

Revisão

Treinamento muscular inspiratório para o desenvolvimento físico: evidências e controvérsias

Inspiratory muscle training for the physical development: evidences and controversies

Maurício de Sant'Anna Junior*, Adalgiza Mafrá Moreno**, Pedro Dall'Ago***, Pedro Paulo da Silva Soares****

Departamento de Fisioterapia UNIPLI, Laboratório de Fisiologia do Exercício Experimental e Aplicada UFF, Hospital Universitário Clementino Fraga Filho – UFRJ, **Departamento de Fisioterapia UNIPLI, UNIVERSO/RJ, Programa de Pós-Graduação em Ciências Cardiovasculares UFF, *Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA), **** Programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física (PPGCAF) UNIVERSO/RJ, Departamento de Fisiologia e Farmacologia UFF*

Resumo

O Treinamento Muscular Inspiratório (TMI) visa o aumento da força e resistência dos músculos inspiratórios. Os efeitos positivos do TMI na melhora clínica e no desempenho físico em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva ou insuficiência cardíaca são bem reconhecidos, mas em indivíduos saudáveis ainda são controversos. O objetivo do presente artigo é o de apresentar uma revisão sobre o possível efeito positivo no desempenho físico em indivíduos saudáveis decorrentes do TMI. Observamos em todos os estudos consultados um aumento na força e resistência muscular inspiratória. Entretanto, nem todos os estudos apresentaram aumento na capacidade física, gerando controvérsia quanto à aplicabilidade desta estratégia de treinamento objetivando desempenho. Verificou-se uma grande variação entre os protocolos descritos no que diz respeito à carga utilizada, número de semanas, frequência semanal, além de formas de TMI, contínua ou intervalada, em diferentes modalidades esportivas.

Palavras-chave: treinamento muscular inspiratório, pressão inspiratória máxima, resistência muscular inspiratória, fadiga diafragmática.

Abstract

Inspiratory Muscle Training (IMT) is used to increase strength and resistance of inspiratory muscles. IMT effects on exercise performance and clinical status of subjects with chronic obstructive pulmonary disease or heart failure are well recognized, but its positive effects on healthy subjects are still controversial. The aim of the present study was a literature review regarding the possible effects of IMT for improving physical exercise performance in healthy subjects. In all consulted studies there was an increase in strength and resistance of inspiratory muscles. However, not all of them showed concomitant improvement of physical capacity. These controversial results introduced questions regarding the applicability of this type of training strategy aiming physical performance. It was verified great variations among protocols in relation to workload, number of weeks, frequency, and IMT modes, continuous or interval, in different sports that may be responsible for different findings.

Key-words: inspiratory muscle training, maximal inspiratory pressure, respiratory muscle endurance, diaphragmatic fatigue.

Recebido 12 de março de 2010; aceito 15 de abril de 2010.

Endereço para correspondência: Pedro Paulo da Silva Soares, Universidade Federal Fluminense (UFF), Laboratório de Fisiologia do Exercício e Experimentação Animal, Rua Prof. Ernani Melo, 101/304, bl Y, São Domingos 24210-130 Niterói RJ, Tel: (21) 2629-2451, E-mail: ppsoares@vm.uff.br

Introdução

Durante a realização de exercícios físicos ocorrem respostas cardiorrespiratórias que são responsáveis diretas pela manutenção da atividade física. Dentre as diversas respostas, podemos mencionar o aumento do débito cardíaco, frequência cardíaca, pressão arterial média e da concentração de lactato, porém o aumento da ventilação pulmonar também deve ser destacado, ocorrendo de forma concomitantemente o aumento da frequência respiratória, do volume de ar corrente e do trabalho dos músculos ventilatórios [1].

Os músculos ventilatórios apresentam como sua principal função o deslocamento da base dos pulmões e da parede torácica, com a finalidade primária de produzir a ventilação alveolar [2,3]. Apesar de representarem apenas 3% do peso corporal total, os músculos ventilatórios têm grande capacidade de suportar altas demandas, com capacidade de ajustarem-se às necessidades ventilatórias em diferentes condições fisiológicas e fisiopatológicas, sendo o principal músculo da inspiração o diafragma [4,5]. Deve-se ressaltar que os músculos ventilatórios podem sofrer alterações em virtude do treinamento, aumentando sua força assim como sua resistência [6-9].

Durante vários anos questionou-se os efeitos oriundos do treinamento sobre a musculatura ventilatória, principalmente no que tange a seus efeitos similares aos dos demais músculos esqueléticos. Porém, no estudo pioneiro proposto por Leith & Bradley, em 1976 [10], verificou-se 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), evidenciado-se um aumento de 55% na força dos músculos inspiratórios no grupo que treinou força e um aumento de 14% na resistência da musculatura inspiratória no grupo que treinou resistência, não sendo verificado nenhum tipo de alteração 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 a sua indicação primária à existência de alguma doença de base que acarrete em alteração funcional dos músculos ventilatórios. Seus efeitos encontram-se bem documentados em situações como doença pulmonar obstrutiva crônica, asma e insuficiência cardíaca [11-14]. Tais efeitos parecem estar diretamente relacionados à intensidade, duração e frequência do exercício [15].

Recentemente, o TMI foi utilizado em indivíduos sadios com a finalidade de promover alterações no desempenho, durante a realização de exercícios físicos, como aumento do tempo de exercício [15,16]. Porém nem todos os estudos alcançaram os mesmos resultados, sendo discutido principalmente, se o TMI pode aumentar o tempo de exercício e/ou VO_{2pico} , se existe alteração na sensação subjetiva de esforço,

e se existe atenuação na concentração de lactato sanguíneo [16-18].

Neste contexto, o objetivo do presente artigo é o de promover uma análise sobre as possíveis melhorias no desempenho durante o exercício físico em indivíduos sadios submetidos ao TMI realizado em diversos protocolos e em grupos diferentes de indivíduos não-atletas e atletas de algumas modalidades esportivas.

Métodos

Os artigos revisados foram obtidos através de pesquisas bibliográficas em bancos de dados, incluindo Medline, Pubmed, Lilacs e Scielo (1966-2009). Foram selecionados estudos que investigaram especificamente os efeitos do TMI em indivíduos sadios (atletas e não atletas). Foram utilizadas as seguintes palavras-chave, isoladas ou combinadas: *Inspiratory muscle training, maximal inspiratory pressure, respiratory muscle resistance, diaphragmatic fatigue e healthy individuals*.

Resultados e discussão

Mensuração da força muscular ventilatória

A força muscular ventilatória pode ser verificada de forma invasiva (pressão transdiafragmática) [18,19] ou não invasiva. No processo de verificação não-invasiva da força muscular ventilatória, o instrumento mais utilizado é o manovacuômetro que consiste em um tubo cilíndrico, cuja extremidade distal é fechada, a extremidade proximal é aberta onde se encaixa uma peça bucal, sendo realizada através dela as manobras expiratórias ou inspiratórias. Uma saída lateral e uma tubulação de plástico rígido fazem a comunicação a um transdutor de pressão utilizado para mensuração de pressão inspiratória máxima (P_{Imax}) e da pressão expiratória máxima (P_{Emax}) [20].

As medidas de P_{Imax} e P_{Emax} são utilizadas para quantificar a força dos músculos ventilatórios [21]. A posição ideal para realização da manobra que se verifica a P_{Imax} é com o indivíduo sentado, sendo realizada uma inspiração forçada, a partir do volume residual ou da capacidade residual funcional, com oclusão do circuito (manobra de Muller), o valor da P_{Imax} é expresso através de cmH_2O , sendo precedido de sinal negativo [22].

A P_{Emax} pode ser mensurada através do mesmo circuito que se verifica a P_{Imax} , diferenciado pela utilização de uma válvula unidirecional inspiratória e pela extremidade expiratória ocluída, realizando-se uma expiração forçada contra o sistema fechado, a partir da capacidade pulmonar total (manobra de Valsalva) [21,22]. Recomenda-se que tanto para verificação da P_{Imax} quanto para verificação da P_{Emax} sejam realizadas três mensurações, considerando-se a melhor medida [23]. As pressões geradas pelos músculos faciais podem alterar a fidedignidade dos valores encontrados nas mensurações, por esse

motivo recomenda-se a utilização de um orifício de 2 mm de diâmetro no sistema promovendo assim uma pequena fuga de ar [22,24,25].

Aceita-se como $P_{Imáx}$ normal para um adulto jovem do sexo masculino $-125 \text{ cmH}_2\text{O}$ e de $P_{Emáx}$ $230 \text{ cmH}_2\text{O}$, e em mulheres esse valor diminui em 30% e, após os 20 anos de idade, ocorre uma queda de $0,5 \text{ cmH}_2\text{O}$ por ano [26].

Um estudo conduzido com 100 indivíduos, não fumantes (50 homens e 50 mulheres), na faixa etária de 20 a 80 anos, apresentou como proposta encontrar parâmetros de normalidade para $P_{Imáx}$ e $P_{Emáx}$ na população brasileira, partindo da premissa que as referências utilizadas até então para esta finalidade subestimavam seus os valores reais [27].

Os autores utilizaram análise de regressão múltipla, levando em consideração em suas análises além do gênero e das variáveis antropométricas, (peso e altura), variáveis de aptidão física. A $P_{Imáx}$ apresentou uma forte correlação com aptidão física e $VO_{2máx}$, sendo os valores preditos de $P_{Imáx}$ para homens entre 20 – 29 anos $129,3 \pm 17,6 \text{ cmH}_2\text{O}$ e mulheres $101,6 \pm 13,1$ [27].

Mensuração da resistência muscular ventilatória

Resistência muscular ventilatória é a capacidade do músculo em oferecer resistência à fadiga, em um determinado tempo de trabalho. No que diz respeito à mensuração da resistência muscular ventilatória, encontramos descrito várias formas para sua obtenção são elas: 1) Método de hiperpnéia que consiste em manter por um período de tempo, um elevado volume pulmonar em um minuto; 2) VVM que é a ventilação voluntária máxima que indivíduo pode realizar em 10 a 15 segundos; 3) Capacidade Ventilatória Máxima (CVSM) descrito como a ventilação que o indivíduo é capaz de sustentar por 15 segundos; 4) estimulação de nervo frênico (consiste na avaliação seletiva do desempenho da porção periférica da via neuromuscular e quantificar e quantificar o grau de fadiga do diafragma; 5) Eletromiografia (podendo ser realizada através de eletrodo de superfície ou esofágico) [26,27].

Outro protocolo frequentemente descrito na literatura para a determinação da resistência muscular respiratória é o de Martyn *et al.* [28], também conhecido como protocolo incremental, que posteriormente foi adaptado para indivíduos saudáveis [29].

Neste protocolo o indivíduo respira através de um sistema composto por duas válvulas unidirecionais, uma inspiratória e outra expiratória, onde a válvula inspiratória é conectada a uma câmara inspiratória, que é vedada por um diafragma possibilitando o aumento na carga inspiratória, dificultando a inspiração.

Pode-se iniciar o protocolo com a realização de uma inspiração com carga de aproximadamente 30% da $P_{Imáx}$, sendo esta aumentada a cada três minutos, até que o indivíduo não consiga mais abrir a válvula inspiratória, sendo computado o tempo total até a fadiga.

Fadiga muscular ventilatória e desempenho físico

Em exercícios prolongados e de altas intensidades, fisiologicamente ocorre o fenômeno da hiperventilação, em função da necessidade de manutenção de adequada ventilação alveolar, compatível com a atividade realizada. Para adequação das demandas ventilatórias, um maior trabalho do diafragma, assim como a utilização de músculos acessórios da respiração é necessária [1].

Porém o do trabalho da musculatura acessória pode não ser o suficiente para manter a troca gasosa adequada e consequentemente a oferta de O_2 , podendo ser um dos mecanismos desencadeadores da dispnéia [30].

A literatura descreve esses mecanismos como responsáveis pela fadiga muscular ventilatória, especialmente do diafragma [1,31,32]. Tais eventos são justificáveis pela hipótese de que durante o exercício ocorre uma competição pelo fluxo sanguíneo entre a musculatura ventilatória e a musculatura periférica ativa [33-36].

Também foi observado em humanos que a fadiga muscular inspiratória, induzida através de exercício de resistência, acarretou em aumento da descarga simpática, mensurada em nervo periférico e redução do fluxo sanguíneo no membro em repouso [37].

Harms *et al.* [8] objetivaram investigar se a fadiga da musculatura ventilatória poderia ser responsável por alteração do desempenho físico durante exercício de alta intensidade. Para investigar sua hipótese, utilizaram uma amostra composta por sete ciclistas do sexo masculino, com VO_{2pico} $63 \pm 5 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ que realizaram exercício em ciclo ergômetro em uma intensidade correspondente a 90% VO_{2pico} . Os autores utilizaram um período de aquecimento que variou entre 5-10 minutos, com carga equivalente a 40 – 50% VO_{2pico} . Encontraram como resultado que a realização de exercício físico em alta intensidade, acarreta em um decréscimo da função dos músculos ventilatórios e que esta é uma condição fundamental na redução da performance do grupo estudado.

Vogiatzis *et al.* [38] desenvolveram um protocolo experimental objetivando investigar se o fluxo sanguíneo e a saturação de oxigênio (SpO_2) dos músculos intercostais, durante realização de exercício físico de alta intensidade, reduzia em ambos. Sua amostra foi composta por dez atletas de ciclismo, com média de idade de 35 ± 10 anos de idade, VO_{2pico} de $61,8 \pm 8,3 \text{ ml kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ que realizaram exercícios em diferentes intensidades (60, 80, 90 e 100% VO_{2pico}). A investigação dos efeitos do exercício na SpO_2 da musculatura periférica e intercostal foi utilizada a espectroscopia quase infra-vermelha (NIRS). Estes autores concluíram que durante a realização de exercício em altas intensidades, tanto a musculatura periférica ativa, quanto a musculatura intercostal encontravam-se com redução da SpO_2 e fluxo sanguíneo em relação ao repouso, porém a maior queda era evidência na musculatura intercostal.

Portanto, a utilização do TMI para aumento de força e resistência muscular ventilatória poderia aumentar a tolerância

à fadiga e reduzindo sensação subjetiva de esforço além de promover efeitos positivos sobre a capacidade física.

Treinamento muscular inspiratório em indivíduos saudáveis

Apresentaremos na Tabela I, os principais resultados alcançados pelos diversos autores, através do TMI em indivíduos saudáveis, descrevendo variáveis como características da amostra, número de semanas que foram realizadas o TMI, frequência semanal, duração, carga de trabalho e modificações na capacidade física ou indicadores da função respiratória.

O TMI vem sendo utilizado em indivíduos saudáveis, porém os resultados obtidos merecem ser discutidos em virtude da discordância encontrada na literatura. Gething *et al.* [39] de-

envolveram um protocolo experimental preconizando o TMI com a participação de 15 indivíduos voluntários de ambos os sexos divididos em três grupos, objetivando testar a hipótese de que os indivíduos que realizassem o TMI apresentariam um melhor desempenho em exercício realizado em cicloergômetro. O primeiro grupo realizou TMI com carga de 80% da $P_{Imáx}$, o segundo grupo realizou treinamento com a carga mínima (treinamento placebo) e o terceiro grupo controle. Após 10 semanas de treinamento realizado três vezes por semana, o grupo que realizou o TMI apresentou uma melhora de 34% na $P_{Imáx}$ (134 vs. 180 cmH_2O) e 38% na resistência muscular respiratória, além de um aumento de 36% no tempo de exercício realizado até a exaustão em cicloergômetro à 75% do VO_{2pico} , não sendo observada nenhuma alteração significativa na $P_{Imáx}$ do grupo placebo (136 vs. 140.2 cmH_2O),

Tabela I - Estudos encontrados na literatura envolvendo treinamento da musculatura inspiratória em indivíduos saudáveis com seus resultados no desempenho físico.

Autor	Ano	Amostra	Semanas de TMI	Frequência Semanal	Duração	Carga de trabalho % da $P_{Imáx}$	Resultado Obtido
Spengler <i>et al.</i>	1999	Sedentários	4	5 x	30 minutos	60 % carga progressiva	↑ $P_{Imáx}$, ↓ concentração de lactato, ↑ tempo de exercício
Inbar <i>et al.</i>	2000	Atletas	10	7 x	30 minutos	50% progredindo 5%/semana até 80% $P_{Imáx}$	↑ 8% $P_{Imáx}$ manutenção do VO_{2pico}
Volianitis <i>et al.</i>	2001	Remadores	11	5 x / 2 x dia	30 minutos	50% $P_{Imáx}$	↑ $P_{Imáx}$ e do teste de caminhada de seis minutos
Sometti <i>et al.</i>	2001	Ciclistas	5	4 x	30 minutos	50 % $P_{Imáx}$	↑ 8% $P_{Imáx}$, não evidenciou alteração e tempo de exercício, FC e lactado
Gething <i>et al.</i>	2002	Sedentários	10	3 x		80% $P_{Imáx}$	↑ 34% $P_{Imáx}$, 38% na resistência e 36% no tempo de exercício em cicloergômetro
Romer <i>et al.</i>	2002	Ciclistas	6	2x / 2 x dia	30 repetições	50% $P_{Imáx}$	↓ sensação subjetiva de esforço em exercício máximo
Williams <i>et al.</i>	2002	Atletas	4		25 minutos	50 – 65% $P_{Imáx}$	↑ VO_{2pico} , $P_{Imáx}$ e resistência ↓ sensação subjetiva de esforço e FC_{pico}
Romer <i>et al.</i>	2002	Atletas	6	2x / 2x dia	30 repetições	50% $P_{Imáx}$	↑ $P_{Imáx}$, Melhora na recuperação na corrida e menor concentração de lactato
Gething <i>et al.</i>	2004	Sadios	6	3 x		85 – 100% $P_{Imáx}$	↑ $P_{Imáx}$, ↔ espirometria em todos os grupos, ↓ sensação subjetiva de esforço e FC_{pico}
Verges <i>et al.</i>	2007	Sedentários	4-5	20 sessões não especificadas	30 minutos	70% VVM	↓ da fadiga muscular respiratória, ↔ correlação com melhora no desempenho físico
Griffiths & McConnell	2007	Remadores	4	7 x / 2 x dia	30 repetições	50% $P_{Imáx}$	↓ da concentração de lactato, FC_{pico} e sensação subjetiva de esforço; ↑ $P_{Imáx}$

↓ = diminuição, ↑ = aumento, ↔ sem alteração, VVM = ventilação voluntária máxima, CVF = capacidade vital forçada, PF = pico de fluxo, VE = ventilação $P_{Imáx}$ = pressão inspiratória máxima $P_{Emáx}$ = pressão expiratória máxima, VEF_1 , volume expiratório forçado no primeiro segundo, VO_{2pico} = consumo máximo de oxigênio, FC_{pico} = frequência cardíaca de pico, CRF = capacidade residual funcional.

nem no grupo controle (127 vs. 128 cmH₂O), assim como no tempo de exercício, ressaltando-se que a P_{Emáx} permaneceu inalterada em todos os grupos.

Esses resultados decorrentes do treinamento muscular ventilatório corroboram com os obtidos por outros grupos. Volianitis *et al.* [40] descreveram alterações significativas em remadores do sexo feminino após onze semanas de TMI, sendo o protocolo experimental dividido em dois grupos, um composto por sete remadoras que realizaram o TMI com carga equivalente a 50% P_{Imáx}, 30 repetições, duas vezes ao dia, todos os dias da semana por período de trinta minutos.

O segundo grupo foi composto por sete remadoras, que realizaram TMI (placebo) com carga de 15% P_{Imáx}, 60 repetições, uma única vez ao dia e observaram além de um aumento na P_{Imáx} do grupo treinado (TMI = 104 ± 8 vs. 148 ± 10 cmH₂O Placebo = 130 ± 12 vs. 136 ± 12), uma maior distância percorrida no teste de seis minutos realizado em remoergômetro (1561 ± 9,3 vs. 1616 ± 13,4 metros), quando comparado com o grupo placebo (1566 ± 20,7 vs. 1592 ± 21,1 metros).

Romer *et al.* [41] realizaram protocolo experimental com 16 ciclistas do sexo masculino, divididos em dois grupos de oito indivíduos. O primeiro que realizou o TMI e o segundo que realizou treinamento placebo sendo o projeto realizado de formato duplo-cego. O treinamento foi composto por seis semanas, duas vezes ao dia, onde o grupo treinamento utilizou 50% da P_{Imáx} com orientação de realizar apenas 30 repetições, já o grupo controle utilizou 15% P_{Imáx}. Nenhuma alteração ocorreu na rotina de treinamento dos ciclistas no período das seis semanas de TMI. Foi evidenciado que o TMI foi capaz de aumentar a P_{Imáx} (102 ± 6 vs. 126 ± 5 cmH₂O) quando comparado ao grupo placebo (100 ± 6 vs. 99 ± 6 cmH₂O), diminuir a sensação subjetiva de esforço em exercício máximo em cicloergômetro no grupo treinamento sem, contudo, aumentar o consumo máximo de oxigênio.

Esses dados são complementares aos obtidos por Spengler *et al.* [42], que com objetivo de investigar os efeitos do TMI na concentração de lactato e consumo de oxigênio, desenvolveram um protocolo experimental com participação de 20 indivíduos saudáveis que realizaram o protocolo de TMI com duração de 30 minutos, com 60% P_{Imáx} sendo a carga aumentada de forma progressiva semanalmente, 5 dias na semana por período de 4 semanas. Observou-se que houve redução da concentração de lactato sanguíneo para mesma intensidade de exercício, gerando a hipótese que tal fenômeno pudesse estar diretamente relacionado ao melhor desempenho da musculatura ventilatória em função do treinamento.

Recentemente Griffiths & McConnell [43] realizaram protocolo experimental, utilizando amostra composta por 10 remadores do sexo masculino com média de idade de 24,9 ± 5,6 anos, 1,9 ± 0,5 metros de estatura e 83,7 ± 4,8 kg de massa corporal. O TMI foi realizado por 4 semanas com carga de 50% da P_{Imáx} diariamente, duas vezes ao dia. Como resultado observou-se um aumento de 26% na P_{Imáx}, além de redução da sensação subjetiva de esforço, mensurada pela

escala de Borg CR-10 (9,1 ± 0,9 vs. 8,2 ± 1,7), redução da concentração máxima de lactato (14,6 ± 4,4 vs. 13,0 ± 3,5) e FC_{pico} (187 ± 11 vs. 183 ± 10 bpm) seguido de aumento do VO_{2pico} (60,7 ± 6,2 vs. 62,7 ± 7,7 ml kg⁻¹min⁻¹) para mesma intensidade de exercício realizado em remoergômetro em teste de distância máxima em seis minutos

Esses resultados, porém diferem dos obtidos por Sonetti *et al.* [16], que realizaram um protocolo experimental em ciclistas do sexo masculino com TMI objetivando ganho de força e resistência dos músculos ventilatórios. O TMI foi realizado por período de cinco semanas, uma vez ao dia, por período de 30 minutos, com carga equivalente a 50% da P_{Imáx}.

Foi verificado um aumento de 8% na P_{Imáx} do grupo TMI e de 3,7% no grupo controle. Os resultados do TMI, não foram tão expressivos, uma vez que tempo de exercício máximo realizado em cicloergômetro, VO_{2máx}, frequência cardíaca e concentração de lactato sanguíneo não sofreram alteração em nenhum dos grupos, devendo-se, contudo, ressaltar que o tempo de intervenção foi menor que os dos demais protocolos, composto de apenas cinco semanas.

O estudo desenvolvido por Inbar *et al.* [17] apresentava a hipótese de que o TMI realizado em vinte atletas de resistência de alto rendimento poderia aumentar o VO_{2máx} e assim melhorar o desempenho, adotando-se um protocolo de TMI, composto por 10 semanas, todos os dias. Um grupo realizou o TMI iniciando com 30% P_{Imáx} durante a primeira semana, com acréscimo de 5% a cada sessão, atingindo 80% da P_{Imáx} na quinta semana, sendo esse percentual da carga mantido até o término da décima semana. Concluiu-se que apesar do TMI ter alterado significativamente a P_{Imáx}, não foi capaz de aumentar o VO_{2pico} (58 ± 4,6 vs. 58,1 ± 5,4 ml kg⁻¹min⁻¹).

Esses resultados são similares aos obtidos por Willians *et al.* [44] que utilizaram em seu protocolo experimental sete atletas que realizaram TMI com carga de 50-65% da P_{Imáx} com 4-5 sessões de treinamento semanais, com duração de 25 minutos, por período de 4 semanas. Após esse período, verificou-se que tanto força como a resistência muscular ventilatória estavam aumentados (31% e 128% respectivamente), porém não ocorreram alterações significativas em VO_{2pico} (53,1 ± 9,6 vs. 53,3 ± 11,9 ml kg⁻¹min⁻¹), FC_{pico} (192 ± 9 vs. 194 ± 7 bpm) e percepção subjetiva de esforço (8,4 ± 1,4 vs. 7,8 ± 1,0).

Porém no intuito de apontar os benefícios do TMI em indivíduos saudáveis, destaque deve ser dado ao estudo de Geithing [45] que realizou uma comparação entre diferentes intensidades de TMI, tendo em seu protocolo experimental 66 indivíduos saudáveis de ambos os sexos divididos em três grupos, que treinaram três vezes por semana durante seis semanas. O primeiro grupo composto por 22 indivíduos treinou com 100% da P_{Imáx}, o segundo grupo composto por 21 indivíduos realizou treinamento a nível sub-máximo, com 85% da P_{Imáx}, e o terceiro grupo composto por 23 indivíduos não realizou treinamento, verificando-se que ao final não existiu alteração da função pulmonar, avaliada através de espirometria em nenhum dos três grupos.

Porém a $P_{Imáx}$ aumentou no primeiro e segundo grupos, quando comparados ao controle. As respostas na frequência cardíaca durante o exercício ventilatório no grupo que treinou com carga máxima, foi menor, quando comparado ao controle, assim como a sensação subjetiva de esforço relatada através da escala de Borg, demonstrando que as seis semanas de TMI foram capazes de não só aumentar a $P_{Imáx}$, mas também promover um decréscimo da frequência cardíaca e na sensação subjetiva de esforço mensurada pela escala de Borg, para mesma intensidade de exercício realizado em cicloergômetro.

Romer *et al.* [46] demonstraram os benefícios do TMI em uma amostra composta por 24 atletas de corrida do sexo masculino, divididos em dois grupos. O primeiro grupo TMI realizou 30 manobras inspiratórias, duas vezes ao dia com carga de 50% da $P_{Imáx}$ por 6 semanas. Já o grupo controle realizou 60 manobras inspiratórias uma vez ao dia com carga de equivalente a 15% da $P_{Imáx}$. Como resultado, observou-se uma melhora no teste de corrida de curta distância em intensidade submáxima, além de redução na concentração de lactato sanguíneo no grupo TMI.

Objetivando investigar se o TMI é capaz de atenuar a fadiga da musculatura ventilatória durante o exercício aeróbio, Verges *et al.* [47] utilizaram em seu protocolo experimental 21 indivíduos saudáveis do sexo masculino divididos em dois grupos (13 no grupo TMI e 8 grupo controle). O grupo treinamento realizou 20 sessões de TMI com duração de 30 minutos em intensidade de 70% da VVM.

Os indivíduos realizaram exercício de ciclismo em intensidade submáxima (85% $FC_{máx}$) antes e após o TMI, sendo verificado uma redução da fadiga muscular ventilatória após o período de TMI avaliada através de ventilação voluntária máxima, porém sem nenhuma correlação com melhora do desempenho físico máximo.

Gigliotti *et al.* [48] em seu trabalho de revisão, procuraram apresentar evidências de que o TMI é capaz de promover benefícios no desempenho de indivíduos saudáveis, tais como redução na concentração de lactato, aumento da força e da resistência dos músculos ventilatórios e uma menor sensação subjetiva de esforço para uma mesma intensidade de exercício aeróbico. Esses resultados foram mais evidentes em estudos que os protocolos experimentais foram melhor controlados (dosagem de lactato, grupo controle e testes de exercício com protocolos máximos e sub-máximos) [16,42,46,49].

Portanto, estes autores, apesar de acreditarem que o TMI acarrete em melhora no desempenho físico, sugerem que estudos adicionais envolvendo a temática sejam realizados na tentativa de elucidar os mecanismos envolvidos em tal fenômeno.

Verges *et al.* [49] realizaram uma meta-análise envolvendo nove estudos realizados pelo seu grupo de pesquisa totalizando quinze anos de experiência com TMI em indivíduos saudáveis. O objetivo foi avaliar os efeitos promovidos pelo TMI.

Amostra foi composta por 135 indivíduos (sendo 32 não

treinados e 103 treinados), dos quais 45 (7 mulheres e 38 homens) formaram o grupo controle com média de idade 29 ± 5 anos e o grupo treinamento 28 ± 4 anos ambos os grupos compostos por indivíduos com função pulmonar normal avaliada através de espirometria.

O grupo que realizou treinamento totalizou um período de aproximadamente seis horas semanais contra sete horas semanais de treinamento placebo. Como resultado foi observado um aumento significativo em variáveis espirométricas como Capacidade Vital Forçada, Pico de Fluxo e VVM. Porém nenhuma alteração foi verificada em Volume Expiratório Forçado no primeiro segundo (VEF_1), $P_{Imáx}$ e $P_{Emáx}$.

Quanto à melhora no desempenho físico, avaliada através de teste de esforço realizado em cicloergômetro, o VO_{2pico} não apresentou alteração significativa, porém o tempo de duração do teste, assim como a Ventilação (VE) aumentaram de forma significativa quando comparados ao grupo controle.

Uma menor sensação subjetiva de esforço foi verificada para o mesmo tempo de exercício realizado antes do TMI. Concluindo que o TMI foi capaz de promover uma redução da sensação subjetiva de esforço para mesma intensidade de exercício, aumentar o tempo de realização do teste de esforço cardiopulmonar, seguido de uma maior VE máxima, além de promover aumento da força e resistência da musculatura ventilatória.

Em resumo, os trabalhos consultados apresentam importantes divergências, apesar de a maioria dos trabalhos terem sua amostra composta por atletas, porém o número de semanas de TMI é bastante diferente entre os estudos, sendo o menor tempo de quatro semanas e o maior de onze semanas. A frequência semanal também é outra variável que merece ser destacada, sendo a maior frequência de sete vezes por semana e a menor de duas vezes por semana, além de, em três estudos, o TMI ter sido realizado duas vezes ao dia. A carga de trabalho também foi bastante discrepante entre os estudos, variando de 50% a 100 da $P_{Imáx}$, e, ainda, o fato de em alguns estudos a carga de trabalho aumentar de forma progressiva ao longo das semanas ao passo que em outros estudos a carga era fixa durante todo o período. A variável que sofreu a menor alteração entre os estudos foi o tempo de TMI que variou de vinte e cinco a trinta minutos. Além destas variáveis, deve ser destacado que os grupos experimentais eram compostos de indivíduos não-treinados e atletas de modalidades distintas, como ciclistas, corredores e remadores. Portanto, os possíveis efeitos do TMI podem ser dependentes da modalidade esportiva ou mesmo do protocolo de testes específicos para cada esporte.

Conclusão

Exercícios de alta intensidade ocasionam agudamente em decréscimo da função muscular ventilatória decorrentes da musculatura periférica ativa. O TMI é capaz de promover aumento na força e resistência da musculatura ventilatória em

indivíduos saudáveis. Porém seus resultados quanto à melhora no desempenho físico permanecem controversos, principalmente pela discrepância entre os protocolos quanto à carga utilizada, número de semanas, frequência semanal, além de treinamento contínuo ou seriado.

Referências

- Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol* 2006;151:242-50.
- De Troyer A, Esterme M. Functional anatomy of the respiratory muscle. *Clin Chest Med* 1988;9(2):175-93.
- De Troyer A. Mechanics of the chest wall muscle. In: Miller AD, Bianchi AL, Bishop BP, ed. *Neural control of the respiratory muscles*. New York: CRC Press; 1997. p.59-73.
- Epstein S. An overview of respiratory muscle function. *Clin Chest Med* 1994;15(4):619-39.
- Poole DC, Sexton WL, Farkas GA, Powers SK, Reid MB. Diaphragm structure and function in health and disease. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(6):738-54.
- Robertson CH, Foster GH, Johnson RL. The relationship of respiratory muscle failure to the oxygen consumption of, lactate production, by and distribution of blood flow among respiratory muscle during increased inspiratory resistance. *J Clin Invest* 1977;59:31-42.
- Polla B, D'Antona G, Bottinelli, Reggiani C. Respiratory muscle fibers: specialization and plasticity. *Thorax* 2004;59:808-17.
- Harms CA, Wetter TJ, Croix CMST, Pegelow DF, Dempsey JA et al. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol* 2000;89:131-8.
- Harms CA, Wetter TJ, McClaran SR, Pegelow DF, 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.
- Leith DE, Bradley M. Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol* 1976;41:508-16.
- Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJC, Alves NC, 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;51:1663-71.
- Dall'Ago P, Chiappa GRS, Guths H, Stein R, Ribeiro JP. Inspiratory muscle training in patients with heart failure and inspiratory muscle weakness. *J Am Coll Cardiol* 2006;47(4):757-63.
- Weiner P, Magadle R, Massarwa F, Beckerman M, Yanay N. Influence of gender and inspiratory muscle training on the perception of dyspnea in patients with asthma. *Chest* 2002;122(1):197-201.
- Gosselink R, Decramer M. Inspiratory muscle training: Where are we? *Eur Respir J* 1994;7:2103-5.
- Suzuki S, Sato M, Okubo T. Expiratory muscle training and sensation of respiratory effort during exercise in normal subjects. *Thorax* 1995;50:366-70.
- Sonetti DA, Wetter TJ, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respir Physiol* 2001;127:185-99.
- Inbar O, Weiner P, Azgad Y, Rotstein A, Weinstein Y. Specific inspiratory muscle training in well trained endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1233-7.
- Milic-Emili J, Mead J, Turner JM, Glauser EM. Improved technique for estimating pleural pressure from esophageal balloons. *J Appl Physiol* 1964;19:207-11.
- Laporta D, Grassino A. Assessment of transdiaphragmatic pressure in humans. *J Appl Physiol* 1985;58:1469-76.
- 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.
- Leech JA, Ghezzi H, Stevens D, Becklake MR. Respiratory pressures and function in young adults. *Am Rev Respir Dis* 1983;128:17-23.
- Tzelepis GE, Vega DL, Cohen ME, McCool FD. Lung volume specificity of inspiratory muscle training. *J Appl Physiol* 1994;77:789-94.
- Green M, Road J, Sieck GC, Similowski T. Tests of respiratory muscle strength. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166:518-624.
- Mayos M, Giner J, Casan P, Sanchis J. Measurement of maximal static respiratory pressures at the mouth with different air leaks. *Chest* 1991; 100(2):364-6.
- Tzelepis GE, Vega DL, Cohen ME, Fulambarker AM, Patel KK, McCool FD. Pressure-flow specificity of inspiratory muscle training. *J Appl Physiol* 1994(b);77:795-801.
- Auler JC, Amaral G. Assistência ventilatória mecânica. São Paulo: Atheneu; 1995. p.36-8.
- Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LC. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res* 32(6):719-27.
- Martyn JB, Moreno H, Paré PD, Pardy RL. Measurement of inspiratory muscle performance with incremental threshold loading. *Am Rev Respir Dis* 1987;135:919-23.
- Fiz PR, Romero P, Gomez R, Hernandez MC, Ruiz J, Izquierdo J, et al. Indices of respiratory muscle endurance in health subjects. *Respiration* 1998;65:21-7.
- Ward ME, Eidelman D, Stubbing DG, Bellemare F, Macklem PT. Respiratory sensation and pattern of respiratory muscle activation during diaphragm fatigue. *J Appl Physiol* 1988;65:2181-9.
- Johnson BD, Saupé KW, Dempsey JA. Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol* 1992;73:874-86.
- Babcock MA, Pegelow DF, Harms CA, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle unloading on exercise-induced diaphragm fatigue. *J Appl Physiol* 2002;93:201-6.
- Boussana A, Matecki S, Galy O, Hue O, Ramonatxo M, Gallais LD. The effect of exercise modality on respiratory muscle performance in triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(12):2036-43.
- Manohar M. Blood flow to the respiratory and limb muscles and to abdominal organs during maximal exertion in ponies. *J Physiol* 1986;377:25-35.
- Aaron EA, Seow KC, Johnson BD, Dempsey JA. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol* 1992;72:1818-25.
- Hill JM. Discharge of group IV phrenic afferent fibers increases during diaphragmatic fatigue. *Brain Res* 2000;856:240-4.
- St Croix CM, Morgan BJ, Wetter TJ, Dempsey JA. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *J Physiol* 2000;529(2):493-504.

38. Vogiatzis I, Athanasopoulos D, Habazettl H, Guenette JA, Koskolou M, Vasilopoulou M. Intercostal muscle blood flow limitation in athletes during maximal exercise. *J Physiol* 2009;587(14):3665-77.
39. Gething AD, Passeld L, Davies B. The effects of different inspiratory muscle training intensities on exercising heart rate and perceived exertion. *Eur J Appl Physiol* 2003;92:50-5.
40. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, Mcnaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:803-9.
41. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci* 2002;20:547-62.
42. Spengler CM, Roos M, Boutellier SML. Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training in humans. *Eur J Appl Physiol* 1999;79:299-305.
43. Griffiths LA, McConnell AK. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *Eur J Appl Physiol* 2007;99:457-66.
44. Williams JS, Wongsathikun J, Boon SM, Acevedo ED. Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34(7):1194-8.
45. Gething AD, Passeld L, Davies B. The effects of different inspiratory muscle training intensities on exercising heart rate and perceived exertion. *Eur J Appl Physiol* 2004;92:50-5.
46. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training upon recovery time during high intensity, repetitive sprint activity. *Int J Sports Med* 2002;23:353-60.
47. Verges S, Lenherr O, Haner AC, Schulz C, Spengler CM. Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2007;292:1246-53.
48. Gigliotti F, Binazzi BM, Scanoa G. Does training of respiratory muscles affect exercise performance in healthy subjects? *Resp Med* 2006;100:1117-20.
49. Verges S, Boutellier U, Spengler CM. Effect of respiratory muscle endurance training on respiratory sensations, respiratory control and exercise performance: a 15-year experience. *Respir Physiol Neurobiol* 2008;11(1):16-22.