

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE: CARDIOLOGIA
E CIÊNCIAS CARDIOVASCULARES

TESE DE DOUTORADO

**A INFLUÊNCIA DO TREINAMENTO MUSCULAR INSPIRATÓRIO NA
PERFORMANCE DE NADADORES DE ELITE**

Christiane Carvalho Faria

Porto Alegre, junho de 2014.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE: CARDIOLOGIA
E CIÊNCIAS CARDIOVASCULARES

**A INFLUÊNCIA DO TREINAMENTO MUSCULAR INSPIRATÓRIO NA
PERFORMANCE DE NADADORES DE ELITE**

Christiane Carvalho Faria

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cardiovasculares da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de doutor.

Orientadora: Profa. Dra. Carisi Anne Polanczyk

Porto Alegre, junho de 2014.

CIP - Catalogação na Publicação

Carvalho Faria, Christiane

A influência do treinamento muscular inspiratório na performance de nadadores de elite / Christiane Carvalho Faria. -- 2014.
77 f.

Orientadora: Carisi Anne Polanczyk.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências Cardiovasculares, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Sistema ventilatório. 2. Avaliação metabóreflexa. 3. Exercício. 4. Treinamento muscular inspiratório. 5. Natação. I. Polanczyk, Carisi Anne, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

As conquistas são frutos da confiança que desenvolvemos e dos incentivos que recebemos através de familiares e amigos. Em minha trajetória, várias pessoas me ajudaram a chegar até aqui e agradeço a Deus por tê-las colocado em meu caminho.

Dessa forma, gostaria de agradecer:

Ao Prof. De Rose, que desde a graduação esteve presente em minha vida pessoal e profissional, direcionando, sugerindo caminhos e oportunizando parte da minha formação no exterior.

Ao prof. Jorge Pinto Ribeiro, um eterno professor e admirador da educação física, que sempre incentivou estudos e pesquisas, acreditando no potencial de cada um.

A profa. Orientadora Carisi Anne Polanczyk, que me recebeu de braços abertos no ambulatório de Cardiopatia Isquêmica e como orientadora após o falecimento do meu orientador prof. Jorge, acreditando em mim e na realização desse estudo.

A Profa. Ângela Tavares, atuando como co-orientadora, não oficial, mas sempre mostrando caminhos para um melhor aprendizado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências Cardiovasculares, por proporcionar aos seus alunos uma formação científica de excelência. Agradeço pela dedicação dos professores, pelas oportunidades de aprendizagem, pela estrutura e organização.

A secretária da Pós-Graduação, Sirlei Reis, na dedicação e atenção aos alunos.

Ao Lafix, pela oportunidade de aprendizado e parcerias que tive ao longo desse estudo.

A Luciana Lima, uma amiga presente, apoiando nos momentos finais para a finalização desse estudo.

As minhas alunas, fonte de inspiração para meus estudos com a finalidade de melhor atendê-las.

Aos atletas nadadores do Clube União e seus técnicos, pela possibilidade da realização desse estudo.

Aos colegas de natação Kiko Torelly, Ken Sorgi, Marcos Naconecy, Guilherme Mazzini, Clara Manfroi, Fernando Fantoni e Carlos Doval, que, além de amigos, aceitaram serem minhas “cobaias” no início do meu aprendizado dos protocolos desse estudo.

E finalizo agradecendo ao Ambulatório de Cardiopatia Isquêmica, que fez parte dessa trajetória. Obrigada por todo incentivo, aprendizado, carinho e pelo trabalho em equipe que sempre desenvolvemos.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS.....	5
RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 Metaborreflexo inspiratório	14
2.2 Padrão Respiratório	16
2.2.1 <i>Diafragma</i>	15
2.3 Treinamento Muscular Inspiratório	17
4. OBJETIVOS.....	28
5. ARTIGOS.....	29
5.1 Artigo 1	29
Parâmetros de função pulmonar, musculatura inspiratória diafragmática e metaboreflexo inspiratório em nadadores de elite	29
5.2 Artigo 2	55
Efeito do treinamento muscular inspiratório na melhora do desempenho em nadadores de elite	55
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
ANEXO	78
Formação complementar durante o Doutorado	78

LISTA DE ABREVIATURAS

CAG - Cirurgia Abdominal Gástrica

CVF - Capacidade Vital Observada

DAC - Doença Arterial Coronariana

DM - Diabetes Mellitus

DPOC - Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica

FC - Frequência Cardíaca

FR - Frequência Respiratória

HCPA - Hospital de Clínicas de Porto Alegre

ICC - Insuficiência Cardíaca Congestiva

PAD - Pressão Arterial Diastólica

PAM - Pressão Arterial Média

PAS - Pressão Arterial Sistólica

PE_{máx} - Pressão Expiratória Máxima

PI_{máx} - Pressão Inspiratória Máxima

RVP - Resistência Vascular da Panturrilha

SPO₂ - Saturação de Oxigênio

Ti/T_{tot} - Ciclo de Trabalho

TMI - Treinamento Muscular Inspiratório

VEF_{1s} - Volume expirado forçado no primeiro segundo

VC - Volume de Ar Corrente

VO₂máx – Consumo máximo de oxigênio

RESUMO

Introdução: A respiração é um importante processo fisiológico, onde a musculatura inspiratória tem papel fundamental no desempenho de atletas nadadores. O aumento da resistência e força muscular inspiratória, adquiridos a partir do treinamento, tem sido associado a um melhor desempenho em diversas modalidades esportivas. Sendo assim, os objetivos deste estudo foram: descrever parâmetros de função pulmonar, teste de desempenho, espessura do diafragma e metaborreflexo muscular, suas correlações entre os nadadores de elite e suas especificidades nas modalidades de natação e analisar o efeito de um programa de doze semanas de treinamento muscular inspiratório(TMI), avaliando parâmetros de função pulmonar, espessura do diafragma e teste de desempenho em nadadores de elite.

Desenho dos Estudos: Estudo transversal e quase experimento

Métodos: 24 nadadores de elite, 16 homens e 8 mulheres, com idade (18 ± 2 anos) entre velocistas, meio-fundistas e fundistas foram selecionados para mensuração de pressões inspiratórias, espessura de diafragma por ultrassonografia, testes de funções pulmonares, metaborreflexo inspiratório e número de respirações durante o teste. Os dados foram comparados entre os diferentes tipos de nadadores e suas diferentes provas natatórias. Para avaliar o efeito do Treinamento muscular inspiratório(TMI), foram recrutados 12 nadadores de elite. Os nadadores realizaram o TMI durante 12 semanas e foram repetidos os testes após TMI, a fim de averiguar as possíveis diminuição nos tempos nas provas de 50m e 200m, na espessura do diafragma e nos testes de função pulmonar.

Resultados: O metaboreflexo muscular inspiratório não foi ativado durante 60% da pressão inspiratória máxima nos atletas. Os nadadores apresentaram força do volume expirado no 1s (VEF1s) e capacidade vital observada (CVF) superiores às estimativas de indivíduos não treinados; e as pressões respiratórias máximas (PI e PE) se correlacionaram com VEF1s e CVF destes atletas. Além disso, foi observado que, no teste de 50 metros, o menor número de respirações estava associado a uma maior pressão inspiratória, maior CVF e uma maior espessura diafragmática na posição deitada. Os velocistas apresentavam uma capacidade vital e a espessura do diafragma maior quando comparados a meio-fundistas e fundistas. Diferenças significativas foram observadas na avaliação após o TMI: aumento da capacidade funcional ($p \leq 0,005$); aumento do VEF1s ($p = 0,019$); e aumento do volume corrente ($p \leq 0,004$). O TMI não alterou significativamente a espessura do diafragma. Também foi observada diminuição no número de respirações durante o teste de 50m após o TMI ($p \leq 0,002$). Já na avaliação do tempo de prova, não foram observadas diferenças após o treinamento.

Conclusão: O TMI parece melhorar parâmetros de função pulmonar, o que foi evidenciado pelo menor número de respirações durante o teste de desempenho na prova de 50m de atletas submetidos ao TMI. A fadiga inspiratória (metaborreflexo inspiratório) não foi ativada durante 60% da carga da PIMáx dos nadadores. Nossos achados sugerem que o diafragma e os músculos inspiratórios acessórios podem ser relacionados com a melhora de desempenho de nadadores. Portanto, o treinamento muscular inspiratório poderia ser um recurso ergogênico útil a ser usado em modalidades esportivas, como parte importante a ser acrescentada no treinamento de atletas de elite em períodos pré-competitivos.

Palavras-chave: Sistema ventilatório, avaliação metaborreflexa, exercício, treinamento muscular inspiratório, natação.

ABSTRACT

Introduction: Breathing is an important physiological process, where the inspiratory muscles has a fundamental role in the performance of swimmers. Increased endurance and muscle strength, acquired from training, has been associated with better performance in several sports. Thus, the objectives of this study were to describe pulmonary function parameters, performance testing, and thickness of the diaphragm muscle metaboreflex, their correlations among elite swimmers and their specificities in terms of swimming and analyze the effect of a twelve-week program inspiratory muscle training (IMT) evaluated pulmonary function parameters, thickness of the diaphragm and test performance in elite swimmers.

Study Design: Cross-sectional study and experiment almost.

Methods: 24 elite swimmers, 16 men and 8 women, aged (18 ± 2 years), between sprinters and distance runners, and runners were selected for measurement of airway pressures, diaphragm thickness by ultrasound, pulmonary function tests, inspiratory metaboreflex and number of breaths during the test. Data were compared between the different types of swimming, and different their swim tests. To evaluate the effect of inspiratory muscle training (IMT), 12 elite swimmers were recruited. The swimmers performed IMT for 12 weeks and the tests were repeated after TMI, to ascertain the possible decrease in time in the 50m and 200m evidence, the thickness of the diaphragm and lung function tests.

Results: The inspiratory muscle metaboreflex was not activated for 60% of maximal inspiratory pressure in athletes. The swimmers showed strength of expiratory volume in 1s (VEF1s) and higher observed vital capacity (FVC) estimates of untrained subjects; and maximal respiratory pressures (PI and PE)

correlated with FVC and VEF1s these athletes. Furthermore, it was observed that in the 50-meter test, the minimum number of breaths were associated with a higher inspiratory pressure and higher FVC increased diaphragm thickness in the lying position. The sprinters had a vital capacity and increased diaphragm thickness as compared to the middle and bottom runners. Significant differences were observed in the evaluation after the TMI: increased functional capacity ($p \leq 0,005$); VEF1s increased ($p = 0.019$); and increased tidal volume ($p \leq 0,004$). The IMT did not significantly alter the thickness of the diaphragm. Was also observed decrease in the number of breaths during the test 50m after IMT ($p \leq 0.002$). Already at the time of trial, no differences were observed after training.

Conclusion: The TMI seems to improve pulmonary function parameters, which was evidenced by the lower number of breaths during the performance test in the test of 50m of athletes submitted to TMI. The inspiratory fatigue (inspiratory metaboreflex) was not activated for 60% of the burden of MIP swimmers. Our findings suggest that diaphragm and accessory inspiratory muscles may be related to the improved performance of swimmers. Therefore, inspiratory muscle training, could be a useful ergogenic aid to be used in sports as important to be added in elite athletes training at periods of pre-competitive.

Keywords: Ventilatory system, metaboreflex evaluation, exercise, inspiratory muscle training, swimming.

1. INTRODUÇÃO

Para aperfeiçoar o desempenho atlético, várias técnicas são utilizadas com finalidade de adquirir dados e registros que apontem possíveis discrepâncias no equilíbrio biomecânico e fisiológico de atletas de elite. Neste contexto, o treinamento visando especificidade contribui para o aperfeiçoamento das habilidades do atleta, como parte das estratégias que buscam a melhora da *performance*. Dois aspectos fundamentais e de grande importância na natação, porém, pouco citados no contexto do treinamento de natação, são a força e a fadiga muscular inspiratória. A natação requer capacidade e padrões respiratórios em volumes mais elevados que no exercício no solo¹. O treinamento de natação favorece o desenvolvimento e a capacidade muscular expiratória, por impor uma resistência extra. Quanto maior a velocidade de deslocamento, maior será a resistência da água, e isto pode influenciar diretamente no condicionamento da musculatura respiratória.

Uma das formas de melhorar o desempenho dos atletas pode ser o treinamento muscular inspiratório (TMI). Estudos mostram o treinamento da musculatura respiratória sendo realizado principalmente em corredores e ciclistas². No treinamento de natação, existem evidências quanto à melhora do rendimento nas velocidades de 100 e 200 metros³.

A fadiga muscular inspiratória é conhecida em atletas de rendimento e praticantes de todos os esportes. Evidências comprovam que a fadiga da

musculatura inspiratória resulta em ativação das fibras aferentes tipo IV, aumentando a hiperatividade simpática, com conseqüente aumento da resistência vascular periférica em áreas de musculatura ativa e inativa ⁴⁻⁶. Dempsey^{5,6} comprovou que, na sinalização dessa fadiga, o diafragma aumenta o número de metabólitos, acionando a descarga de aferente do frênico, aumentando a vasoconstrição, por conseguinte diminuindo o transporte de oxigênio e gerando assim uma fadiga inspiratória e motora. Esse fenômeno intitula-se metaborreflexo inspiratório^{5,6}.

Portanto, a fadiga da musculatura inspiratória pode gerar vasoconstrição periférica e, conseqüentemente, reduzir o fluxo sanguíneo para a musculatura esquelética, com importantes conseqüências para o desempenho físico⁷.

A diminuição do fluxo sanguíneo periférico não é a causa, mas a conseqüência da falta de oxigênio na musculatura diafragmática. Ou seja, para solucionar essa ausência, existe uma ativação das vias aferentes tipo IV, emitindo um sinal ao cérebro, que deverá ser suprida através do fluxo sanguíneo dos membros inferiores⁸. Assim a natação competitiva é um desafio para o sistema respiratório⁷.

A exemplo de todos os músculos esqueléticos, os músculos respiratórios podem melhorar seu desempenho em resposta a um treinamento. Entretanto, podem fadigar frente a certas condições de sobrecarga para o sistema respiratório⁹. Dessa forma, o treinamento muscular inspiratório pode ser uma ferramenta importante a ser acrescentada no treinamento de alto rendimento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Metaborreflexo inspiratório

O metaborreflexo inspiratório foi descrito pelo prof. Jerome Dempsey em vários estudos^{8,18-21}, os quais demonstraram que o exercício físico (intensidade >85% do consumo máximo de oxigênio [$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$]) induz fadiga muscular diafragmática²² até mesmo em atletas de elite²³. Posteriormente, observou-se que o aumento do trabalho muscular inspiratório aumenta os níveis de noradrenalina, reduzindo o fluxo sanguíneo da perna durante exercício máximo em bicicleta¹⁸. Esses achados originaram a hipótese da existência de um “metaborreflexo inspiratório” ativado durante o exercício e a redistribuição do fluxo sanguíneo dos músculos periféricos ativos para o diafragma, correspondendo a mais de 14 -16% do débito cardíaco¹⁸. Sendo assim, a indução de fadiga muscular inspiratória através do esforço inspiratório intenso (resistência inspiratória = 60% da pressão inspiratória máxima [$PI_{m\acute{a}x}$]) e sustentado (razão entre o tempo inspiratório e duração total do ciclo respiratório [TI/T_{tot}] = 0,70) aumentou a atividade simpática muscular e reduziu o fluxo sanguíneo da perna inativa^{19-21,24}. (Figura 1)

A fadiga muscular inspiratória pode limitar o desempenho físico^{3,4,6,7,25-28}, quando o exercício ultrapassa 85% do $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, que resulta na ativação do metaborreflexo^{5,6,24}, reduzindo o fluxo sanguíneo para os músculos esqueléticos ativos e exacerbando a fadiga dos músculos periféricos^{7,18}.

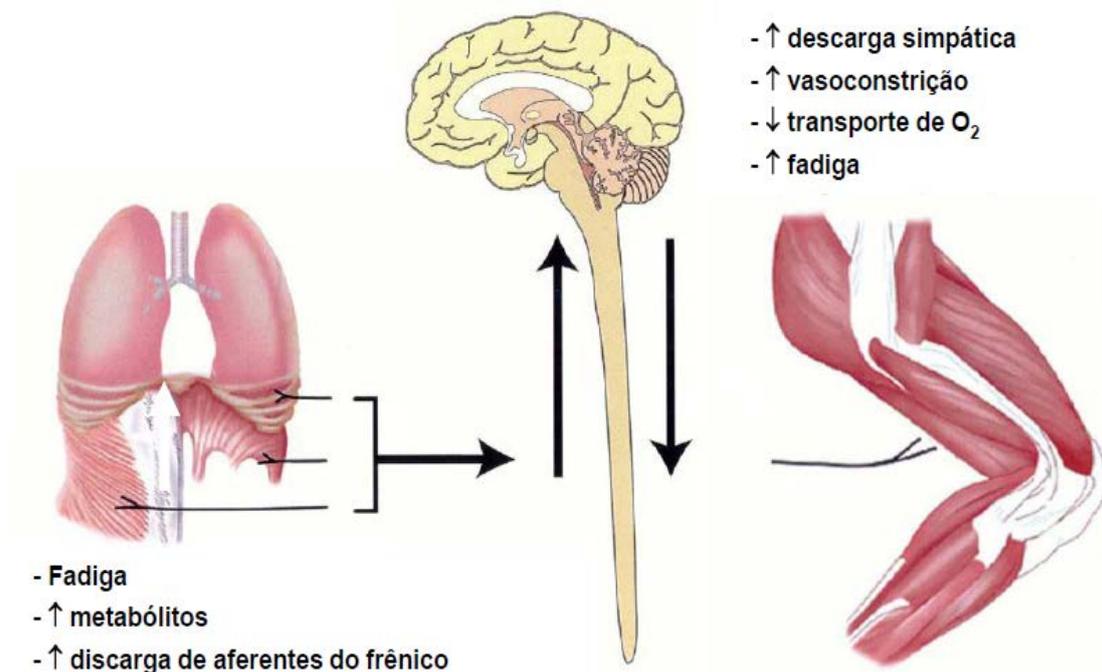


Figura 1. Ilustração esquemática do metaborreflexo inspiratório. O metaborreflexo inspiratório é ativado durante trabalho muscular inspiratório fatigante pelo acúmulo de metabólitos que aumenta a atividade de aferentes do frênico, resultando no aumento da atividade simpática e vasoconstrição periférica, exacerbando a fadiga dos músculos esqueléticos ativos. Adaptado de Dempsey et al. *Respir Physiol & Neurobiol.* 2006;151: 242-50.

Observa-se na Figura 1 que os músculos respiratórios estão associados à fadiga inspiratória e à vasoconstrição periférica, aumentando a fadiga dos músculos. Portanto, é lógico inferir que intervenções com TMI possam colaborar na melhora da força muscular respiratória em indivíduos normais, tanto sedentários quanto atletas, e atenuar o efeito do metaborreflexo inspiratório²⁸⁻³⁰.

2.2 Padrão Respiratório

Os padrões ventilatórios podem ser divididos em diafragmático e torácico. Na respiração diafragmática, durante a inspiração, ocorre a contração do músculo diafragmático e o relaxamento da musculatura abdominal. Na respiração torácica, os músculos abdominais contraem durante a inspiração, o que limita a capacidade espacial ventilatória do indivíduo. Para compensar, músculos acessórios têm uma maior participação sobre o movimento inspiratório.¹¹

2.2.1 Diafragma

O diafragma é um músculo estriado esquelético extenso que separa a cavidade torácica da abdominal. É formado por duas cúpulas, direita e esquerda, que são divididas em três partes, esternal, costal e crural (lombar), inseridas no centro tendíneo⁹. É considerado o principal músculo inspiratório. Em estado de relaxamento, possui um formato de cúpula, durante a inspiração, se contraí e, ao distender-se, aumenta a capacidade do tórax. Assim, o ar entra nos pulmões para preencher o espaço vazio. No momento em que o diafragma relaxa, o ar acumulado dentro dos pulmões é expulso^{9,11}.

A posição do diafragma varia com a posição do indivíduo¹². Cohn, utilizando o ultra-som, demonstrou que as dimensões do diafragma e do tórax variam sistematicamente com a estatura do indivíduo¹².

O diafragma é innervado pelo nervo frênico, e cada hemicúpula tem sua inervação própria e independente¹³. Durante a respiração normal, o diafragma movimenta-se no sentido caudal. Para cálculo da amplitude do movimento do diafragma, é utilizado o deslocamento craniocaudal desse músculo entre o final da inspiração e expiração. O diafragma inicialmente foi estudado em cadáveres¹⁴.

Com o surgimento do exame ecográfico, as partes mais observadas são a costal, crural e o centro tendíneo. A parte esternal é raramente visualizada.

Segundo Wait¹⁵ e cols. e Ueki¹⁴ e cols., observou-se que o ultrassom permite uma avaliação direta da espessura do diafragma. Estes autores também constataram durante as avaliações realizadas em seus estudos que existia uma correlação positiva entre volume pulmonar e espessura do diafragma em indivíduos normais. No estudo de Cohn e cols.¹², realizado em nove sujeitos saudáveis, foram medidos a espessura do diafragma pelo ultrassom e o volume pulmonar pelo espirômetro. Esses autores observaram que a espessura do diafragma aumentou de acordo com o aumento da capacidade vital. Deste modo, o diafragma apresenta um papel importante para a realização de exercícios, como também para uma melhora dessa prática, através do treinamento da musculatura diafragmática^{4,7,14,16,17}.

2.3 Treinamento Muscular Inspiratório

O sistema respiratório assume um papel importante, não só na reabilitação pulmonar, como também na melhora de desempenho em atletas em várias modalidades.

Com o aumento das evidências sobre os benefícios do treinamento muscular inspiratório, diversas populações, tanto saudáveis como com patologias respiratórias, vêm obtendo resultados com a utilização do treinamento³¹.

As limitações do sistema respiratório sobre o desempenho do exercício têm levado ao uso de treinamento muscular inspiratório para melhorar a capacidade pulmonar e o desempenho no exercício. O treinamento dos músculos

inspiratórios melhora o desempenho de muitos atletas em diferentes esportes^{2,3,32-34}.

A fadiga do músculo inspiratório, além de diminuir a ventilação, aumenta a atividade simpática e diminui o fluxo sanguíneo nos músculos periféricos^{21,35}. A dispneia pode limitar a participação de atletas em exercícios de alto desempenho, principalmente em esportes competitivos como a natação^{7,31,36}. Essas limitações são: redução no desempenho, devido à alta frequência respiratória, necessidade de expansão da parede torácica em função do aumento da pressão resultante da submersão na água, aumento da carga de resistência das vias aéreas devido ao alto fluxo na expiração e inspiração, aumento da frequência da contração muscular respiratória e aumento do volume corrente^{13,37}. Os músculos respiratórios são extremamente utilizados durante o nado, assim como o músculo abdominal usado para manter o corpo estável durante o nado³⁸.

O treinamento muscular inspiratório também é uma forma de exercício utilizado na reabilitação de patologias, tais como Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC), Insuficiência Cardíaca Congestiva (ICC), Doença Arterial Coronariana (DAC), Cirurgia Abdominal Gástrica (CAG)^{29,30,39-47}.

O exercício muscular inspiratório, quando realizado de forma aguda, demonstrou benefícios na redução dos valores pressóricos e na modulação simpática autonômica⁹. O TMI ameniza o “roubo” de fluxo sanguíneo na perna durante a indução do metaborreflexo em pacientes com ICC e beneficia portadores de fraqueza muscular inspiratória^{29,30}. O TMI tem sido utilizado na prevenção de complicações respiratórias em cirurgias bariátricas^{45,47}. Estudos mostraram que as atelectasias após a CAG seriam uma das complicações para

esses pacientes, portanto o TMI também pode ser utilizado como uma forma de prevenção e recuperação de pacientes de forma mais rápida^{45,47,48}.

O estudo de Muhyeddeen (2012) comprova paralisação do diafragma em razão da lesão no nervo frênico após cirurgia cardíaca⁴⁹. West e colaboradores, avaliando cadeirantes paraolímpicos de rugby, demonstraram que o TMI apresentou uma melhora de 8% para 12% na espessura do diafragma, uma melhora nos parâmetros de função pulmonar e aumento de VO_2 de 22% nos jogadores que realizaram o TMI⁵⁰. Em seis indivíduos com DM tipo 2 que utilizaram a monitorização contínua da glicose durante um protocolo com intervenções, ocorreu uma redução de 40% nos níveis de glicose após exercício da musculatura inspiratória com carga de 60% da pressão inspiratória máxima ($PI_{máx}$)⁴⁰. Além disso, esses mesmos indivíduos foram comparados a indivíduos com DM tipo 2 que realizaram duas modalidades diferentes de exercício agudo (aeróbico e combinado) e foi observada uma redução nos níveis glicêmicos de 24% após o exercício muscular inspiratório, de 25% depois do exercício aeróbico e de 11% após o exercício combinado⁴⁰.

O TMI tem sido considerado importante coadjuvante na redução de doenças relacionadas à fadiga muscular respiratória. Portanto, uma redução ou atraso do metaborreflexo inspiratório pode ser benéfico, não somente para reduzir riscos para a saúde, como para melhorar o desempenho do exercício em atletas competidores^{51,52}.

Quando se compara indivíduos treinados e não treinados, observa-se que os indivíduos que utilizaram o TMI obtêm uma melhor performance com uma menor fadiga.

Numa revisão realizada por Illi (2012) e colaboradores, foi investigada a diferença no desenvolvimento de fadiga muscular inspiratória sobre a aptidão dos indivíduos. Estes autores observaram que a fadiga muscular inspiratória depende do nível de treinamento dos indivíduos em comparação aos sedentários durante um exercício físico exaustivo, indicando que os indivíduos menos aptos são mais beneficiados pelo TMI que atletas altamente treinados⁵¹.

Em modalidades como o remo, por exemplo, os músculos respiratórios precisam combinar o movimento respiratório de expansão e contração com o movimento de braços e remos⁵³⁻⁵⁵. Estudos demonstram que, na corrida, a pressão intra-abdominal está aumentada, o que se atribui a uma função de proteção da coluna vertebral pelos músculos abdominais^{31,56-59}. Além disso, o diafragma tem mostrado ser ativado para aumentar a pressão intra-abdominal durante os movimentos dos membros superiores durante a corrida^{58,59}. Assim, os músculos respiratórios do tronco exercem tarefas posturais para execução do movimento na corrida, no remo e na natação. No estudo de Moriyama(2014) e colaboradores, mediu-se a pressão intra-abdominal e a PI Max, e constatou-se que, durante a contração do diafragma ao longo do nado crawl, ocorreu um aumento de 9,2-13,7% na espessura do diafragma. Uma hipótese levantada por este estudo é que a aceleração dos membros superiores na velocidade do nado provoca uma contração abdominal aumentando a força dessa musculatura para manter a postura no nado³⁸.

O trabalho respiratório na natação ou no mergulho é aumentado devido à pressão hidrostática contra o tórax que se expande causando um aumento do volume do pulmão na fase final expiratória que, por sua vez, leva ao comprimento

abaixo do ideal para o desenvolvimento de tensão dos músculos respiratórios

52,60,61 .

Portanto, os indivíduos que realizam modalidades de exercício que exigem um trabalho adicional dos músculos respiratórios podem beneficiar-se com o TMI.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brown S, Kilding AE. Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: the effect of race distance. *J Strength Cond Res.* May 2011;25(5):1204-1209.
2. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci.* Jul 2002;20(7):547-562.
3. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol.* Feb 2010;108(3):505-511.
4. Dempsey JA, Amann M, Romer LM, Miller JD. Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* Mar 2008;40(3):457-461.
5. Romer LM, Lovering AT, Haverkamp HC, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J Physiol.* Mar 2006;571(Pt 2):425-439.
6. Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol.* Apr 2006;151(2-3):242-250.
7. Romer LM, Dempsey JA. Effects of exercise-induced arterial hypoxaemia on limb muscle fatigue and performance. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* Apr 2006;33(4):391-394.
8. Amann M, Romer LM, Pegelow DF, Jacques AJ, Hess CJ, Dempsey JA. Effects of arterial oxygen content on peripheral locomotor muscle fatigue. *J Appl Physiol (1985).* Jul 2006;101(1):119-127.
9. Rodrigues-machado MdG. *Bases da fisioterapia respiratória:terapia intensiva e reabilitação.* Rio de Janeiro2007.
10. Crapo RO, Morris AH, GR. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. In: Dis R, ed. *Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations.*: 123; 1981: 659-664.

11. Silverthorn DU. Fisiologia Humana : uma abordagem integrada. In: Artmed, ed. 5° edição ed. Porto Alegre: Ivãnia Beatrice Mânica da cruz et. al.; 2010.
12. Cohn D, Benditt JO, Eveloff S, McCool FD. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol* (1985). Jul 1997;83(1):291-296.
13. Hill JM. Discharge of group IV phrenic afferent fibers increases during diaphragmatic fatigue. *Brain Research*. 2000;856:240-244.
14. Ueki J, De Bruin PF, Pride NB. In vivo assessment of diaphragm contraction by ultrasound in normal subjects. *Thorax*. Nov 1995;50(11):1157-1161.
15. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol* (1985). Oct 1989;67(4):1560-1568.
16. Amann M, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JA. Inspiratory muscle work in acute hypoxia influences locomotor muscle fatigue and exercise performance of healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. Nov 2007;293(5):R2036-2045.
17. Miller JD, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JA. Skeletal muscle pump versus respiratory muscle pump: modulation of venous return from the locomotor limb in humans. *J Physiol*. Mar 2005;563(Pt 3):925-943.
18. Harms CA BM, McClaran SR, Pegelow DF, Nিকেle GA, Nelson WB, Dempsey JA. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol*. 1997;82:1573-1583.
19. Sheel AW DP, Pegelow DF, Dempsey JA. Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2002;282:H1732-H1738.
20. Sheel AW DP, Morgan BJ, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J Physiol*. 2001;537:277-289.
21. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol*. Nov 2007;584(Pt 3):1019-1028.
22. Johnson BD BM, Suman OE, Dempsey JA. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol*. 1993;460:385-405.

23. Babcock MA PD, Johnson BD, Dempsey JA. Aerobic fitness effects on exercise-induced low-frequency diaphragm fatigue. *J Appl Physiol.* 1996;81: 2156-2164.
24. St Croix CM MB, Wetter TJ, Dempsey JA. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *J Physiol.* 2000;529: 493-504.
25. Dempsey JA, McKenzie DC, Haverkamp HC, Eldridge MW. Update in the understanding of respiratory limitations to exercise performance in fit, active adults. *Chest.* Sep 2008;134(3):613-622.
26. Romer LM, Haverkamp HC, Lovering AT, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* Feb 2006;290(2):R365-375.
27. McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol.* Nov 2006;577(Pt 1):445-457.
28. Callegaro CC, Ribeiro JP, Tan CO, Taylor JA. Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. *Respir Physiol Neurobiol.* Jun 2011;177(1):24-29.
29. Chiappa GR, Roseguini BT, Vieira PJ, et al. Inspiratory muscle training improves blood flow to resting and exercising limbs in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* Apr 2008;51(17):1663-1671.
30. Dall'Ago P, Chiappa GR, 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.* Feb 2006;47(4):757-763.
31. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, et al. The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review. *Respir Med.* Mar 2013;107(3):331-346.
32. Aaron E A SK, Johnson BD et. al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. Vol 72: *J Appl Physiol*; May , 1992:1818-1825.
33. McConnell AK, Romer LM, Volianitis S, Donovan KJ. Re: Evaluation of an inspiratory muscle trainer in healthy humans (*Respir Med* 2001; 95: 526-531). *Respir Med.* Feb 2002;96(2):129-133.

34. Jakovljevic DG, McConnell AK. Influence of different breathing frequencies on the severity of inspiratory muscle fatigue induced by high-intensity front crawl swimming. *J Strength Cond Res.* Jul 2009;23(4):1169-1174.
35. MacNutt MJ, Guenette JA, Witt JD, Yuan R, Mayo JR, McKenzie DC. Intense hypoxic cycle exercise does not alter lung density in competitive male cyclists. *Eur J Appl Physiol.* Apr 2007;99(6):623-631.
36. Romer LM, McConnell AK. Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* Feb 2003;35(2):237-244.
37. CASTRO FAS, LOSS JF. *Forças no meio Líquido.* Vol volume 1. São Paulo: In: Paula Hentschel Lobo da Costa. (Org.); 2010.
38. Moriyama S, Ogita F, Huang Z, et al. Intra-abdominal pressure during swimming. *Int J Sports Med.* Feb 2014;35(2):159-163.
39. Ribeiro JP, Chiappa GR, Callegaro CC. The contribution of inspiratory muscles function to exercise limitation in heart failure: pathophysiological mechanisms. *Rev Bras Fisioter.* 2012 Jul-Aug 2012;16(4):261-267.
40. Corrêa AP, Ribeiro JP, Balzan FM, Mundstock L, Ferlin EL, Moraes RS. Inspiratory muscle training in type 2 diabetes with inspiratory muscle weakness. *Med Sci Sports Exerc.* Jul 2011;43(7):1135-1141.
41. Stein R, Maia CP, Silveira AD, Chiappa GR, Myers J, Ribeiro JP. Inspiratory muscle strength as a determinant of functional capacity early after coronary artery bypass graft surgery. *Arch Phys Med Rehabil.* Oct 2009;90(10):1685-1691.
42. Delgado PM LA. Complicações respiratórias pós-operatórias em cirurgia bariátrica: revisão da literatura. *Fisioterapia e pesquisa.* Vol 4. São Paulo: 18; 2011:388-392
43. Coelho N. A atuação da fisioterapia respiratória no pós-operatório de cirurgia bariátrica. *Revista Brasileira de Fisioterapia.* Vol 1: 14; 2010:172.
44. Chlif M, Keochkerian D, Feki Y, Vaidie A, Choquet D, Ahmaidi S. Inspiratory muscle activity during incremental exercise in obese men. *Int J Obes (Lond).* Sep 2007;31(9):1456-1463.
45. Barbalho-Moulim MC, Miguel GP, Forti EM, Campos FoA, Costa D. Effects of preoperative inspiratory muscle training in obese women undergoing open bariatric surgery: respiratory muscle strength, lung volumes, and diaphragmatic excursion. *Clinics (Sao Paulo).* 2011;66(10):1721-1727.

46. Costa DEa. Estudo dos volumes pulmonares e da mobilidade toracoabdominal de portadoras de obesidade mórbida, submetidas à cirurgia bariátrica, tratadas com duas diferentes técnicas de fisioterapia. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. Vol 4: 13; 2009:294-300.
47. Forti E, Ike D, Barbalho-Moulim M, Rasera I, Costa D. Effects of chest physiotherapy on the respiratory function of postoperative gastroplasty patients. *Clinics (Sao Paulo)*. 2009;64(7):683-689.
48. Barbalho-Moulim MC, Miguel GP, Forti EM, Campos FoA, Peixoto-Souza FS, Costa D. Pulmonary Function after Weight Loss in Obese Women Undergoing Roux-en-Y Gastric Bypass: One-Year Followup. *ISRN Obes*. 2013;2013:796454.
49. Muhyeddeen K, Forouzandeh F. Diaphragmatic paralysis after cardiac surgery. *J Am Coll Cardiol*. May 2012;59(18):e35.
50. West CR, Taylor BJ, Campbell IG, Romer LM. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in Paralympic athletes with cervical spinal cord injury. *Scand J Med Sci Sports*. Mar 2013.
51. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. Aug 2012;42(8):707-724.
52. Illi SK, Hostettler S, Aliverti A, Spengler CM. Compartmental chest wall volume changes during volitional hyperpnoea with constant tidal volume in healthy individuals. *Respir Physiol Neurobiol*. Jan 2013;185(2):410-415.
53. Riganas CS, Vrabas IS, Christoulas K, Mandroukas K. Specific inspiratory muscle training does not improve performance or VO₂max levels in well trained rowers. *J Sports Med Phys Fitness*. Sep 2008;48(3):285-292.
54. Volianitis S, Secher NH. Rowing, the ultimate challenge to the human body - implications for physiological variables. *Clin Physiol Funct Imaging*. Jul 2009;29(4):241-244.
55. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*. May 2001;33(5):803-809.
56. Grillner S. Neurobiological bases of rhythmic motor acts in vertebrates. *Science*. Apr 1985;228(4696):143-149.

57. Janssens L, McConnell AK, Pijnenburg M, et al. Inspiratory Muscle Training Affects Proprioceptive Use and Low Back Pain. *Med Sci Sports Exerc.* May 2014.
58. Janssens L, Pijnenburg M, Claeys K, McConnell AK, Troosters T, Brumagne S. Postural strategy and back muscle oxygenation during inspiratory muscle loading. *Med Sci Sports Exerc.* Jul 2013;45(7):1355-1362.
59. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, Hermans G, Troosters T, Gayan-Ramirez G. Greater diaphragm fatigability in individuals with recurrent low back pain. *Respir Physiol Neurobiol.* Aug 2013;188(2):119-123.
60. Pendergast DR, Lundgren CE. The underwater environment: cardiopulmonary, thermal, and energetic demands. *J Appl Physiol (1985).* Jan 2009;106(1):276-283.
61. Hostettler S, Illi SK, Mohler E, Aliverti A, Spengler CM. Chest wall volume changes during inspiratory loaded breathing. *Respir Physiol Neurobiol.* Jan 2011;175(1):130-139.

4. OBJETIVOS

Os objetivos listados abaixo estão divididos conforme os estudos que serão apresentados posteriormente.

1) Descrever parâmetros de função pulmonar, teste de desempenho, espessura do diafragma e metaborreflexo muscular inspiratório e suas correlações entre nadadores de elite, além de suas especificidades nas modalidades de natação.

2) Analisar o efeito de um programa de 12 semanas de TMI, avaliando parâmetros de função pulmonar, espessura do diafragma e teste de desempenho em nadadores de elite.

5. ARTIGOS

5.1 Artigo 1

Parâmetros de função pulmonar, musculatura inspiratória diafragmática e metaborreflexo inspiratório em nadadores de elite

Christiane Carvalho Faria^a, Roberto Pacheco da Silva^a, Christiano José Klaser^b,
Ângela Maria Tavares^c, Maria Angela Fontoura Moreira^d, Jorge Pinto Ribeiro^{e,f,†},
Carisi Anne Polanczyk^{a,f,g}

^a Programa de Pós-graduação em Ciências Cardiovasculares, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^b Grêmio Náutico União, Porto Alegre, Brasil

^c Programa de Pós-graduação em Ciências Fisiológicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^d Serviço de Pneumologia, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil

^e Laboratório de Fisiopatologia do Exercício, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil

^f Departamento de Medicina, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^g Serviço de Cardiologia, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil

† Falecido. Dr. Jorge Pinto Ribeiro faleceu em 23 de agosto de 2012. Apesar de ter sido totalmente envolvido na concepção e desenho do estudo, a versão final deste protocolo é a responsabilidade dos outros autores.

Autor para Correspondência: Christiane Carvalho Faria

Christiane Carvalho Faria

Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Rua Ramiro Barcelos 2350, sala 21507, Cep 90035-007, Porto Alegre, RS, Brazil Tel/ fax: 55-51 33596325.

Email: ccarvalhofaria@gmail.com

Resumo

Introdução: A respiração é o mais importante dos processos fisiológicos, principalmente na natação, onde a musculatura inspiratória tem papel fundamental no desempenho de atletas nadadores. O objetivo deste estudo é descrever parâmetros de função pulmonar, teste de desempenho e espessura do diafragma; metaborreflexo inspiratório e suas correlações entre nadadores de elite em diferentes modalidades de provas.

Desenho do estudo: Estudo transversal

Métodos: Vinte e quatro nadadores de elite (18 ± 2 anos) entre velocistas, meio-fundistas e fundistas foram selecionados para mensuração de pressões inspiratórias, espessura de diafragma por ultrassonografia, testes de funções pulmonares e metaborreflexo inspiratório. Os dados foram comparados entre os diferentes tipos de nadadores e suas diferentes provas natatórias.

Resultados: O metaborreflexo muscular inspiratório foi ativado durante 60% da pressão inspiratória máxima nos atletas. Os nadadores apresentam valores de VEF1 e CVF superiores às estimativas de indivíduos não treinados, e as pressões respiratórias máximas (PI e PE) se correlacionam de forma positiva com VEF1 e CVF nestes atletas. Além disso, foi observado que, no teste de 50 metros, o menor número de respirações estava associado com uma maior pressão inspiratória, maior CVF e uma maior espessura diafragmática. Os velocistas possuem uma capacidade vital e a espessura do diafragma mais desenvolvida quando comparados à meio-fundo e fundistas.

Conclusão: O metaborreflexo muscular inspiratório foi ativado durante alta carga muscular inspiratória nos nadadores, bem como os dados sugerem que a

musculatura diafragmática está relacionada com potencial desempenho de nadadores e indicam que o treinamento muscular inspiratório poderia ser um recurso para a melhora do desempenho em nadadores.

Palavras-chave: músculos inspiratórios; natação; atletas; desempenho; metaborreflexo inspiratório, funções pulmonares; diafragma.

Abstract

Introduction: Although breathing is a key physiological process for sports as a whole, it plays an especially important role in swimming performance. The aim of this study was to describe pulmonary function, swimming performance and diaphragm thickness (as well as the correlations between these variables) in elite swimmers of different styles.

Study Design: Cross-sectional study

Methods: Twenty elite swimmers (18 ± 2 years) including sprinters, middle and long distance runners were recruited for the measurement of airway pressures, diaphragm thickness and lung function tests. Results were compared between swimmers of different styles.

Results: The mean FEV1 and FVC of swimmers were higher than those reported for the general population, and were positively correlated with maximal respiratory pressure (IP and EP). In a 50 m swim, a lower number of breaths was associated with higher inspiratory pressure, FVC and greater diaphragm thickness. Sprinters have higher FVC and greater diaphragm thickness than middle- and long-distance swimmers.

Conclusion: The inspiratory muscle metaboreflex can be activated by high inspiratory loads in elite swimmers. The present results suggested that diaphragm muscle development and inspiratory muscle training may both lead to improvements in swimming performance.

Keywords: inspiratory muscles; swimming; athletes, inspiratory muscle metaboreflex, pulmonary function; diaphragm.

Introdução

Nos esportes competitivos, técnicas para mensurar resultados e registros vêm sendo utilizadas objetivando uma melhor resposta nas competições. Uma estratégia para melhorar o desempenho dos atletas é o treinamento muscular inspiratório, que permite uma atenuação da fadiga muscular nas provas de performance¹⁻³, sendo realizado principalmente em corredores, ciclistas e remadores⁴⁻⁸. Dois estudos indicam que o treinamento muscular inspiratório atenua a musculatura respiratória metaboreflexo em indivíduos jovens e saudáveis^{9,10}.

De fato, as evidências sugerem que a natação é um esporte exigente para a musculatura inspiratória⁴. Na natação, existem evidências de que o treinamento muscular inspiratório melhora o rendimento nas distâncias de 100m e 200m¹¹⁻¹⁵.

Lomax e McConnell (2003) relataram que uma prova de 200m, em estilo *crawl*, correspondendo a 90-95% do ritmo de uma corrida, é suficiente para induzir a fadiga muscular inspiratória em menos de 2,7 minutos¹³.

Durante o treinamento de natação, os músculos acessórios respiratórios são progressivamente recrutados para partilhar a carga de trabalho e suprir a demanda ventilatória¹³. A musculatura diafragmática é composta por músculos estriados, mais resistentes à fadiga do que a estrutura dos músculos esqueléticos da periferia, e apresentam as seguintes características: maior resistência à fadiga, elevado fluxo sanguíneo, maior capacidade oxidativa e densidade capilar¹⁶.

O diafragma apresenta elevada capacidade aeróbica enzimática, múltiplas fontes de suprimento de sangue com uma única resistência às influências vasoconstritoras sobre o diâmetro vascular e, portanto, resistência à fadiga¹. Sendo assim, o metaboreflexo inspiratório, está mais atenuado em indivíduos

treinados, o que sugere que o exercício regular aeróbico auxilia na redução da vasoconstrição periférica sugerindo uma redução da fadiga inspiratória¹⁷.

Dentre as adaptações decorrentes do treinamento inspiratório em atletas, podemos destacar modificações das rotas metabólicas aeróbica e anaeróbica, utilizadas para dar sustentação ao desempenho em exercícios prolongados^{5,7}. As modificações nos níveis de lactato nas provas anaeróbicas tais como 50m e 100m, estariam associadas á fadiga muscular inspiratória⁵.

O aumento progressivo do exercício e a ativação dos músculos expiratórios reduz, ao final da expiração, o volume pulmonar poupando a função muscular inspiratória de duas maneiras: (a) o diafragma e outros músculos inspiratórios são alongados e operam perto do comprimento ideal para geração de força, (b) o volume corrente aumenta volumes de reserva inspiratório e expiratório, o que permite alterações no volume pulmonar¹⁶.

A musculatura inspiratória e expiratória é importante para todos os esportes. Todavia, na prática da natação, assume um papel de maior importância. A respiração durante a natação é diferente do exercício terrestre: a sincronização com as manobras respiratórias e a frequência respiratória com a braçada fazem com que o tempo entre a execução do movimento necessite de uma frequência mais rápida que no exercício fora da água. Entretanto, é pouco conhecido o efeito entre as modalidades natatórias nos parâmetros fisiológicos pulmonares e na espessura do diafragma^{13,18}.

O objetivo deste estudo é descrever parâmetros de função pulmonar, teste de desempenho, espessura do diafragma e metaboreflexo muscular inspiratória e suas correlações entre nadadores de elite, além de suas especificidades nas modalidades de natação.

Métodos

Participantes

Os participantes foram recrutados em um clube de nadadores na cidade de Porto Alegre, entre setembro de 2012 e julho 2013. Foram incluídos nadadores ativos, com idade entre 16 e 21 anos, de ambos os sexos. Deveriam nadar no mínimo 5km por dia e seis vezes por semana, em todas as modalidades, e pertencerem ao mesmo clube de natação.

Os critérios de exclusão foram: apresentarem qualquer problema cardiovascular ou ortopédico e não estarem dentro dos padrões de inclusão quanto à atividade esportiva acima relatada.

Os sujeitos incluídos no estudo foram convidados a comparecer no Hospital de Clínicas de Porto Alegre, para realização dos seguintes testes: manuvacuometria, espirometria e ecografia abdominal para medir a espessura do diafragma. O teste de performance de 50m e 200m e do número de respirações realizadas durante o teste foi realizado no próprio clube de treinamento e durante a rotina de treino para que os atletas não percebessem e pudessem influenciar no resultado da prova.

O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas de Porto Alegre sob o número 100568. Todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Os participantes menores de 18 anos tiveram autorização dos pais para a participação no estudo.

Manuvacuometria

A manuvacuometria foi utilizada para avaliação das pressões inspiratória (PI) e expiratória máximas (PE).¹⁹ Os testes foram realizados no Laboratório de Fisiopatologia do Exercício (Lafiex), no Centro de Pesquisa Clínica do Hospital de

Clínicas de Porto Alegre. Foi utilizado o aparelho digital MVD 500 V1.1 Microhard System, Globalmed, Porto Alegre, Brazil. Para avaliação, cada atleta ficava sentado em posição confortável, mãos sobre as pernas, nariz fechado com um clipe nasal e um bocal adequado acoplado ao Manuvacuômetro.

Com o bocal colocado sobre a língua e com a boca fechada, o atleta inspirava e expirava lentamente até três vezes, puxando e soltando o ar. Após as três inspirações e expirações, o atleta realizava a terceira expiração soltando todo o ar pela boca e, ao sinal dado pelo atleta, já previamente combinado, ele puxava uma vez com o máximo de força estimulado verbalmente. No bocal, existe um orifício que serve para a saída do ar. Para o teste, esse orifício foi tapado, forçando assim o participante a puxar com força, gerando um valor numérico, que indica a força inspiratória do diafragma, medida em cmH_2O . Foram realizadas seis mensurações e o valor máximo foi usado como padrão de força máxima do atleta¹⁹.

Metaboreflexo Inspiratório

Durante o protocolo de indução do metaboreflexo muscular inspiratório, os atletas respiravam de forma contínua em uma válvula de 2-vias (Warren E. Collins, Massachusetts), que era conectada ao *powerbreathe* contra uma resistência inspiratória linear pressórica baixa (2% da $P_{\text{máx}}$ - placebo) ou alta (60% da $P_{\text{máx}}$), utilizando um clipe nasal (PK Morgan, Ltd., Gillingham, Reino Unido), do início ao final do teste.

A sequência da utilização das cargas foi realizada de forma aleatória. Após as medidas basais, os atletas começaram a respirar contra a resistência inspiratória pré-definido de 60% da $P_{\text{máx}}$. Quando o indivíduo não conseguia

manter essa carga por três ciclos consecutivos, o teste era interrompido. Foi dado um intervalo de 15 minutos entre o teste das diferentes cargas e para o protocolo placebo.

Ao longo do protocolo, todos os indivíduos foram instruídos a manter uma frequência respiratória de 15 respirações por minuto e ciclo de respiração (TI/TtOT) de 0,7 ; através de um metrônomo que emitia um sinal auditivo (bipe) e visual (cor vermelha para inspiração e cor verde para expiração).

Durante todo o experimento, foram registradas, a cada minuto, diferentes medidas, dentre elas pressão arterial sistólica (PAS), diastólica (PAD) e média (PAM), frequência cardíaca (FC) (Dinamap, DASH 2000, General Electric, Bloomfield, CT, E.U.A), frequência respiratória (FR), e pela oximetria de pulso a saturação de oxigênio (SpO₂).

O fluxo arterial na panturrilha foi medido pela pletismografia de oclusão venosa (Hokanson, TL-400, Bellevue, EUA) a cada 10 segundos, no membro inferior não dominante, estando posicionado acima do nível cardíaco e a resistência vascular na panturrilha (RVP), foi calculado como PAM / RVP^{20} e foi expressa em “unidades”. A percepção subjetiva do esforço inspiratório foi determinado através da escala de Borg de 10 pontos que foi mostrado ao atleta a cada 1 minuto.

Espessura do Diafragma

A espessura do diafragma dos atletas foi mensurada com o aparelho de ultrassonografia B mode (EnVisor C, Philips, Bothell, Washington), com uma sonda de ultra-som de 12 MHz (L12-4, Philips). Para obtenção de imagem do diafragma na zona de oposição foi utilizado o corte vertical, que se situa contra lateral porção do tórax direito, com o método descrito por Wait et. Al³⁰. As

medidas foram obtidas no final da inspiração (IDT), sentado e deitado, e no final da expiração (EDT), sentado e deitado.

Espirometria

A espirometria, realizada em um espirômetro da marca Jaeger (Eric Jaeger, GmbH, Wuerzburg, Alemanha), foi utilizada para avaliar a função pulmonar dos indivíduos. Os testes foram realizados na Unidade de Fisiologia Pulmonar do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) por um técnico especializado na realização dos testes de avaliação pulmonar. Foram avaliadas a capacidade vital forçada (CVF) e o volume expiratório forçado em 1 segundo (VEF1s).

Utilizamos como valor de referência a tabela de Crapo, que foi baseada em uma amostra de indivíduos selecionados habitantes de grande altitude. Os valores dessa tabela se situam entre os maiores relatados²².

Teste de desempenho

Para avaliar o desempenho dos indivíduos, foram realizadas duas provas de 200m e 50m de natação no estilo *crawl*. Foi mensurado o tempo e número de respirações durante a metragem. Estes testes foram realizados no clube onde os atletas realizavam os treinos e foram executados durante a sequência do treino, sem aviso prévio. Todos os testes foram filmados. A piscina utilizada foi a de 25 metros com 2 metros de profundidade, e a temperatura média da água de 26 graus Celsius.

Análise Estatística

Foram realizadas análises descritivas representadas por média e desvio padrão. Para avaliar o comportamento do fluxo sanguíneo através do protocolo de metaborreflexo inspiratório, foi feita a comparação entre momentos (basal, 1min, 2 min e End), entre cargas (2% e 60%), e a interação momento*carga foi realizada pela análise de equações de estimativas generalizadas (GEE). Para comparar os grupos nas variáveis das funções pulmonares e espessura do diafragma foi utilizada a análise de variância de uma entrada (ANOVA). Para verificar a associação entre as variáveis de desempenho do teste de frequência nos 50m e 200m, as variáveis de funções pulmonares e a espessura do diafragma, foram usadas o teste de correlação de Spearman. O nível de significância estatístico considerado foi de 0,05. As análises foram realizadas no software SPSS, versão 18 (IBM Company®).

Resultados

Foram incluídos no estudo 24 atletas, 16 homens e 8 mulheres, com idade média de 18 ± 2 anos. As características dos atletas são apresentadas na Tabela 1. Os participantes do estudo são atletas praticantes de natação há 9 ± 2 anos, com perfil de nadadores de competição, desempenho de 35 movimentos respiratórios para prova de 200 metros e 4 movimentos respiratórios para provas de 50 metros.

Metaborreflexo Inspiratório

Na Figura 1, apresentamos as variáveis importantes durante o protocolo de metaborreflexo inspiratório. No protocolo de metaborreflexo inspiratório,

apenas 12 atletas participaram do protocolo. A avaliação do fluxo sanguíneo periférico, durante o protocolo de exercícios inspiratório, está ilustrada na Figura 1A. Na carga de 2%, não houve alteração do fluxo do início ao final do protocolo. Já com a carga de 60%, houve um aumento de fluxo, no momento zero até 1min, e depois se manteve inalterado até o final, sendo estes achados estatisticamente diferentes ao longo do tempo e entre os grupos ($p < 0,001$ para ambos). Já na resistência vascular periférica, demonstrada na figura 1B, houve uma diminuição da resistência periférica com o incremento da carga de 60%, corroborando nos resultados do fluxo que se mostrou aumentado durante a mesma carga de 60%. Na carga de 2%, a resistência se manteve sem alterações como também demonstra o gráfico do fluxo. Na figura 1C, que representa a variação da frequência cardíaca durante o protocolo de metaborreflexo inspiratório, não representou diferença significativa na variável tempo ou carga, mas na interação entre as cargas apresentou uma diferença de 2 minutos; tanto para a carga de 2%, quanto para a carga de 60%.

Na representação gráfica da variação da PAM, representado na figura 1D, demonstrou-se que houve uma diferença significativa nas médias das variáveis entre o tempo de 2 minutos; tanto para a carga de 2%, quanto para a carga de 60%, ocorrendo diferença na média do tempo entre as duas carga.

Função pulmonar e espessura diafragmática

Na Tabela 2, estão apresentadas as correlações entre $Pl_{m\acute{a}x}$ e $PE_{m\acute{a}x}$, IDT e EDT sentando e deitado, FVC e VEF1s. Foi observada uma correlação positiva da CVF com a $Pl_{m\acute{a}x}$ e $PE_{m\acute{a}x}$. O VEF1s somente mostrou significância com os valores da pressão Inspiratória ($Pl_{m\acute{a}x}$). Da mesma forma, a espessura

do diafragma se correlacionou com os valores de pressão inspiratória (PI), mas sem relação com a pressão expiratória neste grupo de atletas. Os parâmetros de função pulmonar (CVF e VEF1s), nos atletas, se encontravam acima do valor previsto para normalidade. Em relação à especialidade dos atletas (Tabela 3), não houve diferença nos parâmetros de função pulmonar (PI_{máx}, PE_{máx}, CVF, VEF1s) e na espessura do diafragma IDT sentado e deitado, na EDT sentado. Todavia, na EDT deitado, houve diferença significativa. Na Tabela 4, na prova de 50m, valores de PI maiores estão associados com menor número de respirações e com CVF mais elevada. Em atletas velocistas a espessura do diafragma na posição deitada no final da expiração apresentou uma relevância maior que nas outras modalidades. Outras variáveis não mostraram correlação significativa. No teste de respiração de 200m não houve significância.

Discussão

Este estudo mostra pela primeira vez que o metaborreflexo inspiratório é ativado durante a carga de 60% da pressão inspiratória máxima em nadadores de elite. Isso demonstra que a fadiga da musculatura do diafragma é a primeira a responder ao exercício muscular inspiratório, indicando a ativação da fadiga respiratória, mesmo em indivíduos muito treinados. Este estudo também demonstrou pela primeira vez que os atletas velocista possuem maior espessura do diafragma quando comparados a atletas de outras modalidades esportivas. Também observamos que a função pulmonar dos nadadores está acima do previsto para população adulta.

No presente estudo, o exercício muscular inspiratório, a 60% da pressão inspiratória máxima, foi capaz de ativar o metaborreflexo muscular inspiratório em

nadadores de elite, os quais apresentam uma melhor performance muscular inspiratória em comparação com indivíduos saudáveis da mesma idade. Isso corrobora com a literatura atual, a qual mostra que o exercício inspiratório, a altas cargas inspiratórias, é capaz de ativar o metaborreflexo inspiratório, o qual é caracterizado por alteração do fluxo e resistência vascular periférica. Dempsey (2006) e colaboradores mostrou que há, em indivíduos saudáveis, um roubo de fluxo da periferia para a musculatura inspiratória em detrimento da alta carga de exercício diafragmático. Em patologias como o diabetes melitus²³ e a insuficiência cardíaca¹⁹, o metaborreflexo muscular inspiratório mostrou-se exacerbado durante a carga de 60% da P_{lmáx}, enquanto que, em atletas aerobicamente treinados¹⁷, o metaborreflexo muscular inspiratório está atenuado, provavelmente pelo trabalho aeróbico realizado por esses atletas.

A espessura do diafragma deitado no momento da expiração apresentou uma significância importante, quando comparada à posição sentada. O velocista apresentou uma maior espessura do diafragma quando comparado a meio-fundo e fundistas. Assim, podemos interpretar que o atleta velocista é um atleta de explosão. Portanto seu treino consiste em praticar maior velocidade no deslocamento, necessitando uma maior contração abdominal para poder equilibrar-se durante a prova. Sendo assim, o diafragma também se contrai, realizando um trabalho de força muscular²⁴. Além disso, necessita, no momento da inspiração e expiração, realizar uma força única. O tipo de treino do velocista é focado para a explosão por serem provas que exigem isso. Portanto, a musculatura do “core” é muito trabalhada. Por fim, o padrão respiratório influencia na obtenção dos resultados de algumas medidas de função respiratória. Para ZaKynthinos²⁵ e colaboradores, as pressões dinâmicas inspiratórias e

expirações geradas durante os esforços de inspiração e expiração podem ser aumentados imediatamente se a contração dos músculos respiratórios for precedida por uma contração rápida dos músculos antagonistas. Especificamente, durante a medida da PEmáx. A pressão dinâmica gerada pelos músculos abdominais durante a expiração forçada pode ser significativamente aumentada se a contração dos músculos expiratórios for imediatamente precedida de uma contração rápida dos músculos inspiratórios para se chegar a capacidade pulmonar total^{16 24}.

As outras modalidades possuem um maior tempo para expiração e dispõem de um maior tempo para realização do percurso desejado. Segundo Hawkes et al. (2007)²⁶, existe uma correlação significativa entre aumento de espessura diafragmática e valores de pressão inspiratória. Nesse estudo, que foi realizado em uma população saudável, foram mensuradas medidas de eletromiografia durante o teste de pressão inspiratória. Concluiu-se que, quanto maior o valor de PImáx, a espessura também estava aumentada. E nesse trabalho encontramos uma correlação positiva entre a PImáx e EDT deitado. E que possivelmente esse achado é decorrente do grupo de velocista apresentaram maiores valores, mesmo observando-se um menor número de atletas. Já para Lomax et al (2003)¹³, a hipótese é que, quanto maior a fadiga dos músculos durante a velocidade do nado, aumenta o número de respirações e a frequência de braçada, diminuindo o batimento de pernas.

Provavelmente, as propriedades da água, tais como pressão hidrostática e resistência da água, apresentam forte influência na musculatura diafragmática e na função pulmonar. Sua influência ocasiona melhora das funções pulmonares e diafragmática, observando-se nestes atletas valores superiores que o previsto

para a faixa etária estipulada. Observamos que os valores de $PI_{m\acute{a}x}$ e $PE_{m\acute{a}x}$ se correlacionam de forma positiva e significativa com a CVF e VEF 1s.

No presente estudo demonstramos que, de um modo geral, o grupo estudado tem função pulmonar acima do previsto para população adulta, e que o tipo de prova pode modificar adaptações fisiológicas. Os nadadores velocistas são caracterizados por nadarem provas rápidas, ou seja, 50m e 100m. A característica desta atividade é uma prova aeróbica, cuja força e resposta explosiva são fundamentais para essa prova. O menor número de respirações é transformado em maior velocidade. Os nadadores chamados meio-fundo são caracterizados por apresentarem uma capacidade aeróbica mais desenvolvida quando comparados a velocistas por terem mais tempo para desenvolver a prova em distâncias de 200 metros e 400 metros. Já os atletas de fundo, nadadores de provas longas, com 800 metros, 1.500 metros e maratonas aquáticas, são nadadores que se caracterizam por apresentarem uma resistência aeróbica mais desenvolvida que outros nadadores. O ritmo respiratório durante essa prova é de fundamental importância para a finalização da mesma, pois o tempo e a distância a ser nadada são bem maiores que nas outras modalidades, necessitando de coordenação entre ritmo e frequência respiratória para a finalização do percurso.

No teste de desempenho de 50m, observamos que atletas que realizam um menor número de respirações apresentam uma melhor com CVF, um aumento na EDT deitado e um valor maior de $PI_{m\acute{a}x}$. O menor número de respirações é transformado em maior velocidade. Na correlação com número de respirações no teste de 200m, não apresentaram significância. A respiração durante a natação é diferente do exercício em terra por conta da resistência da água a cada expiração e do curto espaço de tempo para a inspiração. Quanto

maior a velocidade, maior a força expiratória a ser vencida em virtude da resistência da água no momento da expiração e da sincronização da frequência respiratória com a frequência de braçadas^{13,27 28}.

O ambiente aquático aumenta a pressão hidrostática ao redor do tórax, agindo contra musculatura inspiratória. Assim a musculatura inspiratória é mais ativada, ocorrendo um maior trabalho respiratório do que durante uma respiração normal¹⁸. Nas provas de 50m, definida como uma prova de explosão, o importante é respirar o menor número de vezes possível para, assim, atingir uma maior velocidade. Já nas provas de 200m, uma prova que associa resistência e explosão, isso não é possível por ser uma prova mais longa. E para poder manter a velocidade e não entrar em fadiga rapidamente é necessário respirar mais vezes. O oxigênio é importante para a duração total da prova, e o número de respirações deve ser maior para possibilitar uma melhor oxigenação.

O presente estudo concluiu que a natação pode atuar como uma forma de treinamento muscular inspiratório. Entretanto, o treinamento específico para a musculatura inspiratória com aparelho também pode melhorar o desempenho de atletas, conforme relato de outros estudos^{5,12,13,29}.

Conclusão

Este estudo mostrou que o metaborreflexo inspiratório é ativado durante alta carga muscular inspiratória em nadadores de elite. Do mesmo modo, observou-se que nadadores apresentam valores de VEF1s e CVF superiores a indivíduos não treinados e que as pressões respiratórias máximas (PI_{máx} e PE_{máx}) se correlacionam de forma positiva com VEF1s e CVF. Além disso, foi observado que no teste de 50m o menor número de respirações estava

associado com uma maior pressão inspiratória, maior CVF e uma maior espessura diafragmática. Os dados permitem desenvolver hipóteses que o desenvolvimento da musculatura diafragmática poderia melhorar a performance de nadadores e que o treinamento muscular inspiratório poderia ser um recurso para a melhora da performance em nadadores.

Referências

1. Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol.* Apr 2006;151(2-3):242-250.
2. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* May 2002;34(5):785-792.
3. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci.* Jul 2002;20(7):547-562.
4. Brown S, Kilding AE. Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: the effect of race distance. *J Strength Cond Res.* May 2011;25(5):1204-1209.
5. Wells GD, Pyley M, Thomas S, Goodman L, Duffin J. Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *Eur J Appl Physiol.* Aug 2005;94(5-6):527-540.
6. Dempsey JA, Amann M, Romer LM, Miller JD. Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* Mar 2008;40(3):457-461.
7. Guenette JA, Witt JD, McKenzie DC, Road JD, Sheel AW. Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. *J Physiol.* Jun 2007;581(Pt 3):1309-1322.
8. MacNutt MJ, Guenette JA, Witt JD, Yuan R, Mayo JR, McKenzie DC. Intense hypoxic cycle exercise does not alter lung density in competitive male cyclists. *Eur J Appl Physiol.* Apr 2007;99(6):623-631.
9. McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol.* Nov 2006;577(Pt 1):445-457.
10. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol.* Nov 2007;584(Pt 3):1019-1028.

11. Amann M, Dempsey JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *J Physiol*. Jan 2008;586(1):161-173.
12. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol*. Feb 2010;108(3):505-511.
13. Lomax ME, McConnell AK. Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *J Sports Sci*. Aug 2003;21(8):659-664.
14. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. Aug 2012;42(8):707-724.
15. Wilson EE, McKeever TM, Lobb C, et al. Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *Br J Sports Med*. Nov 2013.
16. Rodrigues-machado MdG. *Bases da fisioterapia respiratória: terapia intensiva e reabilitação*. Rio de Janeiro 2007.
17. Callegaro CC, Ribeiro JP, Tan CO, Taylor JA. Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. *Respir Physiol Neurobiol*. Jun 2011;177(1):24-29.
18. CASTRO FAS, LOSS JF. *Forças no meio Líquido*. Vol volume 1. São Paulo: In: Paula Hentschel Lobo da Costa. (Org.); 2010.
19. Dall'Ago P, Chiappa GR, 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*. Feb 2006;47(4):757-763.
20. Roseguini BT, Alves CN, Chiappa GR, Stein R, Ribeiro JP. Muscle metaboreflex contribution to resting limb haemodynamic control is preserved in older subjects. *Clin Physiol Funct Imaging*. Sep 2007;27(5):335-339.
21. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol (1985)*. Oct 1989;67(4):1560-1568.
22. Crapo RO, Morris AH, Gardner RM. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. *Am Rev Respir Dis*. Jun 1981;123(6):659-664.

23. Corrêa AP, Ribeiro JP, Balzan FM, Mundstock L, Ferlin EL, Moraes RS. Inspiratory muscle training in type 2 diabetes with inspiratory muscle weakness. *Med Sci Sports Exerc.* Jul 2011;43(7):1135-1141.
24. Moriyama S, Ogita F, Huang Z, et al. Intra-abdominal pressure during swimming. *Int J Sports Med.* Feb 2014;35(2):159-163.
25. Zakyntinos S, Vassilakopoulos T, Mavrommatis A, Roussos C, Tzelepis GE. Effects of different expiratory maneuvers on inspiratory muscle force output. *Am J Respir Crit Care Med.* Mar 1999;159(3):892-895.
26. Hawkes EZ, Nowicky AV, McConnell AK. Diaphragm and intercostal surface EMG and muscle performance after acute inspiratory muscle loading. *Respir Physiol Neurobiol.* Mar 2007;155(3):213-219.
27. Jakovljevic DG, McConnell AK. Influence of different breathing frequencies on the severity of inspiratory muscle fatigue induced by high-intensity front crawl swimming. *J Strength Cond Res.* Jul 2009;23(4):1169-1174.
28. Romer LM, McConnell AK. Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* Feb 2003;35(2):237-244.
29. Thomaidis SP, Toubekis AG, Mpousmoukilia SS, Douda HT, Antoniou PD, Tokmakidis SP. Alterations in maximal inspiratory mouth pressure during a 400-m maximum effort front-crawl swimming trial. *J Sports Med Phys Fitness.* Jun 2009;49(2):194-200.

Table 1 – Características da Amostra

	n=24
Antropometria	
Sexo (M/F)	16/8
Idade (anos)	18±2
Peso (Kg)	70±9
Altura (cm)	176±9
Tempo treinamento (anos)	9±2
Teste de desempenho	
tempo 200m (min:sec)	02:02±00:08
tempo 50m (sec:ms)	26:08±1:07
Numero de respirações no teste de desempenho	
Nº de respirações 200m (n)	35±5
Nº de respirações 50m (n)	4±2
Função Pulmonar	
PI (cm H ₂ O)	160±46
PE (cm H ₂ O)	140±30
FVC (l/m)	5,6±1,1
FEV ₁ (l/m)	4,5±0,8
CVF (%)	117±10
FEV 1(%)	115±16
Espessura Diafragma	
IDT sentado (mm)	4,4 ±1,8
EDT sentado (mm)	3,7 ±1,3
IDT deitado (mm)	3,5±0,9
EDT deitado (mm)	3,0±0,7

Os dados são apresentados em média ± desvio padrão. PI pressão inspiratória máxima; PE pressão expiratória máxima; IDT espessura do diafragma na inspiração; EDT espessura do diafragma na expiração; FVC força da capacidade vital; FEV 1 força do volume expirado no 1 s.

Tabela 2 – Diferenças descritivas entre as especialidades de atletas de natação

	Velocidade n=5	Meio fundo n=9	Fundo n=10	P*
<i>Função Pulmonar</i>				
PI (cm H ₂ O)	151±46	164±50	159±46	0,9
PE (cm H ₂ O)	146±52	140±31	137±12	0,9
FVC (L)	5,2±1,5	5,5±1	5,8±1	0,6
FEV ₁ (L)	4,5±1	4,5±0,9	4,6±0,8	0,9
<i>Espessura do Diafragma</i>				
IDT sentado (mm)	4,2±1,7	4,0±1,7	4,8±1,9	0,6
EDT sentado (mm)	3,7±1,2	4,0±1,3	3,5±1,4	0,8
IDT deitado (mm)	3,2±0,8	3,8±1,1	3,4±0,9	0,5
EDT deitado (mm)	3,5±1,0	3,3±0,6	2,6±0,4	0,03

Os dados são apresentados em média ± desvio. PI pressão inspiratória máxima; PE pressão expiratória máxima; IDT espessura do diafragma na inspiração; EDT espessura do diafragma na expiração; FVC força da capacidade vital; FEV 1 força do volume expirado no 1 s. Grupos foram comparados pela Análise de Variância (ANOVA).

Tabela 3 – Correlação Pressão Inspiratória e expiratória, espessura diafragma, capacidade vital observada (FVC) força do volume expirado no 1s (FEV 1).

	PI		PE	
	r	P	r	P
FVC (L)	0,611**	0,003	0,574*	0,016
FEV 1s (L)	0,473*	0,026	0,419	0,094
IDT Sentado (mm)	0,028	0,906	-0,308	0,264
EDT Sentado (mm)	0,384	0,085	-0,006	0,981
IDT Deitado(mm)	0,349	0,132	-0,047	0,868
EDT Deitado(mm)	0,540*	0,014	0,452	0,091

IDT espessura do diafragma na inspiração; EDT espessura do diafragma na expiração; FVC força da capacidade vital; FEV 1 força do volume expirado no 1 s. Correlação de Spearman para a função pulmonar, espessura do diafragma, capacidade vital observada com pressão inspiratória e expiratória máxima.

Tabela 4 – Correlação entre parâmetros de função pulmonar, espessura diafragma, capacidade vital observada e numero de respirações durante o teste de desempenho.

	<i>Nº de respirações no teste de desempenho 200m</i>		<i>Nº de respirações no teste de desempenho 50m</i>	
	r	P	r	P
PI (cm H₂O)	- 0,056	0,843	-0,723**	<0,001
PE (cm H₂O)	- 0,255	0,450	-0,322	0,193
FVC (L)	-0,11	0,695	-0,538*	0,014
IDT Sentado(mm)	-0,0	>0,999	-0,062	0,808
EDT Sentado(mm)	- 0,455	0,102	-0,434	0,063
IDT Deitado(mm)	- 0,15	0,610	-0,281	0,258
EDT Deitado(mm)	- 0,422	0,133	-0,679**	0,002

PI pressão inspiratória máxima; PE pressão expiratória máxima; IDT espessura do diafragma na inspiração ; EDT espessura do diafragma na expiração; FVC força da capacidade vital; FEV 1 força do volume expirado no 1 s. Correlação de Spearman para a função pulmonar, espessura do diafragma, capacidade vital observada com pressão inspiratória e expiratória máxima.

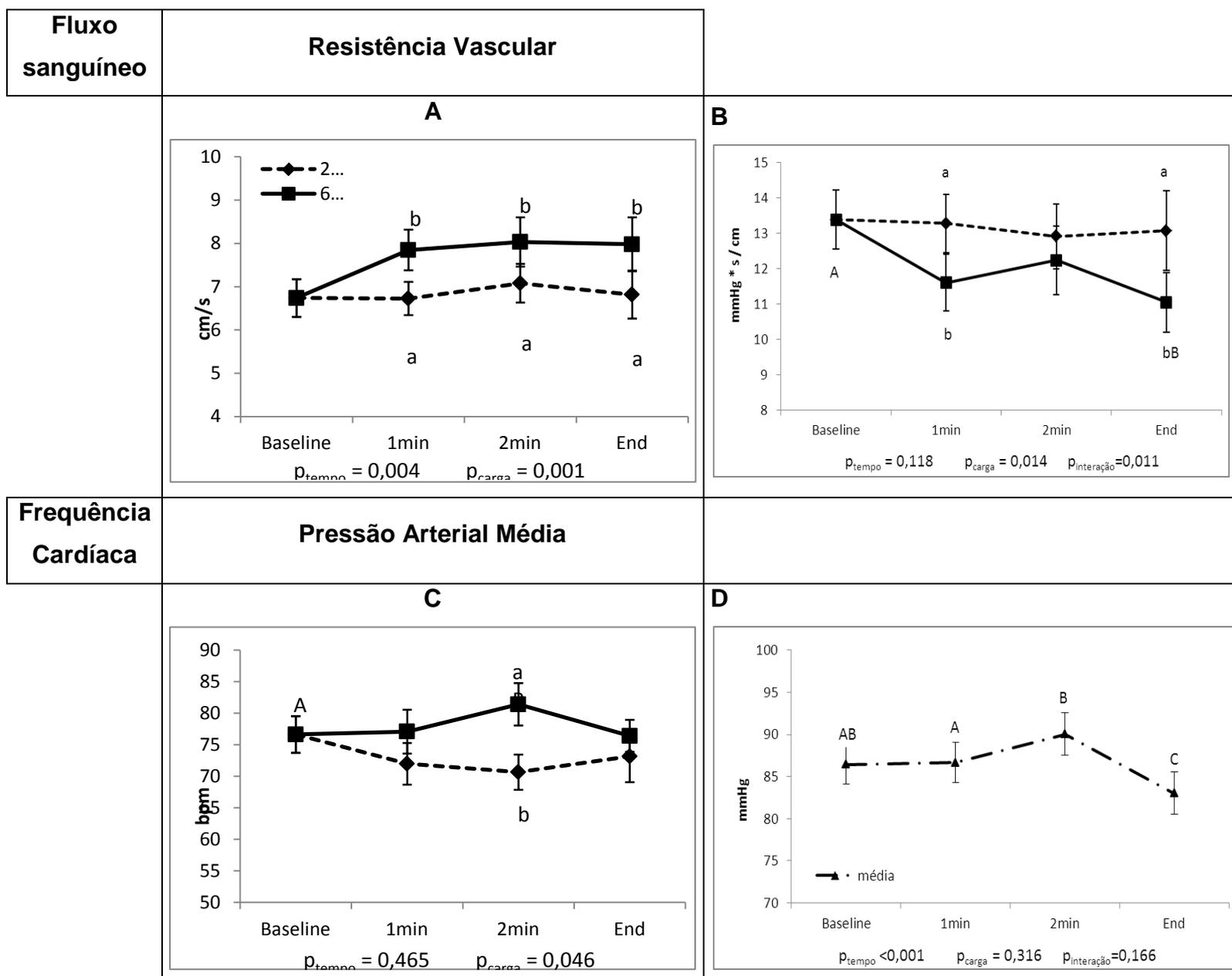


Figura 1 –

Figura 1 A representam as medidas de fluxo sanguíneo; **Figura 1B**, as medidas da resistência vascular; **Figura 1C** ; medida Frequência cardíaca; **Figura 1D** Pressão Arterial Média todas as representações foram apresentadas com as cargas de exercícios respiratório de **2% e 60%** , sendo que as letras minúsculas(**a e b**) representam diferença significativa nas médias das variáveis entre as cargas fixando o tempo. E as letras maiúsculas(**A e B**) representam diferença significativa nas médias das variáveis entre os tempos fixando a carga.

5.2 Artigo 2

Efeito do treinamento muscular inspiratório na melhora do desempenho em nadadores de elite

Christiane Carvalho Faria^a, Roberto Pacheco Da Silva^a, Ângela Maria Vicente Tavares^b, Maria Angela Fontoura Moreira^c, Jorge Pinto Ribeiro^{d,e,†}, Carisi Anne Polanczyk^{a,e,f}

^a Programa de Pós-graduação em Ciências Cardiovasculares, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^b Programa de Pós-graduação em Fisiologia, ICBS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^c Serviço de Pneumologia, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil

^d Laboratório de Fisiopatologia do Exercício, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil

^e Departamento de Medicina, Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^f Serviço de Cardiologia, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, Brasil

† Falecido. Dr Jorge Pinto Ribeiro faleceu em 23 de agosto de 2012. Apesar de ter sido totalmente envolvido na concepção e desenho do estudo, a versão final deste protocolo é a responsabilidade dos outros autores.

Autor para Correspondência: Christiane Carvalho Faria

Christiane Carvalho Faria

Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Rua Ramiro Barcelos 2350, sala 21507, Cep 90035-007, Porto Alegre, RS, Brazil, Tel: 55-51 33596337, fax: 55-51 33596325.

Email: ccarvalhofaria@gmail.com

Resumo

Introdução: O aumento da resistência e força muscular inspiratória, adquiridos a partir do treinamento, tem sido associado a um melhor desempenho em diversas modalidades esportivas. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito de um programa de 12 semanas de treinamento muscular inspiratório (TMI), avaliando parâmetros de função pulmonar, espessura do diafragma e teste de desempenho em nadadores de elite.

Desenho do estudo: Quase experimento.

Métodos: Foram mensurados parâmetros de função pulmonar, espessura de diafragma, teste de desempenho e número de respirações durante o teste. Essas medidas foram realizadas antes e depois do TMI, para averiguar as possíveis diferenças no desempenho de 12 nadadores de elite recrutados para realizar o TMI durante 12 semanas.

Resultados: Valores significativos positivamente foram observados na avaliação após o TMI, para as variáveis de capacidade funcional ($p \leq 0,005$), volume forçado no 1 s ($p \leq 0,019$) e no volume corrente ($p \leq 0,004$). Na espessura do diafragma não foram observados valores significativos. Também foi observado diminuição no número de respirações durante o teste de 50m apresentando com valor de $p \leq 0,002$, após o TMI. Já na avaliação tempo de prova não foi observado diferenças após o treinamento.

Conclusão: Após 12 semanas de TMI, os atletas melhoraram os parâmetros de função pulmonar, e o número de respirações durante a o teste de desempenho na prova de 50m. Assim, o TMI poderá ajudar a melhorar a capacidade respiratória podendo ser usado como um recurso ergogênico nos esportes.

Abstract

Introduction: Increased endurance and muscle strength, acquired from training, has been associated with better performance in several sports. The purpose of this study the effect of a 12-week program of inspiratory muscle training (IMT) has been analyzing, evaluating pulmonary function parameters, thickness of the diaphragm and performance testing in elite swimmers.

Study design: Almost experiment.

Methods: Pulmonary function parameters, thickness of the diaphragm, performance testing and number of breaths during the test were measured. These measurements were performed before and after TMI, to investigate the possible differences in performance of 12 elite swimmers recruited to perform IMT for 12 weeks.

Results: Significant positive values were observed during the assessment after TMI. The functional capacity variables with $p \leq 0.005$, forced volume in 1 s with $p \leq 0.019$, tidal volume with $p \leq 0.004$, In the thickness of the diaphragm no significant values were observed. Decrease was also observed in the number of breaths during the 50m test showing p-value ≤ 0.002 , after IMT. Already at the time of trial, no differences were observed after training.

Conclusion: After 12 weeks of IMT, the athletes have improved pulmonary function parameters, and the number of breaths during the performance test in the test of 50m. Thus, the TMI can help improve breathing capacity can be used as an ergogenic aid.

Introdução

Para melhorar o desempenho em provas de ciclismo, corrida, remo ou natação, estudos foram realizados para mostrar a capacidade dos músculos respiratórios durante os exercícios e o treinamento muscular inspiratório, como uma estratégia para a melhora da performance¹⁻⁹.

Hellyer¹⁰ demonstrou que o treinamento muscular inspiratório (TMI) melhorando a eficiência respiratória e o desempenho dos ciclistas durante a prova competitiva.

Harper¹¹ realizou um estudo onde a pressão inspiratória se correlaciona de forma direta com o diafragma durante uma inspiração, ou seja, com o TMI a melhora de valores de P_{Imáx}, estaria relacionada com a espessura do diafragma, musculo responsável pela inspiração. Em uma meta-análises, Illi⁴, concluiu que o TMI melhora o desempenho do indivíduo para o exercício, obtendo melhores resultados em indivíduos menos aptos e em esportes de maior duração.

Quando a tarefa do sistema respiratório é muito elevada, o trabalho da respiração é compartilhado entre o diafragma e os músculos acessórios, os quais alternam sua participação para prevenir ou atrasar a fadiga respiratória¹².Dentre as adaptações decorrentes do treinamento inspiratório em atletas, podemos destacar o aumento da capacidade do indivíduo para suportar um aumento de carga progressiva durante o exercício e a ativação dos músculos expiratórios. A redução do volume pulmonar ao final da expiração poupa a função muscular inspiratória de duas maneiras: (a) o diafragma e outros músculos inspiratórios são alongados e operam perto do comprimento ideal para geração de força, (b) o volume corrente aumenta os volumes de reserva inspiratório e expiratório, o que permite alterações no volume pulmonar¹³.

As musculaturas inspiratórias e expiratórias são importantes para todos os esportes, todavia na prática da natação assume um papel de maior destaque. A respiração durante a natação é diferente do exercício terrestre, a sincronização das manobras respiratórias com a braçada faz com que o tempo entre a execução do movimento necessite de uma frequência mais rápida, que no exercício fora da água. Nos esportes competitivos, vêm sendo estudada formas para avaliar a fadiga do sistema respiratório durante o exercício e assegurar melhores resultados visando uma melhor resposta nas competições¹⁷⁻²¹. Uma estratégia para melhorar o desempenho dos atletas é através do treinamento muscular inspiratório que permite uma atenuação da fadiga muscular nas provas competitivas sendo realizado principalmente em corredores, ciclistas e remadores^{1,9,22-24}.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros de função pulmonar, espessura do diafragma, teste de empenho e suas correlações entre nadadores de elite, antes e após um programa de 12 semanas de treinamento muscular inspiratório.

Métodos

Participantes

Os 12 participantes foram recrutados em um clube de nadadores na cidade de Porto Alegre entre setembro de 2012 a julho 2013. Foram incluídos nadadores ativos, com idade entre 16 e 21 anos de ambos os sexos. Deveriam nadar no mínimo 5 km por dia e seis vezes por semana, em todas modalidades e pertencerem ao mesmo clube de natação. Os critérios de exclusão foram: apresentar qualquer problema cardiovascular ou ortopédico e não estarem dentro

dos padrões de inclusão, quanto à atividade esportiva acima relatada. Os sujeitos incluídos no estudo eram convidados a comparecer no Hospital de Clínicas de Porto Alegre, para realização dos seguintes testes: manuvacuometria, espirometria e ecografia abdominal para medir a espessura do diafragma. O teste de desempenho de 50m e 200m, (tempo e n^o de respirações), foi realizado no próprio clube de treinamento e durante a rotina de treino, para que os atletas não percebessem e pudessem influenciar no resultado da prova.

O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas de Porto Alegre sob o número 100568. Todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Os participantes menores de 18 anos tiveram autorização dos pais para a participação no estudo.

Delineamento do estudo e intervenção

Foi realizado um estudo do tipo quase-experimento, onde os participantes foram avaliados em relação a parâmetros basais de função pulmonar, teste de desempenho, pressões pulmonares máximas e espessura de diafragma. Os participantes do estudo foram orientados a realizarem o treinamento muscular inspiratório com o dispositivo *Powerbreathe* (HaB International Ltd., UK), modelo *classic performance*, sendo orientados a realizarem o exercício respiratório duas vezes ao dia, 30 repetições cada vez, totalizando 60 repetições por dia, mantendo a carga estabelecida. Os atletas deveriam realizar o TMI até o próximo encontro para reajuste da carga. Os encontros ocorriam em média a cada 10 dias, momento em que era realizado um teste de PImáx e reajustada da carga. A carga de treinamento foi estipulada em 60% da PImáx. Iniciamos com uma carga de 50% da PImáx seguindo estudos prévios^{2,4,27}. Após primeira semana, segundo

relato dos atletas da facilidade do treino, foi aumentado para 60% de carga para o treinamento semanal.

Após 12 semanas de treinamento, os atletas retornaram ao Hospital de Clínicas para realizarem o teste de espirometria e medida de diafragma. O teste de desempenho foi realizado na mesma piscina que o teste inicial.

Manuvacuometria

A manuvacuometria foi utilizada para avaliação das pressões inspiratória (PI) e expiratória máximas (PE)²⁸. Foi utilizado o aparelho digital MVD 500 V1.1 Microhard System, Globalmed, Porto Alegre, Brasil. O atleta ficou sentado em posição confortável, mãos sobre as pernas, nariz fechado com um clipe nasal, e um bocal adequado para esse teste foi acoplado ao Manuvacuômetro.

Com o bocal colocado sobre a língua e com a boca fechada, o atleta inspirava e expirava lentamente até três vezes, puxando e soltando o ar. Após as três inspirações e expirações o atleta realizava a terceira expiração soltando todo o ar pela boca e, ao sinal dado pelo atleta, já previamente combinado, ele puxava uma vez com o máximo de força estimulado verbalmente. No bocal, existe um orifício que é para a saída do ar. Para o teste, esse orifício é tapado, forçando assim o participante a puxar com força, gerando um valor numérico que indica a força inspiratória do diafragma, medida em cmH₂O. Foram realizadas seis mensurações e o valor máximo foi usado como padrão de força máxima do atleta.

Espirometria

A espirometria, realizada em um espirômetro da marca Jaeger (Eric Jaeger, GmbH, Wuerzburg, Alemanha), foi utilizada para avaliar a função pulmonar dos indivíduos. Os testes foram realizados na Unidade de Fisiologia Pulmonar do Hospital de Clínicas de Porto Alegre por um técnico especializado na realização dos testes de avaliação pulmonar. Foram avaliados a capacidade vital forçada (CVF), volume expiratório forçado em um segundo (VEF1s) e volume corrente (VC).

Utilizamos como valor de referencia a tabela de Crapo que foi baseada em uma amostra de indivíduos selecionados habitantes de grande altitude. Os valores dessa tabela se situam entre os maiores relatados²⁹.

Teste de desempenho

Para avaliar o desempenho dos indivíduos, foram realizadas duas provas de 200m e 50m de natação no estilo de crawl. Foi contado o tempo e número de respirações durante a metragem. Estes testes foram realizados no clube onde os atletas realizavam os treinos e foram executados durante a sequência do treino sem aviso prévio. Todos os testes foram filmados. A piscina foi de 25 metros com 2m de profundidade, a temperatura média da água era de 26 graus Celsius.

Espessura do Diafragma

A espessura do diafragma dos atletas foi avaliada por ultrassonografia, em modo bidimensional (B mode) (EnVisor C, Philips, Bothell, Washington), com uma sonda linear de 12 MHz (L12-4, Philips). Para obtenção, foram captadas imagens da zona de aposição do músculo costal (músculo diafragma

compreende 2 músculos: crural e costal) do diafragma, segundo Wait e colaboradores as medidas foram obtidas no final da inspiração (IDT) e no final da expiração (EDT), com o indivíduo na posição sentado e deitado³⁰⁻³².

Análise Estatística

Foram realizadas análises descritivas representadas por média e desvio padrão. Para comparar as variáveis de função pulmonar, espessura de diafragma e teste de desempenho de cada sujeito e verificar, se existem diferenças significativas entre os seus resultados, nas situações pré e pós o TMI, foi aplicado o teste de Wilcoxon. Para avaliar a evolução da Pl_{máx}, durante o TMI, foi empregado o teste de imputação múltipla para Equações de Estimação Generalizadas (**GEE**), assumindo efeito tempo entre os grupos. Foi considerado significativo um $p < 0,05$ para todas as análises.

Resultados

A população estudada consistiu de 12 atletas nadadores de elite com idade média de 17 ± 2 anos. Entre as modalidades desse esporte, estão 8 nadadores de fundo, 2 velocistas e 2 meio-fundo. O tempo de treino desses atletas era de 9 ± 2 anos. A média da Pl_{máx} foi de 162 ± 48 cmH₂O e a carga inicial de treinamento foi de 60% (87 ± 20 cmH₂O) (Tabela 1).

As variáveis de função pulmonar, espessura de diafragma, teste de desempenho e o número de respirações estão descritos na tabela 2. Foram encontrados valores significativos nas variáveis VCF, FEV_{1s}, VC_{máx}, nos testes de desempenho, e número de respirações durante o teste de 50m, após o TMI. Por

outro lado não houve diferença nos testes de performance , 50m ou 200m, ou na espessura do diafragma.

A evolução da $PI_{m\acute{a}x}$, representada no gráfico 1, mostrou que ocorreu um aumento da PI durante o treinamento inspiratório com variação na PI inicial (primeiro controle - C1) e na variação da PI na 5ª medida de controle (C5). Na sexta aferição (C6) ocorreu uma redução da PI, provavelmente pelo menor número de atletas que estiveram presentes para a coleta dos dados de da PI.

Discussão

Neste estudo, mostramos que uma intervenção direta sobre a musculatura inspiratória pode ser benéfica, mesmo na população de atletas, cujo treinamento prévio, considerado de alto rendimento, seja limitante para novos achados que realmente corroborem para uma efetiva melhora da performance destes atletas. Os indivíduos que foram submetidos ao treinamento muscular inspiratório (TMI), com carga de 60% da $PI_{m\acute{a}x}$, obtiveram melhora da capacidade funcional pulmonar total. O TMI melhora os parâmetros de função pulmonar: capacidade vital forçada (FVC), volume expiratório forçado no 1ºsegundo (FEV1s) , volume corrente máximo (VC), bem como, no número de respirações durante o teste de 50 metros, embora um aumento significativo na espessura diafragmática, consequência direta de um treinamento de força, não tenha sido observado nestes indivíduos. Embora tenha sido observado um aumento não significativo na espessura do músculo diafragma, uma hipertrofia não justifica a melhora da função pulmonar destes indivíduos. Uma das justificativas possíveis para os resultados de melhora da função pulmonar pode ser a partir da observação do padrão ventilatório dos atletas.

Os padrões ventilatórios podem ser divididos em diafragmático e torácico. O padrão diafragmático sugere o músculo diafragma, como o principal músculo responsável pela inspiração. Na respiração diafragmática ocorre uma contração do músculo diafragma e relaxamento da musculatura abdominal, durante a inspiração. Na respiração torácica, os músculos abdominais contraem durante a inspiração, o que limita a capacidade espacial ventilatória do indivíduo. Para compensar, músculos acessórios constituem uma maior participação sobre o movimento inspiratório, em repouso. É possível que, durante o TMI, este padrão invertido tenha se mantido, sugerindo que no treinamento, músculos como intercostais externos e escalenos possam ter uma ação mais efetiva ainda, o que justifica este mecanismo como um dos responsáveis pela melhora da função pulmonar observada nos indivíduos que foram submetidos ao TMI.

Estes resultados, vão ao encontro de estudos prévios, que demonstram que em nadadores de elite, o TMI melhora a performance de atletas de natação, como também em ciclistas e remadores^{4,9,22,24,33,34}.

Baseado na tabela de Crapo²⁹, observamos que a $PI_{máx}$, é maior que de indivíduos da mesma faixa etária e saudáveis, como mostrado na tabela 1. Os indivíduos que foram submetidos ao TMI, aumentaram a função pulmonar, como demonstrado na tabela 2. Os resultados dos estudos de Kilding, Janssens e Illi^{2,4,9}, uma revisão sistemática e uma meta-análise também comprovaram a melhora no desempenho respiratório e o desempenho em atletas de várias modalidades^{4,22,24,35}. O efeito do TMI sobre o desempenho na natação ainda não está totalmente estabelecido, sendo que nesse estudo, foram observadas modificações nas variáveis de $PI_{máx}$ durante as avaliações nas 12 semanas de TMI.

Quanto ao número de respirações durante o teste de desempenho, houve uma diminuição nas respirações no tiro de 50m. O que pode significar um menor tempo de prova, considerando que, quanto menos o nadador respirar durante a prova, maior será a velocidade atingida, diminuindo assim o tempo de prova. Importante salientar que na natação, os milésimos de segundo e os segundos significam atingir novos recordes levando a vencer campeonatos importantes.

Embora a análise da espessura do diafragma, não tenha mostrado hipertrofia, a musculatura inspiratória geral foi beneficiada com o TMI, como podemos observar pela melhora da função pulmonar. Durante o período de treinamento foram realizadas uma média de 6 medidas para cada atleta. Nas avaliações realizadas, representadas graficamente pela letra "C", houve um aumento significativo na PI inicial, C1, quando comparado com as PI C2-C3 e seu pico mais elevado sendo na PI C5. Houve um aumento significativo até C3, após manteve a PI de C3-C4, e mais um pequeno aumento até a C5. Sendo assim, observamos que TMI, como corrobora a literatura, 4-6 semanas de treinamento^{9,36,2} poderiam colaborar com o desempenho de atletas nadadores³⁷.

Conclusão

Concluimos que o TMI melhora parâmetros da função pulmonar e o número de respirações durante o teste de 50m, sugerindo que nadadores de provas curtas possam ser os maiores beneficiados. Embora não tenha sido vista de forma específica a hipertrofia do diafragma, a proposta apresentada por esse estudo é fazer o treinamento do padrão diafragmático antes de realizar o TMI para um melhor aproveitamento do TMI, e realizar as medidas de circunferência

na inspiração e expiração a fim de averiguar o delta da diferença nesses movimentos antes e depois do TMI.

Tabela 1 – Descrição dos participantes

Características da Amostra	n=12
Sexo M/F	10/2
Idade (anos)	17±2
Peso (kg)	72±9.6
Altura (cm)	178±6.8
Tempo treino (anos)	9±2
PI máx (cm H ₂ O)	162±48
60% carga (cm H ₂ O)	87±20

Os dados são apresentados em média ± desvio padrão. PI Max pressão inspiratória máxima; 60% carga (cm H₂O) carga média do início do treinamento no *Power Breathe*.

Tabela 2 - Parâmetros da função pulmonar, espessura do diafragma e teste de desempenho antes e depois do treinamento muscular inspiratório.

	<i>N</i>	<i>Pré</i>	<i>Pós</i>	<i>P</i> *
<i>Função Pulmonar</i>				
FVC (L)		6,00 [4,79; 6,58]	6,02 [5,15; 6,73]	0,005
FEV1 Obsl (L)	12	4,32 [3,87; 5,60]	4,66 [4,00; 5,77]	0,019
Vcmáx Obs (L)	12	6,06 [4,83; 6,60]	6,08 [5,19; 6,73]	0,004
<i>Espessura diafragma</i>				
IDT sentado (cm)	11	0,45 [0,31; 0,63]	0,51 [0,38; 0,63]	0,441
EDT sentado (cm)	12	0,32 [0,23; 0,48]	0,30 [0,26; 0,37]	0,241
IDT deitado (cm)	12	0,33 [0,30; 0,40]	0,35 [0,24; 0,44]	0,508
EDT deitado (cm)	12	0,28 [0,23; 0,30]	0,26 [0,18; 0,32]	0,721
<i>Teste de desempenho</i>				
Test 50m (ms)	12	25,89 [25,03; 26,80]	25,45 [24,68; 26,80]	0,094
N Resp 50m	12	4 [3;6]	3 [2;4]	0,002
Test 200m (ms)	12	2:02 [1:53; 2:08]	2:01 [1:52; 2:03]	0,375
N Resp 200m	12	33 [31, 38]	33 [32; 39]	0,806

Os dados são analisados por teste de Wilcoxon . Plmáx, pressão inspiratória; PEmáx, pressão expiratória; IDT, espessura diafragma inspiratória; EDT, espessura diafragma expiratório; CVF, capacidade vital forçada; VEF1s, volume expiratório forçado no 1s.VC Max Obs (L) de volume de ar inspirado após a inalação mais profunda; N Resp 50m; número de respirações durante o teste de 50 metros; N Resp200m; número de respirações durante o teste de 200m; 50m Teste; tempo em milissegundos do teste de 50m; 200m Teste; tempo em milissegundos do teste de 200m.

Evolução da Pressão Inspiratória Máxima durante as 12 semanas de treinamento.

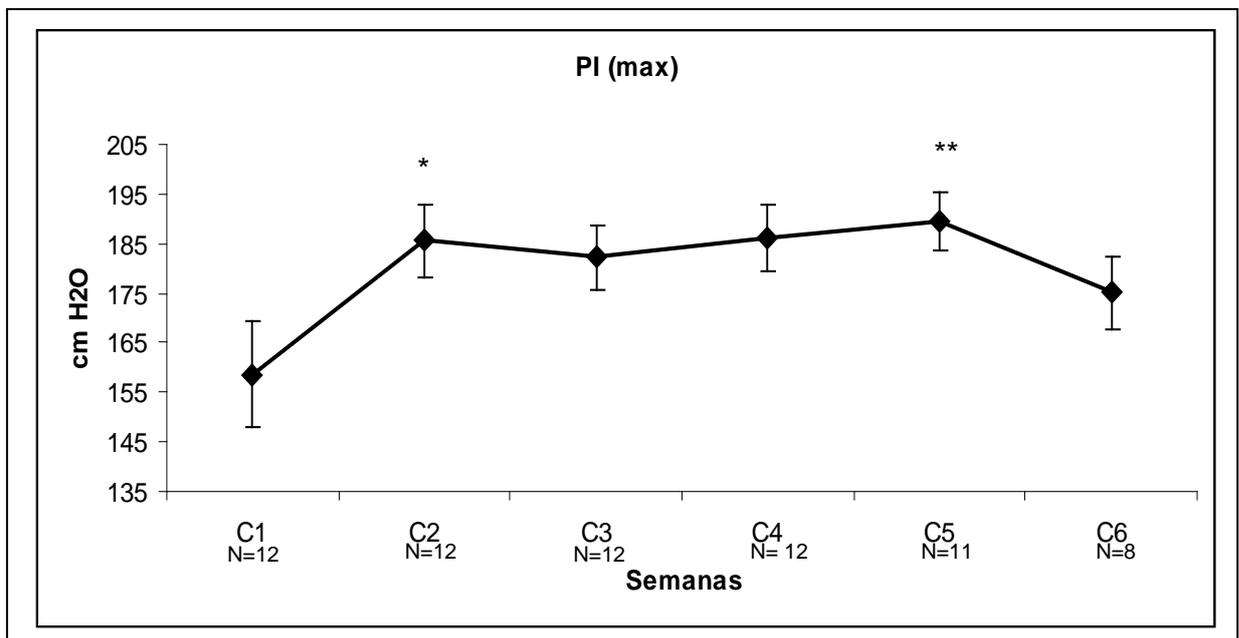


Gráfico 1

Média e Erro Padrão – GEE ($p < 0,001$) comparando tempos e que o tempo 1 é diferente do tempo 5 e o tempo 5 é diferente do tempo 6.

Referências:

1. Guenette JA, Witt JD, McKenzie DC, Road JD, Sheel AW. Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women. *J Physiol*. Jun 2007;581(Pt 3):1309-1322.
2. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, et al. The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review. *Respir Med*. Mar 2013;107(3):331-346.
3. MacNutt MJ, Guenette JA, Witt JD, Yuan R, Mayo JR, McKenzie DC. Intense hypoxic cycle exercise does not alter lung density in competitive male cyclists. *Eur J Appl Physiol*. Apr 2007;99(6):623-631.
4. Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. Aug 2012;42(8):707-724.
5. Aaron E A SK, Johnson BD et. al. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. Vol 72: *J Appl Physiol*; May , 1992:1818-1825.
6. Riganas CS, Vrabas IS, Christoulas K, Mandroukas K. Specific inspiratory muscle training does not improve performance or VO₂max levels in well trained rowers. *J Sports Med Phys Fitness*. Sep 2008;48(3):285-292.
7. Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*. May 2001;33(5):803-809.
8. Volianitis S, Secher NH. Rowing, the ultimate challenge to the human body - implications for physiological variables. *Clin Physiol Funct Imaging*. Jul 2009;29(4):241-244.
9. Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol*. Feb 2010;108(3):505-511.
10. Hellyer NJ, Folsom IA, Gaz DV, Kakuk AC, Mack J, Ver Mulm JA. Respiratory Muscle Activity During Simultaneous Stationary Cycling and Inspiratory Muscle Training. *J Strength Cond Res*. Dec 2013.

11. Harper CJ, Shahgholi L, Cieslak K, Hellyer NJ, Strommen JA, Boon AJ. Variability in diaphragm motion during normal breathing, assessed with B-mode ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther.* Dec 2013;43(12):927-931.
12. Silverthorn DU. Fisiologia Humana : uma abordagem integrada. In: Artmed, ed. 5ª edição ed. Porto Alegre: Ivãnia Beatrice Mânica da cruz et. al.; 2010.
13. Rodrigues-machado MdG. *Bases da fisioterapia respiratória:terapia intensiva e reabilitação.* Rio de Janeiro2007.
14. CASTRO FAS, LOSS JF. *Forças no meio Líquido.* Vol volume 1. São Paulo: In: Paula Hentschel Lobo da Costa. (Org.); 2010.
15. Lomax M, Castle S. Inspiratory muscle fatigue significantly affects breathing frequency, stroke rate, and stroke length during 200-m front-crawl swimming. *J Strength Cond Res.* Oct 2011;25(10):2691-2695.
16. McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol.* Nov 2006;577(Pt 1):445-457.
17. Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol.* Apr 2006;151(2-3):242-250.
18. Romer LM, Lovering AT, Haverkamp HC, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J Physiol.* Mar 2006;571(Pt 2):425-439.
19. Romer LM, Haverkamp HC, Lovering AT, Pegelow DF, Dempsey JA. Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* Feb 2006;290(2):R365-375.
20. Dempsey JA, Amann M, Romer LM, Miller JD. Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* Mar 2008;40(3):457-461.
21. Romer LM, Dempsey JA. Effects of exercise-induced arterial hypoxaemia on limb muscle fatigue and performance. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* Apr 2006;33(4):391-394.

22. Wells GD, Plyley M, Thomas S, Goodman L, Duffin J. Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *Eur J Appl Physiol*. Aug 2005;94(5-6):527-540.
23. Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol*. Nov 2007;584(Pt 3):1019-1028.
24. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *J Sports Sci*. Jul 2002;20(7):547-562.
25. Lomax ME, McConnell AK. Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *J Sports Sci*. Aug 2003;21(8):659-664.
26. Thomaidis SP, Toubekis AG, Mpousmoukilia SS, Douda HT, Antoniou PD, Tokmakidis SP. Alterations in maximal inspiratory mouth pressure during a 400-m maximum effort front-crawl swimming trial. *J Sports Med Phys Fitness*. Jun 2009;49(2):194-200.
27. Wilson EE, McKeever TM, Lobb C, et al. Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *Br J Sports Med*. Nov 2013.
28. Dall'Ago P, Chiappa GR, 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*. Feb 2006;47(4):757-763.
29. Crapo RO, Morris AH, GR. Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations. In: Dis R, ed. *Reference spirometric values using techniques and equipment that meet ATS recommendations*.: 123; 1981: 659-664.
30. Wait JL, Nahormek PA, Yost WT, Rochester DP. Diaphragmatic thickness-lung volume relationship in vivo. *J Appl Physiol (1985)*. Oct 1989;67(4):1560-1568.
31. David Cohn JOB, Scott Eveloff and F. Dennis McCool. Diaphragm thickening during inspiration. *J Appl Physiol* . 1997;83:291-296.
32. Andrea j. Boon m, caitlin j. Harper, ba,leili shahgholi ghahfarokhi, md,, jeffrey a. Strommen m, james c. Watson, md, and eric j. Sorenson, md. Two-dimensional ultrasound imaging of the diaphragm:

- Quantitative values in normal subjects. *Muscle & nerve*. 2013;47:884-889.
33. Brown S, Kilding AE. Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: the effect of race distance. *J Strength Cond Res*. May 2011;25(5):1204-1209.
 34. Bell GJ, Game A, Jones R, Webster T, Forbes SC, Syrotuik D. Inspiratory and expiratory respiratory muscle training as an adjunct to concurrent strength and endurance training provides no additional 2000 m performance benefits to rowers. *Res Sports Med*. 2013;21(3):264-279.
 35. Romer LM, McConnell AK, Jones DA. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc*. May 2002;34(5):785-792.
 36. Callegaro CC, Ribeiro JP, Tan CO, Taylor JA. Attenuated inspiratory muscle metaboreflex in endurance-trained individuals. *Respir Physiol Neurobiol*. Jun 2011;177(1):24-29.
 37. Aspenes ST, Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports Med*. Jun 2012;42(6):527-543.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Este estudo mostrou que o metaborreflexo inspiratório é ativado durante alta carga muscular inspiratória em nadadores de elite. Este é um dado que ainda não foi mostrado na literatura com nadadores.
- Observou-se que nadadores apresentam valores de VEF1s e CVF superiores a indivíduos não treinados e que as pressões respiratórias máximas ($P_{Imáx}$ e $P_{Emáx}$) se correlacionam de forma positiva com VEF1s e CVF. Além disso, foi observado que no teste de 50m o menor número de respirações estava associado com uma maior pressão inspiratória, maior CVF e uma maior espessura diafragmática.
- Os dados permitem desenvolver hipóteses que o desenvolvimento da musculatura diafragmática poderia melhorar a performance de nadadores e que o treinamento muscular inspiratório poderia ser um recurso para a melhora da performance em nadadores.
- Os nadadores treinados, embora não tenha sido vista de forma específica a hipertrofia do diafragma, comprovamos que o TMI melhora parâmetros da função pulmonar e o número de respirações durante o teste de 50m, sugerindo que nadadores de provas curtas possam ser os maiores beneficiados.
- A contribuição desse estudo a literatura, sugere fazer o treinamento do padrão diafragmático antes de realizar o TMI para um melhor aproveitamento do TMI, e realizar as medidas de circunferência na

inspiração e expiração a fim de averiguar o delta da diferença nesses movimentos antes e depois do TMI.

ANEXO

Formação complementar durante o Doutorado

Artigos publicados:

- Improvement Of Exercise Capacity And Peripheral Metaboreflex After Bariatric Surgery.

Silva, Roberto P; Martinez, Denis; **Faria, Christiane C**; Carli, Luiz A; Souza, Winston I B P; Meinhardt, Nelson G; Souto, Katia E P; Trindade, Manoel R M; Ribeiro, Jorge P. Obesity Surgery, v. 23, p. 1835-1841, 2013.

- Are There Benefits Of Exercise In Sleep Apnea?.

Silva, R P; Belli Kc; Fiori C Z; **Faria, Christiane Carvalho**; Martinez, D. Sleep Science (Impresso), V. 4, P. 1-7-7, 2011.

- Intensities Of Treadmill Running Exercise Do Not Alter Melatonin.

Siqueira, I; Mo Ses, S F; Medeiros. F L; Elsner V; **Faria, Christiane Carvalho**; Torres, I L S. Revista Hcpa (Ufrgs.Impresso),V.31,P24-30,2011.

Vivência em projetos de pesquisa:

- Controle Neurovascular No Pré E Pós Cirurgia Bariátrica De Pacientes Obesos Com Síndrome Da Apnéia Obstrutiva Do Sono(SAOS)

Tese Mestrado: Roberto Pacheco da Silva

- Ambulatório de Cardiopatia Isquêmica

Função: Orientação de atividade física a pacientes com DAC

Período: outubro/2010 – em andamento

- Efeito do programa Alimentar Brasileiro Cardioprotetor na redução de eventos e fatores de risco na prevenção secundária para doença

cardiovascular: Um ensaio Clínico randomizado multicêntrico, nacional , pragmático.

Centro Coordenador: Instituto de Ensino e Pesquisa IEP - HCOR

Função: realização de medidas antropométricas

Período: março/2014 – em andamento