

RELAÇÃO ENTRE A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA E VO_{2PICO} EM MULHERES ATIVAS



RELATIONSHIP BETWEEN HEART RATE VARIABILITY AND VO_{2PEAK} IN ACTIVE WOMEN

RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD DE LA FRECUENCIA CARDÍACA Y VO_{2PICO} EN MUJERES ACTIVAS

ARTIGO ORIGINAL

Nayara Yamada Tamburús¹
(Fisioterapeuta)
Ana Cristina Silva Rebelo²
(Fisioterapeuta)
Marcelo de Castro César³ (Médico)
Aparecida Maria Catai¹
(Fisioterapeuta)
Anielle Cristhine de Medeiros
Takahashi¹ (Fisioterapeuta)
Carolina Pieroni Andrade⁴
(Fisioterapeuta)
Alberto Porta⁵
(Engenheiro Eletrônico)
Ester da Silva¹ (Fisioterapeuta)

1. Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular, Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.
2. Universidade Federal de Goiás, Departamento de Morfologia, (Campus II) - Goiânia, GO, Brasil.
3. Centro de Performance Humana, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, SP, Brasil.
4. Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Cardiovascular e Testes Funcionais, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, SP, Brasil.
5. Departamento de Ciências Biomédicas, Instituto Ortopédico Galeazzi, Universidade de Milão, Milão, Itália.

Correspondência: Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular, Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos. Via Washington Luiz, km 235. São Carlos, SP, Brasil. 13565-905. nayaratamburus@hotmail.com

RESUMO

Objetivo: Avaliar a associação entre os índices da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) e a aptidão cardiorrespiratória. **Métodos:** Sessenta e duas mulheres (idade $22,1 \pm 3,3$ anos) foram divididas em quatro grupos: treinamento aeróbio (AER, $n = 15$), treinamento de força (FOR, $n = 13$), treinamento combinado (aeróbio e força) (AER+FOR, $n = 15$) e controle (C, $n = 19$). O teste cardiopulmonar foi realizado para avaliar a aptidão cardiorrespiratória a partir do consumo de oxigênio pico (VO_{2pico}). A FC foi coletada em repouso na postura supina. A VFC foi analisada a partir de métodos lineares e não lineares. **Resultados:** Os grupos AER e AER+FOR apresentaram maiores índices de VFC (lineares e não lineares) indicadores da modulação vagal e menores índices de VFC indicadores da modulação simpática, em relação ao grupo C. Os grupos AER e AER+FOR apresentaram maior complexidade e menor regularidade dos intervalos RR e maior VO_{2pico} em relação aos grupos FOR e C. O VO_{2pico} apresentou correlação com os índices de VFC. **Conclusão:** Este estudo mostrou que o treinamento físico aeróbio e combinado contribuíram significativamente para maior modulação autônoma da FC e aptidão cardiorrespiratória. A modulação autônoma da FC, avaliada a partir de métodos lineares e não lineares, está associada ao maior consumo de oxigênio.

Palavras-chave: exercício, sistema nervoso autônomo, consumo de oxigênio.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the associations between heart rate variability (HRV) with cardiorespiratory fitness. **Methods:** Sixty-two women (aged 22.1 ± 3.3) were divided into four groups: aerobic training (AER, $n = 15$), strength training (STR, $n = 13$), combined aerobic and strength training (AER+STR, $n = 15$) and controls (C, $n = 19$). Cardiopulmonary exercise testing was performed to measure cardiorespiratory fitness by assessing peak oxygen consumption (VO_{2peak}). The HR was recorded at rest in the supine position. The HRV was analyzed by linear and nonlinear methods. **Results:** The AER and AER+STR groups had higher vagal HRV (linear and nonlinear) indicators of vagal modulation and lower indices of HRV indicators of sympathetic modulation, compared to group C. The AER and AER+STR groups showed greater complexity and lower regularity of R-R intervals and higher peak compared to STR and C groups. The VO_{2peak} was correlated with HRV indices. **Conclusion:** This study showed that aerobic and combined exercise significantly contributed to greater autonomic modulation of HR and cardiorespiratory fitness. The autonomic HR modulation, assessed by linear and nonlinear methods, was associated with a greater oxygen consumption.

Keywords: exercise, autonomic nervous system, oxygen consumption.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la asociación entre los índices de variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) y la aptitud cardiorrespiratoria. **Métodos:** Sesenta y dos mujeres (edad $22,1 \pm 3,3$ años) fueron divididas en cuatro grupos: entrenamiento aeróbico (AER, $n = 15$), entrenamiento de fuerza (FOR, $n = 13$), entrenamiento combinado (aeróbico y fuerza) (AER+FOR, $n = 15$) y control (C, $n = 19$). El test cardiopulmonar fue realizado para evaluar la aptitud cardiorrespiratoria a partir del consumo de oxígeno pico (VO_{2pico}). La FC fue colectada en reposo en la postura supina. La VFC fue analizada a partir de métodos lineales y no lineales. **Resultados:** Los grupos AER y AER+FOR presentaron mayores índices de VFC (lineales y no lineales) indicadores de la modulación vagal y menores índices de VFC indicadores de la modulación simpática, en relación al grupo C. Los grupos AER y AER+FOR presentaron mayor complejidad y menor regularidad de los intervalos RR y mayor VO_{2pico} en relación a los grupos FOR y C. O VO_{2pico} presentó correlación con los índices de VFC. **Conclusión:** Este estudio mostró que el entrenamiento físico aeróbico y combinado contribuyeron significativamente para mayor modulación autônoma de FC y aptitud cardiorrespiratoria. La modulación autônoma de FC, evaluada a partir de métodos lineales y no lineales, está asociada al mayor consumo de oxígeno.

Palabras clave: ejercicio, sistema nervioso autônomo, consumo de oxígeno.

INTRODUÇÃO

A atividade física promove mudanças positivas na função autonômica cardíaca e na aptidão cardiorrespiratória. Vários estudos demonstraram que, o treinamento aeróbio promove predomínio da modulação parassimpática e a redução da modulação simpática cardíaca, bem como o maior consumo máximo e pico de oxigênio (VO_2)^{1,2}. Por outro lado, o treinamento de força não promove quaisquer mudanças na modulação autonômica da frequência cardíaca (FC) em repouso^{3,4} e na aptidão cardiorrespiratória^{2,5}. Porém, quando há a combinação de ambos os treinamentos (aeróbio e de força), foram encontradas mudanças positivas na *performance* aeróbia⁶, através do aumento da aptidão cardiorrespiratória, e predomínio da modulação parassimpática cardíaca^{6,7}.

Estudos prévios revelaram que as adaptações na modulação autonômica da FC, frente ao treinamento físico, podem ser detectadas de forma não invasiva através da análise linear da variabilidade da FC (VFC)^{1,2}. Recentemente, os métodos não lineares têm merecido grande atenção devido à interação de subsistemas que responde a estímulos internos e externos, como comandos central, periférico e humoral, os quais estão envolvidos na gênese da dinâmica da FC^{8,9}. Esta metodologia baseou-se no comportamento não linear da FC frente à complexa interação entre estes vários sistemas (sistema nervoso central, mecanismos reflexos e fatores neuro-humorais), os quais fornecem informações adicionais sobre os mecanismos envolvidos na regulação cardiovascular^{10,11}. Dessa forma, a importância da reprodutibilidade de quantificação e a complexidade da regulação cardiovascular resultaram na intensificação do uso de métodos de análise não linear a partir do cálculo de entropias^{12,13}. Esta metodologia quantifica as informações carregadas em uma série temporal, ou seja, quanto maior a informação, maior a complexidade. Além disso, a dinâmica simbólica, a partir da sequência de três batimentos, tem sido proposta para distinguir a modulação parassimpática da modulação simpática¹⁰.

Assim, uma modificação dos índices de complexidade possibilita quantificar mudanças, no controle autonômico cardíaco, promovidas por diferentes estímulos, além de adaptações proporcionadas pelo treinamento físico e/ou condições patológicas^{7,11,13}. No entanto, não há relatos na literatura desse método de análise não linear da VFC em mulheres jovens envolvidas em treinamento combinado (aeróbio e força) comparado com o treinamento aeróbio e de força.

A hipótese do presente estudo foi que treinamento físico envolvendo exercício aeróbio e combinado (aeróbio e força) resultam em predomínio da modulação autonômica parassimpática e menor modulação autonômica simpática, e que ambos foram correlacionados com maiores valores de $VO_{2\text{pico}}$. Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar a modulação autonômica da FC, a partir de métodos lineares e não lineares, e o $VO_{2\text{pico}}$ em mulheres envolvidas em treinamento aeróbio, combinado e de força, e também investigar a associação entre os índices da VFC e o $VO_{2\text{pico}}$.

MATERIAL E MÉTODOS

Oitenta e sete voluntárias foram inicialmente recrutadas em um *campus* universitário e academias locais. Foram incluídas no estudo 62 mulheres jovens (22,1±3,3 anos) e excluídas 25 mulheres, com base nos critérios de exclusão (figura 1). Foram consideradas fisicamente ativas mulheres que estavam regularmente inseridas em programas de treinamento físico em academias ou clubes há pelo menos um ano. A amostra foi dividida em quatro grupos de acordo com o tipo de treinamento físico em que estavam envolvidas: treinamento aeróbio (AER, n=15); treinamento combinado (aeróbio e força) (AER+FOR, n=15); treinamento de força (FOR, n=13); controle (C, n=19). As características

antropométricas e exames bioquímicos de cada grupo estão apresentados na tabela 1. O grupo AER praticava treinamento aeróbio (ciclismo, caminhada e corrida) três vezes ou mais por semana, com duração de 1 hora ou mais por sessão. O grupo FOR praticava treinamento de força com exercícios envolvendo os principais grupos musculares (membros superiores e inferiores e tronco), o qual era realizado três vezes por semana, com duração de 30 a 40 minutos por sessão. O grupo AER+FOR praticava exercícios aeróbios em esteira ou bicicleta ergométrica (30 minutos), seguido de exercícios de força como descrito acima. O grupo C eram não praticantes de atividade física regular ou esportes competitivos.

Todas as voluntárias foram avaliadas clinicamente por um médico e realizaram eletrocardiograma de repouso (ECG) e exames bioquímicos. Foram considerados critérios de exclusão, as voluntárias com histórico de doenças cardiovascular, metabólica ou pulmonar, ciclo menstrual irregular, uso de medicamento que influenciam na FC, gravidez, tabagismo, etilismo ou participação em esportes competitivos. O estudo foi conduzido de acordo com a Declaração de Helsinki e aprovado pelo Comitê de Ética da Instituição (protocolo 43/06). O termo de consentimento livre e esclarecido foi obtido por todas as voluntárias.

Todos os experimentos foram realizados sempre no período da tarde a fim de minimizar as influências do ciclo circadiano. A temperatura ambiente foi mantida entre 22°C e 24°C e a umidade relativa do ar entre 40% e 60% sob pressão atmosférica de 746 mmHg.

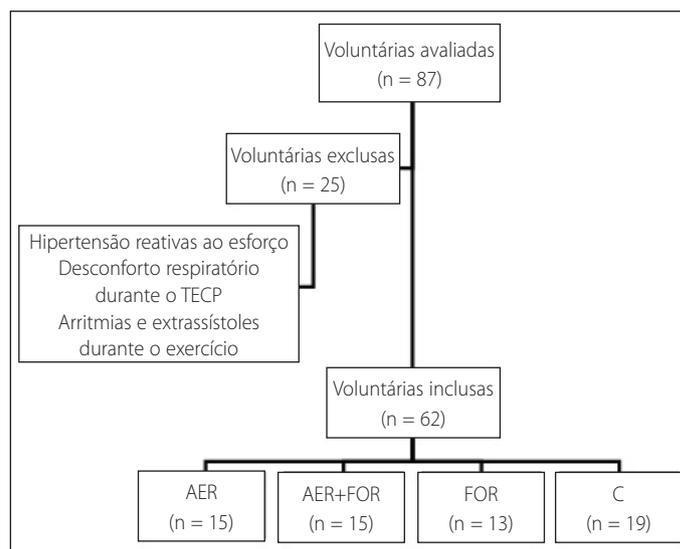


Figura 1. Fluxograma representando a perda amostral e distribuição da amostra.

Tabela 1. Características antropométricas e exames bioquímicos dos grupos: treinamento aeróbio (AER), treinamento combinado (AER+FOR), treinamento de força (FOR) e controle (C).

	AER (n = 15)	AER+FOR (n = 15)	FOR (n = 13)	C (n = 19)
Idade (anos)	20,5 ± 2,9	22,9 ± 4,1	23,8 ± 3,1	21,8 ± 2,8
Massa corporal (kg)	56,8 ± 7,4	57,9 ± 6,6	53,8 ± 4,7	58,9 ± 6,5
Estatura (cm)	164 ± 7	165 ± 6	163 ± 6	165 ± 5
IMC (kg/m ²)	21,3 ± 1,5	21,5 ± 1,5	20,3 ± 1,6	21,6 ± 1,9
FC _{repouso} (bpm)	66 ± 6	66 ± 11	66 ± 9	75 ± 11
PAS (mm Hg)	113 ± 10	116 ± 10	106 ± 9	111 ± 7
PAD (mm Hg)	74 ± 6	77 ± 8	72 ± 8	72 ± 7
Colesterol total (mg/dL)	162,1 ± 20,5	154,3 ± 27,7	168,5 ± 26,2	169,4 ± 58,2
LDL (mg/dL)	99,3 ± 31,2	86,2 ± 20,7	101,6 ± 54,9	115,9 ± 62,9
HDL (mg/dL)	47,4 ± 9,0	46,2 ± 13,0	40,2 ± 12,3	43,4 ± 14,3
Triglicérides (mg/dL)	71,8 ± 24,7	90,2 ± 17,0	127,4 ± 51,5	104,8 ± 76,5

Valores expressos em média±desvio padrão; IMC = índice de massa corporal; FC=frequência cardíaca; PAS=pressão arterial sistólica; PAD=pressão arterial diastólica; HDL=lipoproteína de alta densidade; LDL=lipoproteína de baixa densidade.

As voluntárias foram familiarizadas com o protocolo experimental e instruídas a evitar treinamento físico extenuante no dia anterior ao teste, a não ingerir cafeína, chás, bebidas alcoólicas durante as 24 horas anteriores ao exame, a ter uma noite de sono normal e a ingerir uma refeição leve pelo menos 2 horas antes da avaliação.

As voluntárias repousaram previamente antes da coleta por aproximadamente 15 minutos, a pressão arterial (PA) e a FC foram mensuradas para determinar se as condições basais estão adequadas para o experimento. O ECG foi captado a partir do monitor cardíaco de um canal (MINISCOPE II – Instramed, Porto Alegre, RS, Brasil) e processados por meio de um conversor analógico/digital de oito canais (Lab-PC+/National Instruments Co, Austin, TX, USA) que constitui uma interface entre o monitor cardíaco e o microcomputador. Os intervalos RR (iRR) foram adquiridos em uma frequência de amostragem de 500Hz e armazenados em um *software* específico desenvolvido por Silva *et al.*¹⁴. Os iRR foram captados batimento a batimento em tempo real por 15 minutos, em repouso na postura supina durante respiração espontânea.

Análise dos dados

A VFC foi analisada pela análise espectral, análise simbólica, entropia de Shannon (ES) e entropia condicional (EC). Uma sequência estacionária de 300 batimentos consecutivos foi selecionada a partir da captação total.

Para a análise espectral foi aplicado o método de transformada rápida de Fourier a partir de uma sequência de iRR previamente selecionada. Foram considerados os dois principais índices espectrais: baixa frequência (BF=0,04 a 0,15 Hz) e de alta frequência (AF=0,15 a 0,4 Hz) e a razão entre áreas absolutas de baixa e de alta frequência (razão BF/AF). A banda BF foi considerada um índice relacionado a modulação simpática e vagal no nodo sinusal, enquanto que a banda de AF foi o índice relacionado a modulação vagal. A normalização foi computada a partir da divisão da potência absoluta das bandas BF e AF pelo espectro de potência total, subtraindo a potência abaixo de 0,04 Hz e multiplicado por 100^{15,16}. As potências normalizadas foram rotuladas BFun e AFun. A razão BF/AF também foi considerada como um índice de balanço simpato-vagal.

A análise simbólica foi descrita previamente por Porta *et al.*¹³. Esta análise é baseada na distribuição dos iRR em seis níveis, os quais foram transformados em números inteiros, ou seja, símbolos. Posteriormente, os padrões simbólicos foram construídos com base na sequência de três símbolos. Os padrões simbólicos foram agrupados em famílias: (i) padrões sem variação (0V); e padrões com duas variações diferentes (2VD). A porcentagem de ocorrência de cada família foi calculada (0V% and 2VD%). Estudos prévios utilizando bloqueio farmacológico¹⁰ e durante *tilt test*^{10,17} verificaram que o padrão 0V reflete a modulação simpática e o padrão 2VD a modulação parassimpática.

A ES foi calculada para determinar a complexidade da distribuição dos padrões¹³. Assim, a ES foi alta quando a distribuição dos padrões foi plana (todos os padrões foram igualmente distribuídos) e a ES foi baixa quando um subconjunto de padrões foram mais prováveis, enquanto outros foram ausentes ou infrequentes. A EC quantifica a informação carregada por uma nova amostra, a qual não pode ser derivada a partir de uma sequência passada, isto é, a regularidade¹². A EC foi corrigida pelo viés resultante do cálculo durante séries curtas e apresenta um valor mínimo ao longo do comprimento da sequência de condicionamento, o qual é definido como o índice de complexidade (IC). Este índice foi normalizado pela ES da série de iRR para obter o IC normalizado (ICN). Quanto maior for o IC e ICN, maior é a complexidade e menor a regularidade.

Cada voluntária foi submetida a um teste de exercício cardiopul-

monar (TECP) sintoma-limitado, em ciclo ergômetro com frenagem eletromagnética (LODE BV - CORIVAL V2, Groningen, the Netherlands). O incremento de potência foi determinado para cada voluntária de acordo com a fórmula proposta por Wasserman *et al.*¹⁸ O protocolo incremental utilizado iniciou em 4W durante 4 minutos (para ambos os grupos) seguido de incremento de potência de 20W (grupo controle) ou 25W (grupo ativo) por minuto. Foi solicitado às voluntárias manter 60 rotações por minuto (rpm) de cadência até a exaustão física. O TECP foi interrompido quando, pelo menos, três dos seguintes critérios foram atingidos: 1) incapacidade para manter 60 rpm; 2) razão de trocas gasosa (RER) > 1,15; e 3) FC máxima prevista por idade (210 - idade). As variáveis ventilatórias e metabólicas (VO₂, produção de dióxido de carbono [VO₂], ventilação [V_E], frequência respiratória [Fr]) foram mensuradas continuamente respiração-a-respiração, utilizando um sistema metabólico (CPX-D, Medical Graphics, St. Paul, MN, EUA). O sensor de fluxo foi calibrado com uma seringa de 3 litros, e os sensores de CO₂ e O₂ foram calibrados com gases padronizados (5% de CO₂, 12% O₂, balanço N₂), antes de cada teste. Todos os sensores foram calibrados de acordo com as seguintes condições: temperatura ambiente entre 22 a 24 °C, umidade relativa do ar entre 40 e 60% e pressão atmosférica de 746 mmHg.

Análise estatística

O cálculo amostral foi estimado a partir do *software GraphPad StatMate for Windows*, versão 2.0, baseado na média e desvio padrão dos índices da VFC (ES, IC, ICN, 0V% e 2UV%) obtidos em nosso estudo piloto. Para um alfa de 0,05 e *power* de 80%, a recomendação foi de 13 voluntárias em cada grupo. Todas as análises estatísticas foram feitas utilizando o *software Statistica for Windows*, versão 7.0. O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi aplicado em todas as variáveis. Os dados foram analisados a partir do teste de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn. A correlação entre os índices da VFC e o VO_{2pico} (mL.kg⁻¹.min⁻¹) foi calculada utilizando o teste de Spearman. Os dados estão apresentados em média e desvio padrão. O nível de significância foi estabelecido em 5%.

RESULTADOS

O grupo AER apresentou maior média dos iRR em comparação ao grupo C. A variância dos iRR foi maior no grupo AER em relação aos grupos AER+FOR, FOR e C (p<0,05).

O grupo AER apresentou maiores valores de AFa comparado com os grupos FOR e C (p<0,05). Em unidades normalizadas, os grupos AER e AER+FOR obtiveram menores valores de BFun e BF/HF e maiores valores de AFun comparados com o grupo C (p>0,05). A ES e IC foram maiores nos grupos AER e AER+FOR em relação ao grupo C (p<0,05). Já, o grupo FOR apresentou menores valores ES e IC em relação ao grupo AER. Além disso, o ICN foi maior no grupo AER comparado com o grupo C (p<0,05). Na análise simbólica, os grupos AER e AER+FOR apresentaram menores valores para 0V% e maiores valores para 2UV% comparado ao grupo C (p>0,05). Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos FOR e C em todos os índices da VFC (p>0,05) (tabela 2).

Os grupos AER e AER+FOR apresentaram maiores valores de VO_{2pico} (mL.kg⁻¹.min⁻¹ e L.min⁻¹), VCO_{2pico} (L.min⁻¹) e potência (W) em comparação com o grupo C, no pico do teste de exercício cardiopulmonar (p<0,05), enquanto que os grupos FOR revelaram valores similares ao grupo C (p>0,05). O grupo FOR apresentou menor valor de VO_{2pico} (mL.kg⁻¹.min⁻¹ e L.min⁻¹) e VCO_{2pico} (L.min⁻¹) em relação ao grupo AER (p<0,05). Somente o grupo AER+FOR maior valor de V_E em comparação com o grupo C (p<0,05) (tabela 3).

Foi encontrada correlação positiva e moderada entre o $VO_{2\text{pico}}$, AFa e BFun ($p < 0,05$), sendo negativa e moderada entre BFun e BF/AF ($p < 0,05$). A correlação entre o $VO_{2\text{pico}}$ e os índices não lineares foi positiva e forte para ES e moderada para IC e ICN ($p < 0,05$). Os padrões da análise simbólica revelaram correlação moderada, sendo que o 0V% correlacionou negativamente e o 2VD% positivamente com o $VO_{2\text{pico}}$ (tabela 4).

Tabela 2. Índices da variabilidade da frequência cardíaca na postura supina dos grupos treinamento aeróbio (AER), treinamento combinado (AER+FOR), treinamento de força (FOR) controle (C).

	AER (n = 15)	AER+FOR (n = 15)	FOR (n = 13)	C (n = 19)
Media dos RRi (ms)	965 ± 105*	880 ± 77	877 ± 84	814 ± 109
Variância dos RRi (ms)	672 ± 450* [#]	274 ± 160	333 ± 321	360 ± 400
Análise espectral				
BFa	1966 ± 1700	820 ± 626	1126 ± 1588	1386 ± 1986
AFa	3327 ± 2426* [#]	1300 ± 885	1162 ± 1551	1086 ± 996
BFnu	0,37 ± 0,07*	0,38 ± 0,13*	0,48 ± 0,19	0,53 ± 0,12
AFnu	0,63 ± 0,07*	0,61 ± 0,13*	0,52 ± 0,19	0,46 ± 0,12
BF/AF	0,60 ± 0,19*	0,71 ± 0,46*	1,34 ± 1,35	1,37 ± 0,93
Entropia de Shannon	4,03 ± 0,11* [#]	3,99 ± 0,11*	3,77 ± 0,24	3,47 ± 0,16
Entropia condicional				
IC	1,24 ± 0,08* [#]	1,18 ± 0,11*	1,10 ± 0,13	1,02 ± 0,09
ICN	0,81 ± 0,05*	0,77 ± 0,07	0,75 ± 0,07	0,73 ± 0,05
Symbolic analysis				
0V%	7,05 ± 5,13*	8,07 ± 3,80*	12,35 ± 6,51	19,04 ± 8,05
2VD%	32,84 ± 13,65*	27,45 ± 9,04*	23,77 ± 7,60	16,42 ± 6,16

Valores expressos em média ± desvio padrão, RRi = intervalos RR; BFa = baixa frequência em unidades absolutas; AFa = alta frequência em unidades absolutas; BFun = baixa frequência em unidades normalizadas; AFun = alta frequência em unidades normalizadas; BF/AF = razão entre BF e AF; IC = índice de complexidade; ICN = índice de complexidade normalizado; 0V = padrões sem variação; 2VD = padrões com duas variações diferentes. Teste de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn ($p < 0,05$); * $p < 0,05$ vs C; [#] $p < 0,05$ vs FOR; * $p < 0,05$ vs AER+FOR.

Tabela 3. Variáveis cardiorrespiratórias obtidas no pico do exercício dos grupos: exercício treinamento aeróbio (AER), treinamento combinado (AER+FOR), treinamento de força (FOR) controle (C).

	AER (n = 15)	AER+FOR (n = 15)	FOR (n = 13)	C (n = 19)
$VO_{2\text{pico}}$ (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	33,4 ± 3,8* [#]	31,6 ± 1,9* [#]	27,0 ± 1,5	22,0 ± 2,7
$VO_{2\text{pico}}$ (L.min ⁻¹)	1,8 ± 0,1* [#]	1,8 ± 0,2* [#]	1,4 ± 0,1	1,3 ± 0,2
$VCO_{2\text{pico}}$ (L.min ⁻¹)	2,2 ± 0,2* [#]	2,1 ± 0,2* [#]	1,7 ± 0,2	1,6 ± 0,3
VE (L.min ⁻¹)	59,8 ± 8,0	62,6 ± 8,8*	53,8 ± 10,3	49,7 ± 14,5
Potência (W_{pico})	166,7 ± 16,9*	165,9 ± 19,5*	141,7 ± 15,8	122,1 ± 17,7
RER	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1
FC_{pico} (bpm)	181 ± 11	178 ± 12	181 ± 9	175 ± 13

Valores expressos em média ± desvio padrão, $VO_{2\text{pico}}$ = consumo de oxigênio; $VCO_{2\text{pico}}$ = produção de dióxido de carbono; VE = ventilação; RER = razão de trocas gasosas; FC = frequência cardíaca. Teste de Kruskal-Wallis com *post hoc* de Dunn ($p < 0,05$); * $p < 0,05$ vs C; [#] $p < 0,05$ vs FOR.

Tabela 4. Correlação entre os índices da VFC e VO_2 (mL.kg⁻¹.min⁻¹).

	VO_2 (mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	
	R	P
Análise espectral		
BFa	0,14	>0,05
AFa	0,38	<0,05
BFun	-0,48	<0,05
AFun	0,48	<0,05
BF/AF	-0,48	<0,05
Entropia de Shannon	0,73	<0,05
Entropia condicional		
IC	0,59	<0,05
ICN	0,37	<0,05
Análise simbólica		
0V%	-0,59	<0,05
2VD%	0,46	<0,05

BFa=baixa frequência em unidades absolutas; AFa=alta frequência em unidades absolutas; BFun=baixa frequência em unidades normalizadas; AFun= alta frequência em unidades normalizadas; BF/AF=razão entre BF e AF; IC=índice complexidade; ICN=índice de complexidade normalizado; 0V=padrões sem variações; 2VD=padrões com duas variações diferentes. Correlação de Spearman ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO

Os dois principais achados dos estudos foram que, pela análise da VFC utilizando os métodos lineares e não lineares, o treinamento físico aeróbio e combinado apontaram predomínio da modulação vagal, comparado com as voluntárias sedentárias. Além disso, o predomínio da modulação parassimpática e menor modulação simpática da FC correlacionaram-se com maiores valores de $VO_{2\text{pico}}$.

Considerando os aspectos metodológicos, a análise da complexidade (entropia de Shannon e condicional) mostrou que o grupo treinamento aeróbio apresentou maior complexidade e regularidade da série temporal em relação ao grupo treinamento de força. O mesmo resultado também foi encontrado quando foi comparado o grupo treinamento combinado em relação ao grupo controle. No que se refere à análise espectral (BFun, AFun e BF/AF) e simbólica (0V% e 2VD%), não foi encontrada diferença nos índices da VFC entre os grupos ativos (AER, AER+FOR e FOR). Em contrapartida, em relação ao grupo controle, os grupos AER e AER+FOR apresentaram predomínio da modulação vagal (AFun e 2UV%) e menor modulação simpática (BFnu e 0V%). De acordo com Porta *et al.*¹⁹, a complexidade da regulação cardiovascular promove informações importantes sobre os mecanismos regulatórios subjacentes. Portanto, a modificação dos índices de complexidade, neste caso, pode ser resultante da grande função do órgão, um aumento de interação entre os subsistemas e aperfeiçoamento de mecanismos de regulação, o que pode sugerir uma adaptação autonômica cardíaca.

Os efeitos positivos do treinamento físico envolvendo exercício aeróbio^{1,2,20} e exercício combinado⁷ sobre a modulação autonômica da FC têm sido reportados em estudos longitudinais, os quais justificam que as adaptações autonômicas mais expressivas têm sido proporcionadas pelo treinamento aeróbio. Baseados neste contexto, esses estudos têm atribuído que o treinamento aeróbio reduz o fluxo eferente simpático ao nodo sinusal^{21,22}. Além disso, outro mecanismo que leva o aumento da modulação vagal promovida pelo exercício físico é a regulação positiva da síntese de óxido nítrico endotelial induzida pelo *shear stress*. Recentemente, o óxido nítrico tem sido demonstrado e reconhecido como um mecanismo de controle endotelial bem como modulador vagal, por exercer efeito facilitador sobre a aferência barorreflexa desencadeando aumento da atividade neuronal central e periférica²³. Assim, as adaptações centrais citadas acima levam ao predomínio da modulação parassimpática e redução da modulação simpática, as quais atuam como mecanismos cardioprotetivos.

Em relação à aptidão cardiorrespiratória, as mulheres envolvidas em treinamento aeróbio e combinado apresentaram maior $VO_{2\text{pico}}$ em relação ao treinamento de força. No entanto, a potência durante o TECP foi similar entre os grupos. Estes resultados refletem que o treinamento de força promove adaptações neurais simultaneamente à hipertrofia muscular através de diferentes mecanismos, tais como a melhora da elasticidade muscular, recrutamento e sincronização das unidades motoras ou a redução da co-contracção de grupos musculares antagonistas^{5,24}. Dessa forma, o treinamento de força permitiu maior eficiência mecânica com menor utilização de energia durante o TECP. Já o treinamento aeróbio e combinado (aeróbio e força) proporcionaram adaptações pulmonares, cardiovasculares e neuromusculares que melhoraram a oferta de oxigênio para a mitocôndria e o controle do metabolismo dentro das células musculares²⁵. Desse modo, a magnitude do aumento do $VO_{2\text{pico}}$ depende das adaptações periféricas, evidenciadas pelo aumento das enzimas oxidativas em nível muscular, aumento da capacidade e densidade mitocondrial, maior densidade capilar, aumento das trocas gasosas e utilização de substrato no tecido muscular^{20,25}. Concomitante às adaptações periféricas, as modalidades predominantemente aeróbias levam a adaptações centrais como

aumento do volume sistólico, devido ao aumento do tamanho do ventrículo esquerdo, da contratilidade miocárdica e do volume sistólico final²⁵. Em relação ao treinamento combinado, a literatura relata que esta modalidade pode resultar na concorrência entre as modalidades aeróbia e de força ou adaptações antagônicas (diminuição na força ou no rendimento aeróbio)²⁶. Não obstante, nossos resultados concordam com os achados de Bell *et al.*⁵ e Karavirta *et al.*⁷, os quais evidenciam que a modalidade aeróbia envolvida no treinamento combinado não foi comprometida pelos efeitos do exercício de força. Outro achado importante no presente estudo foi que os maiores índices da VFC estão associados à maior aptidão cardiorrespiratória. Os resultados revelam que os índices da VFC que representam a modulação autonômica parassimpática (AFa, AFnu e 2VD%), a complexidade (entropia de Shannon) e a regularidade (IC e ICN) estão associados aos maiores valores $VO_{2\text{pico}}$, enquanto que menores índices da VFC, que representam a modulação autonômica simpática (BFnu e 0V%), estão associados aos menores valores de $VO_{2\text{pico}}$.

Observações na literatura admitem que os efeitos positivos do treinamento físico sobre a modulação autonômica da FC evidenciada pelo predomínio da modulação vagal, dependem da magnitude da capacidade funcional aeróbia. Assim, nossos achados concordam com prévios estudos²⁷⁻²⁹.

Baseado nesses resultados pode-se inferir que o treinamento aeróbio e combinado proporcionam efetivamente maior aptidão cardiorrespiratória e maior modulação autonômica da FC, que contribuem para a saúde cardiovascular.

O desenho transversal do presente estudo limitou o controle da intensidade de treinamento e o esclarecimento da relação causal entre a atividade física e a modulação autonômica cardíaca. Assim, estudos longitudinais são necessários para avaliar as adaptações cardiovasculares decorrentes da intensidade e dos diferentes tipos de treinamento físico e o impacto clínico dessas na modulação autonômica da FC.

CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo mostram que o treinamento físico envolvendo exercício aeróbio e combinado contribuiu significativamente para maior modulação autonômica da frequência cardíaca e aptidão cardiorrespiratória. A modulação autonômica da frequência cardíaca, avaliada a partir dos métodos lineares e não lineares, foi associada com o maior consumo de oxigênio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) – processo 370448/2007-3, Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - processo #006/56788-1 e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

- Middleton N, De Vito G. Cardiovascular autonomic control in endurance-trained and sedentary young women. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2005;25(2):83-9.
- Sloan RP, Shapiro PA, DeMeersman RE, Bagiella E, Brondolo EN, McKinley PS, et al. The effect of aerobic training and cardiac autonomic regulation in young adults. *Am J Public Health*. 2009;99(5):921-8.
- Cooke WH, Carter JR. Strength training does not affect vagal-cardiac control or cardiovagal baroreflex sensitivity in young healthy subjects. *Eur J Appl Physiol*. 2005;93(5-6):719-25.
- Forte R, De Vito G, Figura F. Effects of dynamic resistance training on heart rate variability in healthy older women. *Eur J Appl Physiol*. 2003;89(1):85-9.
- Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2000;81(5):418-27.
- Hendrickson NR, Sharp MA, Alemany JA, Walker LA, Harman EA, Spiering BA, et al. Combined resistance and endurance training improves physical capacity and performance on tactical occupational tasks. *Eur J Appl Physiol*. 2010;109(6):1197-208.
- Karavirta L, Tulppo MP, Laaksonen DE, Nyman K, Laukkanen RT, Kinnunen H, et al. Heart rate dynamics after combined endurance and strength training in older men. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(7):1436-43.
- Di Renzo M, Porta A. Clinical applications of linear and nonlinear components. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2009;56(1):16-7.
- Malliani A, Montano N. Emerging excitatory role of cardiovascular sympathetic afferents in pathophysiological conditions. *Hypertension*. 2002;39(1):63-8.
- Guzzetti S, Borroni E, Garbelli PE, Ceriani E, Della Bella P, Montano N, et al. Symbolic dynamics of heart rate variability: a probe to investigate cardiac autonomic modulation. *Circulation*. 2005;112(4):465-70.
- Huikuri HV, Mäkilä TH, Perkiömäki J. Measurement of heart rate variability by methods based on nonlinear dynamics. *J Electrocardiol*. 2003;36(Suppl):95-9.
- Porta A, Baselli G, Liberati D, Montano N, Cogliati C, Gnechi-Ruscione T, et al. Measuring regularity by means of a corrected conditional entropy in sympathetic outflow. *Biol Cybern*. 1998;78(1):71-8.
- Porta A, Guzzetti S, Montano N, Furlan R, Pagani M, Malliani A, et al. Entropy, entropy rate, and pattern classification as tools to typify complexity in short heart period variability series. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2001;48(11):1282-91.
- Silva E, Catai AM, Trevelin LC, Guimarães JO, Silva Jr LP, Silva LMP. Design of a computerized system to evaluate the cardiac function during dynamics exercise. *Phys Med Biol*. 1994;33:409.
- Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res*. 1986;59(2):178-93.
- Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*. 1991;84(2):482-92.
- Porta A, Tobaldini E, Guzzetti S, Furlan R, Montano N, Gnechi-Ruscione T. Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by symbolic analysis of heart rate variability. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2007;293(1):H702-8.
- Wasserman K, Hansen JE, Sue D, Whipp BJ, Casaburi R. Principles of exercise testing and interpretation. 4th ed. Philadelphia: Williams and Wilkins; 1999.
- Porta A, Di Rienzo M, Wessel N, Kurths J. Addressing the complexity of cardiovascular regulation. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2009;367(1892):1215-8.
- Carter JB, Banister EW, Blaber AP. The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(8):1333-40.
- Blomqvist CG, Saltin B. Cardiovascular adaptations to physical training. *Annu Rev Physiol*. 1983;45:169-89.
- Dixon EM, Kamath MV, McCartney N, Fallen EL. Neural regulation of heart rate variability in endurance athletes and sedentary controls. *Cardiovasc Res*. 1992;26(7):713-9.
- Buch AN, Coote JH, Townend JN. Mortality, cardiac vagal control and physical training—what's the link? *Exp Physiol*. 2002;87(4):423-35.
- Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* (1985). 1995;78(3):976-89.
- Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*. 2000;29(6):373-86.
- Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med*. 2000;30(6):385-94.
- Buchheit M, Gindre C. Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2006;291(1):H451-8.
- Grant CC, Clark JR, Janse van Rensburg DC, Viljoen M. Relationship between exercise capacity and heart rate variability: supine and in response to an orthostatic stressor. *Auton Neurosci*. 2009;151(2):186-8.
- Hautala AJ, Mäkilä TH, Kiviniemi A, Laukkanen RT, Nissilä S, Huikuri HV, et al. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2003;285(4):H1747-52.