

Mecanismos de Adaptação do Coração em Atletas de Elite do Sexo Feminino: Comparação com Indivíduos Sadios e Tempo de Treinamento

Heart Adaptation Mechanisms in Elite Female Athletes: Comparison With Healthy Individuals and Time of Training

José Maria Del Castillo,¹  Thiago Boschilia,¹ Nemi Sabeh Junior,¹ Carlos Antônio da Mota Silveira,¹ Djair Brindeiro Filho¹

Escola de Ecografia de Pernambuco (ECOPE),¹ Universidade Católica de Pernambuco, Recife, PR – Brasil

Resumo

Fundamento: O exercício intenso e continuado em atletas provoca fenótipos de remodelamento adaptativo, cujos parâmetros podem ser avaliados pela ecocardiografia convencional, e de deformação miocárdica. Assim, foi comparado o remodelamento miocárdico em atletas do sexo feminino (grupo atletas) com mulheres sedentárias da mesma faixa etária (grupo-controle) e entre atletas com maior e menor tempo de treinamento.

Métodos: Foram selecionadas 57 futebolistas femininas (grupo atletas) e 25 mulheres sadias sedentárias (grupo-controle). As atletas foram divididas em dois grupos: grupo principal, com 32 atletas, e grupo sub-17, com 25 atletas. Foram determinadas, através de ecocardiografia, as dimensões, a função sistólica e diastólica das câmaras cardíacas e a deformação miocárdica (*strain* longitudinal, circunferencial, radial e mecânica rotacional), utilizando a estatística Z com significância de $p < 0,05$.

Resultados: A idade dos grupos atletas, controle, principal e sub-17 foi de $22,1 \pm 6,3$; $21,2 \pm 5,0$; $26,5 \pm 5,1$; e $16,5 \pm 0,6$, respectivamente. O peso, o índice de massa corporal e a frequência cardíaca foram menores no grupo atletas. A espessura das paredes, o índice de massa do ventrículo esquerdo (VE), o volume do átrio esquerdo (AE), a fração de ejeção e as dimensões do ventrículo direito (VD) foram maiores no grupo atletas, mas dentro de valores normais. A deformação miocárdica mostrou diminuição do *strain* radial, da rotação basal, da rotação apical e do *twist*, sugerindo mecanismo de reserva contrátil. Esses parâmetros foram menores no grupo principal, que também apresentava maior espessura das paredes, maior volume do AE e maior tamanho do VD, sugerindo que o aumento da reserva contrátil se relaciona com maior tempo de treinamento.

Conclusões: As atletas do sexo feminino com treinamento intenso de longa duração apresentam remodelamento adaptativo das câmaras cardíacas e aumento da reserva contrátil observada em repouso, com esses parâmetros mais acentuados nas atletas com maior tempo de treinamento.

Palavras-chave: Ecocardiografia; Remodelamento Atrial; Atletas.

Abstract

Background: Intense continuous exercise provokes adaptive remodeling phenotypes in athletes, the parameters of which can be evaluated through conventional echocardiography and myocardial deformation. We compared myocardial remodeling in female athletes (athlete group) with sedentary women of the same age range (control group) and between older and younger athletes.

Methods: A total of 57 female soccer players and 25 healthy sedentary women were selected. The athlete group was subdivided into a main group and those under 17 years of age (< 17 group). The dimensions and systolic and diastolic function of the cardiac chambers and myocardial deformation (longitudinal and circumferential, as well as radial strain and rotational mechanics) was determined through echocardiography, using the Z statistic with a significance level of $p < 0.05$.

Results: The mean age of the athlete, control, main, and < 17 groups was 22.1 (SD, 6.3); 21.2 (SD, 5.0); 26.5 (SD, 5.1); 16.5 (SD, 0.6) years, respectively. Weight, body mass index and heart rate were lower in the athlete group. Wall thickness, left ventricular mass index, left atrial

Correspondência: José Maria Del Castillo •

Rua Jorge de Lima, 245, apto 303. Salute. CEP: 51160-070. Imbiribeira, Recife, PE – Brasil

E-mail: castillojmd@gmail.com

Artigo recebido em 27/12/2022; revisado em 27/01/2023; aceito em 29/01/2023

Editor responsável pela revisão: Daniela do Carmo Rassi Frota

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.2023372>

(LA) volume, ejection fraction, and right ventricular dimensions were higher in athlete group, but remained within normal ranges. Regarding myocardial deformation, there was decreased radial strain, basal rotation, apical rotation, and twisting in the athlete group, suggesting a contractile reserve mechanism. These parameters were lesser in the main athlete group, who also had greater wall thickness, greater volume in the left atrium (LA) and larger size in the right ventricle (RV), suggesting that increased contractile reserve is related to longer time spent in the sport.

Conclusions: In female athletes who had undergone intense long-term training, we observed adaptive remodeling of the cardiac chambers and increased contractile reserve (at rest), and these changes were more pronounced in those with longer involvement in the sport.

Keywords: Echocardiography; Atrial Remodeling; Athletes.

Full texts in English - <https://www.abcimaging.org/>

Introdução

O exercício intenso e sustentado determina fenótipos de remodelamento adaptativo das cavidades cardíacas. Os mecanismos de remodelamento, entretanto, dependem do tipo de atividade física, conforme postulado por Morganroth em 1975:¹ exercícios de força e curta duração, denominados anaeróbicos, provocam remodelamento concêntrico, enquanto exercícios de resistência e longa duração, denominados aeróbicos, provocam remodelamento excêntrico. Nos diversos esportes e atividades físicas, há grande variedade de combinações entre força e resistência, determinando fenótipos combinados. No futebol, por exemplo, estima-se 70% de atividade aeróbica e 30% de atividade anaeróbica.²

Em alguns atletas, o remodelamento resulta em diversos graus de hipertrofia ou dilatação miocárdica, sendo às vezes difícil o diagnóstico diferencial com as cardiomiopatias hipertróficas ou dilatadas. Atualmente, existem critérios para elegibilidade de atletas de elite com alterações cardíacas, baseados em vários critérios de pesquisa e diagnóstico.³ Essa seleção é extremamente importante, visto que a prevalência de morte súbita em atletas é elevada.⁴ A maioria dos atletas, entretanto, desenvolve remodelamento cardíaco fisiológico dentro dos limites da normalidade ou com valores inferiores aos considerados patológicos. O limite entre a hipertrofia patológica e a do atleta é de ≥ 16 mm para o septo interventricular. Os atletas, em geral, apresentam espessura septal ≤ 12 mm, sendo considerada “zona cinzenta” a espessura septal entre 13 e 15 mm com relação septo/parede $< 1,3$.⁵ A resposta adaptativa ao exercício é menor em atletas do sexo feminino.⁶

Material e métodos

Tratou-se de um estudo descritivo e quantitativo. Com a finalidade de verificar a resposta adaptativa ao exercício continuado e intenso, comparamos atletas de elite do sexo feminino, da modalidade futebol (grupo atletas), com mulheres sadias sedentárias da mesma faixa etária (grupo-controle).

Para verificar as alterações adaptativas que ocorrem em função do tempo de treinamento, dividimos as atletas em dois grupos: o primeiro era formado por atletas de futebol feminino que atuam na seleção principal (grupo principal) e o segundo era composto por atletas de futebol feminino que atuam na seleção sub-17 (grupo sub-17).

Para análise, utilizamos estudos ecocardiográficos realizados durante as concentrações da seleção, com as atletas em repouso, aferindo e comparando vários parâmetros ecocardiográficos. Todos os parâmetros foram analisados em conformidade com as atuais diretrizes da Sociedade Americana de Ecocardiografia.⁷

Analisamos, com ecocardiografia transtorácica, 57 atletas da Seleção Brasileira de Futebol Feminino, divididas em dois grupos, um com 32 atletas (grupo principal), com idade maior, e outro com 25 atletas do grupo sub-17, com idade menor. Para comparação do grupo atletas, foram estudadas 25 mulheres do grupo-controle da mesma faixa etária.

Foram determinados os seguintes parâmetros demográficos: idade, peso, altura, superfície corporal e índice de massa corporal. Com ecocardiografia transtorácica em repouso, no intervalo entre os treinamentos, foram determinados a frequência cardíaca, os diâmetros do ventrículo esquerdo (VE), a espessura diastólica do septo e parede, o volume diastólico final do VE, a fração de ejeção, os diâmetros de aorta e átrio esquerdo (AE), o diâmetro basal do ventrículo direito (VD) e o diâmetro expiratório da veia cava inferior (VCI). Foram calculadas a massa do VE, a espessura relativa das paredes do VE e o volume do AE. Com Doppler, foram aferidas velocidades do fluxo mitral, onda E e onda A. Com Doppler tissular, foi medida velocidade média da onda e' do anel mitral.

Com parâmetros que medem a deformação miocárdica (*speckle tracking*), foram calculados *strain* longitudinal global do VE, *strain rate* sistólica do VE, *strain rate* diastólica inicial do VE, *strain* circunferencial e radial do VE, *strain* e *strain rate* longitudinal do VD, rotação basal do VE, rotação apical do VE, *strain* longitudinal do AE e *strain* longitudinal do átrio direito (AD). Os seguintes parâmetros foram indexados para a superfície corporal: volume diastólico final do VE, massa do VE e volume do AE. A partir da rotação basal e da rotação apical do VE com *speckle tracking*, foi calculado o *twisting*.

Os exames foram realizados pelo mesmo operador, em equipamento CX50 (Philips, Andover, Mass), utilizando o software de análise Qlab15. Para a análise estatística, foi utilizado o teste Z para amostras independentes. Os dados numéricos foram avaliados utilizando o software BioEstat 5.0, determinando a média, o desvio-padrão e a diferença estatística com significância $< 5\%$. Para verificar a homogeneidade, foi estimada a variância das amostras.

Resultados

A análise foi dividida em duas partes: a primeira comparou todas as atletas (grupo atletas) com mulheres saudáveis sedentárias da mesma faixa etária (grupo-controle). A segunda comparou as atletas da seleção principal (grupo principal) com as atletas da seleção sub-17 (grupo sub-17).

Na Tabela 1, encontra-se a comparação dos dados ecocardiográficos entre o grupo atletas e o grupo-controle. Na Tabela 2, encontra-se a comparação entre os parâmetros de deformação miocárdica entre o grupo atletas e o grupo-controle. Na Tabela 3, encontra-se a comparação dos dados ecocardiográficos entre o grupo principal e o grupo sub-17. Por fim, na Tabela 4, encontra-se a comparação dos parâmetros de deformação miocárdica entre o grupo principal e o grupo sub-17.

Entre os parâmetros ecocardiográficos comparando o grupo atletas com o grupo-controle, a frequência cardíaca foi significativamente menor no grupo atletas. A espessura do septo e da parede, o diâmetro do AE e o diâmetro do VD foram significativamente maiores. O índice de massa do VE, o volume diastólico do VE e o volume do AE indexados para a superfície corporal e a fração de ejeção do VE foram significativamente maiores no grupo atletas do que no grupo-controle. No grupo atletas, 42% apresentaram o volume indexado do VE maior que 61 mL/m², valor considerado limite superior da normalidade, mas, pelo índice de massa e pela espessura relativa das paredes, não foi caracterizada hipertrofia.

A análise da deformação miocárdica entre o grupo atletas e o grupo-controle mostrou que o *strain* radial global do VE, o *strain* longitudinal global do VD, a rotação basal, apical e o *twisting* do VE foram significativamente maiores no grupo-controle.

Quando comparados os grupos principal e sub-17, o diâmetro diastólico do VE foi significativamente maior no grupo sub-17. Já a espessura do septo e da parede e o diâmetro do AE e do VD foram significativamente maiores no grupo principal. A espessura relativa das paredes foi maior no grupo principal, e o volume indexado do AE foi maior no grupo sub-17. Nas atletas do grupo principal, a velocidade da onda E mitral era significativamente menor, a velocidade da onda A mitral era significativamente maior, e a relação E/A era significativamente menor, sem diferença na velocidade da onda e' do anel mitral e da relação E/e'. Entre os parâmetros de deformação, a *strain rate* longitudinal sistólica e diastólica do VE, o *strain* radial do VE, a *strain rate* longitudinal do VD, a rotação apical e o *twisting* foram significativamente maiores no grupo sub-17.

Discussão

Ao comparar atletas de elite do sexo feminino com mulheres saudáveis sedentárias da mesma faixa etária, surgiram algumas observações importantes: o grupo atletas apresentou menor peso e menor índice de massa corporal, com um biótipo mais delgado, porém sem diferença na altura. Nesses casos, o índice de massa corporal, melhor do que a superfície corporal, permitiu separar de forma mais eficiente

esse biótipo, o que já foi observado por outros autores em pacientes obesos e delgados.^{8,9}

As diferenças encontradas entre os grupos atletas e controle manifestam a adaptação fisiológica do coração ao exercício continuado e intenso, como menor frequência cardíaca, aumento de espessura das paredes do VE e aumento dos diâmetros do AE e VD. O aumento do diâmetro do VD é um achado frequente em atletas altamente treinados e é atribuído ao aumento desproporcional do trabalho cardíaco direito com relação ao esquerdo durante o exercício, devido à menor diminuição da resistência pulmonar com relação à resistência sistêmica.¹⁰ Mesmo não havendo aumento do diâmetro diastólico do VE, em 24 atletas (42%), o volume diastólico final do VE indexado para a superfície corporal era superior ao valor considerado normal (61 mL/m²). Ao calcular esses valores indexando pela altura,¹¹ esse aumento não foi constatado, o que parece demonstrar que estamos em um dos extremos da curva de normalidade, no qual outra metodologia deve ser aplicada.

O índice de massa do VE também foi significativamente maior no grupo atletas quando comparado com o grupo-controle, mas ainda estava dentro dos limites normais, com o máximo valor de 88,37 g/m² (valor normal ≤ 95 g/m²).

O maior volume indexado do AE em atletas já foi reportado por outros autores^{7,12} e estaria relacionado à sobrecarga de volume devido ao aumento sustentado do débito cardíaco durante os treinamentos.¹³

Entre os parâmetros de deformação miocárdica, o grupo atletas apresentou menor *strain* radial do VE, mas ainda dentro de valores normais (variação de 25 a 67%). Uma possibilidade é que haja aumento desse parâmetro durante o esforço físico, podendo significar uma forma de reserva contrátil. Outros autores mostraram aumento do *strain* radial em atletas do sexo masculino.¹⁴ O menor *strain* longitudinal do VD (variação de -19,40 a -31,90%) observado no grupo atletas pode estar relacionado ao aumento das dimensões dessa cavidade com aumento do estresse parietal sistólico, proporcionalmente muito maior do que sofre o VE durante o esforço. O aumento do estresse parietal foi estimado em 125% para o VD e em 14% para o VE.¹⁵ A *strain rate* do VD, entretanto, não apresenta diminuição, sugerindo que a função longitudinal da câmara está preservada.

Com relação à deformação rotacional, existem controvérsias. Nas atletas aqui estudadas, há diminuição de todos os parâmetros: rotação basal, rotação apical e twist. Alguns autores afirmam que atletas apresentam elevação desses índices,^{14,16} outros reportam diminuição da mecânica rotacional, principalmente em atletas com alta carga aeróbica e baixo componente anaeróbico.^{17,18} De qualquer forma, podemos hipotetizar que, assim como o *strain* radial do VE, a mecânica rotacional aumente consideravelmente durante o esforço físico, constituindo uma forma de reserva contrátil.¹⁹ A realização dos exames ecocardiográficos durante o treinamento demonstrou que todos os parâmetros rotacionais aumentavam gradativamente durante o exercício, proporcionalmente ao aumento da sua intensidade, em estudo realizado por Doucende et al.²⁰

Tabela 1 – Comparação entre o grupo atletas e o grupo-controle; dados demográficos, dimensões cavitárias, volumes, massa e função sistólica e diastólica

Parâmetro	Atletas (média ± DP)	Controle (média ± DP)	Valor de Z	Valor de P
Idade (anos)	22,14±6,29	21,24±5,02	0,6904	0,2450
Peso (kg)	60,02±6,71	65,24±6,21	3,4179	0,0003*
Altura (cm)	166,05±7,98	164,24±6,48	1,0836	0,1393
Superfície corporal (m²)	1,67±0,13	1,69±0,09	1,1715	0,1207
Índice de massa (kg/h²)	21,75±1,79	24,29±3,03	3,9007	< 0,0001*
FC (bpm)	62,95±9,01	75,28±8,69	5,8483	< 0,0001*
DdVE (mm)	45,82±2,25	45,12±2,62	1,1687	0,1213
EdS (mm)	7,70±0,46	6,43±0,56	9,9477	< 0,0001*
EdP (mm)	7,67±0,48	6,40±0,58	9,5563	< 0,0001*
DAO (mm)	27,26±2,88	27,84±2,88	0,8344	0,2020
DAE (mm)	31,00±2,85	27,72±2,34	5,4571	< 0,0001*
DdVD (mm)	29,82±3,85	28,54±2,13	1,9342	0,0265*
DVCI (mm)	20,26±4,01	15,86±1,59	0,1320	0,4475
Índice de massa (g/m²)	68,67±8,01	54,69±8,35	7,0626	< 0,0001*
Espessura relativa	0,34±0,03	0,29±0,03	1,057	0,15
Volume diastólico VE/SC	59,74±10,84	51,30±9,41	13,588	< 0,0001*
Volume do AE/SC	21,73±5,94	20,86±5,77	3,161	0,0008*
Fração de ejeção VE (%)	63,45±5,99	59,57±7,55	4,5817	< 0,0001*
Onda E mitral (cm/s)	89,84±12,83	89,34±10,76	0,1818	0,4279
Onda A mitral (cm/s)	49,48±8,30	49,16±11,60	0,1227	0,4512
Relação E/A	1,86±0,36	1,90±0,42	0,4677	0,3200
Onda e' tissular (cm/s)	18,40±2,50	18,48±1,62	0,8504	0,1976
Relação E/e' média	4,94±0,78	4,85±0,56	0,5692	0,2846

DP: desvio-padrão; FC: frequência cardíaca; DdVE: diâmetro diastólico do ventrículo esquerdo; EdS: espessura diastólica do septo; EdP: espessura diastólica da parede; DAO: diâmetro da aorta; DAE: diâmetro do átrio esquerdo; DdVD: diâmetro diastólico do ventrículo direito; DVCI: diâmetro da veia cava inferior; VE/SC: ventrículo esquerdo/superfície corporal; AE/SC: átrio esquerdo/superfície corporal. * Estatisticamente significativo.

Tabela 2 – Parâmetros de deformação miocárdica entre o grupo atletas e o grupo-controle

Parâmetro	Atletas (média ± DP)	Controle (média ± DP)	Valor de Z	Valor de P
Strain longitudinal global do VE (%)	-21,78±2,16	-21,52±2,28	0,061	0,48
SR longitudinal sistólica do VE (s ⁻¹)	-1,18±0,38	-1,03±0,14	0,123	0,45
SR diastólica do VE (s ⁻¹)	1,41±0,48	1,45±0,40	0,322	0,25
Strain circunferencial global do VE (%)	-24,01±2,87	-22,97±3,20	0,051	0,48
Strain radial global do VE (%)	37,33±11,31	47,04±8,38	15,584	< 0,0001*
Strain longitudinal do VD (%)	-26,23±2,79	-28,12±3,02	2,326	0,01*
SR longitudinal do VD (s ⁻¹)	-1,33±0,40	-1,18±0,16	0,223	0,41
Rotação basal do VE (°)	-4,63±1,83	-6,10±3,60	5,118	< 0,0001*
Rotação apical do VE (°)	3,66±1,68	13,10±6,00	17,227	< 0,0001*
Twist do VE (°)	8,30±2,43	16,10±6,40	14,570	< 0,0001*
Strain longitudinal do AE (%)	45,21±10,68	44,42±12,89	0,452	0,33
Strain longitudinal do AD (%)	41,77±10,23	40,18±13,01	0,256	0,40

DP: desvio-padrão; VE: ventrículo esquerdo; SR: strain rate; VD: ventrículo direito; AE: átrio esquerdo; AD: átrio direito. * Estatisticamente significativo.

Partindo da hipótese de que, em nível de seleção, todas as atletas começam nas categorias de base e são promovidas para a seleção principal, tendo o mesmo tipo de treinamento intensivo iniciado antes dos 17 anos de idade, e de que as atletas mais jovens apresentam níveis de adaptação diferentes aos das atletas da seleção principal, com maior idade e maior tempo de treinamento.

Quando são comparadas atletas com diferentes tempos de treinamento, separadas em grupo principal e grupo sub-17, com diferença significativa na idade, peso, altura, superfície corporal e índice de massa corporal semelhantes, as atletas do grupo principal tinham menor diâmetro diastólico do VE e maior espessura do septo, da parede e da espessura relativa. Isso parece indicar remodelamento concêntrico adaptativo, ainda dentro de limites normais.

O volume indexado do AE e a dimensão do VD também foram maiores no grupo principal pelos motivos comentados anteriormente – isto é, aumento sustentado do débito

Artigo Original

Tabela 3 – Comparação entre o grupo principal e o grupo sub-17; dados demográficos, dimensões cavitárias, volumes, massa e função sistólica e diastólica

Parâmetro	Atletas principais (média ± DP)	Atletas sub-17 (média ± DP)	Valor de Z	Valor de P
Idade (anos)	26,50±5,14	16,56±0,58	10,8571	< 0,0001*
Peso (kg)	60,44±6,70	59,48±6,83	0,5296	0,2982
Altura (cm)	166,22±8,0	165,84±8,11	0,1759	0,4302
Superfície corporal (m²)	167,00±0,13	1,66±0,13	0,3644	0,3578
Índice de massa (kg/h²)	21,87±1,96	21,59±1,58	0,5891	0,2779
FC (bpm)	62,69±10,82	63,28±6,18	0,2602	0,3973
DdVE (mm)	45,41±2,21	46,36±2,23	1,6063	0,0541
EdS (mm)	7,97±0,18	7,36±0,49	5,9188	< 0,0001*
EdP (mm)	7,88±0,34	7,40±0,50	4,0839	< 0,0001*
DAO (mm)	27,66±3,05	26,76±2,62	1,1915	0,1167
DAE (mm)	32,47±2,17	29,12±2,52	5,2846	< 0,0001*
DdVD (mm)	31,91±3,48	27,16±2,39	6,0936	< 0,0001*
DVCI (mm)	20,55±4,41	19,44±3,43	1,0662	0,1432
Índice de massa (g/m²)	69,89±6,38	67,11±9,63	0,0144	0,4942
Espessura relativa	0,35±0,02	0,32±0,02	5,1843	< 0,0001*
Volume diastólico VE/SC	58,14±9,02	61,79±12,70	0,0229	0,4909
Volume do AE/SC	19,82±4,23	24,18±6,95	2,7632	0,0029*
Fração de ejeção VE (%)	64,44±5,44	62,19±6,52	1,3879	0,0826
Onda E mitral (cm/s)	86,65±13,01	93,92±11,60	2,2257	0,0130*
Onda A mitral (cm/s)	51,25±9,29	47,21±6,30	1,9545	0,0253*
Relação E/A	1,73±0,37	2,01±0,30	3,1641	0,0008*
Onda e' tissular (cm/s)	17,98±2,40	18,93±2,57	1,4260	0,0769
Relação E/e' média	4,88±0,88	5,01±0,62	0,6385	0,2616

DP: desvio-padrão; FC: frequência cardíaca; DdVE: diâmetro diastólico do ventrículo esquerdo; EdS: espessura diastólica do septo; EdP: espessura diastólica da parede; DAO: diâmetro da aorta; DAE: diâmetro do átrio esquerdo; DdVD: diâmetro diastólico do ventrículo direito; DVCI: diâmetro da veia cava inferior; VE/SC: ventrículo esquerdo/superfície corporal; AE/SC: átrio esquerdo/superfície corporal. * Estatisticamente significativo.

Tabela 4 – Parâmetros de deformação miocárdica entre o grupo principal e o grupo sub-17

Parâmetro	Atletas principais (média ± DP)	Atletas sub-17 (média ± DP)	Valor de Z	Valor de P
Strain longitudinal global do VE (%)	-21,58±2,56	-22,03±1,52	0,8379	0,2010
SR longitudinal sistólica do VE (s ⁻¹)	-1,00±0,10	-1,40±0,48	4,1393	< 0,0001*
SR diastólica do VE (s ⁻¹)	1,19±0,15	1,69±0,60	4,0869	< 0,0001*
Strain circunferencial global do VE (%)	-23,66±2,79	-24,46±2,97	1,0359	0,1501
Strain radial global do VE (%)	32,91±5,32	43,00±14,22	3,3697	0,0004*
Strain longitudinal do VD (%)	-26,38±3,04	-26,03±2,48	0,4727	0,3182
SR longitudinal do VD (s ⁻¹)	-1,18±0,13	-1,51±0,54	2,9423	0,0016*
Rotação basal do VE (°)	-4,72±2,00	-4,51±1,62	0,4337	0,3322
Rotação apical do VE (°)	3,05±1,37	4,45±1,75	3,2836	0,0005*
Twist do VE (°)	7,78±2,45	8,96±2,28	1,8871	0,0296*
Strain longitudinal do AE (%)	46,31±11,39	43,80±9,74	0,8969	0,1849
Strain longitudinal do AD (%)	43,08±10,78	40,10±9,41	1,1102	0,1335

VE: ventrículo esquerdo; SR: strain rate; VD: ventrículo direito; AE: átrio esquerdo; AD: átrio direito. * Estatisticamente significativo.

cardíaco para o AE e menor diminuição da resistência pulmonar para o VD.

Estudos controlados em atletas de alta performance, utilizando treinamento submáximo e supramáximo, não mostraram aumento das dimensões do VE, mas houve aumento tanto do diâmetro como do volume indexado do AE.²¹

Com relação ao VD, devido ao trabalho desproporcional durante o exercício intenso, alguns autores relatam descompensação dessa câmara com maior predisposição às arritmias.²²

Entre os parâmetros de função diastólica, a velocidade da onda E mitral foi menor no grupo principal, a velocidade da onda A foi maior e a relação E/A foi menor. Não houve diferença nas velocidades do Doppler tissular nem na relação E/e'. Esses dados podem ser relacionados às mudanças fisiológicas devidas à maior idade das atletas do grupo principal, mas com pressão de enchimento ventricular normal.

As diferenças mais interessantes ocorrem quando se analisa a deformação miocárdica. Na mecânica longitudinal, embora o *strain* longitudinal global do VE não mostre diferença significativa, a *strain rate* sistólica e a *strain rate* diastólica inicial foram significativamente maiores no grupo sub-17, sugerindo uma maior eficiência da deformação longitudinal e do enchimento ventricular nas atletas mais jovens. O *strain* circunferencial não mostrou diferença significativa.

O *strain* radial foi maior no grupo sub-17, sugerindo uma deformação radial mais eficiente ou, ainda, a sua diminuição nas atletas com maior tempo de treinamento, indicando uma melhor reserva contrátil. O *strain* longitudinal do VD não mostrou diferença, mas, outra vez, a *strain rate* do VD foi maior no grupo sub-17.

Na deformação rotacional, ambos os grupos de atletas, principal e sub-17, mostraram diminuição da rotação basal, sem diferença significativa entre os grupos, mas com valores inferiores aos observados no grupo-controle. A rotação apical, também diminuída com relação ao grupo-controle, estava significativamente menor nas atletas do grupo principal, assim como o *twisting*. A menor rotação apical e o *twisting* em repouso podem indicar maior reserva contrátil, adquirida pelo treinamento mais prolongado, como relatado por alguns autores, com valores semelhantes aos encontrados nas atletas deste trabalho.¹⁹

Conclusões

As atletas de elite do sexo feminino, da modalidade futebol, quando comparadas com mulheres sedentárias da mesma faixa etária, apresentaram biotipo mais delgado e menor frequência cardíaca.

Foi observada uma tendência ao remodelamento excêntrico e ao aumento do diâmetro do VD, do diâmetro e volume indexado do AE e da fração de ejeção do VE, embora dentro dos limites da normalidade. Parâmetros de deformação miocárdica mostraram menor *strain* radial do VE, longitudinal do VD e de todos os parâmetros rotacionais (rotação basal, apical e *twisting*).

Referências

1. Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE. Comparative Left Ventricular Dimensions in Trained Athletes. *Ann Intern Med*. 1975;82(4):521-4. doi: 10.7326/0003-4819-82-4-521.
2. Guldal YK, Bilge M. The Examination According to the Position of Players of Aerobic and Anaerobic Capacity Relation in Professional Football Players. *Eur J Phys Educ Sport Scien*. 2019;5(3):84-97. doi: 10.5281/zenodo.2541664.
3. Maron BJ, Zipes DP. Introduction: Eligibility Recommendations for Competitive Athletes with Cardiovascular Abnormalities-General Considerations. *J Am Coll Cardiol*. 2005;45(8):1318-21. doi: 10.1016/j.jacc.2005.02.006.
4. Morentin B, Suárez-Mier MP, Monzó A, Molina P, Lucena JS. Sports-Related Sudden Cardiac Death due to Myocardial Diseases on a Population from 1-35 Years: A Multicentre Forensic Study in Spain. *Forensic Sci Res*. 2019;4(3):257-66. doi: 10.1080/20961790.2019.1633729.
5. Czibalmos C, Csicsi I, Toth A, Kiss O, Suhai FI, Sydo N, et al. The Demanding Grey Zone: Sport Indices by Cardiac Magnetic Resonance Imaging Differentiate Hypertrophic Cardiomyopathy from Athlete's Heart. *PLoS One*. 2019;14(2):e0211624. doi: 10.1371/journal.pone.0211624.
6. Petersen SE, Hudsmith LE, Robson MD, Doll HA, Francis JM, Wiesmann F, et al. Sex-Specific Characteristics of Cardiac Function, Geometry, and Mass in Young Adult Elite Athletes. *J Magn Reson Imaging*. 2006;24(2):297-303. doi: 10.1002/jmri.20633.
7. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afkhalilov 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. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
8. Rosa EC, Moyses VA, Sesso RC, Plavnik FL, Ribeiro FF, Kohlmann NE, et al. Left Ventricular Hypertrophy Evaluation in Obese Hypertensive

Atletas do grupo principal, quando comparadas com o grupo sub-17, apresentaram menor diâmetro do VE e maior espessura parietal e relativa, com uma tendência de adaptação concêntrica. As maiores dimensões do AE e do VD nas atletas do grupo principal, assim como a diminuição da rotação apical e do *twist*, podem corresponder a uma maior reserva contrátil adquirida pelo maior tempo de treinamento.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Castillo JMD, Boschilia T, Sabeh Júnior N, Silveira CAM; obtenção de dados: Boschilia T, Sabeh Júnior N; análise e interpretação dos dados: Castillo JMD, Silveira CAM; análise estatística: Castillo JMD; redação do manuscrito: Castillo JMD, Brindeiro Filho D; revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Castillo JMD, Boschilia T, Sabeh Júnior N, Silveira CAM, Brindeiro Filho D.

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.

Aprovação Ética e Consentimento Informado

Este artigo não contém estudos com humanos ou animais realizados por nenhum dos autores.

- Patients: Effect of Left Ventricular Mass Index Criteria. *Arq Bras Cardiol.* 2002;78(4):341-51. doi: 10.1590/s0066-782x2002000400001.
9. Pfaffenberger S, Bartko P, Graf A, Pernicka E, Babayev J, Lolic E, et al. Size Matters! Impact of Age, Sex, Height, and Weight on the Normal Heart Size. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2013;6(6):1073-9. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.113.000690.
10. Paterick TE. The Athlete's Right Heart. *J Phy Fit Treatment & Sports.* 2018; 5(2):555657. doi: 10.19080/JPFMTS.2018.05.555657.
11. Vasan RS, Larson MG, Levy D, Evans JC, Benjamin EJ. Distribution and Categorization of Echocardiographic Measurements in Relation to Reference Limits: The Framingham Heart Study: Formulation of a Height- and Sex-Specific Classification and its Prospective Validation. *Circulation.* 1997;96(6):1863-73. doi: 10.1161/01.cir.96.6.1863.
12. Moro AS, Okoshi MP, Padovani CR, Okoshi K. Doppler Echocardiography in Athletes from Different Sports. *Med Sci Monit.* 2013;19:187-93. doi: 10.12659/MSM.883829.
13. D'Ascenzi F, Anselmi F, Focardi M, Mondillo S. Atrial Enlargement in the Athlete's Heart: Assessment of Atrial Function May Help Distinguish Adaptive from Pathologic Remodeling. *J Am Soc Echocardiogr.* 2018;31(2):148-57. doi: 10.1016/j.echo.2017.11.009.
14. Eun LY, Chae HW. Assessment of Myocardial Function in Elite Athlete's Heart at Rest - 2D Speckle Tracking Echocardiography in Korean Elite Soccer Players. *Sci Rep.* 2016;6:39772. doi: 10.1038/srep39772.
15. Douglas PS, O'Toole ML, Hiller WD, Reichel N. Different Effects of Prolonged Exercise on the Right and Left Ventricles. *J Am Coll Cardiol.* 1990;15(1):64-9. doi: 10.1016/0735-1097(90)90176-p.
16. Malek ŁA, Barczuk-Falecka M, Brzewski M. Cardiac Deformation Parameters and Rotational Mechanics by Cardiac Magnetic Resonance Feature Tracking in Pre-Adolescent Male Soccer Players. *Cardiol Young.* 2018;28(6):882-4. doi: 10.1017/S1047951118000343.
17. Nottin S, Doucende G, Schuster I, Tanguy S, Dauzat M, Obert P. Alteration in Left Ventricular Strains and Torsional Mechanics after Ultralong Duration Exercise in Athletes. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2009;2(4):323-30. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.108.811273.
18. Beaumont A, Grace F, Richards J, Hough J, Oxborough D, Sculthorpe N. Left Ventricular Speckle Tracking-Derived Cardiac Strain and Cardiac Twist Mechanics in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Studies. *Sports Med.* 2017;47(6):1145-70. doi: 10.1007/s40279-016-0644-4.
19. Santoro A, Alvino F, Antonelli G, Caputo M, Padeletti M, Lisi M, et al. Endurance and Strength Athlete's Heart: Analysis of Myocardial Deformation by Speckle Tracking Echocardiography. *J Cardiovasc Ultrasound.* 2014;22(4):196-204. doi: 10.4250/jcu.2014.22.4.196.
20. Doucende G, Schuster I, Rupp T, Startun A, Dauzat M, Obert P, et al. Kinetics of Left Ventricular Strains and Torsion During Incremental Exercise in Healthy Subjects: The Key Role of Torsional Mechanics for Systolic-Diastolic Coupling. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2010;3(5):586-94. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.110.943522.
21. Mahjoub H, Le Blanc O, Paquette M, Imhoff S, Labrecque L, Drapeau A, et al. Cardiac Remodeling after Six Weeks of High-Intensity Interval Training to Exhaustion in Endurance-Trained Men. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2019;317(4):H685-H694. doi: 10.1152/ajpheart.00196.2019.
22. La Gerche A, Rakhit DJ, Claessen G. Exercise and the Right Ventricle: A Potential Achilles' Heel. *Cardiovasc Res.* 2017;113(12):1499-508. doi: 10.1093/cvr/cvx156.

