Análise da Função Diastólica e Função Atrial em Ciclistas de Alto Desempenho por Meio da Ecocardiografia Tridimensional

Analysis of Diastolic Function and Atrial Function in High Performance cyclists through Three-Dimensional Echocardiography

Wercules Oliveira, Ana Clara Tude Rodrigues, Luciana Janot, Adriana Cordovil, Claudia Gianini Monaco, Edgar Lira-Filho, Claudio Henrique Fischer, Samira Saady Morhy, Marcelo Luiz Campos Vieira

Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, SP – Brasil

Resumo

Objetivos: Avaliar a função diastólica e a função atrial esquerda por meio do estudo com Doppler e ecocardiograma tridimensional em ciclistas de alto desempenho; comparar as variáveis estudadas a controles não esportistas.

Métodos: Foram estudados 18 ciclistas profissionais (homens, idade 29, 5 ± 4 , 3 anos) e 18 indivíduos controles não esportistas (homens, idade 28, 8 ± 5 , 8 anos). Todos os indivíduos foram submetidos a ecocardiograma bidimensional e tridimensional com medidas de variáveis de função diastólica e de esvaziamento atrial como volume atrial esquerdo máximo, mínimo e antes de sua contração. Com base nestes volumes fundamentais foram calculadas a função de esvaziamento ativo, passivo e total, bem como a força de contração atrial.

Resultados: Os indivíduos de ambos grupos apresentaram variáveis antropométricas semelhantes. Foi observado no grupo ciclista em relação aos controles: menor velocidade da onda A' ($5,9 \text{ cm/s} \pm 2,2$ versus $7,6 \pm 2,3 \text{ cm/s}$, com $P=0,03$), menor força de contração atrial ($4,7 \pm 1,4 \text{ Kdyn}$ Vs. $6,2 \pm 2,1 \text{ Kdyn}$, com $P=0,02$) e maior fração de esvaziamento passivo ($43,8 \pm 12,8\%$ versus $34,8 \pm 10,4\%$ com $P=0,03$). Foi observada correlação linear entre a velocidade da onda A' e a força de contração atrial no grupo dos ciclistas ($r=0,80$, $P<0,05$), entre a força de contração atrial e a fração de esvaziamento passivo ($r=-0,88$, $P<0,05$) e entre a força de contração atrial e o volume atrial antes de sua contração ($r=0,65$, $P<0,05$).

Conclusão: O grupo ciclistas apresentou aumento do componente passivo em detrimento de uma redução do componente ativo no esvaziamento atrial total, o que mostrou estar correlacionado à atividade diastólica supernormal nesse grupo. (Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2014;27(4):235-242)

Palavras-chave: Atletas; Ciclismo; Atividade Motora; Disfunção Ventricular; Função Atrial; Ecocardiografia Tridimensional.

Abstract

Objectives: To assess left ventricular diastolic and atrial function by means of Doppler and three-dimensional echocardiography of high-performance cyclists; To compare the variables studied for non-athlete controls.

Methods: The study included 18 professional cyclists (men, age 29, 5 ± 4 , 3 years) and 18 non-athlete control individuals (men, age 28, 8 ± 5 , 8 years). All individuals underwent two-dimensional and three-dimensional echocardiography including measures of diastolic function variables and atrial emptying, such as maximum, minimum and before contraction left atrial volume. Based on these fundamental volumes, active, passive and total emptying function, and atrial contraction strength were calculated.

Results: The individuals of both groups had similar anthropometric variables. The following was observed in the cyclist group as for the controls: lower A' wave velocity ($5.9 \text{ cm/s} \pm 2.2$ versus $7.6 \pm 2.3 \text{ cm/s}$, with $P = 0.03$), smaller atrial contraction force ($4.7 \pm 1.4 \text{ Kdyn}$ vs. $6.2 \pm 2.1 \text{ Kdyn}$, $P = 0.02$) and greater passive emptying fraction ($43.8\% \pm 12.8$ versus $34.8 \pm 10.4\%$ with $P = 0.03$). A linear correlation was found between A' wave velocity and atrial contraction force in the cyclists group ($r = 0.65$, $P < 0.05$), between atrial contraction force and passive emptying fraction ($r = 0.80$, $P < 0.05$) and between atrial contraction and volume before contraction ($r = 0.65$, $P < 0.05$).

Conclusion: The cyclists group showed an increase in the passive component to the detriment of a reduction in the active component in total atrial emptying, which was showed to be correlated with supernormal diastolic activity in this group. (Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc. 2014;27(4):235-242)

Keywords: Athletes; Bicycling; Motor Activity; Ventricular Dysfunction; Atrial Function; Echocardiography, Three Dimensional.

Full texts in English - <http://departamentos.cardiol.br/sbc-depeco/publicacoes/revistadic/>

Correspondência: Wercules Oliveira •

Serviço de Ecocardiografia

Av. Albert Einstein, 627/701, 05652-900, Jardim Leonor, São Paulo, SP - Brasil

E-mail: wercules.oliveira@gmail.com

Artigo recebido em 25/06/2014; revisado em 17/07/2014; aprovado em 26/08/2014.

DOI: 10.5935/2318-8219.20140032

Introdução

Atividade física intensa e regular está fisiologicamente relacionada a alterações cardíacas estruturais e funcionais¹. Em resposta ao treinamento de alto desempenho, frequentemente há um aumento na espessura miocárdica, no diâmetro das câmaras cardíacas e da massa miocárdica, o que determina a condição denominada “coração de atleta”². Essas mudanças estruturais cardíacas fisiológicas devem ser diferenciadas das alterações patológicas da estrutura cardíacas associadas à sobrecarga hemodinâmica não compensada que, por sua vez, estão estreitamente relacionadas ao aumento da frequência de arritmias cardíacas e morte súbita durante o exercício físico³.

O estudo com Doppler pulsado e Doppler tecidual tem se mostrado uma metodologia eficaz na diferenciação entre as alterações fisiológicas e patológicas no coração do atleta. Alguns estudos têm utilizado essa tecnologia para a investigação da influência da atividade esportiva na função miocárdica⁴. Em pacientes com alterações patológicas da estrutura miocárdica, há um aumento do tempo de relaxamento do ventrículo esquerdo, redução da velocidade do enchimento ventricular inicial e aumento da velocidade do enchimento ventricular tardio, o que reflete a maior dificuldade no enchimento ventricular passivo devido à redução do relaxamento ativo dessa câmara, o que em última instância caracteriza a disfunção diastólica⁵.

O remodelamento atrial esquerdo também é um componente das alterações estruturais associadas ao exercício e é considerado como adaptação fisiológica dessa câmara ao novo *status* de condicionamento físico. Segundo estudos epidemiológicos, alterações no volume e na função atrial esquerda estão presentes em 20% dos atletas que praticam esportes competitivos e não estão associadas à maior frequência de eventos cardiovasculares maiores. As mudanças morfológicas no remodelamento atrial estão associadas ao aumento do retorno venoso, do volume de ejeção cardíaco, ao aumento do ventrículo esquerdo e dependem fundamentalmente do tipo e da intensidade do exercício praticado⁶. A função atrial esquerda, determinada pela análise ecocardiográfica tridimensional de suas fases de esvaziamento, é um conjunto de variáveis que estimam precocemente o aparecimento de disfunção diastólica do ventrículo esquerdo, pois dependem diretamente das pressões de enchimento dessa cavidade⁷.

Na ecocardiografia tridimensional, há uma reconstrução digital semiautomática do conteúdo atrial a partir da identificação de pontos anatômicos específicos, o que a torna mais objetiva e menos dependente do examinador em comparação a outras técnicas⁸. Estudos sobre o uso da reconstrução tridimensional para o cálculo do volume atrial mostram que a ecocardiografia bidimensional subestima a quantificação da metodologia tridimensional que, por sua vez, apresenta menores valores que as medidas realizadas pela ressonância magnética⁹⁻¹¹. A discrepância entre métodos pode ser explicada não somente pela limitação inerente à inferência geométrica, mas também pela imprecisão dos eixos longitudinais ou axiais atriais utilizados na tecnologia bidimensional para estimativa volumétrica¹². Estudos em

que foram analisadas diferentes técnicas de avaliação volumétrica atrial esquerda recomendam a aplicação clínica da ecocardiografia tridimensional devido ao menor tempo gasto com a aquisição e o processamento das imagens, menor variabilidade interobservador do que a análise com ecocardiografia bidimensional e valores comparáveis aos obtidos pela ressonância magnética nuclear¹⁰.

Apesar de ter sido empregada na análise da dinâmica atrial em populações com alta prevalência de disfunção diastólica, a tecnologia ecocardiográfica tridimensional ainda não foi utilizada no estudo das alterações morfológicas atriais fisiologicamente associadas à prática de atividade física intensa e regular em atletas profissionais.

Objetivos

Avaliar a função diastólica e a função atrial esquerda por meio do estudo com Doppler e ecocardiograma tridimensional de ciclistas de alto desempenho; Comparar as variáveis estudadas a controles não esportistas pareados para idade, gênero e superfície corpórea.

Métodos

População

Neste estudo, realizado no Hospital Israelita Albert Einstein nos anos 2010 a 2012, foram incluídos 18 ciclistas de alto desempenho (homens, idade $29,5 \pm 4,3$ anos) provenientes de equipes de ciclismo profissional brasileiro. O critério de inclusão nesse grupo foi a prática de ciclismo competitivo, com média de treino de pelo menos 10 horas/semana, 10 meses por ano¹³. Todos esses indivíduos estavam no mesmo estágio de treinamento e foram examinados no mesmo horário do dia. Foram também incluídos no estudo 18 controles não esportistas (homens, idade $28,8 \pm 5,8$ anos). O critério de inclusão nesse grupo foram idade e superfície de área corpórea similares ao grupo ciclistas. Os critérios de exclusão de ambos os grupos foram tabagismo atual, hipertensão arterial, qualquer doença metabólica, pulmonar ou cardiovascular significativa. Foram também excluídos de ambos os grupos aqueles indivíduos com janela acústica ecocardiográfica limitada. Foram excluídos do grupo controle os indivíduos com história de prática de atividade esportiva intensa e regular ou profissional.

Ecocardiograma

Os exames ecocardiográficos foram realizados de acordo com critérios estabelecidos pelas diretrizes da Sociedade Americana de Ecocardiografia e da Sociedade Brasileira de Cardiologia^{14,15}. Na aquisição dos exames foi utilizado ecocardiógrafo Toshiba Artida ultrasound system® (Toshiba Medical Systems, Tokyo, Japan), com aplicativo de armazenamento digital para análise *off-line*. Foram obtidas imagens no eixo paraesternal longitudinal, eixo paraesternal transversal e apical de quatro e duas câmaras. O ecocardiograma tridimensional foi realizado com o transdutores para aquisição de dados *full-volume* incluindo quatro ciclos cardíacos consecutivos durante pausa

respiratória. O volume piramidal total ($60^\circ \times 60^\circ$) resultou da integração de quatro volumes menores ($15^\circ \times 15^\circ$). Todos os dados armazenados digitalmente foram analisados *off-line* por meio do programa 4D Echo-View® 5.4 (TomTec Imaging Systems, Munich, Germany®).

Para a reconstrução digital atrial esquerda foram identificados os pontos septal, lateral, anterior, posterior e teto do átrio esquerdo. A borda endocárdica atrial em cada quadro ao longo do ciclo cardíaco foi definida por processamento semiautomático e manualmente ajustada para exclusão do apêndice atrial esquerdo e veias pulmonares, quando necessário. Foram calculados ao longo do ciclo cardíaco: volume atrial esquerdo máximo, volume atrial esquerdo mínimo, e volume atrial esquerdo imediatamente antes de sua contração.

A partir dos volumes fundamentais encontrados foram calculadas as seguintes medidas e variáveis indexadas para a superfície corpórea¹⁶⁻¹⁸.

- Volume de esvaziamento total do átrio esquerdo = volume atrial esquerdo máximo – volume atrial esquerdo mínimo;
- Fração de esvaziamento total do átrio esquerdo = (volume de esvaziamento total do átrio esquerdo / volume atrial esquerdo máximo) $\times 100$;
- Volume de esvaziamento ativo do átrio esquerdo = volume atrial esquerdo antes de sua contração – volume atrial esquerdo mínimo;
- Fração de esvaziamento ativo do átrio esquerdo = (volume de esvaziamento ativo do átrio esquerdo / volume atrial esquerdo antes de sua contração) $\times 100$;
- Volume de esvaziamento passivo do átrio esquerdo = volume atrial esquerdo máximo – volume atrial esquerdo antes de sua contração;
- Fração de esvaziamento passivo do átrio esquerdo = (volume de esvaziamento passivo do átrio esquerdo / volume atrial esquerdo máximo) $\times 100$.

Ainda dentro da amostra piramidal de aquisição do ecocardiograma tridimensional, os volumes sistólico e diastólico finais do ventrículo esquerdo foram determinados durante o ciclo cardíaco para cálculo de sua fração de ejeção. A borda endocárdica foi mapeada sequencialmente por meio de processamento semiautomático¹⁹.

A força de contração atrial foi calculada com base na segunda lei de movimento de Newton, por meio da seguinte fórmula: força de contração atrial (Kdyn) = $0,5 \times 1,06 \times \text{área da valva mitral} \times (\text{velocidade da onda A})^2$ onde 0,5 é uma constante de aceleração da onda A e 1,06 é a densidade do sangue (g/cm^3).

A área mitral foi identificada por meio de inclinação apical da amostra piramidal do volume tridimensional e planimetria manual da borda interna do anulo mitral^{20,21} (Figura 1).

A função diastólica foi avaliada com o uso do Doppler pulsado no estudo do fluxo diastólico mitral (velocidades máximas da onda E e A; relação E/A e tempo de desaceleração da onda E). Também foi utilizado o Doppler tecidual para determinação das velocidades de movimentação diastólica do anulo mitral (ondas E' e

A' derivadas da média entre os valores do ponto septal e lateral). Esses dados foram utilizados para cálculo da relação E/E'²².

A massa miocárdica foi determinada pela fórmula de Devereux com valor de corte 134 g/m^2 ²³.

Análise estatística

As variáveis contínuas estão apresentadas em média e desvio padrão e as variáveis categóricas, na forma de frequências absolutas e relativas. A diferença entre grupos independentes foi determinada pelos testes t de Student e χ^2 , para variáveis contínuas e categóricas, respectivamente. O teste de correlação de Pearson foi utilizado para se avaliar a relação linear entre variáveis contínuas. O valor de $P \leq 0,05$ foi considerado significativo. O programa de análise estatística empregado foi o Statistic 6.0.

Resultados

População

Nenhum indivíduo foi excluído da amostra total após aplicação dos critérios de exclusão. Os indivíduos no grupo esportistas apresentaram tempo de treino $14,6 \text{ h/semana} \pm 4,6$, onde percorriam $702,8 \pm 140,9 \text{ Km/semana}$. O grupo com ciclistas apresentou índice de massa corpórea menor em relação ao grupo controle não esportista ($22,8 \pm 1,3 \text{ Kg/m}^2$ vs $24,2 \pm 1,8 \text{ Kg/m}^2$, $P = 0,02$). Não houve diferença estatística significativa entre os grupos em relação aos demais dados clínicos. Os dados antropométricos dos grupos ciclistas e controles não esportistas estão expostos na Tabela 1.

Ecocardiograma

Foi observado no grupo ciclista: menor velocidade da onda A' ($5,9 \pm 2,2 \text{ cm/s}$ vs $7,6 \pm 2,3 \text{ cm/s}$, $P = 0,03$); menor força de contração atrial ($4,7 \pm 1,4 \text{ Kdyn}$ vs $6,2 \pm 2,1 \text{ Kdyn}$, $P = 0,02$) e maior fração de ejeção passiva ($43,8 \pm 12,8\%$ vs $34,8 \pm 10,4\%$, $P = 0,03$); maior índice de massa do ventrículo esquerdo ($157,1 \pm 27,2$ vs $110,4 \pm 8,9$, $P < 0,01$). As demais variáveis ecocardiográficas não apresentaram diferença estatística significativa entre os grupos (Tabela 2).

Foi observada correlação linear entre força de contração atrial e volume atrial antes de sua contração ($r = 0,65$, $P < 0,05$) e entre a velocidade da onda A' e a força de contração atrial no grupo dos ciclistas ($r = 0,80$, $P < 0,05$). Foi também observada correlação linear negativa entre a força de contração atrial e a fração de esvaziamento passivo ($r = -0,88$, $P < 0,05$) (Figuras 2, 3 e 4).

Não foi observada correlação linear entre as variáveis volumétricas de contração atrial e as variáveis Doppler no grupo controle (Figuras 2, 3 e 4). Também não foi observada correlação entre os achados no grupo ciclista com o volume de exercício praticado semanalmente ou com o índice de massa do ventrículo esquerdo.

Não foi encontrado nenhum indivíduo com disfunção diastólica segundo padrões definidos por diretrizes atuais^{22,24}.

Figura 1 – Aquisição do bloco tridimensional e delimitação do anel mitral.

Tabela 1 – Resultados dos dados antropométricos

	Ciclistas (n=18)	Controles (n=18)	valor de p
Peso (kg)	71,7 ± 6,2	75,4 ± 5,8	0,1
Altura (cm)	177,1 ± 6,6	176,6 ± 5,0	0,8
Índice de massa corpórea (kg/m ²)	22,8 ± 1,3	24,2 ± 1,8	0,02
Superfície corporal total (m ²)	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1	0,3
Idade (anos)	29,5 ± 4,3	28,8 ± 5,8	0,7

Discussão

Os principais achados deste estudo mostram que, utilizando a ecocardiografia tridimensional, foi possível identificar uma menor participação do esvaziamento atrial ativo no enchimento ventricular esquerdo, em detrimento de um componente de enchimento ventricular passivo mais eficiente em ciclistas profissionais, comparando-se com controles não esportistas. Esses dados reforçam o achado do desempenho diastólico supernormal nessa população, já observado por outras tecnologias.

Vários estudos prévios demonstraram que atletas profissionais apresentam melhor desempenho da função diastólica em relação à população não esportista^{4,25,26}.

Nesse contexto, a função diastólica supernormal do atleta pode ser considerada como um fenômeno que envolve não somente a complacência ventricular aumentada, mas também as complexas alterações no acoplamento eletromecânico atrioventricular que acontecem em situações de treinamento físico de longa duração. D'Andrea e cols.²⁷, em um estudo com Doppler pulsado, demonstraram uma estreita relação entre as velocidades de efluxo mitral e a aumentada complacência diastólica exercício-induzida⁴. Entretanto, o papel funcional do átrio esquerdo na dinâmica do coração do atleta é frequentemente negligenciado e dados conclusivos ainda não foram suficientemente determinados²⁷.

Tabela 2 – Resultados de variáveis ecocardiográficas

	Ciclistas(n=18)	Controles(n=18)	valor de p
Velocidade da onda E mitral (cm/s)	82,0 ± 3,1	81,9 ± 6,8	0,1
Velocidade da onda A mitral (cm/s)	39,5 ± 9,2	45,7 ± 11,3	0,09
Relação E/A	2,2 ± 0,5	1,9 ± 0,5	0,1
Tempo de Desaceleração do fluxo mitral (ms)	158,0 ± 13,6	161,9 ± 12,6	0,40
Velocidade da onda E' (cm/s)	16,6 ± 2,1	15,6 ± 2,3	0,24
Velocidade da onda A' (cm/s)	5,9 ± 2,2	7,6 ± 2,3	0,03
Relação E/e'	5,5 ± 0,6	5,3 ± 0,9	0,23
Volume diastólico final do ventrículo esquerdo (mL)	142,7 ± 19,7	142,1 ± 20,8	0,94
Volume sistólico final do ventrículo esquerdo (mL)	57,4 ± 11,0	50,3 ± 9,7	0,06
Índice de massa do ventrículo esquerdo (mg/m ²)	157,1 ± 27,2	110,4 ± 8,9	<0,01
Volume atrial esquerdo máximo indexado (mL/m ²)	21,7 ± 4,1	19,7 ± 3,1	0,12
Volume atrial esquerdo mínimo indexado (mL/m ²)	7,10 ± 3,1	7,6 ± 3,1	0,67
Volume atrial esquerdo antes de sua contração indexado (mL/m ²)	11,8 ± 5,3	12,7 ± 1,8	0,2
Fração de ejeção atrial esquerda total (%)	66,0 ± 17,0	62,5 ± 13,1	0,50
Fração de ejeção atrial esquerda passiva (%)	43,8 ± 12,8	34,8 ± 10,4	0,03
Fração de ejeção atrial esquerda ativa (%)	39,3 ± 12,8	40,6 ± 10,4	0,9
Força de contração atrial esquerda (Kdyn)	4,7 ± 1,4	6,2 ± 2,1	0,02
Área do ânulo mitral (cm ²)	5,9 ± 1,3	5,8 ± 1,7	0,8

Figura 2 – Correlação entre força de contração atrial esquerda e a volume antes de sua contração (A) atletas e (B) controles.

O presente estudo mostrou que ciclistas profissionais têm menor velocidade de onda A' do que controles não esportistas, o que sugere uma característica supernormal da diástole ventricular nessa população. Dessa forma, inferimos que a reduzida movimentação do ânulo mitral na segunda metade da diástole, evidenciada pela menor velocidade da onda A', reflete um menor volume residual antes da contração atrial. De acordo com o mecanismo proposto por Frank-Starling, a redução da pré-carga atrial promove um decréscimo na força de contração dessa

câmara, o qual se torna fundamental para o apropriado enchimento ventricular²⁸. Esse mecanismo fisiológico foi corroborado no presente estudo pelos valores mais altos das variáveis relativas à função atrial passiva e reduzida força de contração atrial no grupo ciclista. Da mesma forma, a ausência de correlação entre essas variáveis no grupo controle reforça a associação entre a prática de exercício de alto desempenho e mudanças na fisiologia da diástole cardíaca. No entanto, não foi observada correlação funcional direta entre a quantidade de exercício

Figura 3 – Correlação entre força de contração atrial e velocidade da onda A' (A) atletas e (B) controles.

Figura 4 – Correlação entre força de contração atrial e fração de esvaziamento passiva do átrio esquerdo (A) atletas (B) controles.

praticada pelos atletas e os achados anteriormente citados, o que pode ser parcialmente explicado pela influência de outras variáveis na mudança da dinâmica atrial esquerda nessa população como resistência vascular periférica²⁹ e polimorfismo genético³⁰, e que não foram contempladas no presente estudo. Esses achados estão de acordo com aqueles descritos por D'Ascenzi e cols.¹³, que estudaram a dinâmica atrial esquerda em jogadores de futebol por meio do *speckle tracking* bidimensional. Segundo esses autores, os atletas estudados apresentaram um aumento dos componentes iniciais da diástole no enchimento ventricular esquerdo¹³.

O estudo da fisiologia do esvaziamento atrial em atletas tem se mostrado uma ferramenta promissora na medida das pressões de enchimento ventricular nesse grupo. O estudo da função atrial esquerda por meio do ecocardiograma bidimensional já foi descrito em estudos anteriores e mostrou

elevada correlação com outras variáveis de função diastólica. No entanto, a tecnologia bidimensional apresentou limitações quanto à reprodutibilidade. Nesse sentido, a estimativa da força de contração atrial pelo ecocardiograma tridimensional tem sido validada como variável estreitamente relacionada ao enchimento ventricular final, com reduzida variabilidade interobservador e alta acurácia^{7,16}. A relação do esvaziamento atrial esquerdo ativo com a resistência ventricular ao efluxo mitral foi demonstrada no presente estudo pela significativa correlação linear entre a força de contração atrial e a velocidade da onda A' tecidual no grupo de atletas. A reduzida força de contração atrial nesse grupo seria resultado de uma relativa predominância do esvaziamento atrial inicial no enchimento ventricular, o que, por sua vez, foi demonstrado pela correlação linear negativa entre a força de contração atrial esquerda e a fração de esvaziamento atrial esquerda passiva. Além disso, observamos também uma elevada correlação linear positiva entre a força de contração atrial e

o volume atrial esquerdo antes de sua contração. No entanto, não observamos diferença significativa entre a fração de esvaziamento ativo entre os grupos. Isso pode ser parcialmente explicado pela dificuldade de análise de pequenas variações volumétricas do átrio esquerdo, como é o caso da diferença entre o volume pré-contração atrial e o volume atrial mínimo. Tal limitação já foi relatada por Zhong e cols.³¹, quando não observaram correlação entre a fração de esvaziamento e outras variáveis diastólicas³¹.

Esse remodelamento funcional do átrio esquerdo em atletas é, provavelmente, um componente da adaptação cardíaca global ao aumento da pré-carga associado ao treinamento intenso e frequente²⁶. Essa adaptação está ligada não somente a maior distensibilidade e aumento do lusitropismo ventricular esquerdo, mas também a um aumento das propriedades viscoelásticas do átrio esquerdo que estão diretamente relacionados ao incremento do tônus vagal nessa população. Vários estudos têm evidenciado que o incremento parassimpático associado ao treinamento físico intenso e de longa duração gera uma redução do tempo necessário para o relaxamento e enchimento ventricular, o que funcionaria como um mecanismo compensatório para a manutenção do débito cardíaco durante os episódios de frequência cardíaca elevada³².

Investigações prévias têm sugerido que atletas treinados são predispostos a fibrilação atrial paroxística, possivelmente como uma consequência de um remodelamento cardíaco inapropriado associado à predisposição individual. Foi observado também que muitos desses indivíduos que apresentam arritmias de origem supraventricular têm átrios com dimensões normais, o que permite inferir que a gênese de tal condição esteja relacionada não somente a alterações morfológicas, mas também a mudanças funcionais no átrio esquerdo⁶. A ecocardiografia tridimensional, por se utilizar da reconstrução digital do conteúdo atrial, bem como das suas mudanças volumétricas ao longo do ciclo cardíaco, tem se mostrado como uma ferramenta promissora no estudo das alterações funcionais que antecedem as mudanças morfológicas do remodelamento dessa câmara. No entanto, estudos que contemplem uma maior população são necessários para se compreender totalmente a relação entre a maior frequência de arritmias atriais e o remodelamento atrial observado em atletas treinados.

Limitações

Uma limitação potencial foi a dificuldade inerente de pareamento do grupo controle em relação ao índice de massa

corpórea. No entanto, acreditamos que não houve prejuízo na análise final, pois a superfície corpórea foi semelhante entre os grupos. Segundo as diretrizes da Sociedade Americana de Ecocardiografia e Sociedade Brasileira de ecocardiografia^{14,15}, a superfície corpórea deve ser utilizada como variável de indexação para medidas ecocardiográficas.

Outra possível limitação foi a falta de mulheres e idosos nos grupos estudados, o que não nos permitiu determinar se as informações encontradas poderiam se estender ao sexo feminino e a uma população com faixa etária mais abrangente.

Conclusão

Por meio da ecocardiografia tridimensional, nosso estudo demonstrou um aumento no componente de esvaziamento passivo em relação a uma redução no componente ativo de enchimento ventricular em atletas profissionais quando comparados a controles não esportistas. Esses resultados não somente reafirmam o achado da função diastólica supernormal em atletas profissionais de alto desempenho, mas também revelam um remodelamento atrial esquerdo funcional nessa população.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Oliveira W, Rodrigues ACT, Cordovil A, Monaco CG, Lira-Filho E, Fischer CH, Morhy SS, Vieira MLC; Obtenção de dados: Oliveira W, Janot L; Análise e interpretação dos dados: Oliveira W; Análise estatística: Oliveira W; Redação do manuscrito: Oliveira W; Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Oliveira W.

Potencial Conflito de Interesses

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. Pluim BM, Zwinderman AH, van der Laarse A, van der Wall EE. The athlete's heart: a meta-analysis of cardiac structure and function. *Circulation*. 2000;101(3):336-44.
2. Fagard R. Athlete's heart. *Heart*. 2003;89(12):1455-61.
3. Maron BJ, Pelliccia A, Spirito P. Cardiac disease in young trained athletes: Insights into methods for distinguishing athlete's heart from structural heart disease, with particular emphasis on hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation*. 1995;91(5):1596-601.
4. D'Andrea A, D'Andrea L, Caso P, Scherillo M, Zeppilli P, Calabro R. The usefulness of Doppler myocardial imaging in the study of the athlete's heart and in the differential diagnosis between physiological and pathological ventricular hypertrophy. *Echocardiography*. 2006;23(2):149-57.
5. Maron BJ, Spirito P, Green KJ, Wesley YE, Bonow RO, Arce J. Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function by pulsed Doppler echocardiography in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 1987;10(4):733-42.
6. Pelliccia A, Maron BJ, Di Paolo FM, Biffi A, Quattrini FM, Pisicchio C, et al. Prevalence and clinical significance of left atrial remodeling in competitive athletes. *J Am Coll Cardiol*. 2005;46(4):690-6.
7. Oliveira W, Campos O, Cintra F, Matos L, Vieira ML, Rollim B, et al. Impact of continuous positive airway pressure treatment on left atrial volume and function in patients with obstructive sleep apnoea assessed by real-time three-dimensional echocardiography. *Heart*. 2009;95(22):1872-8.
8. Jenkins C, Bricknell K, Marwick TH. Use of real-time three-dimensional echocardiography to measure left atrial volume: comparison with other echocardiographic techniques. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18(9):991-7.
9. Maddukuri PV, Vieira ML, DeCastro S, Maron MS, Kuvlin JT, Patel AR, et al. What is the best approach for the assessment of left atrial size? Comparison of various unidimensional and two-dimensional parameters with three-dimensional echocardiographically determined left atrial volume. *J Am Soc Echocardiogr*. 2006;19(8):1026-32.
10. Khankirawatana B, Khankirawatana S, Lof J, Porter TR. Left atrial volume determination by three-dimensional echocardiography reconstruction: validation and application of a simplified technique. *J Am Soc Echocardiogr*. 2002;15(10 Pt 1):1051-6.
11. Khankirawatana B, Khankirawatana S, Porter T. How should left atrial size be reported? Comparative assessment with use of multiple echocardiographic methods. *Am Heart J*. 2004;147(2):369-74.
12. Lester SJ, Ryan EW, Schiller NB, Foster E. Best method in clinical practice and in research studies to determine left atrial size. *Am J Cardiol*. 1999;84(7):829-32.
13. D'Ascenzi F, Cameli M, Zaca V, Lisi M, Santoro A, Causarano A, et al. Supernormal diastolic function and role of left atrial myocardial deformation analysis by 2D speckle tracking echocardiography in elite soccer players. *Echocardiography*. 2011;28(3):320-6.
14. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18(12):1440-63.
15. Campos Filho O, Zielinsky P, Ortiz J, Maciel BC, Andrade JL, Mathias Jr. W, et al. Diretriz para Indicações e Utilização da Ecocardiografia na Prática Clínica. *Arq Bras Cardiol*. 2004;82(Suppl 2):11-34.
16. Anwar AM, Soliman OI, Geleijnse ML, Nemes A, Vletter WB, ten Cate FJ. Assessment of left atrial volume and function by real-time three-dimensional echocardiography. *Int J Cardiol*. 2008;123(2):155-61.
17. Blondheim DS, Osipov A, Meisel SR, Frimerman A, Shochat M, Shotan A. Relation of left atrial size to function as determined by transesophageal echocardiography. *Am J Cardiol*. 2005;96(3):457-63.
18. Poutanen T, Jokinen E, Sairanen H, Tikanoja T. Left atrial and left ventricular function in healthy children and young adults assessed by three dimensional echocardiography. *Heart*. 2003;89(5):544-9.
19. Hung J, Lang R, Flachskampf F, Sherman SK, McCulloch ML, Adams DB, et al. 3D echocardiography: a review of the current status and future directions. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20(3):213-33.
20. Anwar AM, Soliman OI, Geleijnse ML, Michels M, Vletter WB, Nemes A, et al. Assessment of left atrial ejection force in hypertrophic cardiomyopathy using real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20(6):744-8.
21. Manning WJ, Silverman DI, Katz SE, Douglas PS. Atrial ejection force: a noninvasive assessment of atrial systolic function. *J Am Coll Cardiol*. 1993;22(1):221-5.
22. Paulus WJ, Tschope C, Sanderson JE, Rusconi C, Flachskampf FA, Rademakers FE, et al. How to diagnose diastolic heart failure: a consensus statement on the diagnosis of heart failure with normal left ventricular ejection fraction by the Heart Failure and Echocardiography Associations of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. 2007;28(20):2539-50.
23. Devereux RB, Reichek N. Echocardiographic determination of left ventricular mass in man. Anatomic validation of the method. *Circulation*. 1977;55(4):613-8.
24. Nagueh SF, Appleton CP, Gillebert TC, Marino PN, Oh JK, Smiseth OA, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10(2):165-93.
25. Claessens PJ, Claessens CW, Claessens MM, Claessens MC, Claessens JE. Supernormal left ventricular diastolic function in triathletes. *Tex Heart Inst J*. 2001;28(2):102-10.
26. Pelliccia A, Culasso F, Di Paolo FM, Maron BJ. Physiologic left ventricular cavity dilatation in elite athletes. *Ann Intern Med*. 1999;130(1):23-31.
27. D'Andrea A, Caso P, Galderisi M, Di Maggio D, Cicala S, D'Andrea L, et al. Assessment of myocardial response to physical exercise in endurance competitive athletes by pulsed doppler tissue imaging. *Am J Cardiol*. 2001;87(10):1226-30.
28. Anwar AM, Geleijnse ML, Soliman OI, Nemes A, ten Cate FJ. Left atrial Frank-Starling law assessed by real-time, three-dimensional echocardiographic left atrial volume changes. *Heart*. 2007;93(11):1393-7.
29. Petersen SE, Wiesmann F, Hudsmith LE, Robson MD, Francis JM, Selvanayagam JB, et al. Functional and structural vascular remodeling in elite rowers assessed by cardiovascular magnetic resonance. *J Am Coll Cardiol*. 2006;48(4):790-7.
30. Kasikcioglu E, Kayserilioglu A, Ciloglu F, Akhan H, Ofllaz H, Yildiz S, et al. Angiotensin-converting enzyme gene polymorphism, left ventricular remodeling, and exercise capacity in strength-trained athletes. *Heart Vessels*. 2004;19(6):287-93.
31. Zhong L, Tan LK, Finn CJ. Effects of age and gender on left atrial ejection force and volume from real-time three-dimensional echocardiography. *Ann Acad Med Singapore*. 2012; 41(4):161-9.
32. Baggish AL, Wood MJ. Athlete's heart and cardiovascular care of the athlete: scientific and clinical update. *Circulation*. 2011;123(23):2723-35.