

Respostas hemodinâmicas durante exercício muscular inspiratório em jovens saudáveis

Hemodynamic responses during inspiratory muscle exercise in healthy young adults

Respuestas hemodinámicas durante el ejercicio de los músculos inspiratorios en adultos jóvenes sanos

Leila Dal Poggetto Moreira¹, Lillian Pinto da Silva², Vinicius Faria Weiss³, Rita de Cássia Sene⁴, Pedro Augusto de Carvalho Mira⁵, Patrícia Fernandes Trevizan⁶, Mateus Camaroti Laterza⁷, Daniel Godoy Martinez⁸

RESUMO | A literatura carece de um consenso sobre respostas hemodinâmicas durante o exercício muscular inspiratório (EMI). Este estudo buscou avaliar e comparar as respostas hemodinâmicas durante uma sessão de EMI com e sem carga resistiva. Para tanto, 15 homens sedentários foram submetidos a duas sessões randomizadas de EMI: 40% da pressão inspiratória máxima (EMI 40%) e sem carga resistiva (*sham*), realizadas por dois minutos em oito séries e com intervalos de um minuto. A pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD), pressão arterial média (PAM), resistência periférica total (RPT), volume sistólico (VS), débito cardíaco (DC) e frequência cardíaca (FC) foram medidos por fotopletimografia infravermelha digital por cinco minutos basais e durante as sessões de EMI. Anova de um fator e o teste t de Student para dados pareados foram usados para analisar a resposta hemodinâmica e os valores delta entre as sessões, respectivamente. O tamanho do efeito foi avaliado pelo d de Cohen. Adotou-se nível de significância de 5%. As respostas de PAS (*sham*: $\Delta-1\pm 2$ vs. 40%: $\Delta-4\pm 2$ mmHg, $p=0,27$), PAD (*sham*: $\Delta 2\pm 1$ vs. 40%: $\Delta 1\pm 2$ mmHg, $p=0,60$) e PAM (*sham*: $\Delta 2\pm 1$ vs. 40%:

$\Delta 0\pm 2$ mmHg, $p=0,28$) foram semelhantes entre as sessões. Os aumentos da FC foram maiores na sessão de EMI 40% do que nas sessões *sham* (*sham*: $\Delta 9\pm 2$ vs. 40%: $\Delta 3\pm 2$ bpm, $p=0,001$). O VS diminuiu exclusivamente durante a sessão *sham* mas a resposta foi semelhante entre as sessões (*sham*: $\Delta-2\pm 2$ vs. EMI 40%: $\Delta-6\pm 2$ ml, $p=0,13$). Ambas as sessões não causaram alteração nas variáveis PAS, PAD, PAM, DC e RPT, mas notamos um aumento maior da FC na sessão EMI 40%. Apenas a sessão *sham* reduziu o VS.

Descritores | Exercícios Respiratórios; Hemodinâmica; Adulto Jovem.

ABSTRACT | The literature on hemodynamic responses during inspiratory muscle exercise (IME) lacks a consensus. To evaluate and compare hemodynamic responses during an IME session with and without resistive load, 15 sedentary men were subjected to two randomized IME sessions: one with 40% of maximal inspiratory pressure (IME 40%) and another without a resistive load (Sham), both of which were performed for two minutes over eight sets with one-minute intervals. Systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), mean blood pressure (MBP), total

¹Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: leiladpmoreira@gmail.com. ORCID-0000-0002-1409-4314

²Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: lillian.pinto@ufjf.edu.br. ORCID-0000-0002-9352-1504

³Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: vinicius.weiss@hotmail.com. ORCID-0000-0003-2485-2278

⁴Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: ritacsene@gmail.com. ORCID-0000-0002-2913-6142

⁵Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: pedroaugustocm@hotmail.com. ORCID-0000-0003-1511-2681

⁶Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte (MG), Brasil. E-mail: patricia_trevizan@yahoo.com.br. ORCID-0000-0001-5517-8285

⁷Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: mateuslaterza@hotmail.com. ORCID-0000-0002-3984-4951

⁸Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) – Juiz de Fora (MG), Brasil. E-mail: danielgmartinez@yahoo.com.br. ORCID-0000-0003-0034-7963

peripheral resistance (TPR), stroke volume (SV), cardiac output (CO), and heart rate (HR) were measured by infrared digital photoplethysmography during five basal minutes and during the IME sessions. One-way ANOVA analysis of variance and the Student's t test for paired data were used to analyze hemodynamic response and delta values between sessions, respectively. Effect size was evaluated by Cohen's D. A 5% significance level was adopted. SBP responses (sham: $\Delta-1\pm 2$ vs. 40%: $\Delta-4\pm 2$ mmHg, $p=0.27$), DBP (sham: $\Delta 2\pm 1$ vs. 40%: $\Delta 1\pm 2$ mmHg, $p=0.60$) and MBP (sham: $\Delta 2\pm 1$ vs. 40%: $\Delta 0\pm 2$ mmHg, $p=0.28$) were similar between sessions. HR increases were higher in the 40% IME session than in the sham session (sham: $\Delta 9\pm 2$ vs. 40%: $\Delta 3\pm 2$ bpm, $p=0.001$). SV only decreased during the sham session but responses were similar between sessions (sham: $\Delta-2\pm 2$ vs. IME 40%: $\Delta-6\pm 2$ ml, $p=0.13$). Both sessions did not change SBP, DBP, MBP, CO, and TPR, but we observed a greater increase in HR in the IME 40% session. Only the Sham session decreased SV.

Keywords | Breathing Exercises; Hemodynamics; Young Adult.

RESUMEN | No hay consenso en la literatura sobre las respuestas hemodinámicas durante el ejercicio muscular inspiratorio (EMI). El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar las respuestas hemodinámicas durante una sesión de EMI con y sin carga resistiva. Para ello, quince hombres sedentarios recibieron dos sesiones aleatorias de EMI: el 40% de la presión inspiratoria máxima (EMI

40%) y sin carga resistiva (*sham*), realizadas durante dos minutos, ocho sesiones y a intervalos de un minuto. La presión arterial sistólica (PAS), la presión arterial diastólica (PAD), la presión arterial media (PAM), la resistencia periférica total (RPT), el volumen sistólico (VS), el gasto cardíaco (GC) y la frecuencia cardíaca (FC) se midieron mediante fotoplethysmografía infrarroja digital durante cinco minutos al inicio y durante las sesiones de EMI. Se utilizaron ANOVA unidireccional y la prueba t de Student a datos emparejados para analizar la respuesta hemodinámica y los valores delta entre las sesiones. El tamaño del efecto se evaluó por el d de Cohen. El nivel de significancia adoptado fue de 5%. Las respuestas de PAS (*sham*: $\Delta-1\pm 2$ vs. 40%: $\Delta-4\pm 2$ mmHg, $p=0,27$), PAD (*sham*: $\Delta 2\pm 1$ vs. 40%: $\Delta 1\pm 2$ mmHg, $p=0,60$) y PAM (*sham*: $\Delta 2\pm 1$ vs. 40%: $\Delta 0\pm 2$ mmHg, $p=0,28$) fueron similares entre las sesiones. El incremento de la FC fue mayor en la sesión de EMI 40% comparada con la sesión *sham* (*sham*: $\Delta 9\pm 2$ vs. 40%: $\Delta 3\pm 2$ bpm, $p=0,001$). El VS tuvo una disminución exclusiva durante la sesión *sham*, pero la respuesta fue similar entre las sesiones (*sham*: $\Delta-2\pm 2$ vs. EMI 40%: $\Delta-6\pm 2$ ml, $p=0,13$). Ambas sesiones no tuvieron cambios en las variables PAS, PAD, PAM, DC y RPT, pero se observó un mayor incremento de la FC en la sesión EMI 40%. Solamente en la sesión *sham* hubo una reducción del VS.

Palabras clave | Ejercicios Respiratorios; Hemodinámica; Adulto Joven.

INTRODUÇÃO

Os benefícios funcionais e cardiovasculares do treinamento muscular inspiratório descritos na literatura reforçam a integração fisiológica entre os sistemas cardiovascular e respiratório. A respiração é processada pela integração dos pulmões ao sistema nervoso central e periférico, acompanhada pela caixa torácica e musculatura respiratória¹. Como resultado, o sistema nervoso ajusta a intensidade da ventilação às demandas do organismo sob diferentes condições fisiológicas². Assim, a ventilação pulmonar modula a pressão intratorácica, alterando o retorno venoso e o volume da ejeção ventricular, alterando a frequência cardíaca (FC) e a pressão arterial (PA)³. Nesse sentido, podemos inferir que a intensidade da carga inspiratória resistiva pode influenciar as respostas hemodinâmicas ao exercício muscular inspiratório (EMI).

De fato, estudos têm investigado as respostas agudas ao EMI em diferentes populações através de diferentes intensidades de cargas resistivas. Os efeitos durante o EMI

com cargas de 50% a 90% da pressão inspiratória máxima ($PI_{m\acute{a}x}$) foram investigados em remadores treinados, mostrando que todas as intensidades de exercício estudadas elevaram a FC. Entretanto, apenas a carga de 60% da $PI_{m\acute{a}x}$ aumentou continuamente a pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD) e pressão arterial média (PAM)⁴.

Além disso, um estudo investigou os efeitos agudos do EMI a 30% da $PI_{m\acute{a}x}$ sobre os parâmetros cardíacos de jovens fumantes. Os autores observaram a redução da PAS e a melhoria da variabilidade da FC, sugerindo que uma única sessão de EMI pode mediar mudanças no controle autônomo cardiovascular por aumentar a modulação parassimpática cardíaca⁵.

Embora estudos tenham mostrado que uma sessão de EMI pode alterar o sistema cardiovascular de diferentes populações, até onde sabemos, a literatura ainda carece de um consenso sobre as respostas hemodinâmicas agudas à carga resistiva do EMI. Portanto, este estudo buscou avaliar e comparar respostas hemodinâmicas durante uma sessão de EMI com e sem carga resistiva em adultos jovens saudáveis.

METODOLOGIA

Todos os voluntários foram informados e orientados sobre os procedimentos deste estudo e aqueles que concordaram em participar assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido em duplicatas, seguindo a Resolução nº 466 de 2002 do Conselho Nacional de Saúde. Este estudo é um ensaio clínico randomizado e controlado cruzado.

Os voluntários foram recrutados por uma busca ativa em uma universidade, campanhas de saúde no município de Juiz de Fora e pela divulgação impressa e digital do projeto desta pesquisa. Todos os voluntários foram informados e orientados sobre os procedimentos a serem utilizados, sendo estes realizados na Unidade de Investigação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício (InCFEx) do HU/UFJF/EBSERH.

A amostra foi composta por 15 jovens do sexo masculino que se auto-referiram ser saudáveis, não faziam uso de medicamentos cardiovasculares e respiratórios e relataram não ter recebido nenhum diagnóstico de doenças cardiovasculares e pulmonares.

O questionário de Baecke foi utilizado para avaliar o seu nível habitual de atividade física. Esse questionário é composto por três escores: atividades físicas no trabalho (AFT), prática de esportes (PDE) e atividades de lazer e locomoção (ALL). O escore PDE utilizado neste estudo se refere à prática de esportes ou exercícios físicos. Participantes deveriam não ter praticado regularmente exercícios físicos com gasto energético leve⁶ nos 12 meses anteriores a este estudo. Além disso, não tinham um histórico de tabagismo.

Indivíduos com níveis pressóricos maiores que 140/90mmHg, alterações eletrocardiográficas (como isquemia e arritmias cardíacas complexas) no monitoramento basal e um índice de massa corpórea (IMC) maior ou igual a 30kg/m² foram excluídos deste estudo.

Antropometria

Para aferir a massa corporal e estatura dos voluntários, foram utilizadas uma balança Leader® com precisão de 0,1kg e um estadiômetro escalonado acoplado com precisão de 0,5cm, respectivamente. Para o cálculo do IMC, utilizou-se a equação do peso corporal em quilogramas dividido pela altura em metros ao quadrado. As circunferências de cintura, abdome e quadril foram medidas com uma fita métrica Cardiomed® com precisão de 0,1cm. Para essa mensuração, os voluntários estavam em ortostatismo com seus pés juntos, cabeça em posição neutra e braços próximos ao corpo⁷.

Medidas hemodinâmicas

Na primeira visita, as medidas de PA foram realizadas pelo método oscilométrico, seguindo as recomendações das Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial^{8,9}. Os voluntários foram submetidos à anamnese para obter informações sobre seus hábitos de vida e estado de saúde.

Na segunda e terceira visitas, os dados de FC e PA foram coletados nas condições basal e EMI pelo equipamento Finometer Pro (Finapres Medical System, Amsterdã, Holanda) e fotopletimografia infravermelha digital, na qual um manguito foi posicionado ao redor do dedo médio direito dos voluntários enquanto eles apoiavam o braço direito na altura de seu ventrículo esquerdo. Assim, o sinal da onda de pulso da PA foi captado para a derivação do volume sistólico (VS) e débito cardíaco (DC) pelo método Modelflow (BeatScope, Finapres Medical System, Amsterdã, Holanda). Os sinais biológicos foram coletados por um sistema de aquisição de dados e um conversor analógico/digital com resolução de 16 bits e frequência de amostragem de 1.000Hz (Biopac Systems Inc., Goleta, CA, EUA) e registrados no programa AcqKnowledge 4.2.0 (Biopac Systems Inc., Goleta, CA, EUA). A resistência periférica total (RPT) foi calculada dividindo-se a PAM pelo DC¹⁰.

Avaliação da força muscular respiratória

A força muscular inspiratória foi medida pela $PI_{máx}$, utilizando-se um manovacuômetro digital (GlobalMed). A força muscular expiratória foi mensurada por meio da pressão expiratória máxima ($PE_{máx}$) com o mesmo equipamento. A $PE_{máx}$ foi obtida a partir de um esforço expiratório máximo após inspiração completa. A $PE_{máx}$ foi considerada o maior valor com variação inferior a 10% entre três tentativas^{11,12}. Esses valores são apresentados em números absolutos e porcentagens de acordo com idade e sexo previstos¹³.

Exercício Muscular Inspiratório (EMI)

As duas sessões de EMI foram realizadas com as seguintes intensidades: *sham* (sem carga) e $PI_{máx}$ a 40%. Essas sessões foram realizadas em oito séries de dois minutos com intervalos de um minuto entre elas. Os voluntários foram instruídos a realizar respiração diafragmática e manter sua frequência respiratória na faixa de 12 a 15 incursões por minuto (controlada pelo feedback de um avaliador). Todo o protocolo do EMI foi realizado com os participantes sentados com os pés apoiados no chão

e usando um clipe nasal comum para evitar vazamentos de ar. A ordem das sessões foi randomizada por um website (os voluntários não foram informados previamente sobre a qual sessão seriam submetidos).

Protocolo experimental

O experimento foi conduzido no Unidade de Investigação Cardiovascular e Fisiologia do Exercício (InCEF_x) do Laboratório de Avaliação Física do Hospital Universitário da UFJF pelos mesmos pesquisadores (que foram previamente treinados na aplicação do protocolo). As etapas deste experimento foram divididas em três visitas à tarde em dias não consecutivos com intervalo de 72 horas.

Protocolo experimental (avaliação inicial): primeira visita

Os seguintes procedimentos foram realizados: anamnese, medição antropométrica, monitoramento eletrocardiográfico, mensuração da PA por oscilometria e da frequência respiratória, avaliação da força muscular respiratória e familiarização com o EMI.

Protocolo experimental: segunda e terceira visitas

Para a condição basal, os voluntários foram inicialmente posicionados em decúbito dorsal por 10 minutos para a estabilização e avaliação de suas variáveis hemodinâmicas. A FC e a PA foram registradas simultaneamente. Os voluntários foram então posicionados em uma cadeira com os pés apoiados no chão para realizar o EMI em oito séries de dois minutos com intervalos de um minuto entre as séries, totalizando 23 minutos. Durante toda a sessão de exercícios, os voluntários foram monitorados continuamente por ECG, aparelho respiratório e variáveis hemodinâmicas, batimento a batimento, usando o equipamento Finometer Pro.

Análise estatística

Os dados são exibidos como média±erro padrão. Todos os dados foram submetidos à análise de distribuição pelo teste de Shapiro-Wilk. As respostas hemodinâmicas das variáveis durante a sessão de EMI de cada protocolo (*sham* e EMI 40%) foram analisadas por Anova de uma via. O poder amostral foi calculado para o tempo de efeito (basal e as oito séries do EMI) em relação às variáveis PAS, PAD, PAM, FC, VS, DC e RPT. Para analisar o tamanho do efeito das variáveis hemodinâmicas durante o

EMI (*sham* e EMI 40%), adotou-se o eta quadrado parcial com os seguintes valores de referência: pequeno (0,01 a 0,06), médio (0,06 a 0,14) e grande (maior que 0,14)¹⁴.

As respostas das variáveis (delta) para ambas as sessões foram obtidas subtraindo-se o valor da última série de EMI pelo valor basal (Δ =última série-basal). O teste t de Student para dados pareados foi utilizado para comparar o delta das variáveis hemodinâmicas entre as sessões EMI 40% e *sham*. Para comparar o tamanho do efeito das respostas hemodinâmicas, utilizou-se o d de Cohen com os seguintes valores de referência: pequeno (0,2 a 0,5), médio (0,5 a 0,8) e grande (maior que 0,8). Aceitou-se uma diferença significativa de $p < 0,05$. A análise estatística foi realizada no programa SPSS Statistics versão 20.

RESULTADOS

Este estudo incluiu 18 voluntários, excluindo três pelos seguintes motivos: (1) uma PA basal maior que 140/90mmHg; (2) ser considerado ativo com base no questionário de Baecke; e (3) não completar todas as visitas necessárias. Portanto, nossa amostra foi composta por 15 voluntários que participaram de todo o protocolo.

A Tabela 1 mostra as características hemodinâmicas, antropométricas, demográficas e a força muscular respiratória da amostra estudada.

Tabela 1. Atividade física habitual, características hemodinâmicas, antropométricas e demográficas, força muscular respiratória e atividade física habitual dos voluntários

Característica	(n=15)
PAS (mmHg)	116±3
PAD (mmHg)	66±2
FC (bpm)	65±2
Idade (anos)	25±1
Massa corporal (kg)	69,5±2
Altura (m)	1,72±0,01
IMC (kg/m ²)	23,5±1
Circunferência da cintura (cm)	80±2
Circunferência do abdome (cm)	86±2
Circunferência do quadril (cm)	96±1
PI _{máx} (cmH ₂ O)	-113±8
PI _{máx} (% predito)	135±1
40% PI _{máx} (cmH ₂ O)	45±3
PE _{máx} (cmH ₂ O)	132±7
PE _{máx} (% predito)	145±1
AFT (escore)	2,7±0,1
PDE (escore)	2,0±1,0
ALL (escore)	2,2±0,1

PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; FC: frequência cardíaca; IMC: índice de massa corporal; PI_{máx}: pressão inspiratória máxima; PE_{máx}: pressão expiratória máxima; AFT: atividades físicas no trabalho; PDE: prática de esportes; ALL: atividades de lazer e locomoção.

Resultados apresentados como média±erro padrão.

A PAS não se alterou significativamente durante as duas sessões do EMI. Entretanto, observamos um padrão oscilatório de redução dos valores de PA durante a série EMI 40%, seguido de um aumento durante os intervalos entre as séries (Figura 1). Quando analisamos os valores absolutos de delta (Δ =último EMI-série basal), não encontramos diferenças

significativas nas respostas da PAS (Tabela 2). Sua resposta hemodinâmica durante as sessões sham e EMI 40% também não mudou significativamente apesar do padrão oscilatório de redução durante as séries de EMI e aumento durante os intervalos (Figura 1). A PAD e a PAM responderam de maneira semelhante às duas sessões (Tabela 2).

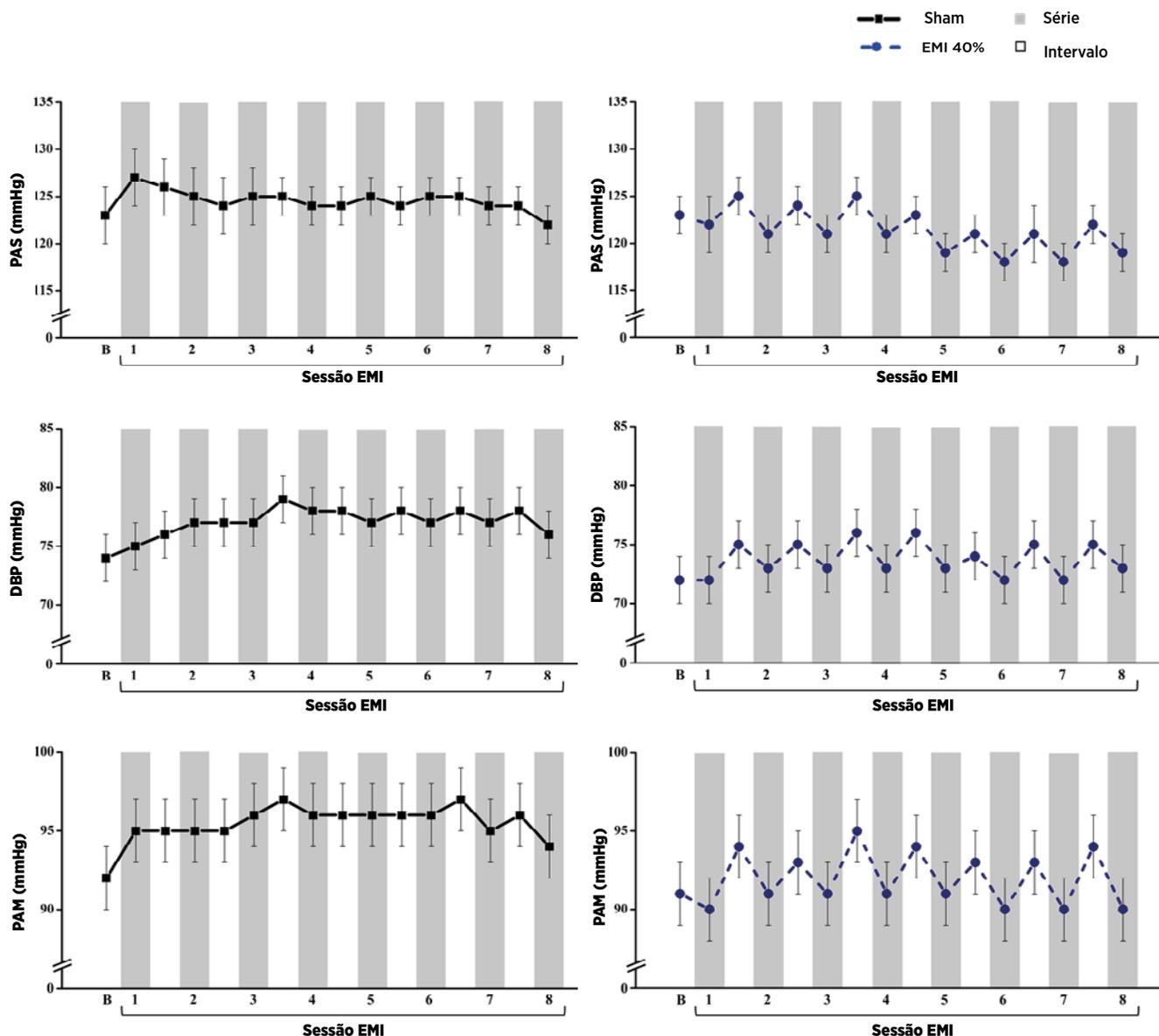


Figura 1. Respostas hemodinâmicas da pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica e pressão arterial média durante as sessões sham e exercício muscular inspiratório a 40% da PImáx

PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; EMI: exercício muscular inspiratório.

Basal (B), 1ª Série EMI (1), 2ª Série EMI (2), 3ª Série EMI (3), 4ª Série EMI (4), 5ª Série EMI (5), 6ª Série EMI (6), 7ª Série EMI (7) e 8ª Série EMI (8). A PAS apresentou um poder amostral de 0,67 para a sessão sham e um de 0,99 para o EMI 40%. A PAD apresentou um poder amostral de 0,99 em ambas as sessões. A PAM apresentou um poder amostral de 0,93 tanto nas sessões sham e EMI 40%.

Tabela 2. Resposta hemodinâmica durante os protocolos sham e exercício muscular inspiratório 40% da PImáx.

Resposta hemodinâmica média	Sham	EMI 40%	p	D de Cohen
PAS (mmHg)	-1±2	-4±2	0,27	0,39
PAD (mmHg)	2±1	1±1	0,60	0,16
PAM (mmHg)	2±1	0±2	0,28	0,35
FC (bpm)	3±2	9±2	0,001	-0,85
VS (ml)	-2±2	-6±2	0,13	0,49
DC (L/minuto)	0,04±0,2	0,26±0,1	0,27	-0,38
RPT (mmHg/l/minuto)	0,01±0,0	-0,03±0,0	0,23	0,42

PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; FC: frequência cardíaca; VS: volume sistólico; DC: débito cardíaco; RPT: resistência periférica total.

Resultados apresentados como média±erro padrão.

A FC aumentou nas duas sessões de EMI, com uma magnitude maior nas sessões de EMI 40% (Tabela 2). Novamente, observamos um padrão oscilatório de aumentos

durante a série EMI e reduções durante os intervalos, encontrando valores significativamente maiores do que os basais (sham: Δ3±2 vs. EMI: Δ9±2bpm, p=0,001) (Figura 2).

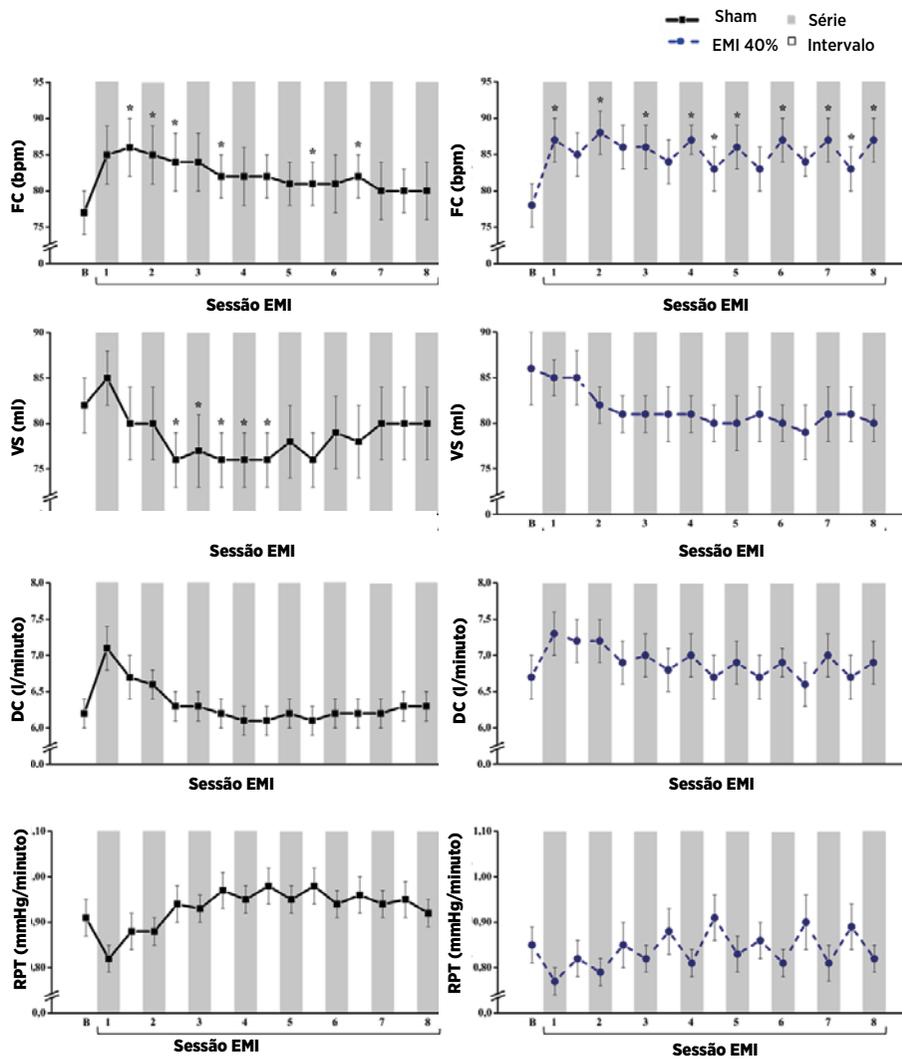


Figura 2. Respostas hemodinâmicas da frequência cardíaca, volume sistólico, débito cardíaco e resistência periférica total durante o protocolo sham e exercício muscular inspiratório a 40% da PImáx.

FC: frequência cardíaca; VS: volume sistólico; DC: débito cardíaco; RPT: resistência periférica total. Basal (B), 1ª Série EMI (1), 2ª Série EMI (2), EMI 3ª Série (3), 4ª Série EMI (4), 5ª Série EMI (5), 6ª Série EMI (6), 7ª Série EMI (7) e 8ª Série EMI (8).

* p<0,05 vs. basal. O poder amostral das variáveis FC, VS, DC e RPT totalizou 1,00 nas sessões sham e EMI 40%.

A VS diminuiu significativamente durante a sessão *sham*, ao contrário da sessão EMI 40% (Figura 2). Entretanto, não observamos diferenças nas respostas da VS entre as sessões (*sham*: $\Delta -2 \pm 2$ vs. EMI: $\Delta -6 \pm 2$ ml, $p=0,13$ (Tabela 2). O DC se assemelhava aos valores basais durante as sessões *sham* e EMI 40% (Figura 2). Assim, as respostas do DC foram semelhantes nos dois protocolos (Tabela 2).

A RPT não se alterou durante as sessões *sham* e EMI 40%, mas observamos um padrão oscilatório de redução durante a série de EMI e um aumento durante os intervalos, com diferenças estatisticamente insignificantes (Figura 1). A RPT apresentou respostas equivalentes entre as sessões *sham* e EMI 40% (Tabela 2 e Figura 3).

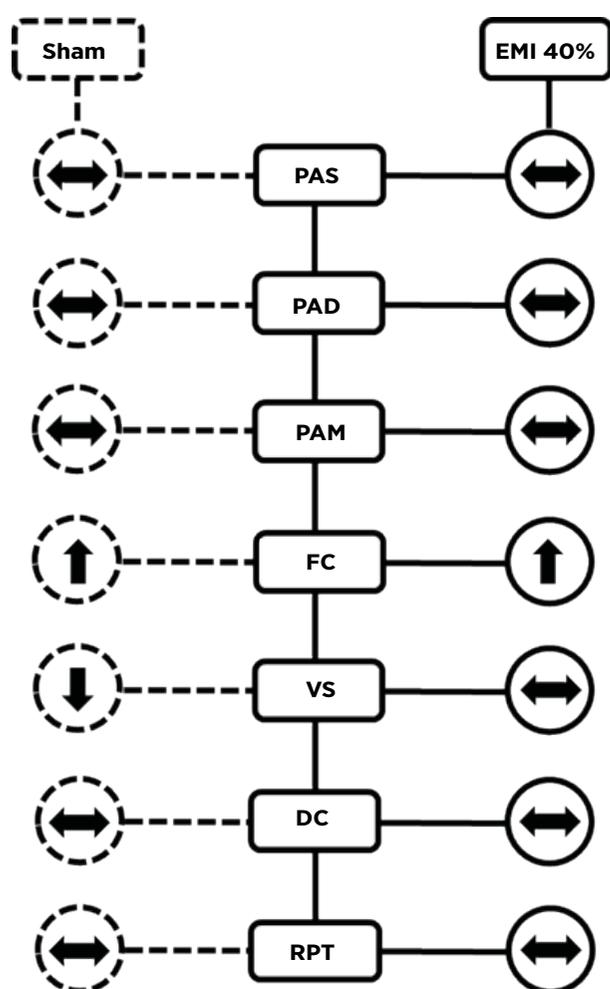


Figura 3. Respostas hemodinâmicas da pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica, pressão arterial média, frequência cardíaca, volume sistólico, débito cardíaco e resistência periférica total durante as sessões *sham* e de exercício muscular inspiratório a 40%

PAS: pressão arterial sistólica; PAD: pressão arterial diastólica; PAM: pressão arterial média; FC: frequência cardíaca; VS: volume sistólico; DC: débito cardíaco; RPT: resistência periférica total.

↔ Manutenção; ↑ Aumento; ↓ Diminuição.

DISCUSSÃO

O principal achado deste estudo refere-se ao aumento da FC durante os protocolos *sham* e EMI 40%, sendo que o maior aumento ocorreu nas sessões de EMI 40%. Devemos destacar também as respostas hemodinâmicas oscilatórias das variáveis durante as séries e os intervalos.

Em relação ao aumento dos níveis pressóricos em resposta ao EMI, os resultados permanecem controversos. Em jovens fumantes, os efeitos agudos do EMI a 30% da $PI_{máx}$ por 15 minutos reduziram a PAS e mantiveram a PAD inalterada no grupo tabagista, mas as variáveis do grupo controle não mostram tal efeito⁵. Por outro lado, em remadores, as diferentes cargas de EMI por 15 minutos de 50% a 90% da $PI_{máx}$ elevaram continuamente a FC para todas as intensidades. Entretanto, o aumento duradouro da PAS, PAD e PAM ocorreu apenas com uma carga de 60% da $PI_{máx}$ ⁴.

Embora nossos resultados não tenham mostrado aumento significativo da PA, destacamos seu efeito oscilatório. Ele provavelmente se deve ao protocolo prescrito (oito séries de dois minutos com intervalos de um minuto) e à carga de 40% da $PI_{máx}$, que pode estar parcialmente associada à modulação das respostas do sistema nervoso autônomo sobre o coração^{3,15}. Assim, podemos inferir que as cargas inspiratórias resistivas e a duração do EMI podem influenciar respostas hemodinâmicas. Devemos mencionar o aumento da FC nas duas sessões (em maior magnitude na sessão EMI 40%). Corroborando esses achados, cargas restritivas de 30% e 60% da $PI_{máx}$ aumentaram a FC em jovens saudáveis³.

Vale ressaltar que o aumento da FC neste estudo concorda com outros estudos¹⁶⁻¹⁸. O aumento da FC durante o exercício físico dinâmico e isométrico ocorre devido à retirada vagal e à maior contribuição da atividade nervosa simpática. Informações aferenciais periféricas provenientes da contração muscular, mecanoreflexa e metaboreflexa associadas a estímulos do controle central estimulam as áreas de controle cardiovascular, aumentam a atividade nervosa simpática e reduzem a atividade parassimpática cardíaca por vias eferentes, favorecendo o aumento da FC¹⁹. Como resultado, neste estudo, a maior intensidade da sessão EMI 40% (comparada à *sham*) poderia ter ativado mais o comando central e o reflexo pressor do exercício. Esse achado explicaria (ao menos parcialmente), o maior aumento durante o EMI 40%.

Outra possível explicação para o aumento da FC é o reflexo de Bainbridge, uma aceleração da FC devido ao

aumento da PA no nó sinusal ou nas veias cavas. Nesse contexto, alguns receptores atriais, submetidos à tensão ou pressão pelo aumento do retorno venoso, transmitem sinais aferentes ao bulbo, cuja resposta reduz a atividade vagal e aumenta a atividade simpática, estimulando a elevação da FC²⁰.

Devemos ressaltar que a VS só diminuiu no protocolo *sham*. Embora não tenhamos medido o volume corrente durante os protocolos de EMI, podemos inferir que os voluntários do protocolo *sham* apresentaram maior volume corrente a cada inspiração devido à falta de resistência da ação inspiratória. Assim, um maior volume pulmonar dificultaria mecanicamente o enchimento ventricular durante a diástole cardíaca, diminuindo o volume diastólico final e, conseqüentemente, o VS^{21,22}. Entretanto, não observamos diferenças entre os deltas do VS em nossa comparação entre sessões.

Além disso, a pressão intratorácica diminuiu durante o processo de inspiração. Essa redução aumenta o retorno venoso e, assim, o VS no ventrículo direito, aumentando o fluxo para a circulação pulmonar. Entretanto, como a bomba respiratória influencia de forma diferente os dois ventrículos, o ventrículo esquerdo sofre uma redução de volume na fase inspiratória²³.

O aumento da FC provavelmente compensou a redução do VS, já que o DC não se alterou durante nenhuma das sessões de EMI. Da mesma forma, a não alteração do DC e da RPT pode justificar a PA durante as sessões *sham* e EMI 40%.

Citamos a impossibilidade de medir e controlar o volume corrente durante as sessões de exercício como uma possível limitação do estudo. Entretanto, a prática clínica normalmente ignora o controle do volume corrente durante o EMI, aumentando a validade externa deste estudo.

Concluimos que a compreensão das respostas hemodinâmicas durante protocolos de EMI com e sem carga resistiva permite a prescrição mais segura de exercícios para diferentes populações.

Implicações clínicas e perspectivas de intervenção

Vários estudos com exercício muscular inspiratório mostram a eficácia do aumento da força muscular inspiratória com cargas a 40% da $PI_{máx}$ em várias populações^{24,25}. Com base nos dados de uma sessão aguda deste estudo, inferimos que esse aumento da $PI_{máx}$ pode ser obtido sem alterações hemodinâmicas significativas em jovens saudáveis. Assim, o exercício físico e o EMI parecem ser ferramentas eficazes para aumentar a $PI_{máx}$ (um importante fator prognóstico em

diversas populações^{4,24,26-28}) sem aparentar causar alterações hemodinâmicas significativas, contribuindo para sua prescrição segura.

CONCLUSÃO

Ambas as sessões (com e sem carga resistiva) não alteraram PAS, PAD, PAM, DC ou RPT. No entanto, ambas as sessões aumentaram a FC, com maior aumento durante o EMI 40% da sessão. Apenas a sessão *sham* reduziu o VS.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

Daniel Godoy Martinez e Mateus Camaroti Laterza foram apoiados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (APQ-00435-18 e APQ-02877-18) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 425702/2018-9, recebido por Martinez).

REFERÊNCIAS

1. Caruso FCR, Simões RP, Reis MS, Guizilini S, Alves VLS, et al. High-intensity inspiratory protocol increases heart rate variability in myocardial revascularization patients. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2016;31(1):38-44. doi: 10.5935/1678-9741.20160007.
2. Forster HV, Haouzi P, Dempsey JA. Control of breathing during exercise. *Compr Physiol.* 2012;2(1):743-77. doi: 10.1002/cphy.c100045.
3. Plentz RDM, Silva VG, Dipp T, Macagnan FE, Lemos LC, et al. Treinamento (Entrenamiento) muscular inspiratório para o controle (el control) autonômico de indivíduos saudáveis (sanos). *Salud(i)cienza.* 2014;21:28-34.
4. McConnell AK, Griffiths LA. Acute cardiorespiratory responses to inspiratory pressure threshold loading. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(9):1696-703. doi: 10.1249/mss.0b013e3181d435cf.
5. Rodrigues F, Araujo AA, Mostarda CT, Ferreira J, Barros Silva MC, et al. Autonomic changes in young smokers: acute effects of inspiratory exercise. *Clin Auton Res.* 2013;23(4):201-7. doi: 10.1007/s10286-013-0202-1.
6. Florindo AA, Latorre MRDO. Validation and reliability of the Baecke questionnaire for the evaluation of habitual physical activity in adult men. *Rev Bras Med Esporte.* 2003;9(3):129-35. doi: 10.1590/S1517-86922003000300002.

7. World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation [Internet]. Geneva: WHO; 2000 [cited 2023 Jun 19]. Available from: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42330>
8. Barroso WKS, Rodriguez CIS, Bortolotto LA, Mota-Gomes MA, Brandão AA, et al. Diretrizes Brasileiras de Hipertensão Arterial – 2020. *Arq Bras Cardiol.* 2021;116(3):516-658. doi: 10.36660/abc.20201238.
9. Malachias MVB, Souza WKSB, Plavnik FL, Rodrigues CIS, Brandão AA, et al. 7ª Diretriz Brasileira de Hipertensão Arterial. *Arq Bras Cardiol.* 2016;107(3 Suppl 3):1-83.
10. Freitas IMG, Almeida LB, Pereira NP, Mira PAC, de Paula RB, et al. Baroreflex gain and vasomotor sympathetic modulation in resistant hypertension. *Clin Auton Res.* 2017;27(3):175-84. doi: 10.1007/s10286-017-0417-7.
11. American Thoracic Society; European Respiratory Society. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166(4):518-624. doi: 10.1164/rccm.166.4.518.
12. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis.* 1969;99(5):696-702.
13. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res.* 1999;32(6):719-27. doi: 10.1590/S0100-879X1999000600007.
14. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences.* 2nd ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum; 1988.
15. Almeida LB, Seixas MB, Trevizan PF, Camaroti Laterza M, Silva LP, et al. Efeitos do treinamento muscular inspiratório no controle autônomo: revisão sistemática. *Fisioter Pesqui.* 2018;25(3):345-51. doi: 10.1590/1809-2950/17015425032018.
16. Fisher JP. Autonomic control of the heart during exercise in humans: role of skeletal muscle afferents. *Exp Physiol.* 2014;99(2):300-5. doi: 10.1113/expphysiol.2013.074377.
17. Brum PC, Forjaz CLM, Tinucci T, Negrão CE. Adaptações agudas e crônicas do exercício físico no sistema cardiovascular. *Rev Paul Educ Fis.* 2004;18(Spe):21-31.
18. Cal Abad CC, Silva RS, Mostarda C, Silva ICM, Irigoyen MC. Efeito do exercício aeróbico e resistido no controle autônomo e nas variáveis hemodinâmicas de jovens saudáveis. *Rev Bras Educ Fis Esp.* 2010;24(4):535-44. doi: 10.1590/S1807-55092010000400010.
19. Hart EC, Joyner MJ, Wallin BG, Charkoudian N. Sex, ageing and resting blood pressure: gaining insights from the integrated balance of neural and haemodynamic factors. *J Physiol.* 2012;590(9):2069-79. doi: 10.1113/jphysiol.2011.224642.
20. Crystal GJ, Salem MR. The Bainbridge and the “reverse” Bainbridge reflexes: history, physiology, and clinical relevance. *Anesth Analg.* 2012;114(3):520-32. doi: 10.1213/ANE.0b013e3182312e21.
21. James JEA. The effects of changes of extramural, ‘intrathoracic’, pressure on aortic arch baroreceptors. *J Physiol.* 1971;214(1):89-103. doi: 10.1113/jphysiol.1971.sp009420.
22. Su J, Manisty C, Simonsen U, Howard LS, Parker KH, et al. Pulmonary artery wave propagation and reservoir function in conscious man: impact of pulmonary vascular disease, respiration and dynamic stress tests. *J Physiol.* 2017;595(20):6463-76. doi: 10.1113/JP274385.
23. Claessen G, Claus P, Delcroix M, Bogaert J, La Gerche A, et al. Interaction between respiration and right versus left ventricular volumes at rest and during exercise: a real-time cardiac magnetic resonance study. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2014;306(6):816-24. doi: 10.1152/ajpheart.00752.2013.
24. Plentz RDM, Sbruzzi G, Ribeiro RA, Ferreira JB, Dal Lago P. Inspiratory muscle training in patients with heart failure: meta-analysis of randomized trials. *Arq Bras Cardiol.* 2012;99(2):762-71. doi: 10.1590/s0066-782x2012001100011.
25. Gosselink R, De Vos J, van den Heuvel SP, Segers J, Decramer M, et al. Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J.* 2011;37(2):416-25. doi: 10.1183/09031936.00031810.
26. Vranish JR, Bailey EF. Daily respiratory training with large intrathoracic pressures, but not large lung volumes, lowers blood pressure in normotensive adults. *Respir Physiol Neurobiol.* 2015;216:63-9. doi: 10.1016/j.resp.2015.06.002.
27. Ferreira JB, Plentz RDM, Stein C, Casali KR, Arena R, et al. Inspiratory muscle training reduces blood pressure and sympathetic activity in hypertensive patients: a randomized controlled trial. *Int J Cardiol.* 2013;166(1):61-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2011.09.069.
28. Helal L, Ferrari F. Treinamento muscular inspiratório em diferentes intensidades na insuficiência cardíaca: há diferenças nas alterações hemodinâmicas centrais? *Arq Bras Cardiol.* 2020;114(4):664-5. doi: 10.36660/abc.20200162.