

Impacto do Exercício Isométrico na Mecânica do Ventrículo Esquerdo Avaliada pelo *Strain* Longitudinal Global e pelo Trabalho Miocárdico em Adultos Saudáveis

Impact of Isometric Exercise on Left Ventricular Mechanics Assessed by Global Longitudinal Strain and Myocardial Work in Healthy Adults

Marcio Mendes Pereira,¹  Maria Estefania Bosco Otto,^{2,3}  Juliana Lins da Paz Portela¹ 

UDI Hospital/Rede D'or São Luiz,¹ São Luis, MA – Brasil

Universidade de Brasília,² Brasília, DF – Brasil

DF Star,³ Brasília, DF – Brasil

Resumo

Fundamento: Parâmetros volumétricos tradicionais apresentam limitações na detecção de disfunção sistólica sutil do ventrículo esquerdo (VE). O *strain* longitudinal global (SLG) e o trabalho miocárdico (TM) permitem uma avaliação mais sensível da mecânica ventricular.

Objetivos: Avaliar as alterações do SLG e dos índices de TM durante o exercício isométrico de prensão manual, em comparação às condições de repouso.

Métodos: Ao todo, 30 indivíduos saudáveis (29,3 ± 6,1 anos; 50% do sexo masculino) foram incluídos na amostra. A ecocardiografia foi realizada em repouso e durante o exercício de prensão manual (30%-40% da força máxima). Foram avaliados o SLG, a fração de ejeção do VE (FEVE) e os índices de TM: i) índice de trabalho global (ITG), ii) trabalho construtivo global (TCG), iii) trabalho desperdiçado global (TDG) e iv) eficiência global do trabalho (EGT). As comparações foram realizadas por testes pareados, considerando-se significância estatística quando $p < 0,05$.

Resultados: O exercício de prensão manual promoveu aumento da pressão arterial (PA) sistólica (115 ± 16 vs 133 ± 18 mmHg; $p < 0,0001$) e diastólica (69 ± 9 vs 79 ± 13 mmHg; $p = 0,0002$), sem alteração significativa da FEVE (64,8% vs 64,4%; $p = 0,62$). Observou-se redução do SLG (20,38% ± 2,57% vs 19,60% ± 2,52%; $p = 0,028$), aumento do ITG (+244 mmHg%; $p = 0,0002$), do TCG (+313 mmHg%; $p < 0,0001$) e do TDG (+52 mmHg%; $p = 0,0008$), além de redução da EGT (94,8% ± 1,8% vs 93,6% ± 2,5%; $p = 0,022$).

Conclusões: O exercício de prensão manual induz alterações mecânicas ventriculares mensuráveis em indivíduos saudáveis, refletindo resposta fisiológica à sobrecarga pressórica aguda.

Palavras-chave: Exercício Físico; Ecocardiografia; Disfunção Ventricular Esquerda.

Abstract

Background: Traditional volumetric parameters have limitations in detecting subtle left ventricular (LV) systolic dysfunction. Global longitudinal strain (GLS) and myocardial work (MW) allow a more sensitive assessment of ventricular mechanics.

Objectives: To evaluate changes in GLS and MW indices during isometric handgrip exercise compared with resting conditions.

Methods: A total of 30 healthy individuals (29.3 ± 6.1 years; 50% male) were included in the sample. Echocardiography was performed at rest and during handgrip exercise (30%-40% of maximal strength). GLS, LV ejection fraction (LVEF), and MW indices were assessed: i) global work index (GWI), ii) global constructive work (GCW), iii) global wasted work (GWW), and iv) global work efficiency (GWE). Comparisons were performed using paired tests. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results: Handgrip exercise increased both systolic blood pressure (115 ± 16 vs 133 ± 18 mmHg; $p < 0.0001$) and diastolic blood pressure (69 ± 9 vs 79 ± 13 mmHg; $p = 0.0002$), without significant changes in LVEF (64.8% vs 64.4%; $p = 0.62$). A decrease in GLS was observed (20.38% ± 2.57% vs 19.60% ± 2.52%; $p = 0.028$), along with increases in GWI (+244 mmHg%; $p = 0.0002$), GCW (+313 mmHg%; $p < 0.0001$), and GWW (+52 mmHg%; $p = 0.0008$) as well as a decrease in GWE (94.8% ± 1.8% vs 93.6% ± 2.5%; $p = 0.022$).

Correspondência: Marcio Mendes Pereira •

UDI Hospital. AV. Prof. Carlos Cunha, 2000. CEP: 65076-820. Jaracti, São Luis, MA – Brasil

E-mail: marciomp50@hotmail.com

Manuscrito recebido em 24/03/2026; revisado em 06/04/2026; aprovado em 15/04/2026

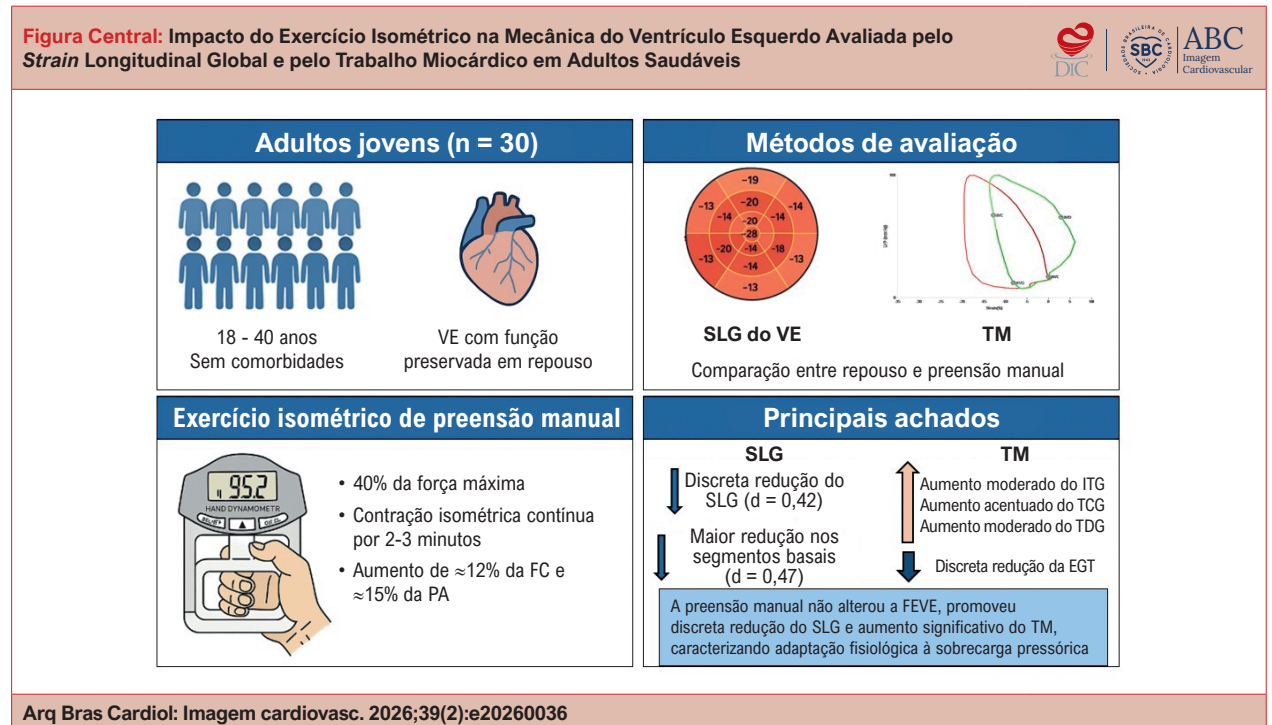
Editor responsável pela revisão: Marcelo Tavares

DOI: <https://doi.org/10.36660/abcimg.20260036>

Conclusions: Handgrip exercise induces measurable ventricular mechanical changes in healthy individuals, reflecting a physiological response to acute pressure overload.

Keywords: Exercise; Echocardiography; Left Ventricular Dysfunction.

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



EGT: eficiência global do trabalho; FC: frequência cardíaca; FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo; ITG: índice de trabalho global; PA: pressão arterial; SLG: strain longitudinal global; TCG: trabalho construtivo global; TDG: trabalho desperdiçado global; TM: trabalho miocárdico; VE: ventrículo esquerdo.

Introdução

A avaliação da função sistólica do ventrículo esquerdo (VE) é central na ecocardiografia contemporânea. Embora a fração de ejeção do VE (FEVE) seja amplamente utilizada, sua dependência da geometria ventricular e das condições de carga limita a detecção de disfunção miocárdica subclínica.¹ Nesse contexto, técnicas mais sensíveis, como a ecocardiografia por *speckle-tracking* (EST) e o *strain* longitudinal global (SLG), ampliaram a capacidade de avaliação do desempenho mecânico do miocárdio.

O SLG, obtido por EST, quantifica o encurtamento das fibras subendocárdicas do VE e fornece uma medida sensível da contratilidade miocárdica.² Trata-se de um marcador precoce de disfunção ventricular, com valor prognóstico estabelecido, frequentemente alterado antes da FEVE.³ Entretanto, sua sensibilidade às variações das condições de carga, incluindo pré-carga e pós-carga, limita sua interpretação isolada, o que justifica o desenvolvimento de métodos capazes de integrar a deformação miocárdica ao contexto hemodinâmico.

O trabalho miocárdico (TM) integra a deformação miocárdica ao gradiente de pressão sistólica estimado de

forma não invasiva, por meio das curvas pressão-*strain*, permitindo avaliação mais abrangente da mecânica do VE sob diferentes condições de carga.⁴ Esses índices apresentam boa correlação com medidas invasivas de desempenho ventricular e menor dependência da pós-carga em comparação ao *strain* isolado, o que amplia sua aplicabilidade clínica.⁴⁻⁷

O exercício isométrico de preensão manual é um método simples, seguro e reprodutível de indução de estresse cardiovascular, promovendo aumento agudo da pressão arterial (PA) sistólica e da pós-carga.^{8,9} Estudos clássicos demonstraram que indivíduos com reserva ventricular preservada aumentam o trabalho sistólico, enquanto pacientes com disfunção ventricular apresentam respostas hemodinâmicas adversas, incluindo elevação da pressão diastólica final e redução da eficiência do TM.^{9,10} Protocolos ecocardiográficos mais recentes confirmaram que o exercício de preensão manual reproduz estresse hemodinâmico controlado e permite avaliar, de forma sensível, as adaptações da mecânica ventricular, incluindo aumento do índice de trabalho global (ITG) e redução discreta da eficiência global do trabalho (EGT).^{7,11}

Este estudo avalia, em adultos jovens saudáveis, as alterações do SLG e dos índices de TM durante o exercício isométrico de preensão manual, em comparação ao repouso, com o objetivo de caracterizar a resposta fisiológica do VE à sobrecarga pressórica aguda.

Métodos

Desenho do estudo e população

Trata-se de um estudo transversal, prospectivo, que incluiu adultos jovens saudáveis (18-40 anos) submetidos à avaliação ecocardiográfica em repouso e durante exercício isométrico de preensão manual. Foram incluídos indivíduos com função miocárdica preservada e sem comorbidades clínicas. Foram excluídos participantes com cardiopatias estruturais relevantes, arritmias, doenças musculoesqueléticas limitantes ou contraindicações à ecocardiografia de estresse.

O cálculo do tamanho amostral foi realizado com base em valores normativos de TM descritos por Olsen et al.,⁵ utilizando o ITG como desfecho primário e considerando o desenho pareado (repouso vs preensão manual). Foi adotado um incremento conservador de 150 mmHg% no ITG, com desvio-padrão das diferenças estimado em 240 mmHg%, com base em dados de Cebrowska et al.¹² Considerando nível de significância de 5% e poder estatístico de 80%, a fórmula para comparação de médias pareadas indicou a necessidade mínima de 21 indivíduos. Com o objetivo de aumentar a precisão das estimativas e a robustez analítica, foram incluídos 30 participantes na amostra final.

Aquisição e análise ecocardiográfica

A ecocardiografia transtorácica foi realizada com o Vivid™ E95 Ultrasound System (GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Noruega), utilizando transdutor setorial MS5 de 3,5 MHz. Imagens 2D padrão foram adquiridas em três ciclos cardíacos, sincronizados ao complexo QRS, e armazenadas em formato digital para análise *offline* no software EchoPAC™ (versão 206; GE Vingmed Ultrasound AS, Horten, Noruega), de acordo com as recomendações da American Society of Echocardiography.¹³

A FEVE foi obtida pelo método de Simpson biplanar. A função diastólica foi avaliada conforme diretrizes vigentes. O SLG foi analisado por meio de EST, utilizando janelas apicais padrão.

Avaliação do TM

Os índices de TM (i.e., ITG, trabalho construtivo global [TCG], trabalho desperdiçado global [TDG] e EGT) foram calculados automaticamente a partir das curvas pressão-*strain*. Para isso, foi utilizada a PA braquial aferida no momento do exame.

Protocolo de exercício de preensão manual

O protocolo de preensão manual consistiu em contração isométrica contínua a 40% da força máxima voluntária, previamente determinada por dinamometria. O esforço foi mantido por 2-3 minutos, com aquisição das imagens ecocardiográficas entre o segundo e o terceiro minuto.

Análise estatística

As comparações entre as condições de repouso e de preensão manual foram realizadas por testes pareados, conforme a distribuição dos dados. A significância foi fixada em $p < 0,05$. O tamanho do efeito foi calculado para estimar a magnitude das diferenças observadas.

Aspectos éticos

O estudo foi aprovado por comitê de ética local, e todos os participantes assinaram termo de consentimento livre e esclarecido.

Resultados

Foram avaliados 30 indivíduos saudáveis, sendo 50% do sexo masculino, com idade média de $29,3 \pm 6,1$ anos, que completaram o protocolo de exercício isométrico de preensão manual. As características clínicas gerais demonstraram valores médios compatíveis com a faixa etária estudada. Durante a preensão manual, observou-se elevação significativa da PA sistólica (115 mmHg vs 133 mmHg; $p < 0,0001$) e da PA diastólica (69 mmHg vs 79 mmHg; $p = 0,0002$), acompanhada por aumento da frequência cardíaca (FC) (72 bpm vs 81 bpm; $p < 0,0001$), caracterizando a resposta hemodinâmica típica ao esforço isométrico (Tabela 1).

As medidas ecocardiográficas estruturais revelaram

Tabela 1 – Características clínicas da população estudada

Variável	n	Média ± DP	Mínimo	Máximo
Peso, kg	30	72,3 ± 12,8	55	100
Altura, cm	30	167,2 ± 9,1	150	184
Superfície corporal, m ²	30	1,81 ± 0,19	1,51	2,21
PA sistólica em repouso, mmHg	30	115,3 ± 16,2	87	146
PA diastólica em repouso, mmHg	30	69,0 ± 9,5	53	90
PA sistólica durante preensão manual, mmHg*	30	133,4 ± 18,4	95	172
PA diastólica durante preensão manual, mmHg*	30	79,5 ± 13,5	51	110
FC em repouso, bpm	30	72,0 ± 11,9	53	111
FC durante preensão manual, bpm*	30	81,7 ± 10,0	60	100

* $p < 0,05$ em comparação ao repouso. Fonte: Elaborado pelos autores (2025). DP: desvio-padrão; FC: frequência cardíaca; PA: pressão arterial.

dimensões ventriculares e massa do VE dentro da normalidade, sem alterações morfológicas relevantes. A função sistólica global permaneceu preservada durante todo o protocolo, sem mudanças na FEVE entre repouso e estresse (64,8% vs 64,4%; $p = 0,6163$). Os parâmetros de função diastólica também se mantiveram estáveis, com discreta redução da velocidade do e' lateral (16,4 cm/s vs 14,9 cm/s; $p = 0,0123$), sem alteração relevante do padrão funcional (Tabela 2).

Na análise do SLG, observou-se discreta redução absoluta durante a preensão manual (20,3% vs 19,6%; $p = 0,0283$), com tamanho de efeito pequeno (d de Cohen = 0,42). A redução foi mais evidente nos segmentos basais, também com tamanho do efeito pequeno ($d = 0,47$), enquanto os segmentos médios e apicais apresentaram variações mínimas e tamanhos do efeito muito pequenos ($d = 0,11$ e $0,16$, respectivamente), sem significância estatística (Tabela 3).

Quanto ao TM, verificou-se aumento significativo do ITG (1.810 mmHg% vs 2.054 mmHg%; $p = 0,0002$), com tamanho do efeito moderado ($d = 0,77$), e do TCG (2.172 mmHg% vs 2.486 mmHg%; $p < 0,0001$), que apresentou tamanho do efeito elevado ($d = 1,05$), representando a maior magnitude entre os parâmetros avaliados. O TDG também aumentou, com tamanho do efeito moderado ($d = 0,68$). A EGT apresentou redução discreta, com tamanho do efeito pequeno ($d = 0,44$).

A análise segmentar do TM demonstrou incremento nos segmentos basais (1.719 mmHg% vs 1.959 mmHg%; $p = 0,0003$) e médios (1.655 mmHg% vs 2.047 mmHg%; $p = 0,0001$), com tamanhos do efeito moderados ($d = 0,81$ e $0,72$, respectivamente), enquanto os segmentos apicais apresentaram variação não significativa. Esses resultados estão apresentados de forma completa na Tabela 3.

A Figura 1 sintetiza graficamente a distribuição dos principais parâmetros avaliados. Houve estabilidade da FEVE, redução discreta do SLG e aumentos consistentes de ITG, TCG e TDG, acompanhados por leve redução da EGT.

Discussão

O presente estudo contribui ao demonstrar, em indivíduos saudáveis, a resposta integrada do VE ao estresse isométrico de preensão manual por meio da combinação entre SLG e índices de TM. Nossos achados mostram que o aumento agudo da pós-carga promove elevação pressórica consistente, preservação da FEVE, discreta redução do SLG e aumento dos índices de TM, acompanhado de elevação do TDG e leve redução da EGT (Figura Central). Esses resultados ampliam a compreensão da adaptação fisiológica do miocárdio ao estresse pressórico e reforçam o valor de uma abordagem multiparamétrica para identificar alterações não detectáveis apenas pela FEVE.

A elevação consistente da PA sistólica e da PA diastólica durante a preensão manual confirma o papel da manobra como estressor hemodinâmico reprodutível, em consonância com achados clássicos de Helfant et al.⁸ e Kivowitz et al.⁹ que descreveram os mecanismos fisiológicos da resposta pressórica ao esforço isométrico. Esses autores demonstraram que o aumento do tônus simpático e da resistência vascular

Tabela 2 – Características ecocardiográficas da amostra (n = 30)

Parâmetro	Média ± DP	Min-Máx
Estrutura cardíaca		
Diâmetro diastólico final do VE, cm	4,75 ± 0,44	3,90-5,60
Diâmetro sistólico final do VE, cm	2,96 ± 0,48	2,00-4,90
Parede posterior, cm	0,80 ± 0,09	0,70-1,00
Espessura do septo interventricular, cm	0,80 ± 0,10	0,70-1,10
Índice de massa do VE, g/m ²	72,16 ± 15,67	46,80-110,40
Volume atrial esquerdo indexado, ml/m ²	24,70 ± 6,34	14-40
Função sistólica – repouso		
Volume diastólico final, ml	84,47 ± 23,29	42-142
Volume sistólico final, ml	29,87 ± 9,31	10-55
Volume sistólico, ml	54,60 ± 15,21	31-87
Fração de ejeção, %	64,80% ± 4,07%	60-76
Função sistólica – preensão manual		
Volume diastólico final, ml [#]	87,70 ± 23,71	47-146
Volume sistólico final, ml [#]	31,53 ± 11,05	14-62
Volume sistólico, ml [#]	56,17 ± 13,67	31-84
Fração de ejeção, % [#]	64,47% ± 4,15%	58-74
Função diastólica – repouso		
Velocidade da onda E, cm/s	86,40 ± 21,89	58-141
e' medial, cm/s	11,75 ± 2,39	7-17
e' lateral, cm/s	16,45 ± 3,92	10-27
Relação E/e'	6,27 ± 1,70	3,45-10,67
Função diastólica – preensão manual		
Velocidade da onda E, cm/s [#]	84,33 ± 18,99	45-145
e' medial, cm/s [#]	11,23 ± 2,06	7-15
e' lateral, cm/s [*]	14,97 ± 2,92	10-20
Relação E/e' [#]	6,63 ± 1,55	3,85-10,70

*#p > 0,05 em comparação ao repouso. *p < 0,05 em comparação ao repouso. Fonte: Elaborado pelos autores (2025). DP: desvio-padrão; Máx: máximo; Mín: mínimo; VE: ventrículo esquerdo.*

Tabela 3 – Parâmetros de strain e TM (repouso vs preensão manual)

Parâmetro	Repouso	Preensão manual	Δ	Valor de p	d de Cohen
SLG, %	20,38 ± 2,57	19,60 ± 2,52	-0,78	0,0283	0,42
Strain dos segmentos basais, %	18,41 ± 2,93	17,30 ± 2,38	-1,12	0,0208	0,47
Strain dos segmentos médios, %	20,35 ± 2,21	20,15 ± 2,62	-0,20	0,5455	0,11
Strain dos segmentos apicais, %	24,07 ± 3,61	23,52 ± 3,66	-0,55	0,3971	0,16
ITG, mmHg%	1.810 ± 322	2.054 ± 403	+244	0,0002	0,77
TCG, mmHg%	2.172 ± 371	2.486 ± 453	+313	< 0,0001	1,05
TDG, mmHg%	108,4 ± 43,9	160,4 ± 75,8	+52,0	0,0008	0,68
EGT, %	94,83 ± 1,76	93,57 ± 2,45	-1,27	0,0224	0,44
TM dos segmentos basais, mmHg%	1.719 ± 346	1.959 ± 283	+240	0,0003	0,81
TM dos segmentos médios, mmHg%	1.655	2.047	+392	0,0001	0,72
TM dos segmentos apicais, mmHg%	1.970	2.168	+198	0,0710	0,34

Fonte: Elaborado pelos autores (2025). EGT: eficiência global do trabalho; ITG: índice de trabalho global; SLG: strain longitudinal global; TCG: trabalho construtivo global; TDG: trabalho desperdiçado global; TM: trabalho miocárdico.

periférica constitui o principal determinante da elevação da PA, enquanto a FC apresenta incremento discreto, padrão também observado na presente investigação. Estudos mais recentes, como o de Samuel et al.,¹⁴ reforçam a utilidade da preensão manual como alternativa prática e acessível a protocolos mais complexos de estresse dinâmico, especialmente na avaliação de alterações sutis do desempenho ventricular.

A estabilidade da FEVE, tanto em repouso quanto durante o estresse, ressalta a limitação dos parâmetros volumétricos na detecção de alterações contráteis sutis induzidas por variações de carga, corroborando observações de Thomas et al.¹⁵ e Clemmensen et al.¹⁶ Esses autores demonstraram que a FEVE pode permanecer inalterada mesmo diante de modificações relevantes na mecânica sistólica, o que reforça a necessidade de ferramentas mais sensíveis, como o SLG e o TM.

A redução discreta do SLG durante a preensão manual representa um achado fisiológico esperado. Tal comportamento, descrito por Flachskampf e Chandrashekar,⁴ reflete a sensibilidade do *strain* às alterações da pós-carga. A maior redução nos segmentos basais reforça a heterogeneidade regional da resposta mecânica, conforme sugerido por Thomas et al.¹⁵ Essas regiões apresentam maior tensão de parede e dependem mais diretamente do encurtamento longitudinal, sendo, portanto, mais suscetíveis à sobrecarga pressórica aguda. A relativa estabilidade dos segmentos médios e apicais sugere preservação da reserva contrátil global em indivíduos saudáveis.

Os índices de TM forneceram informações complementares relevantes. O aumento significativo do ITG e do TCG durante a preensão manual é compatível com o incremento fisiológico da energia mecânica necessária para vencer a

maior carga sistólica. Estudos de Zhu et al.² e Caminiti et al.⁷ demonstraram comportamento semelhante tanto em indivíduos saudáveis quanto em populações com hipertensão arterial sistêmica ou doença arterial coronariana, reforçando a sensibilidade do modelo pressão-strain na quantificação dos ajustes contráteis frente a estímulos agudos.

O aumento do TDG representa outro achado fisiologicamente consistente. Em cenários de elevação aguda da pós-carga, como descrito por Russell et al.¹⁷ e sintetizado por Flachskampf e Chandrashekar,⁴ é esperado que parte da energia gerada pelo miocárdio não se converta em trabalho útil, em razão de assincronias temporais entre a geração de tensão e o encurtamento efetivo das fibras. Esse mecanismo contribui para a redução discreta da EGT, que, ainda assim, permaneceu dentro da faixa fisiológica. Os valores observados estão de acordo com limites normativos previamente descritos por Olsen et al.,⁵ o que reforça a validade dos achados em uma população saudável.

A análise segmentar do VE revelou um aspecto adicional da adaptação fisiológica ao estresse isométrico. Durante a preensão manual, observou-se redução do SLG nos segmentos basais, acompanhada de aumento do TM nessas mesmas regiões, padrão também observado nos segmentos médios. Essa dissociação entre menor deformação e maior TM sugere um ajuste fisiológico ao aumento agudo da pós-carga, no qual a redução do encurtamento longitudinal é compensada por maior geração de energia mecânica para manutenção da performance global. Em conjunto, o padrão observado permaneceu alinhado ao fenótipo normal descrito por Grandperrin et al.,¹⁸ reforçando que a resposta regional ao estresse representa adaptação contrátil fisiológica, e não disfunção subclínica.

Este estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. A inclusão exclusiva de adultos jovens saudáveis

e o tamanho amostral relativamente reduzido limitam a generalização dos resultados para populações clínicas. Além disso, a aquisição ecocardiográfica durante o esforço isométrico pode introduzir variabilidade técnica na qualidade

das imagens. Por outro lado, são pontos fortes o delineamento prospectivo e padronizado, a amostra homogênea sem comorbidades, que permite caracterização fisiológica com menor interferência externa, e a avaliação integrada do SLG

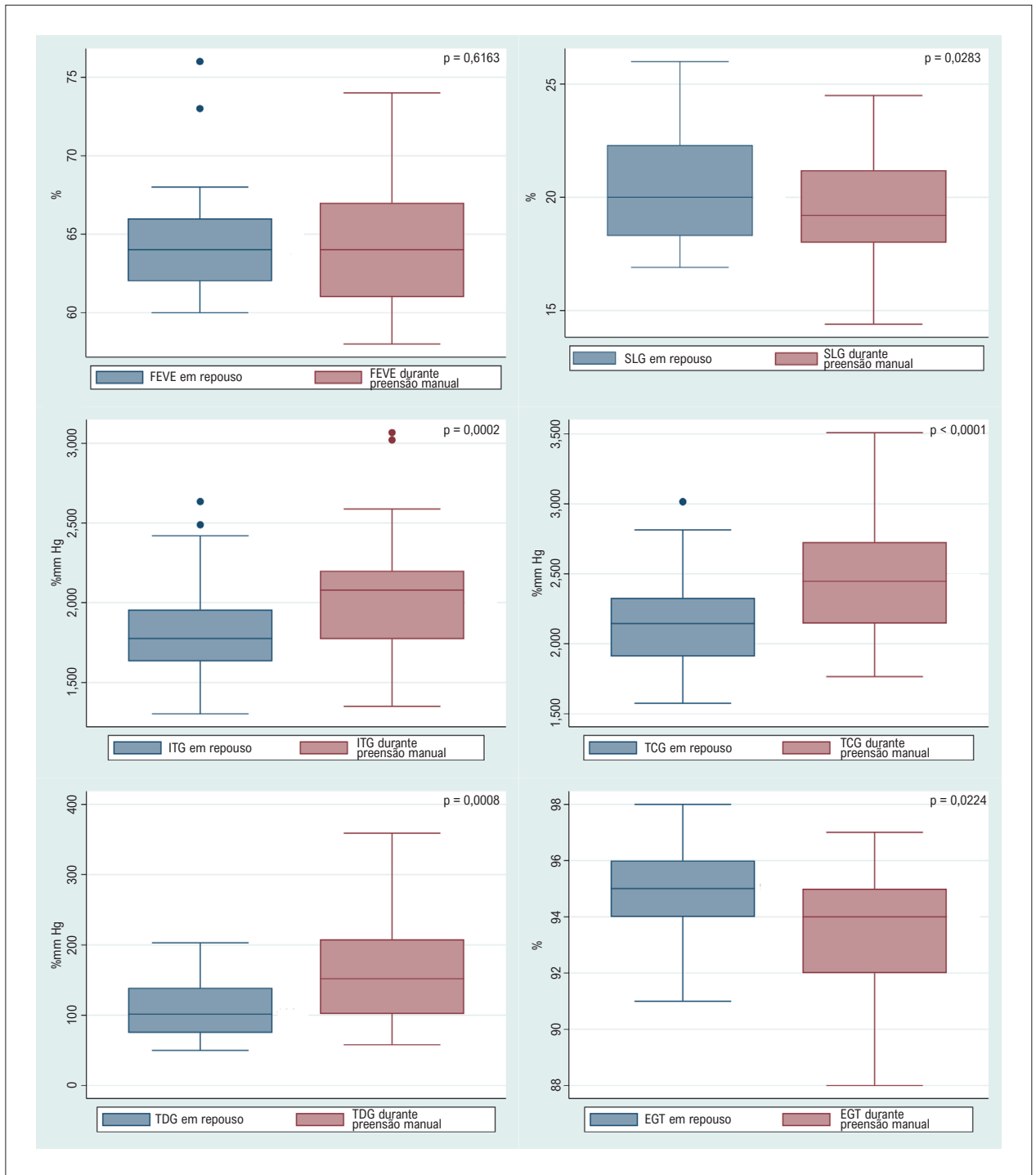


Figura 1 – Variação dos parâmetros de função ventricular, SLG e TM entre repouso e prensão manual. EGT: eficiência global do trabalho; FEVE: fração de ejeção do ventrículo esquerdo; ITG: índice de trabalho global; SLG: strain longitudinal global; TCG: trabalho construtivo global; TDG: trabalho desperdiçado global.

e do TM, que amplia a sensibilidade para detectar alterações sutis na mecânica ventricular. A inclusão do tamanho do efeito também agrega valor interpretativo, permitindo avaliar a relevância prática das diferenças observadas.

Em conjunto, os achados reforçam o valor da preensão manual como ferramenta prática, segura e reprodutível de estresse submáximo. A abordagem integrada entre SLG e TM mostrou-se capaz de detectar modificações fisiológicas agudas não identificáveis por métodos tradicionais, como a FEVE, sendo particularmente relevante em contextos que demandam avaliação da reserva contrátil ou identificação de disfunção subclínica.

Além de caracterizar a resposta fisiológica do VE ao estresse isométrico, este estudo contribui para consolidar o papel do SLG e do TM como ferramentas centrais na avaliação contemporânea da mecânica ventricular, destacando a preensão manual como estratégia valiosa tanto em estudos fisiológicos quanto em aplicações clínicas.

Conclusões

O exercício isométrico de preensão manual induziu alterações hemodinâmicas e mecânicas mensuráveis em indivíduos saudáveis, caracterizadas por estabilidade da FEVE, discreta redução do SLG e aumento significativo do ITG e do TCG, acompanhados por elevação do TDG e leve redução da EGT. Esses achados refletem adaptação contrátil fisiológica à sobrecarga pressórica aguda e reforçam a preensão manual como ferramenta simples, segura e reprodutível para avaliação da mecânica ventricular além dos parâmetros volumétricos tradicionais.

Contribuição dos Autores

Concepção e desenho da pesquisa, análise e interpretação dos dados, redação do manuscrito e revisão crítica do

manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Pereira MM, Portela JLP, Otto MEB; obtenção de dados: Pereira MM, Portela JLP; análise estatística: Pereira MM.

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 estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Carlos Macieira sob o número de protocolo 7.784.405. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo.

Uso de Inteligência Artificial

Os autores não utilizaram ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento deste trabalho.

Disponibilidade de Dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Referências

1. Stanton T, Leano R, Marwick TH. Prediction of All-Cause Mortality from Global Longitudinal Speckle Strain: Comparison with Ejection Fraction and Wall Motion Scoring. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2009;2(5):356-64. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.109.862334.
2. Zhu H, Guo Y, Wang X, Yang C, Li Y, Meng X, et al. Myocardial Work by Speckle Tracking Echocardiography Accurately Assesses Left Ventricular Function of Coronary Artery Disease Patients. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:727389. doi: 10.3389/fcvm.2021.727389.
3. Oikonomou EK, Kokkinidis DG, Kampaktsis PN, Amir EA, Marwick TH, Gupta D, et al. Assessment of Prognostic Value of Left Ventricular Global Longitudinal Strain for Early Prediction of Chemotherapy-Induced Cardiotoxicity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Cardiol*. 2019;4(10):1007-18. doi: 10.1001/jamacardio.2019.2952.
4. Flachskampf FA, Chandrashekar Y. Myocardial Work and Work Index: Related but Different for Clinical Usage. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2022;15(8):1521-3. doi: 10.1016/j.jcmg.2022.07.001.
5. Olsen FJ, Skaarup KG, Lassen MCH, Johansen ND, Sengeløv M, Jensen GB, et al. Normal Values for Myocardial Work Indices Derived from Pressure-Strain Loop Analyses: From the CCHS. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2022;15(5):e013712. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.121.013712.
6. Olsen FJ, Bjerregaard CL, Skaarup KG, Lassen MCH, Johansen ND, Modin D, et al. Impact of Echocardiographic Analyses of Valvular Event Timing on Myocardial Work Indices. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;24(3):314-23. doi: 10.1093/ehjci/jeac171.
7. Caminiti G, Volterrani M, Iellamo F, Marazzi G, D'Antoni V, Calandri C, et al. Acute Changes in Myocardial Work during Isometric Exercise in Hypertensive Patients with Ischemic Heart Disease: A Case-Control Study. *J Clin Med*. 2024;13(19):5955. doi: 10.3390/jcm13195955.
8. Helfant RH, De Villa MA, Meister SG. Effect of Sustained Isometric Handgrip Exercise on Left Ventricular Performance. *Circulation*. 1971;44(6):982-93. doi: 10.1161/01.cir.44.6.982.
9. Kivowitz C, Parmley WW, Donoso R, Marcus H, Ganz W, Swan HJ. Effects of Isometric Exercise on Cardiac Performance. The Grip Test. *Circulation*. 1971;44(6):994-1002. doi: 10.1161/01.cir.44.6.994.
10. Fisher ML, Nutter DO, Jacobs W, Schlant RC. Haemodynamic Responses to Isometric Exercise (Handgrip) in Patients with Heart Disease. *Br Heart J*. 1973;35(4):422-32. doi: 10.1136/hrt.35.4.422.

11. Samuel TJ, Beaudry R, Haykowsky MJ, Sarma S, Park S, Dombrowsky T, et al. Isometric Handgrip Echocardiography: A Noninvasive Stress Test to Assess Left Ventricular Diastolic Function. *Clin Cardiol.* 2017;40(12):1247-55. doi: 10.1002/clc.22818.
12. Cebrowska K, Mińczykowski A, Krauze T, Guzik P, Szczepanik A, Wykrętowicz A. The Pressure-Strain Work Indices in Response to Isometric Handgrip Exercise. *Kardiol Pol.* 2021;79(4):455-7. doi: 10.33963/KP.15912.
13. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afalalo 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.
14. Samuel TJ, Haykowsky MJ, Sarma S, Nelson MD. Diastolic Stress Testing: Have You Considered Isometric Handgrip Echocardiography? *JACC Cardiovasc Imaging.* 2019;12(10):2095-7. doi: 10.1016/j.jcmg.2019.07.023.
15. Thomas JD, Edvardsen T, Abraham T, Appadurai V, Badano L, Banchs J, et al. Clinical Applications of Strain Echocardiography: A Clinical Consensus Statement from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the European Association of Cardiovascular Imaging of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr.* 2025;38(11):985-1020. doi: 10.1016/j.echo.2025.07.007.
16. Clemmensen TS, Eiskjær H, Mikkelsen F, Granstam SO, Flachskampf FA, Sørensen J, et al. Left Ventricular Pressure-Strain-Derived Myocardial Work at Rest and during Exercise in Patients with Cardiac Amyloidosis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2020;33(5):573-82. doi: 10.1016/j.echo.2019.11.018.
17. Russell K, Eriksen M, Aaberge L, Wilhelmsen N, Skulstad H, Gjesdal O, et al. Assessment of Wasted Myocardial Work: A Novel Method to Quantify Energy Loss Due to Uncoordinated Left Ventricular Contractions. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2013;305(7):H996-1003. doi: 10.1152/ajpheart.00191.2013.
18. Grandperrin A, Schnell F, Donal E, Galli E, Hedon C, Cazorla O, et al. Specific Alterations of Regional Myocardial Work in Strength-Trained Athletes Using Anabolic Androgenic Steroids Compared to Athletes with Genetic Hypertrophic Cardiomyopathy. *J Sport Health Sci.* 2023;12(4):477-85. doi: 10.1016/j.jshs.2022.07.004.

