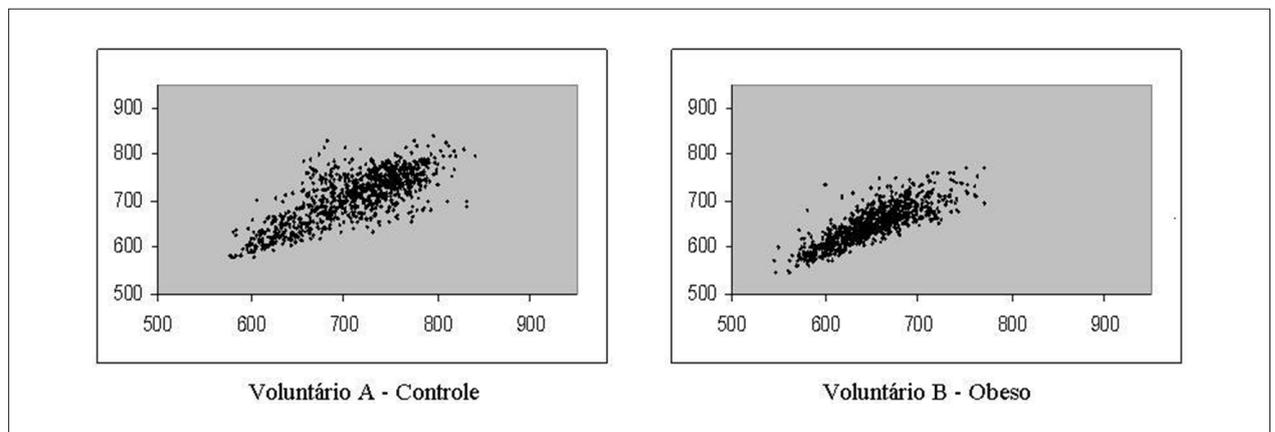


Fig. 2 - Padrão visual do plot de Poincaré observado no grupo eutrófico (Voluntário A - SD1 = 25,2 e SD2 = 70,1) e obeso (Voluntário B - SD1 = 16,2 e SD2 = 52,9).

está associada ao aumento do risco para morbidade e mortalidade por todas as causas e ao desenvolvimento de vários fatores de risco³⁰.

Martini e cols.³¹ observaram que crianças obesas têm maiores valores de pressão arterial, de glicose sanguínea, de insulina e de níveis de triglicerídeos, e menores valores de lipoproteína de alta densidade (HDL), quando comparadas com crianças não obesas. Paschoal e cols.²² também relataram menores valores de HDL e aumento de triglicerídeos em crianças obesas. A presença de tais características em crianças portadoras de obesidade pode estar associada a alterações na atividade do SNA conforme afirma Sekine e cols.¹⁸.

Os índices SD2, TINN e RRtri também apresentaram redução nas crianças obesas em comparação com as crianças do grupo eutrófico. Esses índices expressam a variabilidade global dos intervalos RR^{2,11}, o que sugere que crianças obesas apresentam redução da variabilidade global da frequência cardíaca.

Sekine e cols.¹⁸ e Martini e cols.³¹, avaliando a variabilidade global em crianças obesas por meio do índice SDNN (desvio padrão dos intervalos RR), não encontraram diferenças estatisticamente significantes neste índice, contudo os valores se apresentaram menores nestas crianças, em comparação com as não obesas. Redução significativa desse índice foi relatada por Rabbia e cols.³² em adolescentes obesos (idade de $13,9 \pm 1,7$ anos).

Em crianças obesas, redução na atividade simpática foi descrita na literatura^{19,20}. Este sistema participa do controle do metabolismo da glicose e da gordura³³ e menor atividade simpática foi associada a menor gasto energético e, conseqüentemente, um balanço energético positivo e ganho de peso³⁴.

Quanto à relação SD1/SD2, as análises mostraram que não ocorreram diferenças significativas desse índice quando comparado o grupo obeso com o grupo eutrófico, o que pode ser justificado pela redução observada tanto no índice SD1 quanto no SD2, em crianças obesas.

A análise visual do *plot* de Poincaré mostrou nas crianças eutróficas uma maior dispersão batimento-a-batimento dos intervalos RR, bem como maior dispersão dos intervalos RR a longo prazo, em comparação com as crianças obesas, indicando que estas crianças possuem maior VFC.

Em indivíduos saudáveis, em repouso, os intervalos entre os batimentos cardíacos são bastante irregulares, sobretudo pela predominância vagal na modulação cardíaca, fazendo

com que se visualize, na plotagem de Poincaré, uma nuvem de pontos com a forma aproximada de uma elipse^{28,35}, o que pode ser observado nas crianças eutróficas.

Diferentemente do que foi observado nas crianças eutróficas, as análises das figuras do *plot* das crianças obesas mostraram menor dispersão dos intervalos RR, tanto batimento-a-batimento como a longo prazo, indicando menor VFC.

Em resumo, os resultados deste trabalho sugerem que crianças obesas apresentam disfunções autonômicas, caracterizadas por reduções na atividade parassimpática e da variabilidade global. Tais achados, associados aos graves problemas que podem ser produzidos pela obesidade³⁶, reforçam a necessidade de tratamento da obesidade infantil e, neste sentido, a atividade física e uma dieta hipocalórica, fundamentadas em condutas apropriadas, podem ser ferramentas eficientes para reverter as alterações fisiológicas provocadas pela obesidade. Esses procedimentos, além de reduzir o peso corporal, levam à diminuição da atividade simpática e da pressão arterial, melhoram a sensibilidade à insulina, diminuem as concentrações plasmáticas de triglicérides e aumentam as de HDL-colesterol³⁷⁻³⁹, aspectos que podem ser benéficos para amenizar ou eliminar os riscos produzidos pela obesidade.

Conclusões

Os resultados sugerem que crianças obesas apresentam modificações no sistema nervoso autônomo, caracterizadas por reduções na atividade parassimpática e na variabilidade global, o que demonstra a necessidade de atenção precoce a estas crianças, para evitar complicações futuras.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - Processo FAPESP nº 2008/05414-0.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Referências

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 Pharmac*. 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. *Environ 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 C, 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 I, 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.