

Redução no Consumo de Oxigênio Pico Pós Maratona: Sinal de Fadiga Cardíaca em Corredores Amadores?

Reduction in Post-Marathon Peak Oxygen Consumption: Sign of Cardiac Fatigue in Amateur Runners?

Ana Paula Rennó Sierra^{1,2,3}, Anderson Donelli da Silveira^{4,5,6}, Ricardo Contesini Francisco², Rodrigo Bellios de Mattos Barretto¹⁰, Carlos Anibal Sierra⁷, Romeu Sergio Meneghelo⁸, Maria Augusta Peduti Dal Molin Kiss¹, Nabil Ghorayeb², Ricardo Stein^{4,6,9}

Escola de Educação Física e Esporte – Universidade de São Paulo¹; Seção de Cardioesporte – Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia²; Departamento de Medicina – Universidade Nove de Julho³, São Paulo, SP; Grupo de Pesquisa em Cardiologia do Exercício do Hospital de Clínicas de Porto Alegre⁴; Serviço de Cardiologia do Hospital de Clínicas de Porto Alegre – Universidade Federal do Rio Grande do Sul⁵; Vitta Centro de Bem Estar Físico⁶, Porto Alegre, RS; Setor de Eletrofisiologia – Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia⁷; Setor de Ergometria e Reabilitação – Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia⁸, São Paulo, SP; Professor Adjunto II – Serviço de Cardiologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul⁹, Porto Alegre, RS; Setor de Ecocardiografia – Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia¹⁰, São Paulo, SP – Brasil

Resumo

Fundamento: O exercício aeróbico prolongado, como correr uma maratona, produz um estresse suprafisiológico que pode ter impacto na homeostase do atleta. Algum grau de disfunção miocárdica transitória (“fadiga cardíaca”) pode ser observado ao longo de vários dias após a prova.

Objetivos: Verificar se ocorrem alterações na capacidade cardiopulmonar, no inotropismo e no lusitropismo cardíaco de maratonistas amadores após a realização de uma maratona.

Métodos: A amostra foi composta por 6 corredores amadores masculinos. Todos realizaram teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) uma semana antes da Maratona de São Paulo e 3 a 4 dias após a mesma. Realizaram ecocardiograma 24 horas antes e imediatamente após a prova. Todos foram orientados a não se exercitar, manter dieta regular, ingerir a mesma quantidade habitual de líquidos e descansar pelo menos 8 horas ao dia no período anterior ao TCPE.

Resultados: Os atletas completaram a maratona em 221,5 (207; 250) minutos. No TCPE pós-maratona, ocorreu redução significativa no consumo de oxigênio e no pulso de oxigênio de pico em relação àqueles obtidos antes da prova (50,75 e 46,35 mL.kg⁻¹.min⁻¹; 19,4 e 18,1 mL.btm, respectivamente). Ao ecocardiograma, encontramos redução significativa na onda s’ (marcador do inotropismo). A relação E/e’ não apresentou alteração significativa após a maratona (marcador do lusitropismo).

Conclusões: Em atletas amadores, a maratona parece promover alterações na capacidade cardiopulmonar identificadas pelo menos em até 4 dias após a prova, com redução na contratilidade e, portanto, no inotropismo cardíaco. Tais modificações sugerem que algum grau de “fadiga cardíaca” possa ocorrer. (Arq Bras Cardiol. 2016; 106(2):92-96)

Palavras-chave: Exercício; Homeostase; Esportes; Disfunção Ventricular; Corrida; Consumo de Oxigênio.

Abstract

Background: Prolonged aerobic exercise, such as running a marathon, produces supraphysiological stress that can affect the athlete’s homeostasis. Some degree of transient myocardial dysfunction (“cardiac fatigue”) can be observed for several days after the race.

Objective: To verify if there are changes in the cardiopulmonary capacity, and cardiac inotropy and lusitropy in amateur marathoners after running a marathon.

Methods: The sample comprised 6 male amateur runners. All of them underwent cardiopulmonary exercise testing (CPET) one week before the São Paulo Marathon, and 3 to 4 days after that race. They underwent echocardiography 24 hours prior to and immediately after the marathon. All subjects were instructed not to exercise, to maintain their regular diet, ingest the same usual amount of liquids, and rest at least 8 hours a day in the period preceding the CPET.

Results: The athletes completed the marathon in 221.5 (207; 250) minutes. In the post-marathon CPET, there was a significant reduction in peak oxygen consumption and peak oxygen pulse compared to the results obtained before the race (50.75 and 46.35 mL.kg⁻¹.min⁻¹; 19.4 and 18.1 mL.btm, respectively). The echocardiography showed a significant reduction in the s’ wave (inotropic marker), but no significant change in the E/e’ ratio (lusitropic marker).

Conclusions: In amateur runners, the marathon seems to promote changes in the cardiopulmonary capacity identified within 4 days after the race, with a reduction in the cardiac contractility. Such changes suggest that some degree of “cardiac fatigue” can occur. (Arq Bras Cardiol. 2016; 106(2):92-96)

Keywords: Exercise; Homeostasis; Sports; Ventricular Dysfunction; Running; Oxygen Consumption.

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

Correspondência: Ana Paula Rennó Sierra •

Universidade de São Paulo – Escola de Educação Física e Esporte. Av Prof. Mello Moraes, 65 – Cidade Universitária CEP 05508-030, São Paulo, SP – Brasil

E-mail: anasierra@usp.br

Artigo recebido em 14/06/15; revisado em 05/10/15; aceito em 21/10/15.

Introdução

O exercício aeróbico prolongado, como as corridas de longa duração (maratona), produz um estresse supra-fisiológico que pode ter impacto na homeostase do atleta. Depleção dos substratos energéticos, aumento progressivo da temperatura corporal, desequilíbrio hidroeletrólítico e dano muscular extenso são consequências comuns dessa prática.¹

Algum grau de disfunção miocárdica transitória ("fadiga cardíaca") pode ser observado ao longo de vários dias após exercício prolongado. Tal quadro pode ser evidenciado em indivíduos saudáveis através de estudos de imagem específicos e da análise de biomarcadores cardíacos no sangue periférico.^{2,3} Através de ecocardiograma (ECO) Doppler transtorácico realizado após provas de longa duração foram encontradas alterações na contratilidade, no relaxamento, na função sistólica e diastólica do ventrículo esquerdo, incluindo alterações no diâmetro interno do ventrículo esquerdo, aumento da onda A e redução na relação E/A.^{4,5}

Prejuízo na troca dos gases pulmonares e redução na capacidade de difusão pulmonar após exercício aeróbico intenso e prolongado sugerem que o mesmo possa induzir prejuízo funcional respiratório persistente, mesmo após o término do exercício.³ Stickland et al.⁶ sugerem que a alteração na troca de gases pulmonares pós-exercício intenso e prolongado seja influenciada pelo sistema cardiovascular. Entretanto, essa relação ainda não foi bem estabelecida.⁶

Apesar do interesse crescente sobre os efeitos cardiovasculares e pulmonares que ocorrem após uma maratona, poucos são os estudos disponíveis empregando o teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) como uma ferramenta para essa avaliação. Dessa forma, o objetivo do presente experimento foi verificar se ocorrem alterações na capacidade cardiopulmonar de atletas amadores (amostra piloto) após a realização de uma maratona.

Métodos

Esta é uma série de casos composta por seis indivíduos atléticos avaliados no ambulatório de Cardiologia do Esporte do Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia. Todos participaram da mesma edição da Maratona Internacional de São Paulo. Da mesma forma, todos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, que, junto ao protocolo do estudo, foi previamente aprovado pelo comitê de ética em pesquisa da instituição, seguindo as normas da Declaração de Helsinkí.

Foram incluídos apenas corredores do sexo masculino, caucasianos, com experiência em pelo menos uma maratona nos últimos cinco anos e uma meia maratona no último ano. Todos eram saudáveis e sem relato de doenças cardiopulmonares.

O primeiro TCPE foi realizado na semana que antecedeu a maratona (3 dias antes), sendo o segundo realizado entre 3 e 4 dias após a prova. Os indivíduos mantiveram-se sem treinamento entre o dia da maratona e o dia do TCPE após a maratona, tendo sido orientados a proceder de forma semelhante quanto à ingestão de líquidos, alimentação e descanso ao longo do período pós-maratona (orientação

por escrito). Todos os testes funcionais foram realizados em esteira rolante (TEB®, modelo APEX 200, São Paulo, Brasil), com obtenção da frequência cardíaca pelo equipamento da TEB® (modelo APEX 1000) através de protocolo em estágios, os quais iniciavam a uma velocidade de 8 km/h e apresentavam incremento de 1 km/h a cada 1 minuto, visando levar o indivíduo à exaustão.

Para análise dos gases expirados, utilizou-se um analisador CardiO2 System (Medical Graphics Corporation®, Minnesota, EUA) com sensores que permitem a análise respiração a respiração (*breath-by-breath*). As condições de temperatura da sala foram controladas e mantidas entre 21°C e 23°C, registrando-se a umidade relativa do ar por termo-higrômetro e a pressão barométrica em barômetro de Torricelli (valores médios 61% e 703 mmHg, respectivamente).

Para quantificação do consumo de oxigênio de pico (VO_2 pico), foi utilizado o período dos 30 segundos que antecederam o final do esforço e os 30 segundos após o final do esforço. Após obtenção dos dados respiração a respiração, realizamos médias a cada 15 segundos e determinamos o maior valor dentro desse período. No último estágio do TCPE, os corredores apontavam na escala de Borg o valor correspondente à sua percepção de esforço.

Os atletas foram submetidos ao ECO três dias antes da maratona e imediatamente após a mesma. O exame foi realizado em uma tenda localizada a 100 metros da linha de chegada. O tempo para aquisição das imagens foi de até 10 minutos. Foi utilizado um aparelho Vivid 7 (GE Healthcare®, Milwaukee, WI, EUA) com capacidade para armazenamento digital de imagens, equipado com um transdutor setorial M4S.

Realizou-se ECO completo com modo unidimensional, bidimensional, Doppler convencional e Doppler tecidual de acordo com as recomendações da Sociedade Americana de Ecocardiografia.⁷ Capturaram-se cliques de quatro batimentos consecutivos. Os exames foram arquivados digitalmente e analisados em estação de trabalho dedicada (ECHOPAC® 6.0, Milwaukee, WI, EUA).

Análise Estatística

Foi realizada no software SPSS versão 22.0 (IBM Inc., Chicago, IL, 2013). Os resultados foram expressos através de medianas e amplitudes interquartis, uma vez que os dados rejeitaram a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Para avaliar o impacto da maratona nos dados obtidos nos dois momentos pré-determinados (pré e pós prova), utilizou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon, sendo o teste de Spearman utilizado para a correlação do delta das variáveis. O nível de significância dos testes foi de 5%.

Resultados

A Maratona Internacional de São Paulo foi realizada durante a primavera. No início da prova, a temperatura era de 17,8°C, a umidade do ar, 55% e a velocidade do vento, 1 m/s. No final da maratona, a temperatura era de 22,8°C, a umidade do ar, 59% e a velocidade do vento, 2 m/s. O dia manteve-se ensolarado durante todo o período da prova.

Foram incluídos seis atletas neste estudo piloto. A Tabela 1 mostra suas características gerais, como dados antropométricos, idade, tempo de prova, percentual da velocidade pico no qual o atleta realizou a maratona (velocidade média durante a maratona/velocidade pico no teste cardiopulmonar de exercício x 100) e o volume de treino em horas/semana.

Teste cardiopulmonar de exercício

Todos os atletas apresentaram boa capacidade cardiopulmonar, tanto no TCPE pré- quanto naquele pós-maratona, alcançando praticamente a mesma velocidade pico em ambos os testes (mediana de 18 e 18,5, respectivamente). Todos os testes foram considerados máximos, com quociente respiratório (R) superior a 1,1 e associado a fadiga intensa, caracterizada por índice 19 ou 20 pela escala de percepção do esforço (Borg).

Observamos que houve uma redução significativa no VO_2 pico, assim como no pulso de oxigênio (PO_2) de pico, no TCPE pós-prova. Houve também redução na relação da inclinação da curva da ventilação sobre a curva de produção

de gás carbônico (VE/VCO_2), mas não foi observada diferença nos valores de ventilação máxima entre os testes. A Tabela 2 apresenta os valores das variáveis do TCPE.

Ecocardiograma

Ao ECO, os atletas apresentavam fração de ejeção dentro dos limites da normalidade, tendo comportamento diferente após a prova em relação ao repouso, principalmente devido ao aumento da frequência cardíaca.

Quanto às variáveis relacionadas ao ECO, encontrou-se uma redução significativa no valor da onda E, da onda s', da relação E/A e um concomitante aumento da frequência cardíaca. A Tabela 3 apresenta os valores das variáveis do ECO.

Para avaliar o lusitropismo cardíaco, utilizou-se a relação E/e' , que não apresentou alteração significativa após a maratona. Por sua vez, para análise do inotropismo, utilizou-se a medida da onda s', que representa a contratilidade miocárdica. Essa medida mostrou redução significativa após a maratona, sugerindo redução de contratilidade e, portanto, do inotropismo cardíaco.

Discussão

O principal achado deste experimento foi uma redução significativa no VO_2 pico após a maratona em relação à mensuração dessa variável no período pré-maratona. Isso ocorreu a despeito de os indivíduos terem apresentado o mesmo desempenho no TCPE, ou seja, atingiram a mesma velocidade máxima média em ambos os exames.

Algumas alterações identificadas em nosso estudo vão ao encontro de resultados observados em investigações prévias realizadas em atletas que completaram provas de *endurance*. Kasikcioglu et al.,² em um estudo publicado em 2006, também encontraram redução no VO_2 pico. Esses autores sugerem que tal achado possa ter decorrido de uma desaceleração na cinética do oxigênio muscular após o exercício prolongado.² No mesmo sentido, Miles et al.⁸ registraram redução da capacidade de difusão pulmonar após o exercício de longa

Tabela 1 – Características gerais dos maratonistas (n = 6)

Variáveis	Mediana (Perc. 25; Perc.75)
Idade (anos)	43,0 (36; 47)
Peso (kg)	67,1 (61; 75)
Altura (cm)	164,5 (163; 168)
Tempo de prova (min)	221,5 (207; 250)
Velocidade média (km/h)	11,9 (9; 12)
% vel. Pico	64,0 (54; 66)
Horas de treino/semana	10,0 (8; 13)

Os dados são representados em mediana e intervalo interquartil; % vel. Pico: velocidade média durante a maratona / velocidade pico no teste cardiopulmonar de exercício x 100.

Tabela 2 – Resultados do teste cardiopulmonar de exercício pré- e pós-maratona (n = 6)

Variável	Pré-Maratona	Pós-Maratona	Valor de p
FC repouso (bpm)	69 (65; 76)	70,5 (61; 80)	NS
FC pico (bpm)	174 (167; 181)	175 (169; 186)	NS
Vel. pico (km/h)	18 (16; 20)	18,5 (17; 19)	NS
VO_2 pico ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	50,75 (46; 52)	46,35 (43; 49)	* < 0,05
VE pico (l/min)	134,2 (99; 148)	119,9 (111; 147)	NS
R	1,15 (1,10 1,19)	1,14 (1,11; 1,17)	NS
Pulso O_2 (ml.btm)	19,4 (17; 21)	18,1 (15; 19)	* < 0,05
Pet O_2 pico	101,5 (94,5; 105,7)	101,5 (96,5; 104,2)	NS
VE/VCO_2 inclinação	33,7 (30; 41)	31,1 (27; 39)	* < 0,05

Os dados estão apresentados em mediana (percentil 25; percentil 75); *p < 0,05 = significativo; FC: frequência cardíaca; vel.: velocidade; VO_2 : consumo de oxigênio; VE: ventilação; R: quociente respiratório; Pulso O_2 : pulso de oxigênio; Pet O_2 : pressão espirada de O_2 ; VE/VCO_2 inclinação: inclinação da curva da ventilação sobre a curva de produção de gás carbônico.

Tabela 3 – Resultados do ecocardiograma de exercício antes e imediatamente após a maratona (n = 6)

Variável	Pré-Maratona	Pós-Maratona	Valor de p
FC	62 (60; 67)	104 (101; 111)	* < 0,05
Volume sistólico	88,5 (78,5; 100,1)	61 (50,7; 67,7)	* < 0,05
Débito cardíaco	5354 (4747; 6458)	6234 (5238; 7433)	NS
DDFVE	50,5 (48,5; 52,25)	51 (44,5; 57,7)	NS
DSFVE	31,5 (29,2; 32,2)	32 (27,5; 34)	NS
FE	67,1 (65,5; 69,7)	61,6 (61; 67)	NS
Onda E	0,9 (0,67; 1,02)	0,6 (0,5; 0,72)	* < 0,05
Onda A	0,65 (0,47; 0,9)	0,9 (0,8; 0,92)	NS
Relação E/A	1,33 (1,08; 1,54)	0,7 (0,6; 0,79)	* < 0,05
Onda s'	8,8 (8,2; 9,7)	6,7 (5,9; 8)	* < 0,05
Onda e'	9,2 (8,4; 10,6)	8,5 (6,4; 10,4)	NS
Onda a'	8,1 (7,6; 9,1)	7,6 (6,6; 9,6)	NS
Relação E/e'	0,09 (0,08; 0,1)	0,08 (0,06; 0,09)	NS

Os dados estão apresentados em mediana (percentil 25; percentil 75); *p < 0,05 = significativo; FC: frequência cardíaca; DDFVE: diâmetro diastólico final do ventrículo esquerdo; DSFVE: diâmetro sistólico final do ventrículo esquerdo; FE: fração de ejeção.

duração, a qual persiste por um período após a realização do mesmo. No entanto, as modificações que ocorrem no sistema de entrega de oxigênio aos tecidos após o exercício ainda não são claras.

Nesse contexto, a queda do VO_2 pico e do PO_2 no período pós-maratona pode ser um achado sugestivo de algum grau de “fadiga cardíaca”. Com a queda do PO_2 nos testes pós-maratona, a redução no inotropismo cardíaco parece exercer um papel preponderante sobre a queda do VO_2 nesse período. Aliás, esse parece ter sido o fator que mais contribuiu para a queda do VO_2 , visto que a frequência cardíaca de pico se manteve semelhante nos dois testes. Além disso, apesar de ocorrer um “benefício” parcial demonstrado pela compensação pulmonar, com maior eficiência ventilatória e otimização na utilização de O_2 para produzir o mesmo esforço, há evidência de redução no débito cardíaco no período após a maratona. A partir desses achados, podemos especular uma piora da *performance* do miocárdio após o estresse da maratona.

As hipóteses acima são corroboradas tanto pelos achados ecocardiográficos quanto pelos achados do TCPE pós-maratona. As modificações na contratilidade ao ECO, em conjunto com a queda no PO_2 e no VO_2 pico ao TCPE, vão ao encontro da hipótese de que os atletas possam apresentar algum grau de “fadiga cardíaca”, principalmente em função de alterações no inotropismo cardíaco, sem que o lusitropismo se modifique. Por sua vez, as variáveis de avaliação da função diastólica não apresentam alterações.

A relação da inclinação VE/VCO_2 apresentou redução significativa entre o teste pré- e o pós-maratona. Não encontramos explicação plausível para tal achado, mas a pequena variação

absoluta dessa variável nos faz crer que não haja relevância fisiológica para essa diferença.

Como limitações podemos elencar que a amostra em questão é pequena e selecionada (todos homens, caucasianos e com idade semelhante), o que pode causar um viés nos resultados obtidos, além de dificultar qualquer extrapolação no quesito validade externa. É digno de nota que o grau de treinamento prévio dos atletas não pôde ser controlado. Da mesma forma, não tivemos controle sobre possíveis intervenções realizadas no período de recuperação (3-4 dias) que possam ter interferido com os resultados observados (ingestão hídrica, alimentação, tempo de descanso). Novos estudos são importantes para corroborar os resultados encontrados.

Conclusões

Em atletas amadores, a maratona parece promover alterações na capacidade cardiopulmonar identificadas pelo menos em até 4 dias após a prova, com redução na contratilidade e, portanto, no inotropismo cardíaco. Tais modificações sugerem que algum grau de “fadiga cardíaca” ocorre.

Agradecimentos

Os autores agradecem a TEB (Tecnologia Eletrônica Brasileira) e a Yescom (Produtora da Maratona Internacional de São Paulo). Ricardo Stein é pesquisador do Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq). Ana Paula Sierra é bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa, Obtenção de dados: Sierra APR, Francisco RC, Barretto RBM, Sierra CA, Meneghelo RS, Ghorayeb N; Análise e interpretação dos dados: Sierra APR, Silveira AD, Francisco RC, Barretto RBM, Sierra CA, Meneghelo RS, Kiss MAPDM, Stein R; Análise estatística: Sierra APR, Silveira AD, Kiss MAPDM; Redação do manuscrito: Sierra APR, Silveira AD, Barretto RBM, Kiss MAPDM, Stein R; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Barretto RBM, Kiss MAPDM, Ghorayeb N, Stein R.

Potencial conflito de interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação acadêmica

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

Referências

1. Coyle EF. Physiological regulation of marathon performance. *Sports Med.* 2007;37(4-5):306-11.
2. Kasikcioglu E, Arslan A, Topcu B, Sayli O, Akhan H, Ofraz H, et al. Cardiac fatigue and oxygen kinetics after prolonged exercise. *Int J Cardiol.* 2006;108(2):286-8.
3. Stickland MK, Anderson WD, Haykowsky MJ, Welsh RC, Petersen SR, Jones RL. Effects of prolonged exercise to exhaustion on left-ventricular function and pulmonary gas exchange. *Respir Physiol Neurobiol.* 2004;142(2-3):197-209.
4. Whyte G, George K, Shave R, Dawson E, Stephenson C, Edwards B, et al. Impact of marathon running on cardiac structure and function in recreational runners. *Clin Sci (Lond).* 2005;108(1):73-80.
5. Wilson M, O'Hanlon R, Prasad S, Oxborough D, Godfrey R, Alpendurada F, et al. Biological markers of cardiac damage are not related to measures of cardiac systolic and diastolic function using cardiovascular magnetic resonance and echocardiography after an acute bout of prolonged endurance exercise. *Br J Sports Med.* 2011;45(10):780-4.
6. Stickland MK, Petersen SR, Haykowsky MJ, Taylor DA, Jones RL. The effects of cycle racing on pulmonary diffusion capacity and left ventricular systolic function. *Respir Physiol Neurobiol.* 2003;138(2-3):291-9.
7. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(1):1-39. e14.
8. Miles DS, Doerr CE, Schonfeld SA, Sinks DE, Gotshall RW. Changes in pulmonary diffusing capacity and closing volume after running a marathon. *Respir Physiol.* 1983;52(3):349-59.