

Fisioter Bras. 2023;24(6):850-67

doi: [10.33233/fb.v24i6.5569](https://doi.org/10.33233/fb.v24i6.5569)

## ARTIGO ORIGINAL

**Respostas cardiovasculares agudas e modificações na modulação autonômica em uma sessão de treinamento muscular inspiratório: um estudo piloto**

***Acute cardiovascular responses and changes in autonomic modulation in an inspiratory muscle training session: a pilot study***

Thaís Sarmiento dos Santos<sup>1</sup>, Katia Martins de Moura Barbosa<sup>1</sup>, Marco Orsini<sup>2,3</sup>, Stéphanie Raposo Gomes<sup>1</sup>, Priscila Enomoto Velame<sup>4</sup>, Thiago de Mello Tavares<sup>5</sup>, Cristiane Sousa Nascimento Baez Garcia<sup>1,2</sup>, Luciana Moisés Camilo<sup>1,2</sup>, Mauricio de Sant'Anna Jr<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), RJ, Brasil*

<sup>2</sup>*Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

<sup>3</sup>*Universidade Iguçu (UNIG), Nova Iguçu, RJ, Brasil*

<sup>4</sup>*Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia (EMESCAM), Vitória, ES, Brasil*

<sup>5</sup>*Universidade do Contestado, Mafra, SC, Brasil*

**Correspondência:** Mauricio de Sant'Anna Jr, [mauricio.junior@ifrj.edu.br](mailto:mauricio.junior@ifrj.edu.br)

### Como citar

Santos TS, Barbosa KMM, Orsini M, Gomes SR, Velame PE, Tavares TM, Garcia CSNB, Camilo LM, Sant'Anna Jr M. Respostas cardiovasculares agudas e modificações na modulação autonômica em uma sessão de treinamento muscular inspiratório: um estudo piloto. Fisioter Bras. 2023;24(6):850-67. doi: [10.33233/fb.v24i6.5569](https://doi.org/10.33233/fb.v24i6.5569)

### Resumo

**Introdução:** O treinamento muscular inspiratório (TMI) vem sendo utilizado em indivíduos saudáveis com a finalidade de promover melhora no desempenho físico. Porém as respostas cardiovasculares oriundas do TMI ainda não foram bem elucidadas. **Objetivo:** Descrever as respostas cardiovasculares agudas e as modificações na modulação autonômica cardiovascular (MAC) oriundas de uma sessão de treinamento muscular inspiratório de intensidade moderada. **Métodos:** Estudo observacional e transversal realizado com uma amostra de conveniência composta por indivíduos adultos jovens. O protocolo foi desenhado com duração de 25 minutos, sendo 10

minutos de repouso (pré TMI), 5 minutos de TMI e um período de recuperação de 10 minutos (pós TMI), com verificação de frequência cardíaca (FC), pressão arterial sistólica (PAS), diastólica (PAD) e média (PAD), duplo-produto (DP) e sensação subjetiva de esforço (Borg). O TMI foi realizado utilizando através de dispositivo digital, com carga equivalente a 50% da pressão inspiratória máxima ( $PI_{máx}$ ). A avaliação da MAC foi realizada através de análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) nos domínios do tempo (DT) e da frequência (DF). Para análise dos dados e comparação entre os períodos pré TMI, TMI e pós TMI foi utilizada ANOVA de dupla entrada sendo adotado como significância quando o  $P < 0,05$ . **Resultados:** Participaram do estudo 17 indivíduos com média de idade  $26,40 \pm 6,11$  anos, 13 (77%) pertencem ao sexo feminino. Durante a realização do TMI pode-se observar que os indivíduos atingiram em média 46% da FC máxima. No que diz respeito às variáveis hemodinâmicas foram observadas diferenças significativas quando comparados os períodos pré TMI vs. TMI para FC, PAS, PAD, PAM, DP e Borg ( $p < 0,05$ ), além de significância entre os períodos TMI vs. pós TMI para as variáveis FC, PAS, PAM e DP ( $p < 0,05$ ). Também foi verificada significância entre os períodos pré TMI vs. pós TMI apenas para a sensação subjetiva de esforço. Quanto a VFC, foram observadas diferenças significativas entre pré TMI vs TMI no DT para os intervalos RR, e entre os períodos TMI vs. pós TMI no DF para os componentes de baixa frequência e alta frequência ( $p < 0,05$ ). **Conclusão:** Uma sessão de TMI com 50% da  $PI_{máx}$  é capaz de promover importantes incrementos nas variáveis cardiovasculares com elevação de pressão arterial e frequência cardíaca e sensação subjetiva de esforço, além de redução da atividade parassimpática.

**Palavras-chave:** fisioterapia cardiovascular; sistema nervoso autônomo; exercício inspiratório.

### Abstract

**Introduction:** Inspiratory muscle training (IMT) has been used in healthy individuals to improve physical performance. However, cardiovascular responses from IMT have not yet been well elucidated. **Objective:** To describe the acute cardiovascular responses and changes in autonomic modulation resulting from a moderate-intensity inspiratory muscle training session. **Methods:** This is an observational and cross-sectional study conducted with a convenience sample composed of young adult individuals. The study consisted of a protocol lasting 25 minutes, with ten minutes of rest (pre-IMT), 5 minutes of IMT and a ten-minute recovery period (post-IMT), with verification of heart rate (HR), systolic (SBP), diastolic (DBP) and mean (DBP) blood pressure, double product (SD) and subjective sensation of exertion (Borg). The IMT was performed using a digital device with a load of 50% of the maximal inspiratory pressure (MIP). The assessment of cardiovascular

autonomic modulation was performed by analyzing the heart rate variability (HRV) in the time (DT) and frequency (DF) domains. For data analysis and comparison between pre-IMT, IMT and post-IMT periods, double-entry ANOVA was used for measurements and adopted as significance when  $P < 0.05$ . *Results:* 17 individuals with a mean age of  $26.40 \pm 6.11$  years participated in the study, 13 (77%) were female. During the performance of the IMT, it can be observed that the individuals reached on average 46% of the maximum HR. Regarding the hemodynamic variables, significant differences were observed when comparing the periods before IMT vs. IMR for HR, SBP, DBP, MBP, SD and Borg ( $p < 0.05$ ), and significance between the periods IMT vs. post IMT for HR, SBP, MBP and SD variables ( $p < 0.05$ ). Significance was also verified between pre-IMT vs. post IMT only for the subjective sensation of effort. Regarding HRV, significant differences were observed between pre-IMT vs. IMT in the DT for RR intervals, and between the periods IMT vs. post IMT in DF for the low frequency and high frequency components ( $p < 0.05$ ). *Conclusion:* An IMT session with 50% of MIP is able to promote important increases in cardiovascular variables with increased blood pressure and heart rate and subjective sensation of exertion, as well as reduced parasympathetic activity.

**Keywords:** physical therapy cardiovascular; autonomic nervous system; inspiratory exercise.

## Introdução

Durante a realização de exercícios físicos ocorrem respostas cardiorrespiratórias que são responsáveis diretas pela manutenção da atividade física. Dentre as diversas respostas, podemos destacar o aumento da frequência cardíaca (FC), pressão arterial (PA), débito cardíaco (DC), consumo miocárdico de oxigênio, mensurado através do duplo-produto (DP), dentre outras [1].

Porém o aumento da ventilação também deve ser destacado, ocorrendo de forma concomitantemente o aumento da frequência respiratória, do volume corrente e do trabalho dos músculos ventilatórios [2,3].

Os músculos ventilatórios apresentam como sua principal função o deslocamento e da parede torácica, com a finalidade primária de produzir a ventilação alveolar [4,5]. Apesar de representarem apenas 3% do peso corporal total, os músculos ventilatórios apresentam grande capacidade de suportar altas demandas de trabalho, com capacidade de ajustarem-se às necessidades ventilatórias em diferentes condições fisiológicas e fisiopatológicas, sendo o principal músculo da inspiração o diafragma [6,7]. Deve-se ressaltar que os músculos ventilatórios podem sofrer alterações em virtude do

treinamento específico, que acarreta em aumento de sua força assim como sua resistência [8-12].

Durante vários anos, questionou-se os efeitos oriundos do treinamento sobre a musculatura ventilatória, principalmente no que tange se seus efeitos seriam similares aos alcançados nos demais músculos esqueléticos. Porém, o estudo pioneiro proposto por Leith & Bradley [13] em 1976 que descreveu o efeito de cinco semanas de treinamento muscular inspiratório (TMI) durante 30 a 45 minutos em grupo de indivíduos saudáveis, divididos em três grupos (treinamento de resistência, treinamento de força e grupo controle), evidenciou um aumento de 55% na força dos músculos inspiratórios no grupo que treinou força e um aumento de 14% no grupo que treinou resistência, não sendo verificado nenhum tipo de modificação no grupo controle, dando assim início a uma série de estudos subsequentes com metodologias cada vez mais elaboradas, porém com resultados controversos.

O TMI tem como objetivo o aumento da força e resistência dos músculos inspiratórios, sendo uma de suas primeiras indicações à existência de doenças que acarretassem em redução da força e resistência dos músculos ventilatórios. Seus efeitos encontram-se bem documentados em condições como doença pulmonar obstrutiva crônica, asma e insuficiência cardíaca [14-17]. Tais efeitos parecem estar diretamente relacionados à carga, intensidade, frequência e duração do exercício [18].

Diversos mecanismos são sugeridos para elucidar os resultados satisfatórios alcançados, com destaque para repercussões do TMI sobre o fluxo sanguíneo, metabóreflexo, consumo máximo de oxigênio, controle autonômico cardiovascular, dentre outros [19]. O TMI vem sendo utilizado em indivíduos saudáveis, com a finalidade de promover melhora no desempenho, tais como aumento do tempo de exercício [18,20].

O processo de ventilação gera modificação na pressão intratorácica e que desencadeiam alterações cíclicas no retorno venoso, volume de ejeção, mudanças na pressão arterial e na FC. Por meio de informações que partem dos barorreceptores, quimioceptores, receptores atriais, receptores ventriculares, modificações do sistema respiratório, sistema vasomotor, sistema renina-angiotensina-aldosterona e sistema termorregulador, o sistema nervoso autônomo (SNA) age através da ativação simpática e parassimpática, ajustando a pressão de perfusão mediante variações no DC e na Resistência Vascular Periférica (RVP), desempenhando o controle da Pressão Arterial [19].

Embora os benefícios do TMI sejam bem estabelecidos no que diz respeito às questões funcionais e possuir evidências relevantes sobre sua contribuição para pacientes com disfunção cardiopulmonares, além de indivíduos saudáveis, a literatura ainda

apresenta uma escassez de evidências sobre as respostas cardiovasculares agudas e modificações na variabilidade da frequência cardíaca (VFC) decorrentes do TMI [19].

Tendo em vista que o TMI impõe uma carga de trabalho à musculatura inspiratória e que esse aumento de trabalho pode desencadear respostas cardiovasculares agudas podendo resultar em aumento da PA, FC e consumo miocárdico de oxigênio. Sustentamos a hipótese de que tais alterações em indivíduos saudáveis podem ser desencadeadas pela modulação do sistema nervoso autônomo, em especial pela retirada vagal e/ou ativação simpática.

O objetivo do presente estudo foi descrever as respostas cardiovasculares agudas e as modificações na modulação autonômica oriundas de uma sessão de TMI de intensidade moderada.

## Métodos

### *Desenho do estudo*

O presente estudo obedeceu a um desenho observacional e transversal, realizado utilizando uma amostra de conveniência composta por indivíduos adultos jovens, sem história de doenças prévias e que concordassem com os termos da pesquisa.

### *Aspectos éticos*

O presente estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto Federal do Rio de Janeiro (CEP – IFRJ) sob o número CAAE: 11777619.4.0000.5268. Todos os participantes foram voluntários e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido concordando com os termos da pesquisa, conforme a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde do Brasil. Foi mantida em sigilo absoluto a identidade dos participantes, com divulgação apenas dos resultados, estando os mesmos disponibilizados ao término das avaliações.

### *Critérios de inclusão, exclusão e interrupção*

Foram incluídos no estudo indivíduos com idade  $\geq 18$  anos e  $\leq 45$  anos. Foram excluídos do estudo sujeitos que apresentarem índice de massa corporal (IMC)  $\geq 35$  kg/m<sup>2</sup>, tabagistas ou ex-tabagistas, histórias pregressas de alterações cardiovasculares, respiratórias e/ou neurológicas, além de quadro viral e/ou infeccioso

agudo, pressão arterial sistólica  $\geq 150$  mmHg e/ou pressão arterial diastólica  $\geq 100$  mmHg no período de repouso que antecederesse a realização do protocolo.

Foram considerados critérios de interrupção do protocolo: vertigem, parestesia intensa em região orbicular dos lábios, cefaléia, dispneia, solicitação do indivíduo.

#### *Verificação da pressão inspiratória máxima*

A avaliação da pressão inspiratória máxima ( $PI_{m\acute{a}x}$ ) foi realizada partindo-se do volume residual (VR) sendo a manobra mantida por período de três segundos em manovacuômetro digital (Powerbreath KH2®). Para realização do teste, o indivíduo permaneceu sentado, com o tronco ereto e os pés paralelos.

Durante o teste, os sujeitos foram orientados a gerar a pressão com a musculatura respiratória. Realizou-se o mínimo de três aferições aceitáveis (sem vazamento e com manutenção do esforço por pelo menos dois segundos) e máximo de cinco. Definiu-se como critério de aceitação e reprodutibilidade as manobras com valores que não diferiram entre si por mais de 10% do valor mais elevado, aproveitando-se a melhor, sendo instituído intervalo de um minuto e trinta segundos entre cada verificação [21,22].

A determinação da  $PI_{m\acute{a}x}$  prevista foi realizada através da equação descrita por Neder *et al.* [21]: homens  $PI_{m\acute{a}x} = 155,3 - 0,80 \times \text{idade}$  (EPE = 17,3) e mulheres  $PI_{m\acute{a}x} = 110,4 - 0,49 \times \text{idade}$  (EPE = 9,1).

#### *Verificação da frequência cardíaca e da pressão arterial*

A verificação da FC foi realizada online com a utilização de frequencímetro (Polar® modelo S-810, Finlândia, 2001) por período de vinte e cinco minutos de realização do protocolo (pré treinamento, sessão de treinamento e pós treinamento), conforme apresentado na figura 1.

A verificação da PA foi realizada, antes do início do protocolo, através de medida indireta pelo método auscultatório (aparelho Premium aneróide), sendo realizada no máximo duas aferições no membro superior direito, estando o mesmo apoiado em uma mesa, a uma altura confortável, livre de roupas de mangas e relaxado. O manguito cobriu 2/3 do braço, sendo que a borda inferior do manguito ficou dois dedos acima da interlinha articular do cotovelo, sem que o estetoscópio tocasse o manguito.

#### *Sessão de treinamento muscular inspiratórios*

Após a aferição da  $PI_{m\acute{a}x}$  foi definida como carga de treinamento 50% do valor mensurado para realização do TMI. A sessão de TMI foi realizada com utilização do Powerbreath KH2®, e duração de no mínimo cinco minutos, com verificação da FC online durante todo o período, verificação da PA e sensação subjetiva de esforço a cada cinco minutos. A FR foi livre, ou seja, cada indivíduo durante a realização do TMI encontrou sua melhor FR para realização.

A escala de sensação subjetiva de esforço descrita por Borg (CR 10) foi utilizada para que os voluntários informassem a sensação de esforço que estavam sendo submetidos ao longo do protocolo. O Borg foi verificado juntamente com a PA (antes, durante e depois do treinamento).



**Figura 1** - Representação do desenho do estudo.

#### *Avaliação da modulação autonômica*

A avaliação da modulação autonômica cardiovascular foi realizada através da análise da VFC tanto no domínio do tempo como no domínio da frequência.

Todos os sujeitos foram orientados a não ingerirem chá, café, bebidas coladas e/ou achocolatadas por período mínimo de duas horas, anterior ao início da avaliação, além de não realizarem exercício físico por período de vinte e quatro horas antes do teste. Antes da realização dos registros, os indivíduos permaneceram em repouso por um período de dez minutos. Os registros foram realizados com os sujeitos sentados, por período de vinte e cinco minutos, dez minutos pré-treinamento, cinco minutos durante o treinamento e dez minutos após a sessão de treinamento.

O registro da FC foi realizado através de frequencímetro (Polar Precision Performance® – modelo S – 810 / Oulu – Kempele – Finlândia) [24]. A fixação da faixa elástica foi realizada após assepsia da região, além de umidificação (com utilização de água) para melhor captação do sinal. Para a realização da análise espectral da VFC, as séries temporais dos intervalos R-R foram submetidas à Transformada Rápida de Fourier através do software Kubios HRV 2.0 (Kupio – Savonia do Norte – Finlândia) [23].

A potência espectral foi calculada por integração da função da densidade espectral de potência para as bandas de alta frequência (HF: 0,15 – 0,40 Hz) e baixa frequência (LF: 0,04 – 0,15 Hz), além do cálculo do balanço autonômico (LF/HF) [23].

A análise da VFC no domínio do tempo foi determinada a partir dos registros R-R. Foram considerados os intervalos R-R normais sucessivos, abandonando flutuações súbitas superiores a 25% do intervalo precedente, em uma tentativa de abolir fenômenos de extra-sístoles, obtivemos os resultados referentes às variáveis: média de todos os intervalos RR normais (RR), desvio-padrão de todos os intervalos RR normais (SDNN) e a raiz quadrada das diferenças sucessivas entre intervalos RR normais adjacentes ao quadrado (rMSSD).

#### *Análise estatística*

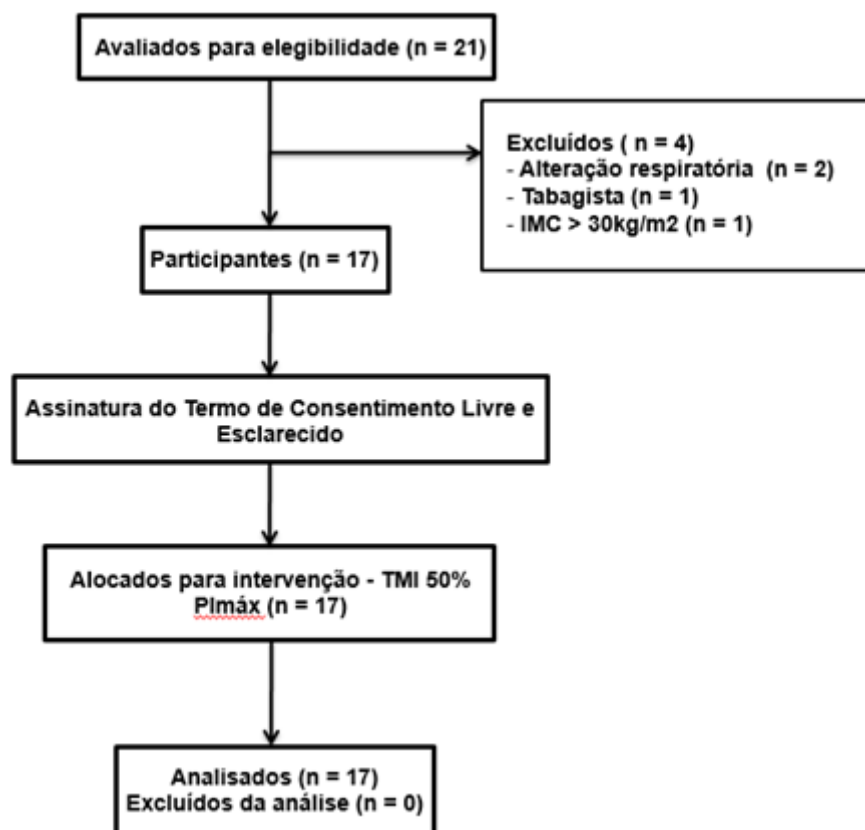
O tamanho apropriado da amostra foi calculado ajustando-se o poder do teste estatístico para 0,8 e o erro alfa para 0,05 sendo encontrado um “n” de 30 sujeitos. Os dados obtidos foram tabulados e organizados em planilha de cálculos. Para análise dos resultados e confecção dos gráficos foram utilizados os programas SigmaStat 3.1 (JandelScientific, San Rafael, CA, USA) e SigmaPlot 9.01 (JandelScientific, San Rafael, CA, USA), respectivamente.

Para caracterização da distribuição dos dados foram aplicados os testes de Kolmogorov-Smirnov com correção de Lilliefors. As variáveis foram expressas como média  $\pm$  desvio padrão. Para comparação entre os valores previstos e obtidos para a  $PI_{m\acute{a}x}$ , foi utilizado o teste t pareado e para comparação entre os períodos pré treinamento, sessão de TMI e pós treinamento utilizou-se ANOVA de uma entrada (one-way). Para todas as situações foi adotado como significância quando o  $P < 0,05$ .

## **Resultados**

Foram recrutados 21 indivíduos, sendo 4 excluídos, e permanecendo 17 sujeitos no estudo, conforme apresentado na figura 2.





**Figura 2** - Distribuição da amostra e seus motivos de exclusão. IMC – índice de massa corporal

Dos sujeitos que permaneceram no estudo, 13 (77%) pertencem ao sexo feminino. As características demográficas dos componentes da amostra encontram-se descritas na tabela I.

**Tabela I** - Características demográficas dos componentes da amostra

Variáveis	Média (DP) (n=17)
Idade (anos)	26,40 (6,11)
Massa corporal (kg)	68,47 (12,05)
Estatura (m)	1,67 (0,07)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	24,39 (3,32)
FC (bpm)	76,11 (10,55)
PAS (mmHg)	108,23 (8,82)
PAD (mmHg)	76,47 (12,71)

IMC = índice de massa corporal; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca

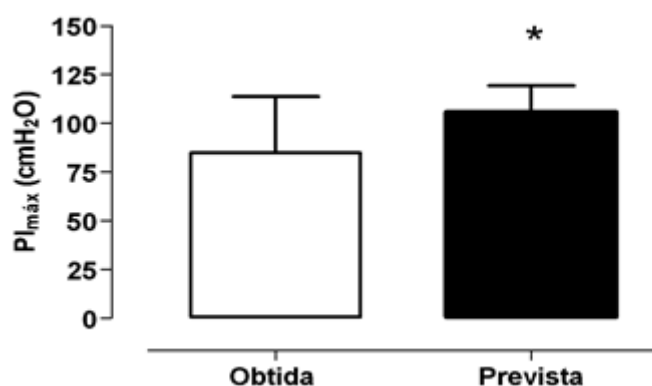
Os participantes do estudo apresentavam além de valores de variáveis hemodinâmicas em repouso dentro da normalizada, variáveis referentes à VFC dentro dos parâmetros que são considerados normais para a população brasileira, conforme apresentado na tabela II.

**Tabela II** - Variabilidade da frequência cardíaca no domínio do tempo e da frequência dos componentes da amostra em repouso

Variáveis	Média (DP) (n=17)
iRR (ms)	805,53(113,30)
rMSSD (ms)	46,19 (30,72)
SDNN (ms)	49,51(26,46)
LF (un)	61,54 (17,58)
HF (un)	38,42 (17,57)
LF/HF	2,41 (2,18)

iRR = intervalo de batimentos normais de RR; SDNN = desvio padrão de todos os intervalos RR normais gravados em um intervalo de tempo; rMSSD = é a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes, em um intervalo de tempo; HF = do inglês high frequency; LF = do inglês low frequency

A  $PI_{máx}$  obtida pelos sujeitos foi de  $84,6 \pm 29,0$ , cabendo ressaltar que houve diferença significativa quando comparada com  $PI_{máx}$  prevista como pode ser observado na figura 3. A realização da sessão de TMI com carga equivalente a 50% foi na média  $44,2 \text{ cmH}_2\text{O}$ .

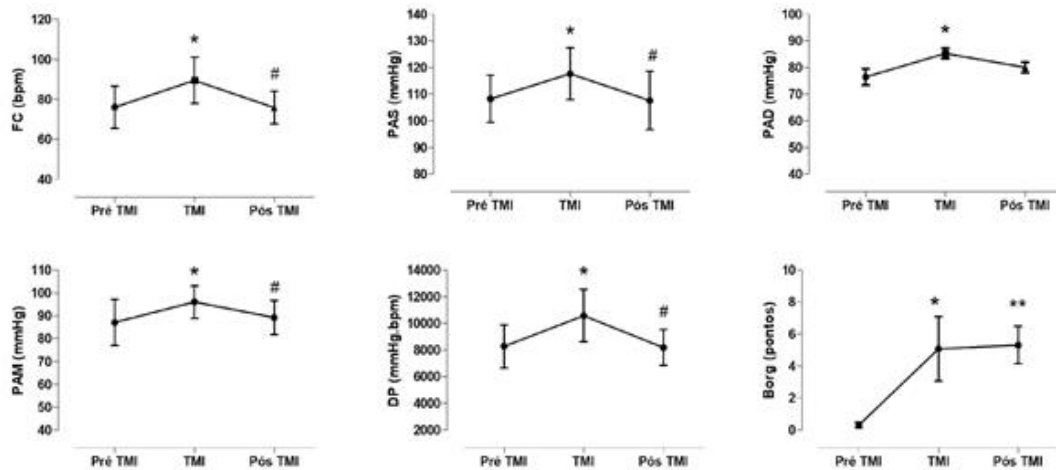


\*significância estatística  $P < 0,05$

**Figura 3** - Comparação entre valores obtidos e previsto para a pressão inspiratória máxima ( $PI_{máx}$ ). Valores apresentados em média  $\pm$  desvio-padrão ( $N = 17$ )

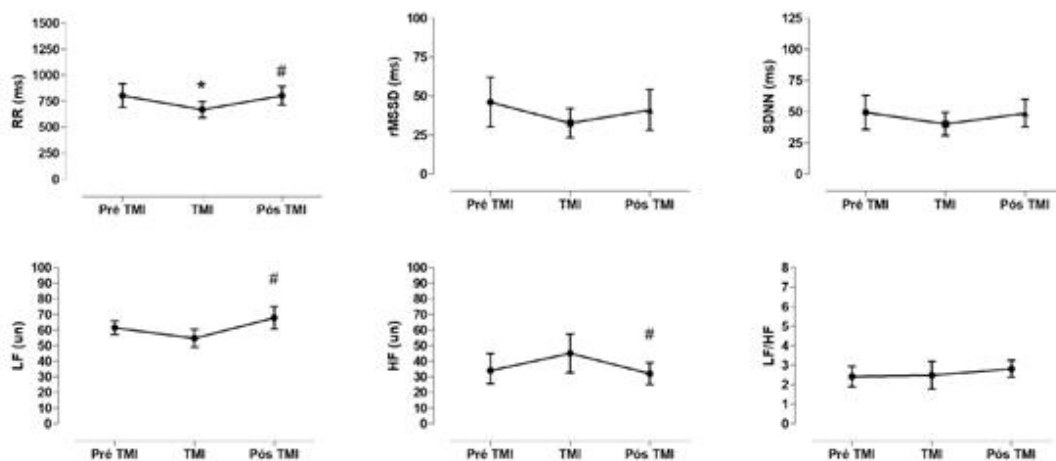
Durante a realização do TMI pode-se observar que ocorreram alterações nas variáveis cardiovasculares e na sensação subjetiva de esforço, como pode ser verificado na figura 4. Os indivíduos atingiram em média 46% da FC máxima prevista através da fórmula  $220 - \text{Idade}$ , equivalente a 89 bpm.

Também foram observadas alterações em índices da VFC tanto no domínio do tempo como no domínio da frequência como apresentado na figura 5.



FC = frequência cardíaca; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; PAM = pressão arterial média; DP = duplo-produto. \*  $P < 0,05$  Pré TMI vs TMI; #  $P < 0,05$  TMI vs Pós TMI; \*\*  $P < 0,05$  Pré TMI vs Pós TMI

**Figura 4** - Análise da variabilidade da frequência cardíaca durante realização de treinamento muscular inspiratório (TMI) com 50% da pressão inspiratória máxima



iRR = intervalo de batimentos normais de RR; SDNN = desvio padrão de todos os intervalos RR normais gravados em um intervalo de tempo; rMSSD = raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes, em um intervalo de tempo; HF = do inglês high frequency; LF = do inglês lowfrequency. \*  $P < 0,05$  Pré TMI vs TMI; #  $P < 0,05$  TMI vs Pós TMI

**Figura 5** - Respostas cardiovasculares agudas e sensação subjetiva de esforço durante realização de treinamento muscular inspiratório (TMI) com de 50% da pressão inspiratória máxima

## Discussão

A literatura científica é bastante elucidativa no que diz respeito ao conhecimento dos benefícios do treinamento aplicado à musculatura inspiratória, mesmo utilizando diferentes cargas, intensidades, tempo de treinamento, além de diferentes populações [10,15,16,20]. O que acrescenta caráter inovador a este trabalho é o fato de verificar os efeitos cardiovasculares agudos do TMI e sua repercussão sobre a VFC em indivíduos

saudáveis em apenas uma sessão, trazendo a perspectiva de demonstrar que existe segurança quanto à realização da técnica, tendo em vista o comportamento da hemodinâmica.

Com relação às características demográficas, a amostra deste estudo foi composta por indivíduos jovens com média de idade dos 26 anos, além de serem saudáveis. No estudo de Plentz *et al.* [19], que apresentava objetivos similares aos nossos, foram recrutados dezenove indivíduos na faixa etária de idade de 18 a 35 anos, apresentando média de 25 anos, porém, os autores utilizaram como um dos critérios de exclusão o sedentarismo. Em nosso estudo não utilizamos o nível de atividade física como critério para incluir ou excluir sujeitos, tal fato pode ter influenciado os resultados, porém trata-se de um estudo piloto onde essas análises preliminares necessitam ser discutidas para ajustes, em especial metodológicos.

Quanto aos resultados encontrados na comparação entre a  $PI_{máx}$  prevista e obtida, nossos achados são similares aos de Plentz *et al.* [19], que também verificaram diferença em sua amostra entre valores previstos e obtidos (116 cmH<sub>2</sub>O vs 101,2 cmH<sub>2</sub>O respectivamente). Tal fato poderia suscitar a discussão sobre as equações utilizadas para mensuração dos valores previstos, porém esse não foi o desfecho de ambos os estudos, cabendo ressaltar que a  $PI_{máx}$  prevista não foi utilizada para ajuste de carga, servido apenas para verificar se os sujeitos apresentavam força muscular respiratória preservada.

Sobre a análise das variáveis hemodinâmicas verificamos em nossos achados que, houve aumento da FC, PAS, PAD, PAM e DP quando comparados os períodos pré TMI para o TMI com carga de 50% da  $PI_{máx}$ . Torna-se difícil a comparação com outros estudos, uma vez que pouco se discutiu na literatura os efeitos cardiovasculares agudos oriundos do TMI. Porém nossos resultados são similares aos efeitos cardiovasculares agudos do exercício, seja para o treinamento aeróbico ou resistido [1].

Na tentativa de estabelecer um paralelo entre o exercício resistido e o TMI, considera-se como fatores fundamentais para sua execução a carga imposta, uma vez que as respostas hemodinâmicas serão determinadas pelo tipo de contração exercida (dinâmica ou isométrica). Sendo assim, em exercícios com cargas consideradas leves observa-se aumento da FC, PAS, volume sistólico e DC. Quando são utilizadas cargas mais elevadas, observa-se também aumento da PAD25. Em nosso estudo, o TMI foi executado com 50% da  $PI_{máx}$ , caracterizando-se uma carga moderada porém com efeitos fisiológicos semelhantes aos exercícios com cargas mais elevadas.

Cabe ressaltar que 50% da  $PI_{máx}$  aproxima-se muito mais de uma carga elevada para realização do TMI e que como efeito crônico em alguns estudos já alcançaram resultados expressivos como redução da sensação subjetiva de esforço em exercícios

de alta intensidade<sup>26</sup>. Em outros estudos os resultados dos efeitos do treinamento não foram verificados, sendo os desfechos  $VO_{2\text{pico}}$  e concentração de lactato [21]. Em nenhum desses estudos foram descritas as respostas cardiovasculares agudas.

Partindo do pressuposto que a carga é uma das variáveis de interesse, porém, não a única, vale destacar o tempo de exercício. Em nosso estudo o tempo de TMI foi fixado em 5 minutos. Muitos estudos que objetivaram investigar efeitos crônicos do TMI em indivíduos saudáveis utilizaram tempo superior ao nosso, como por exemplo, Sonetti *et al.* [20] que utilizaram 30 minutos, e Williams *et al.* [27] que utilizaram 25 minutos. Nosso tempo foi estipulado em cinco minutos, por considerarmos ser suficiente para a demonstração dos efeitos cardiovasculares agudos, tendo em vista a carga utilizada.

Outra variável importante a ser mencionada é o número de repetições. No estudo de Plentz *et al.* [19], o tempo total do TMI foi de quinze minutos, realizado com trinta incursões respiratórias, além de 30 segundos de recuperação em cada ciclo. Em nosso estudo não determinamos o número de incursões respiratórias, tal fato pode ter influenciado as respostas cardiovasculares, em especial na modulação autonômica.

Outro aspecto analisado foi a sensação subjetiva de esforço, avaliada através da escala descrita por Borg. Nossos resultados demonstram um aumento do pré TMI para o TMI, porém no período de recuperação (pós TMI) a sensação subjetiva de esforço manteve-se elevada. Não localizamos nenhum estudo na literatura que tenha descrito efeitos agudos do TMI na sensação subjetiva de esforço. Tradicionalmente a percepção de esforço corresponde à intensidade de exercício e guarda íntima relação com a FC, em especial em indivíduos saudáveis [28]. Porém, em exercícios de carga constante, a sensação subjetiva de esforço pode se elevar, mesmo sem aumento de intensidade [29]. Acreditamos que a sensação subjetiva de esforço possa não ter retornado aos valores basais após a realização do TMI, em razão do desencadeamento do metaborreflexo inspiratório que discutiremos mais adiante.

Analisando o resultado obtido em nosso estudo quanto a VFC no domínio do tempo, foi observada uma redução no intervalo RR durante a realização do TMI, e tal fato se justifica pelo aumento da FC durante a utilização da carga imposta à musculatura inspiratória. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Plentz *et al.* [19], no qual indivíduos saudáveis sedentários realizaram TMI com carga de 60% da  $PI_{\text{máx}}$  e foi observada uma redução significativa no intervalo RR quando comparados os períodos basal (890 ms) e TMI (827 ms). O mesmo sendo observado para o rMSSD basal (56 ms) em relação ao TMI (51 ms).

Um dos resultados que chama atenção no estudo foi à elevação do componente simpático representado pelo LF e a queda do componente parassimpático representado pelo HF ambos registrados através da VFC no domínio da frequência, no período pós

TMI. Algumas hipóteses podem ser aventadas para justificar tal fato. A primeira delas diz respeito à sobrecarga imposta aos músculos inspiratórios durante o TMI, que podem estar associadas no momento da interrupção do esforço a alterações no retorno venoso e principalmente por alteração na FR e também no volume corrente, o que pode ter gerado modificações na arritmia sinusal respiratória, desencadeado as alterações observadas na modulação autonômica cardiovascular.

Em função da grande interação entre a respiração e o sistema cardiovascular, onde os movimentos inspiratórios e expiratórios estão associados ao aumento e diminuição da FC sendo esses efeitos descritos por Clynes em 1960 como o processo da respiração acompanhado de resposta denominada bifásica da FC30, sendo este fenômeno denominado Arritmia Sinusal Respiratória (ASR) [31].

Isso significa que, tanto no processo de inspiração quanto no de expiração, em um primeiro momento encontraremos elevação da FC, seguida de uma redução da mesma, diferindo as duas fases do ciclo respiratório apenas quanto ao tempo de aparecimento dos maiores e menores valores de FC. Uma das justificativas fisiológicas para as alterações da FC oriundas do processo de inspiração e expiração, seriam as alterações cíclicas da pressão intra-torácica que ocorrem durante a ventilação pulmonar, o que provoca flutuação do retorno venoso para o lado direito do coração, atuando diretamente sobre o nódulo sinusal ao modificar o grau de estiramento da parede do átrio direito [32].

Acreditamos que em nosso estudo, após a liberação da carga imposta pelo TMI, os sujeitos possam ter aumentado, mesmo que discretamente a FR assim com o volume corrente.

A segunda hipótese, porém, não menos importante diz respeito ao reflexo mediado pelo acúmulo de metabólitos na musculatura inspiratória, também denominado metaborreflexo inspiratório<sup>10,33</sup>. Estudos experimentais de indução do metaborreflexo inspiratório através de esforço inspiratório, que os autores denominaram como intenso (60% da  $PI_{máx}$ ) e sustentado ficou evidenciado que a fadiga muscular inspiratória aumenta a atividade nervosa simpática muscular [33] e reduz o fluxo sanguíneo do membro inferior em repouso [34,35], em virtude da vasoconstrição adrenérgica. Hill [36] descreve que essa resposta pode ser desencadeada em função da estimulação metabólica de pequenas fibras aferentes dos tipos III e IV advindas da musculatura respiratória, em especial o diafragma.

Neste estudo não avaliamos a atividade barorreflexa, embora esteja bem estabelecida que a sensibilidade barorreflexa quanto à quimiorreflexa estejam envolvidas na modulação simpática. Poderíamos supor então, que além da redução da

atividade simpática durante o TMI, também haveria algum efeito positivo na sensibilidade barorreflexa e quimiorreflexa.

Até o presente momento nossos resultados são preliminares e não nos permitem discutir mais profundamente, além das inferências aqui realizadas, porém algumas limitações foram identificadas e merecem ser destacadas, apesar de considerarmos que utilizamos o rigor metodológico necessário para a realização da coleta dos dados, são elas: 1) O pequeno número de sujeitos, porém trata-se de um estudo piloto; 2) utilização de uma amostra com diferentes níveis de atividade física dos participantes; 3) ausência de controle da FR; 4) a não avaliação da atividade metaborreflexa sob influência do sistema nervoso simpático.

Por tratar-se de um estudo que nosso grupo de pesquisa encara como promissor e que deva ter continuidade, os delineamentos futuros são: 1) aumentar o número de sujeitos; 2) utilizar os resultados preliminares para realização de adequado cálculo amostral para sequência do estudo; 3) calcular o tamanho do efeito do TMI sobre as respostas cardiovasculares, através dos cálculos do “d” de Cohen e/ou eta quadrado ( $\eta^2$ ); 4) equacionar dentro das possibilidades as limitações evidenciadas através deste piloto.

Concluimos que uma sessão de TMI com 50% da  $PI_{máx}$  é capaz de promover importantes incrementos nas variáveis cardiovasculares com elevação de pressão arterial e frequência cardíaca e sensação subjetiva de esforço, além de redução da atividade parassimpática. Sugerimos que novos estudos sejam realizados para que as questões levantadas nesse estudo piloto possam ser esclarecidas.

## Referências

1. Brum PC, Forjaz CL, Tinucci T, Negrão CE. Adaptações agudas e crônicas do exercício físico no sistema cardiovascular. *Rev Paul Educ Fís.* 2004;18(1):21-31.
2. Dempsey JA, Lee R, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol.* 2006;151(2-3):242-50. doi: 10.1016/j.resp.2005.12.015
3. Pilarski JQ, Leiter JC, Fregosi RF. Muscles of Breathing: Development, Function, and Patterns of Activation. *Compr Physiol.* 2011;9(3):1025-80. doi: 10.1002/cphy.c180008
4. De Troyer A, Esterme M. Functional anatomy of the respiratory muscle. *Clin Chest Med.* 1988;9(2):175-93.
5. De Troyer A. Mechanics of the chest wall muscle. In: Miller AD, Bianchu AL, Bishop BP, eds. *Neural control of the respiratory muscles.* New York: CRC Press. 1997. p.59-73. doi: 10.1002/cphy.c100009

6. Epstein S. An overview of respiratory muscle function. *Clin Chest Med.* 1994;15(4):619-39.
7. Poole DC, Farkas GA, Powers SK, Reid MB. Diaphragm structure and function in health and disease. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(6): 738-54. doi: 10.1097/00005768-199706000-00003
8. Polla B, Antona DG, Bottinelli R, Reggiani C. Respiratory muscle fibers: specialization and plasticity. *Thorax.* 2004;59:808-17. doi: 10.1136/thx.2003.009894
9. Robertson CH, Foster GH, Gregory H, Johnson RL. The relationship of respiratory failure to the oxygen consumption of, lactate production by, and distribution of blood flow among respiratory muscles during increasing inspiratory resistance. *J Clin Invest.* 1977;59(1):31-42. doi: 10.1172/JCI108619
10. Harms CA, St Croix CM, Pegelow D, Dempsey JA et al. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol.* 2000;89(1):131-38. doi: 10.1152/jappl.2000.89.1.131
11. Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow D, Nিকেle GA, Nelson WB, et al. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1998;85(2):609-18. doi: 10.1152/jappl.1998.85.2.609
12. Hartz CS, Lopes CR, Batista J, Moreno MA. Effect of Inspiratory Muscle Training on Performance of Handball Athletes. *Journal of human kinetics.* 2018, 63(1):43-51. doi: 10.2478/hukin-2018-0005
13. Leith DE, Bradley M. Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol.* 1976;41(4):508-16. doi: 10.1152/jappl.1976.41.4.508
14. Weiner P, Magadle RM, Massarwa F, Beckerman M, Berar-Yanay N. Influence of gender and inspiratory muscle training on the perception of dyspnea in patients with asthma. *Chest.* 2002;122(1):197-201. doi: 10.1378/chest.122.1.197
15. Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJC, Alves CN, Tavares A, Winkelmann ER et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 2008;51(17): 1663-71. doi: 10.1016/j.jacc.2007.12.045
16. Dall'Ago P, Chiappa GRS, Guths H, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness: a randomized trial. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47(4):757-63. doi: 10.1016/j.jacc.2005.09.052
17. Gosselink R, Decramer M. Inspiratory muscle training: where are we? *Eur Respir J.* 1994;7:2103–05. doi: 10.1183/09031936.94.07122103
18. Suzuki S, Sato M, Okubo T. Expiratory muscle training and sensation of respiratory effort during exercise in normal subjects. *Thorax* 1995;50(4):366-70. doi: 10.1136/thx.50.4.366
19. Plentz RDM, da Silva VG, Dipp T. Treinamento muscular inspiratório para o controle autonômico de indivíduos saudáveis. *Fisioter Pesqui.* 2014;28. doi: 10.1590/1809-2950/17015425032018



20. Sonetti DA, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Resp Physiol*. 2001;127.2-3:185-99. doi: 10.1016/s0034-5687(01)00250-x
21. 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
22. Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia. Diretrizes para testes de função pulmonar. *J Bras Pneumol*. 2002;28(3):1-238.
23. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*. 1996;17(3):354-81.
24. Rogers B, Schaffarczyk M, Gronwald T. Estimation of Respiratory Frequency in Women and Men by Kubios HRV Software Using the Polar H10 or Movesense Medical ECG Sensor during an Exercise Ramp. *Sensors (Basel)*. 2022 Sep 21;22(19):7156. doi: 10.3390/s22197156
25. Umpierre D, Stein R. Efeitos hemodinâmicos e vasculares do treinamento resistido: implicações na doença cardiovascular. *Arq Bras Cardiol*. 2007;89(4):256-62. doi: 10.1590/S0066-782X2007001600008
26. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci*. 2002;20(7):547-90. doi: 10.1080/026404102760000053
27. Williams JS, Wongsathikun J, Boon SM Acevedo EO. Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(7):1194-98. doi: 10.1097/00005768-200207000-00022
28. Tucker R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. *Br J Sports Med*. 2009;43(6):392-400. doi: 10.1136/bjism.2008.050799
29. Pinheiro FA, Viana B, Pires FO. Percepção subjetiva de esforço como marcadora da duração tolerável de exercício. *Motricidade*. 2014;10(2):100-06. doi: 10.6063/motricidade.10(2).2267
30. Mehlsen J, Pagh K, Nielsen JS, Sestoft L, Nielsen SL. Heart rate response to breathing: dependency upon breathing pattern. *Clin Physiol*. 1987;7(2): 115-24. doi: 10.1111/j.1475-097x.1987.tb00153.x
31. Neff RA, Pagh K, Nielsen JS, Sestoft L, Nielsen SL. Respiratory sinus arrhythmia: endogenous activation of nicotinic receptors mediates respiratory modulation of brainstem cardioinhibitory parasympathetic neurons. *Circ Res*. 2003;93(6):565-72. doi: 10.1161/01.RES.0000090361.45027.5B
32. Pathak CL. Autoregulation of chronotropic response of the heart through pacemaker stretch. *Cardiology*. 1973;58(1):45-64. doi: 10.1159/000169618

33. St Croix CM, Morgan BJ, Thomas JW, Dempsey JA. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *J Physiol.* 2000;529(2):493-504. doi: 10.1111/j.1469-7793.2000.00493.x
34. Sheel WA, Derchak PA, Morgan BJ, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JA. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J Physiol.* 2001;537(1):277-89. doi: 10.1111/j.1469-7793.2001.0277k.x
35. Sheel WA, Derchak, Jacques AJ, Dempsey JA SHEEL, A. William, et al. Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2002;282(5):H1732-H1738. doi: 10.1152/ajpheart.00798.2001
36. Hill JM. Discharge of group IV phrenic afferent fibers increases during diaphragmatic fatigue. *Brain Res.* 2000;856(1-2):240-44. doi: 10.1016/s0006-8993(99)02366-5



Este artigo de acesso aberto é distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons (CC BY 4.0), que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.