

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO
MOVIMENTO HUMANO**

Treinamento muscular inspiratório em jogadores de basquetebol em cadeira de rodas: efeitos sobre o desempenho físico aeróbio, variáveis cardiopulmonares e metabólicas

Raphael do Nascimento Pereira

2016

TESE DE DOUTORADO

RAPHAEL DO NASCIMENTO PEREIRA

TREINAMENTO MUSCULAR INSPIRATÓRIO
EM JOGADORES DE BASQUETEBOL EM
CADEIRA DE RODAS: EFEITOS SOBRE O
DESEMPENHO FÍSICO AERÓBIO, VARIÁVEIS
CARDIOPULMONARES E METABÓLICAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Universidade Metodista de Piracicaba, para obtenção do Título de Doutor em Ciências do Movimento Humano.

Orientadora: Profa. Dra. Marlene Aparecida Moreno

Piracicaba

2016

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIMEP
Bibliotecária: Marjory Harumi Barbosa Hito CRB-8/9128

P436t	<p>Pereira, Raphael do Nascimento Treinamento muscular inspiratório em jogadores de basquetebol em cadeira de rodas : efeitos sobre o desempenho físico aeróbio, variáveis cardiopulmonares e metabólicas / Raphael do Nascimento Pereira. – 2016. 74 f. : il. ; 30 cm</p> <p>Orientadora: Profa. Dra. Marlene Aparecida Moreno Tese (doutorado) – Universidade Metodista de Piracicaba, Ciências do Movimento Humano, Piracicaba, 2016.</p> <p>1. Esportes - Deficientes. 2. Espirometria. 3. Exercícios Respiratórios. 4. Músculos do Sistema Respiratório. I. Moreno, Marlene Aparecida. II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU – 796.4-056.24</p>
-------	--

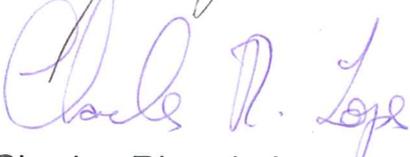
TREINAMENTO MUSCULAR INSPIRATÓRIO EM JOGADORES DE BASQUETEBOL EM CADEIRA DE RODAS: EFEITOS SOBRE O DESEMPENHO FÍSICO AERÓBIO, VARIÁVEIS CARDIOPULMONARES E METABÓLICAS.

RAPHAEL DO NASCIMENTO PEREIRA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 10 de novembro de 2016, pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:


Prof. Dra. Marlene Aparecida Moreno - UNIMEP
(Presidente)


Prof. Dra. Eli Maria Pazzianotto Forti - UNIMEP


Prof. Dr. Charles Ricardo Lopes – UNIMEP


Prof. Dr. Antonio Roberto Zamuner – USC


Prof. Dr. Wladimir Rafael Beck - FIEL

DEDICATÓRIA

Inicialmente, dedico esta obra a Deus, que me deu o dom da vida e, sobretudo, a oportunidade de aprofundar meus conhecimentos profissionais e transmiti-los aos que mais precisam, podendo com isso, ajudar ao próximo e a nossa sociedade na sua caminhada evolutiva.

Dedico também à minha amada esposa Roberta Pereira, companheira de todos os momentos e minha maior amiga. És a única pessoa que sabe das dificuldades, provações, privações e obstáculos que tivemos que superar durante a nossa caminhada em busca deste título acadêmico. Obrigado por nunca desistir de mim. Obrigado por chorar comigo nos momentos difíceis e de desespero. E obrigado por pular, rir e dançar nos momentos de felicidade; amo-te! Como diria o poeta Vinicius de Moraes “não há você sem mim, e eu não existo sem você...”.

Dedico esta obra também aos meus pais Ronaldo e Aldenora Pereira, que me deram todo amor, carinho e devoção durante toda a vida. Pessoas que sempre acreditaram em mim, mesmo quando muitos disseram o contrário. Obrigado por estarem sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos. Obrigado por serem meus pais!

Aos meus irmãos Ronaldo (Roni) e Raphaela. Obrigado pelo suporte, amor e confiança de sempre!

À minha avó Alice e a todos os meus familiares (tios, tias, primos, primas, cunhados, cunhada, sogro e sogra). Obrigado por sempre acreditar em

mim, e, sobretudo, por me dar uma base familiar sólida, imprescindível para minha vida.

Aos meus amigos, que não vou citar para não correr o risco e a indelicadeza de esquecer algum. Obrigado por me apoiarem e estarem sempre comigo durante esta caminhada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Profa. Dra. Marlene Aparecida Moreno, orientadora desta obra, pessoa que sempre esteve de prontidão para me apoiar e orientar nos momentos fáceis e, principalmente, nos mais difíceis. Contando com o tempo do mestrado, são mais de cinco anos de relação orientadora / orientando, neste tempo pudemos construir uma relação mútua de respeito, companheirismo e amizade. Obrigado por acreditar em mim, nos meus ideais e por fomentar esta pesquisa.

Agradeço também à Profa. Dra. Valéria Marques Ferreira Normando da Universidade do Estado do Pará (UEPA) pela parceria e apoio incondicional dado durante a fase de coleta dos dados. Aproveito para lembrar e agradecer também aos alunos Allan Lira, Bruna Corrêa, Amanda Afonso e Núbia Braga da Silva do Curso de Graduação em Fisioterapia da UEPA, e à aluna Jéssica Castro do Curso de Graduação em Fisioterapia da Universidade da Amazônia (UNAMA). Obrigado pela oportunidade de convívio e troca de conhecimentos e experiências durante esta pesquisa. Sem vocês nada disso seria possível.

Ao Clube dos Deficientes Físicos do Pará – All Star Rodas, em nome do professor Wilson Caju. Muito obrigado por ter acreditado no meu trabalho, e por ter aberto suas portas para que nossas ideias e conhecimentos teóricos se concretizassem na prática, e chegasse a quem realmente importa. Obrigado a cada atleta, participante ou não deste estudo, tenham certeza de que vocês me ajudaram a amadurecer tanto enquanto profissional como enquanto ser humano.

Agradeço a todos os professores, colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano da Universidade Metodista de Piracicaba (PPG-CMH UNIMEP). Obrigado pelo apoio dado e pelas experiências transmitidas que culminaram no sucesso deste trabalho.

Agradeço à fisioterapeuta da Universidade Federal de São Paulo Roberta de Araujo Costa Folha Pereira pelo amparo imprescindível na revisão e finalização desta obra.

E por último, porém não menos importante, agradeço à Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa (CAPES/PROSUP) durante todo o curso desta pós-graduação, sem esse fomento essa pesquisa não seria viável, muito obrigado.

“Há homens que lutam um dia e são bons. Há outros que lutam um ano e são melhores. Há os que lutam muitos anos e são muito bons. Porém, há os que lutam toda a vida. Esses são os imprescindíveis”.

Bertolt Brecht, dramaturgo alemão (1889 – 1956).

RESUMO

Introdução: estudos apontam que os músculos inspiratórios são capazes de limitar o desempenho físico de atletas de alta exigência esportiva. Essa limitação é associada à exacerbação da ativação do metaborreflexo muscular inspiratório durante a prática de exercícios físicos de alta intensidade. Assim, partindo do pressuposto de que um músculo com melhores adaptações morfológicas e funcionais oriundas do processo de treinamento possui menor demanda metabólica quando comparado a um músculo destreinado, pesquisadores passaram a investigar e desenvolver estratégias de treinamento muscular inspiratório (TMI) com o intuito de retardar a ativação do metaborreflexo muscular inspiratório, encontrado resultados animadores em atletas sem deficiências físicas. **Objetivo:** avaliar o efeito de um programa de TMI com carga incremental sobre o desempenho físico aeróbio, variáveis cardiopulmonares e metabólicas de jogadores de basquetebol em cadeira de rodas (BCR). **Metodologia:** 16 jogadores de BCR de ambos os gêneros (8 homens e 8 mulheres) foram randomizados em dois grupos (grupo TMI e grupo simulação – GS), de forma que não soubessem qual intervenção estavam realizando (unicego). Todos os voluntários passaram por avaliação da força muscular respiratória (pressões respiratórias máximas), mobilidade torácica (cirtometria), função pulmonar (espirometria), desempenho físico aeróbio (teste de 12 minutos para cadeirantes) e lactacidemia (análise da concentração e remoção do lactato sanguíneo). O grupo TMI realizou o TMI de força com carga incremental durante 12 semanas (2 vezes ao dia e 5 vezes por semana), iniciando o protocolo com uma carga de treinamento de 50% da pressão inspiratória máxima (P_{Imáx}), passando para 60% após a 4ª semana e 70% após a 8ª semana. Já GS realizou um TMI simulado pelo mesmo período de tempo, com protocolo semelhante, diferenciando-se apenas pela intensidade (15% da P_{Imáx}) e ausência de progressão da carga de treinamento. **Resultados:** o grupo TMI apresentou melhora significativa da força muscular inspiratória (49,2%) e expiratória (23,8%) na comparação intragrupo (pré vs. pós), e na análise intergrupos (TMI-pós vs. Simulação-pós). Não foram encontradas adaptações relevantes referentes à função pulmonar, mobilidade torácica, desempenho físico aeróbio e a lactacidemia em ambos os grupos. **Conclusão:** o TMI associado ao treinamento físico é uma estratégia válida para melhora da força muscular respiratória de atletas de basquetebol em cadeira de rodas. Entretanto, se mostrou inapto em melhorar o desempenho físico aeróbio, função pulmonar e mobilidade torácica desses sujeitos.

Palavras-chave: Músculos Respiratórios; Exercícios Respiratórios; Espirometria; Pessoas com Deficiência; Esportes para Pessoas com Deficiência; Desempenho Atlético.

ABSTRACT

Introduction: Previous studies indicate that the inspiratory muscles are able to limit the physical performance of highly trained athletes. This limitation is associated with the exacerbation of the activation of inspiratory muscle metaboreflex during high intensity exercises. Thus, starting from the assumption that a muscle with better morphological and functional adaptations from the training process has lower metabolic demand when compared to an untrained muscle, researchers started to investigate and develop inspiratory muscle training strategies (IMT) with the purpose of delaying The activation of the inspiratory muscle metaboreflex, found encouraging results in athletes without physical disabilities. **Objective:** evaluate the effects of an IMT with incremental load on aerobic performance and cardiopulmonary and metabolic variables of wheelchair basketball players. **Methods:** 16 wheelchair basketball players of both genders (8 men and 8 women) were randomly divided in two groups (IMT group and SHAM group). All the volunteers were evaluated for respiratory muscle strength (maximal respiratory pressures), thoracic mobility (cirtometry), pulmonary function (spirometry), aerobic performance (12-minute aerobic test for wheelchair users), and lactacidemia (concentration and removal of blood lactate). The IMT group performed an IMT with incrementally load for 12 weeks (2 times a day and 5 times a week), initiating the protocol with a training load of 50% of the maximal inspiratory pressure (MIP), increasing to 60% after the 4th week and 70% after the 8th week. The SHAM group performed a simulated IMT for the same period of time, with a similar protocol, differing only by intensity (15% of MIP) and absence of training load progression. **Results:** The IMT group presented a significant improvement in inspiratory (49.2%) and expiratory (23.8%) muscle strength in the intragroup comparison (pre vs. post), and in the intergroup analysis (IMT-post vs. SHAM-post). No relevant adaptations were found regarding pulmonary function, thoracic mobility, aerobic physical performance and lactacidemia in both groups. **Conclusion:** The IMT associated with physical training is a valid strategy for improving respiratory muscle strength of wheelchair basketball athletes. However, it was incapable to improving aerobic performance, pulmonary function and thoracic mobility of these subjects.

Key words: Inspiratory Muscles; Breathing Exercises; Spirometry; Disabled Persons; Sports for Persons with Disabilities; Athletic Performance.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	24
2.1. Objetivo geral	24
2.2. Objetivos Específicos	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. Desenho do estudo e aspectos éticos	25
3.2. Casuística	25
3.3. Procedimentos experimentais	29
3.3.1. Força muscular respiratória	29
3.3.2. Função pulmonar	31
3.3.3. Mobilidade torácica	33
3.3.4. Desempenho físico aeróbio	34
3.3.5. Análise do lactato	36
3.4. Intervenções	37
3.4.1. Grupo TMI	37

3.4.2. Grupo Simulação	40
3.5. Tratamento dos Dados.....	40
4. RESULTADOS	42
5. DISCUSSÃO.....	50
6. CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS.....	63
ANEXOS	73

1. INTRODUÇÃO

A evolução histórica do movimento paralímpico conduziu as modalidades esportivas para pessoas com deficiências físicas de meras estratégias terapêuticas e reabilitativas, para um modelo competitivo de alta exigência esportiva em resposta a um paradigma internacional que visa os lucros gerados pelos grandes eventos esportivos, fazendo com que, igualmente ao observado no esporte de alta exigência para atletas sem deficiências, cada vez mais sejam buscados novos recursos técnicos e tecnológicos que aprimorem o desempenho físico-esportivo durante as competições (Marques et al., 2013; Sousa et al., 2013).

A incessante busca por melhores resultados e superação de metas audaciosas, levam atletas e toda a equipe envolvida no processo de preparação física, técnica e tática a buscar na ciência novos conhecimentos que possam sanar déficits que, por diversas vezes, são tidos como irrelevantes durante esse processo (De Rose Junior et al., 1999).

Diante deste prisma, a evolução das ciências do movimento humano propõe o teste de hipóteses e disseminação de novos conhecimentos que norteiam o progresso tecnológico, como no desenvolvimento de novos trajes, próteses e materiais esportivos, assim como, a promoção de novas técnicas avaliativas e metodologias de treinamento. Neste contexto, o estudo da fisiologia do exercício gera um embasamento teórico para questões antes dadas como irrelevantes, mas que, se observadas de forma criteriosa e sistemática, tendem a provocar mudança de conceitos. Um exemplo é a afirmativa que aponta o sistema

respiratório como fator limitante ao desempenho físico-esportivo de atletas de alta exigência esportiva (McArdle et al., 2008).

Tradicionalmente, a limitação do desempenho físico é direcionada a fatores fisiológicos periféricos, mais especificamente a capacidade metabólica muscular (McManus e Armstrong, 2011). Em condições patológicas, os sistemas cardiovascular e respiratório são igualmente capazes de limitar o desempenho físico, como nos casos de pessoas que desenvolvem quadros de insuficiência cardíaca ou de doença pulmonar obstrutiva crônica (Troosters et al., 2013). Contudo, a partir de pesquisas desenvolvidas no final do século XX e início do século XXI, pesquisadores passaram a inferir que o aumento do trabalho dos músculos inspiratórios, observado durante a prática de exercícios físicos, possa gerar uma resposta reflexa que culmina no redirecionamento do fluxo sanguíneo dos músculos periféricos em atividade aos músculos inspiratórios (St Croix et al., 2000; Harms et al., 2000; Sheel et al., 2001).

Apesar das características morfológicas (composto prioritariamente por fibras musculares do tipo I e IIa) e anatômicas (alta densidade vascular) que conferem alta capacidade oxidativa e de resistência a fadiga ao músculo diafragma (principal músculo envolvido no processo de inspiração), durante a prática prolongada de exercícios físicos intensos (que ultrapassem 85% do consumo máximo de oxigênio [VO_2 máx]), pode-se observar a fadiga desta musculatura (Johnson et al., 1993; Reid e Dechman, 1995). O aumento do trabalho, e conseqüentemente a fadiga desta musculatura durante prática de exercícios físicos, está relacionado com a exacerbação da sensação de dispneia

e aumento da resposta do metaborreflexo muscular inspiratório (St Croix et al., 2000; Dempsey et al., 2006).

A ativação do metaborreflexo acontece, inicialmente, pelo estímulo das fibras nervosas aferentes mielinizadas e mecanossensíveis do tipo III e, posteriormente, pelas fibras nervosas aferentes não-mielinizadas e quimiossensíveis do tipo IV, presentes em todo e qualquer músculo esquelético. Essa ativação tem a intenção de aumentar o fluxo sanguíneo local desde o início da atividade física a fim de suprir as demandas metabólicas geradas pelo exercício (St Croix et al., 2000).

Diante desse conceito, pesquisadores observaram que o aumento do trabalho da musculatura inspiratória também é capaz de gerar a exacerbação da atividade metaborreflexa, fazendo com que parte do volume sanguíneo destinado aos músculos periféricos dos membros em atividade seja redirecionado aos músculos inspiratórios, principalmente ao diafragma, através do aumento da resposta simpática vasoconstritora periférica associada a vasodilatação focalizada aos músculos inspiratórios. Para mais, o aumento da resposta metaborreflexa inspiratória é capaz de gerar uma redução de até 15% do VO_{2max} durante um teste de esforço físico (Aaron et al., 1992; St Croix et al., 2000; Dempsey et al., 2006).

Com base neste mecanismo, a menor oferta de sangue, e conseqüente menor oferta de oxigênio (O_2) à musculatura esquelética em atividade, gera alteração da via metabólica essencial para produção de energia àquele tipo de esforço físico. Tal fato resulta em queda do rendimento desses músculos pela exacerbação do desequilíbrio ácido-básico, gerado, principalmente, pelo acúmulo

de íons de hidrogênio (H^+) e moléculas de dióxido de carbono (CO_2) oriundos do processo de contração muscular (Harms et al, 2000; St. Croix et al., 2000).

Diante das limitações provocadas pela musculatura inspiratória, diversos estudos (Volianitis et al., 2001; Williams et al., 2002; McConnell e Romer, 2004; Johnson et al., 2007; Wylegala et al., 2007; Griffiths e McConnell, 2007; Witt et al., 2007; Tong et al., 2008; Vergès et al., 2009; Kilding et al., 2010; Bailey et al., 2010; HajGhanbari et al., 2013; Sales et al., 2016) passaram a pesquisar e desenvolver técnicas e metodologias de treinamento que pudessem atenuar a intensidade da resposta metaborreflexa dos músculos inspiratórios, partindo do pressuposto de que um músculo com melhores adaptações morfológicas e funcionais oriundas do processo de treinamento, possui menor demanda metabólica quando comparado a um músculo destreinado e que trabalha sem tais adaptações.

Assim, respeitando os princípios universais do treinamento físico (individualidade, especificidade, sobrecarga e reversibilidade), pressupõe-se que o treinamento muscular inspiratório (TMI) melhore o desempenho físico de atletas através dos seguintes mecanismos: 1) impedimento ou retardo da fadiga muscular inspiratória; 2) menor recrutamento da musculatura inspiratória acessória; 3) diminuição da resposta simpática vasoconstritora periférica, o que leva a atenuação dos efeitos do redirecionamento do fluxo sanguíneo, através da menor ativação do metaborreflexo muscular inspiratório durante os exercícios físicos e 4) redução da sensação de dispneia durante a prática esportiva (Somers et al., 1992; Mostoufi-Moab et al., 1998).

De acordo com McConnell e Romer (2004), o TMI pode ser desenvolvido através da aplicação de três técnicas distintas que se diferenciam pela forma de imposição da sobrecarga muscular: 1) hiperventilação voluntária isocápnica; 2) carga resistiva de fluxo inspiratório e 3) carga de pressão inspiratória.

A técnica de hiperventilação voluntária isocápnica (HVI) requer que o sujeito mantenha um nível alvo de ventilação por um tempo determinado (geralmente 30 minutos). Para evitar a hipocapnia (queda excessiva na concentração de CO₂ corporal), utiliza-se um circuito de respiração parcial, que induz o sujeito a inspirar novamente o ar outrora exalado (rico em CO₂), essa adaptação faz com que o CO₂ exalado retorne de forma sistemática ao corpo. Além da precaução supracitada, é fortemente indicada a utilização de aporte adicional de O₂ para evitar o desenvolvimento de um quadro hipoxêmico (McConnell, 2013).

O emprego da HVI visa o desenvolvimento da resistência dos músculos inspiratórios, tendo em vista o seu tempo prolongado de execução. O protocolo típico desta técnica é realizado com a frequência de três a cinco vezes por semana, com nível de ventilação alvo de aproximadamente de 60% – 90% da ventilação voluntária máxima (VVM), que deve ser mantido durante os 30 minutos da sessão (McConnell e Romer, 2004; Vergès et al., 2009).

Apesar da HVI ser bastante eficaz na elevação da resistência muscular inspiratória, existem indícios de que a sua associação com elevados fluxos ventilatórios possa desencadear crises de broncoespasmo em indivíduos suscetíveis ao desenvolvimento de asma induzida pelo exercício (McConnell e Romer, 2004). De acordo com as revisões sistemáticas desenvolvidas por

HajGhanbari et al, (2013) e Sales et al, (2016), essa é a técnica de TMI mais eficaz para o aprimoramento da resistência muscular inspiratória de atletas.

Outra técnica bastante utilizada é a técnica de carga resistiva de fluxo inspiratório (CRFI), que requer a utilização de dispositivos que dificultem o fluxo inspiratório através de orifícios com diâmetros variados, o que gera uma carga inspiratória fluxo-dependente. Trata-se de uma técnica comumente utilizada na prática clínica de reabilitação respiratória que possui eficiência comprovada por diversos estudos (Wells et al., 2005; Nicks et al., 2009; Forbes et al., 2011).

Ao levantar a possibilidade de utilização da CRFI para o TMI, deve-se levar em consideração que esta técnica é fluxo-dependente, o que configura a sua principal limitação. Isso quer dizer que a carga inspiratória ofertada dependerá do esforço do sujeito que está sendo treinado, o que torna extremamente relevante o estímulo dado pelo terapeuta / treinador, a fim de se evitar uma queda do fluxo inspiratório e, conseqüentemente, da carga ofertada durante a sessão de treinamento (McConnell e Romer, 2004).

Na técnica de carga de pressão inspiratória (CPI), o sujeito deve superar uma pressão imposta pelo dispositivo de treinamento para que possa iniciar o fluxo inspiratório. Trata-se de uma técnica de fácil aprendizado, amplamente utilizada em pesquisas científicas, na qual a sobrecarga muscular é imposta por uma válvula previamente calibrada para se abrir mediante o alcance de uma determinada pressão inspiratória, que ao ser superada permite a passagem do fluxo inspiratório. Estudos apontam que esta técnica é capaz de aumentar a produção de força, potência e resistência dos músculos inspiratórios (Volianitis et al., 2001; Williams et al., 2002; McConnell e Romer, 2004; Johnson et al., 2007;

Wylegala et al., 2007; Griffiths e McConnell, 2007; Witt et al., 2007; Tong et al., 2008; Kilding et al., 2010; Bailey et al., 2010).

Todas as técnicas descritas mostram-se eficazes no aumento da força muscular inspiratória de atletas, e podem gerar adaptações significativas a partir da segunda semana de treinamento, devido o aprimoramento dos processos neurais envolvidos na contração dos músculos inspiratórios, o que possivelmente conduz a um maior sinergismo entre os músculos motores primários e os músculos acessórios ao processo de inspiração forçada (Romer e McConnell 2003). Entretanto, apesar dessa melhora inicial, apenas a partir da quarta semana de treinamento tem-se um quadro significativo de hipertrofia diafragmática que pode ser observada através do aumento da espessura dessa musculatura (McConnell, 2013).

Ainda de acordo com McConnell (2013), o TMI pode ser dividido como TMI de resistência e TMI de força. Segundo o que foi descrito pela autora, ambos os tipos geram respostas positivas sobre os músculos inspiratórios, entretanto, aparentemente, o TMI de força é mais eficiente em aumentar o limiar de ativação do metaborreflexo muscular inspiratório.

O TMI de resistência é tipicamente realizado com cargas de baixa intensidade (inferiores a 50% da força muscular inspiratória máxima) e alto número de repetições, ou através da técnica de HVI, na qual se determina um percentual da VVM como carga de treinamento, durante um dado período de tempo (conforme elucidado anteriormente). Já o TMI de força é corriqueiramente executado com cargas de moderada (50 – 70% da força muscular inspiratória

máxima) e alta intensidade (acima de 70% da força muscular inspiratória máxima), e baixo número de repetições (McConnell, 2013).

Diante destes conceitos, e da eficiência das técnicas de TMI sobre o aprimoramento funcional dos músculos inspiratórios, pesquisadores passaram a observar efeitos positivos da associação desse tipo de treinamento com o treinamento físico-esportivo convencional em atletas de alta exigência esportiva (Volianitis et al., 2001; Griffiths e McConnell, 2007; Wylegala et al., 2007; Johnson, et al., 2007; Tong et al., 2008).

Os poucos estudos que avaliaram os efeitos do TMI no processo de preparação física de atletas com deficiências físicas investigaram, majoritariamente, atletas com lesão medular traumática (LMT), e apresentam resultados divergentes. Goosey-Tolfrey et al. (2010), avaliaram a eficiência de um programa de TMI de força com carga fixa através da técnica de CPI, sobre a qualidade de vida, função pulmonar, força muscular respiratória e desempenho físico (através de um teste de *sprint* repetitivos) em 16 jogadores de basquetebol em cadeira de rodas de ambos os gêneros (13 destes com deficiência física oriunda de LMT), e observaram que o TMI é um recurso válido para a melhora da qualidade de vida e força muscular respiratória, contudo, se mostrou incapaz de gerar um aprimoramento do desempenho físico dos atletas. Entretanto, Vergès et al. (2009), encontraram melhora do desempenho físico de atletas com LMT após 20 sessões de TMI de resistência, através da técnica de HVI, com carga de 60% da VVM. Mais recentemente, West et al. (2014), investigaram os efeitos do TMI de força através da técnica de CPI, sobre a estrutura e função dos músculos respiratórios, e sobre as respostas máximas de desempenho físico em atletas

com LMT em nível cervical, encontrando sinais de hipertrofia diafragmática, aumento da força muscular respiratória e uma tendência de aprimoramento do desempenho físico desses atletas.

Todo treinamento físico que impõe uma determinada sobrecarga leva a um processo de adaptação muscular (Gomes, 2010). A velocidade e o tamanho desse processo adaptativo dependem, dentre outros fatores, do caráter (cargas competitivas ou de treinamento), magnitude (cargas baixas, médias ou altas) e orientação (cargas de velocidade, força, coordenação, resistência ou flexibilidade) das cargas de treinamento utilizadas. Além disso, sabe-se que as adaptações fisiológicas geradas pelo treinamento físico são diretamente relacionadas à magnitude e ao tipo de estímulo (forma de treinamento) ofertado (Platonov, 2004).

Esse processo de adaptação se dá devido à quebra da homeostasia muscular pelo estímulo (treinamento) dado. Após este momento observa-se um quadro de fadiga e recuperação (compensação) muscular, que após um período de imposição sistemática deste estímulo, chega-se a um estado de supercompensação, no qual se notam melhoras (adaptações) estruturais e funcionais que conduzem a uma melhor aptidão física e muscular (Gomes, 2010). Todavia, após o processo de supercompensação, devido o processo de condicionamento muscular, as cargas de treinamento que outrora foram eficazes em gerar as adaptações fisiológicas tornam-se defasadas, o que exige a adequação ou incremento dessa carga para que tenhamos novamente o processo de supercompensação e adaptação muscular ao treinamento (Zakharov e Gomes, 2002).

Em consonância ao que foi referenciado acima, McConnell (2013) descreve que devido o processo de adaptação da musculatura inspiratória ao TMI, as adequações e progressões das cargas de treinamento devem ser realizadas ao menos a cada duas semanas. Além disso, a mesma autora afirma que aplicação de cargas entre 50% e 70% da pressão inspiratória máxima (PI_{máx}) parece ser o mais adequado para realização de um programa de treinamento que vise o aumento do limiar de ativação do metaborreflexo muscular inspiratório.

Ademais, é pertinente salientarmos a importância do aprimoramento das funções respiratórias em pessoas com deficiências físicas, especialmente àquelas com afecções neurais que possam prejudicar a função dos músculos respiratórios (ex.: lesão medular traumática - LMT e sequelas de poliomielite). A queda da funcionalidade muscular respiratória predispõe esses sujeitos a desenvolver determinadas afecções pulmonares devido à redução da força muscular inspiratória e conseqüentemente da expansibilidade da caixa torácica (ex.: atelectasias) ou mesmo devido à diminuição da eficiência da tosse e da capacidade de higienização brônquica (ex.: pneumonias) (Winslow e Rozovsky, 2003). Essas alterações fazem com que as afecções do sistema respiratório sejam umas das principais causas de morte em pessoas com deficiências físicas oriundas de lesões medulares (Winslow e Rozovsky, 2003).

Além do exposto, deve-se levar em consideração que a natureza intermitente e de alta intensidade dos esforços físicos realizados na prática do basquetebol em cadeira de rodas (atividades alta intensidade e curta duração, intercaladas por períodos de baixa a moderada intensidade) (Goosey-Tolfrey, 2005; Padulo et al., 2015), associada ao tempo prolongado pelo qual os atletas

devam manter esses esforços (estima-se que os jogadores de basquetebol para pessoas sem deficiências físicas percorram uma distância de 5 km durante os 40 minutos de uma partida, no qual aproximadamente 10% das atividades realizadas nesse período sejam esforços intermitentes de alta intensidade (Coutts, 1992)), seja capaz de gerar a ativação precoce do metaborreflexo muscular inspiratório diante de um quadro de destreino da musculatura inspiratória.

Assim, diante da divergência de resultados reportados na literatura acerca dos efeitos benéficos do TMI na preparação física de atletas com deficiências físicas, e tendo em mente a necessidade do aprimoramento funcional dos músculos respiratórios para promoção e manutenção da saúde e higiene do sistema respiratório dessa população, levantamos a hipótese de que um programa de TMI de força, com carga progressiva, seja capaz de gerar adaptações benéficas sobre o desempenho físico aeróbio, variáveis cardiopulmonares e metabólicas de atletas de basquetebol em cadeira de rodas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar os efeitos de um programa de treinamento muscular inspiratório sobre o desempenho físico aeróbio, variáveis cardiopulmonares e metabólicas de jogadores de basquetebol em cadeira de rodas.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos do TMI em jogadores de basquetebol em cadeira de rodas sobre:
 - Força muscular respiratória
 - Função pulmonar
 - Mobilidade torácica
 - Desempenho físico aeróbio
 - Comportamento da frequência cardíaca
 - Variação na concentração de lactato sanguíneo
 - Remoção do lactato sanguíneo

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Desenho do estudo e aspectos éticos

Trata-se de um ensaio clínico randomizado com delineamento primário, intervencional, longitudinal e unicego, aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Metodista de Piracicaba (parecer 57/13 – Anexo 1), registrado no “ClinicalTrials” (identificador: NCT02604147), no qual todos os voluntários assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

3.2. Casuística

O cálculo amostral foi realizado a partir dos resultados de um estudo piloto, por meio do aplicativo GraphPad StatMate, versão 1.01, com significância de 5% e um poder de teste de 80%. Este foi baseado nos desvios-padrão da distância percorrida durante o teste de avaliação do desempenho físico aeróbio (medida durante o estudo piloto), e como resultado, obteve-se a sugestão de 13 sujeitos em cada grupo estudado.

Inicialmente, foram avaliados 19 jogadores de basquetebol em cadeira de rodas, de ambos os gêneros, provenientes do Clube dos Deficientes Físicos do Pará “All Star Rodas”, os quais fazem parte da divisão de elite do basquetebol em cadeira de rodas brasileiro. Todos os voluntários (homens e mulheres) passavam pela mesma rotina de treino e encontravam-se sob o mesmo período do ciclo de preparação esportiva (período preparatório), com início dos protocolos avaliativos na fase geral, e final na fase especial.

Foi considerado como critério de inclusão praticar basquetebol em cadeira de rodas em nível competitivo há mais de cinco meses. Como critérios de exclusão, adotaram-se: tabagismo; presença de alterações cardiovasculares, respiratórias e motoras (auto relatadas) que impossibilitassem a execução dos protocolos de avaliação ou intervenção; incapacidade de compreensão das técnicas de execução dos protocolos avaliativos e de intervenção. Foram adotados os seguintes critérios de descontinuidade do protocolo: faltar três sessões consecutivas de treinamento (TMI ou treinamento da modalidade esportiva em questão); desenvolvimento de lesões ou processos patológicos que impossibilitassem a execução das intervenções ou dos procedimentos avaliativos propostos e não comparecimento às reavaliações.

Após análise da elegibilidade e aplicação dos critérios de inclusão, os voluntários foram divididos, de forma randomizada em dois grupos que se diferenciavam pelo protocolo de treinamento proposto. Esse processo foi realizado por um pesquisador que não estava envolvido no estudo, através do método de randomização em blocos com o auxílio do programa Microsoft Excel 2010. Neste, após ter-se em mãos a lista final dos voluntários elegíveis para o processo de randomização se utilizou a função “aleatórioentre(1;2)”, na qual o número um (1) indicava que o voluntário estava alocado no grupo TMI e o número dois (2) que este participaria do estudo no grupo simulação (GS). Durante toda a pesquisa foi mantido sigilo a respeito do grupo em que cada voluntário pertencia, de forma que não soubessem a qual protocolo de treinamento eram submetidos. A divisão dos grupos e perda amostral estão apresentadas na Figura 1.

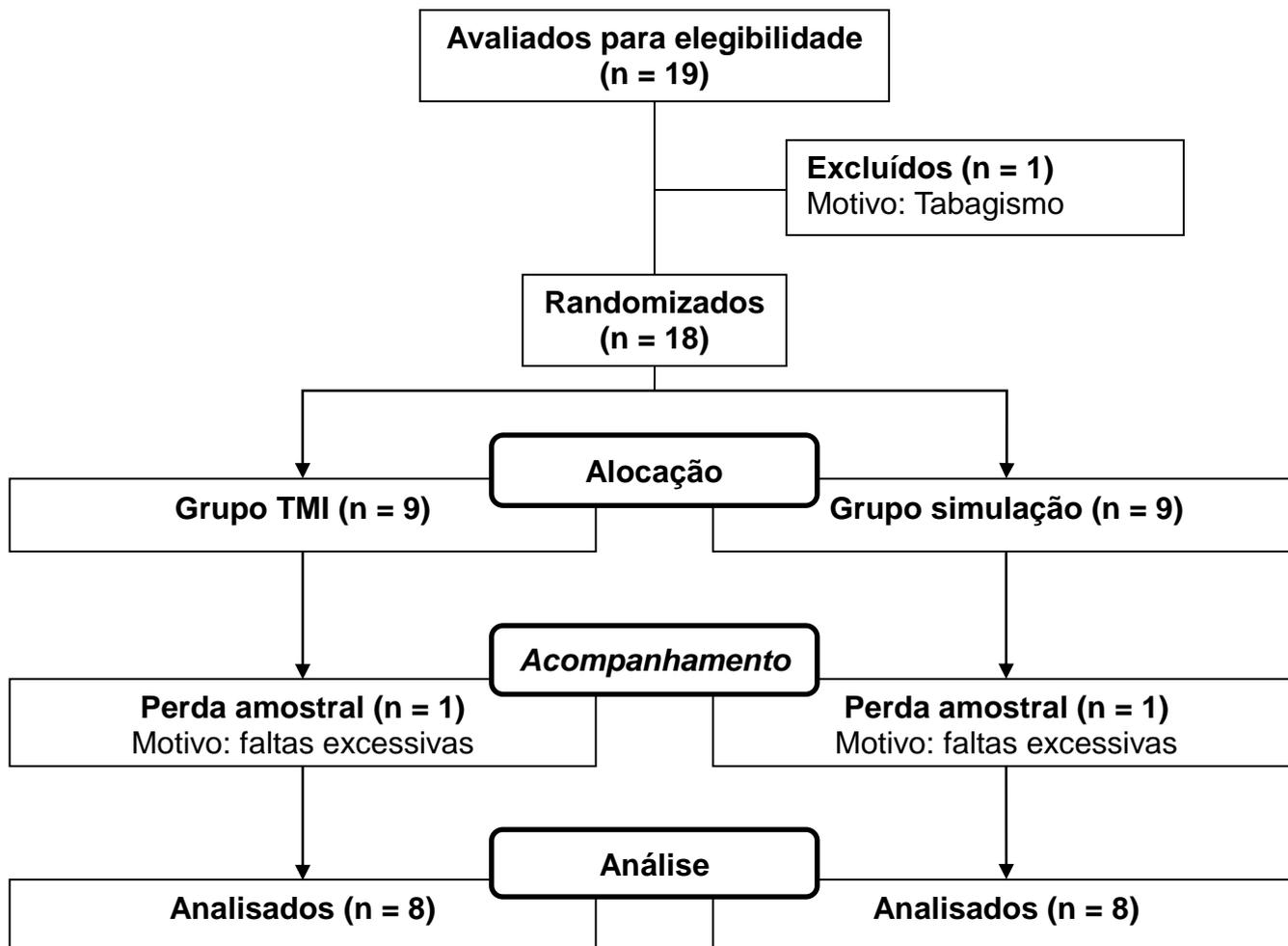


Figura 1: Fluxograma do estudo.

Após esta divisão, deu-se início a fase de avaliação, que foi realizada em dois dias consecutivos. No primeiro dia, verificaram-se as variáveis antropométricas, bem como, as variáveis respiratórias, enquanto que, no segundo dia, realizou-se a avaliação do desempenho físico aeróbio, conforme apresentado na Figura 2. Todos os procedimentos experimentais foram executados por uma equipe de pesquisadores devidamente treinada. Após o período de 12 semanas de intervenções, os procedimentos avaliativos foram refeitos. Todos os

procedimentos referentes a este estudo foram realizados no período de fevereiro a junho de 2014.

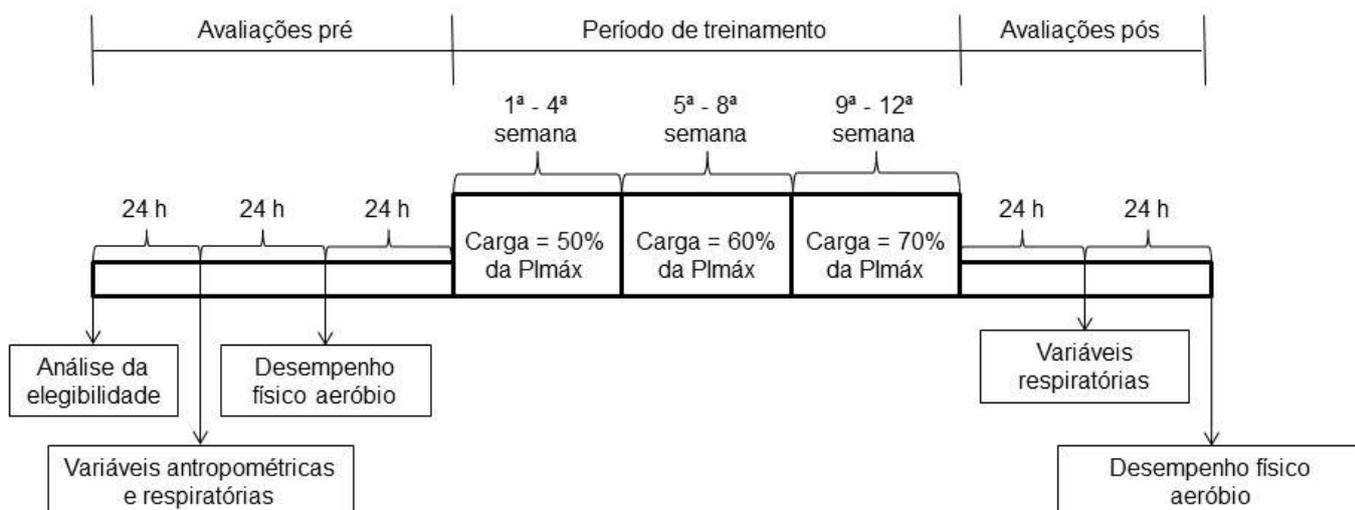


Figura 2: Sequência cronológica dos procedimentos do estudo.

Todos os participantes treinavam de forma regular basquetebol em cadeira de rodas em nível competitivo, participando de ao menos duas competições de nível nacional por ano. Os treinamentos eram realizados com frequência de 5 vezes por semana e duração de 4 horas por sessão (volume de treino = 20 horas/semana), na qual cerca de 40% dedicavam-se ao aprimoramento dos componentes físicos, com exercícios de alongamentos, força muscular, resistência muscular e aeróbia, e aproximadamente 60%, ao treinamento técnico e tático, com práticas de jogos e exercícios de posicionamento tático.

3.3. Procedimentos experimentais

3.3.1. Força muscular respiratória

Para obtenção dos valores da força muscular respiratória adotou-se a análise das pressões inspiratórias e expiratórias máximas (PI_{máx} e PE_{máx}), com o auxílio de um manovacuômetro digital (MVD 300, GlobalMed[®], Porto Alegre, Brazil). Para realização das medidas, os voluntários mantiveram-se sentados durante todo o processo avaliativo, mantendo a postura ereta (90° de flexão do quadril), conforme apresentado na Figura 3, sendo solicitado que realizassem as manobras partindo do volume residual para a PI_{máx} e da capacidade pulmonar total para a PE_{máx}. Além disso, foi usado um clipe nasal para evitar fuga de ar pelas narinas, e um bocal plástico rígido conectado ao manovacuômetro. Para mais, com o intuito de prevenir o possível viés da contração dos músculos da mímica facial sobre as medidas avaliativas, um pequeno orifício de 2mm foi feito na peça que conectava o bocal ao manovacuômetro (Black e Hyatt, 1969).



Figura 3: Avaliação da força muscular respiratória. Fonte: Dados do autor.

Todo o protocolo foi realizado sob a supervisão de um avaliador devidamente treinado, o qual explicava e demonstrava a técnica correta a ser realizada quantas vezes fossem necessárias. Foram realizadas no mínimo cinco manobras máximas, devendo ser três aceitáveis e reprodutíveis (com diferença inferior a 10% entre elas), com um minuto de intervalo entre as mesmas. Para padronização das manobras e alcance de melhores resultados, tanto os esforços inspiratórios como os expiratórios deveriam ser sustentados por ao menos um segundo, sendo registrados os maiores valores obtidos para as análises (Black e Hyatt, 1969; Neder et al., 1999).

3.3.2. Função pulmonar

A avaliação da função pulmonar foi realizada de acordo com as recomendações técnicas sugeridas pela “American Thoracic Society” (ATS) (Miller et al., 2005) para reprodutibilidade e aceitabilidade, com o auxílio de um espirômetro portátil (Easy one[®], ndd Medizintechnik AG[®], Zurich, Switzerland), previamente calibrado conforme as orientações do fabricante.

Inicialmente, os voluntários permaneciam em repouso por 10 minutos na posição sentada, enquanto os pesquisadores explicavam cuidadosamente todos os procedimentos experimentais da avaliação. Em seguida, após o correto posicionamento do voluntário na postura sentada (com 90° de flexão do quadril), mantendo a cabeça em posição neutra, como demonstrado na Figura 4, dava-se início ao processo de avaliação da função pulmonar com o auxílio de um clipe nasal para evitar fuga de ar pelas narinas, e um bocal plástico rígido conectado ao espirômetro. Foram realizadas as manobras de capacidade vital lenta (CVL), capacidade vital forçada (CVF) e ventilação voluntária máxima (VVM), cada uma destas, executada sob a supervisão do mesmo avaliador.



Figura 4: Avaliação da função pulmonar. Fonte: Dados do autor.

A CVL é conceituada como o volume máximo de ar exalado de forma lenta, a partir do volume residual após uma inspiração lenta e máxima. Para realização desta manobra, os voluntários foram instruídos a realizar três ciclos respiratórios basais no nível do volume corrente, seguidos por uma inspiração lenta e máxima até a capacidade pulmonar total, quando se solicitava que o mesmo expirasse de forma lenta e contínua todo o ar antes inspirado até atingir o volume residual.

A CVF foi mensurada com o intuito de comprovar a ausência de afecções respiratórias de origem restritiva e obstrutiva, assim, seus resultados estão descritos apenas como forma de caracterização da amostra deste estudo. Para a realização dessa manobra, os voluntários foram instruídos a realizar uma inspiração máxima fora do espirômetro, seguida por uma expiração máxima e forçada no equipamento avaliativo, a qual foi estimulada pelo avaliador durante

todo o período de execução (seis segundos). Esta manobra forneceu dados referentes à própria CVF, ao volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF_1) e a relação entre o VEF_1 e a CVF (VEF_1/CVF).

Já a VVM representa o volume máximo de ar deslocado pelos pulmões em um determinado período de tempo (10 – 15 segundos). Para este estudo, a VVM foi mensurada com o voluntário respirando o mais rápido e profundamente possível, mantendo um volume de ar deslocado superior ao VC previamente mensurado pela manobra de CVL, contudo, inferior à capacidade vital, durante 12 segundos. Sendo o resultado dos 12 segundos de avaliação extrapolados de forma acumulativa para a obtenção dos valores referentes a um minuto.

3.3.3. Mobilidade torácica

A análise da mobilidade torácica foi realizada através da cirtometria torácica conforme os procedimentos descritos por Moreno et al. (2012). Esse método consiste na mensuração da circunferência torácica durante os movimentos respiratórios em nível axilar e xifóideo, por intermédio de uma fita métrica escalonada em centímetros. Para padronização dos procedimentos avaliativos, foram utilizados como pontos referenciais a prega axilar anterior (nível axilar) e o processo xifoide (nível xifóideo).

Inicialmente, com o sujeito sentado na postura ereta (90° de flexão do quadril) fixava-se um ponto zero de referência na região anterior do tórax com a fita métrica envolvendo a região a ser avaliada (Figura 5). Em seguida, solicitava-

se que o sujeito realizasse uma inspiração máxima até alcançar a capacidade pulmonar total (CPT), seguida por uma expiração máxima até o volume residual (VR), sendo registrados os valores de deslocamento da fita métrica tanto na CPT como no VR. A partir da diferença entre os valores máximos das circunferências inspiratória e expiratória registrados, pode-se calcular a mobilidade torácica dos níveis investigados (Caldeira et al., 2007).



Figura 5: Avaliação da mobilidade torácica. Fonte: Dados do autor.

3.3.4. Desempenho físico aeróbio

A avaliação do desempenho físico aeróbio foi efetuada através do teste de 12 minutos para cadeirantes (Franklin et al., 1990). Esse foi realizado em quadra

poliesportiva coberta, de piso rígido e não escorregadio, conforme os procedimentos descritos por Pereira et al. (2016). No local da avaliação foi delimitado um retângulo com medidas de 25 x 15 metros, com 12 cones, sendo distribuídos em cada uma das extremidades e também a cada 2 metros de seus respectivos vértices, formando um retângulo com perímetro de 75,32 m com marcações no chão a cada metro (Figura 6).



Figura 6: Representação da área do teste de 12 minutos. Fonte: Dados do autor.

Antes do início do teste, com os atletas em repouso, foram verificadas as variáveis: pressão arterial (método auscultatório com um esfigmomanômetro da marca Solidor, modelo aneroide (Wenzhou Qianglong Medical Appliance Factory, Wenzhou, Zhejiang, China) e um estetoscópio da marca Littmann, modelo Master Classic II (3M Health Care. St. Paul, MN, USA)); frequência cardíaca (FC – através de um cardiófrequencímetro da marca Polar, modelo RS800CX® (Polar

Electro Co.Ltda. Kempele, Oulu, Finland)); percepção subjetiva de esforço para dispneia (escala de Borg (0–10)); concentração do lactato sanguíneo (descrita posteriormente).

Em seguida, deu-se início ao teste, no qual os atletas foram orientados a percorrerem a maior distância possível durante 12 minutos, dentro do circuito delimitado (Figura 6), fazendo as curvas entre o cone mais externo e os dois mais internos, de forma a manter a velocidade. O teste iniciava e terminava com um sinal sonoro, sendo dado um estímulo verbal padronizado a cada minuto (ex: “dois minutos de teste, e você está indo muito bem, continue assim”). Ao final do teste, através da contagem do número de voltas dadas, foi computada a distância total percorrida e registradas as mesmas variáveis cardiopulmonares e metabólicas medidas inicialmente em repouso.

A fim de avaliar o estresse gerado e a intensidade do esforço mantido durante o teste, mensurou-se o percentual da frequência cardíaca máxima (%FC_{máx}) alcançada (tendo como base a frequência cardíaca máxima calculada pela equação: $FC_{máx} = 220 - idade$) e a variação da frequência cardíaca durante o teste (ΔFC) a partir da subtração simples entre a frequência cardíaca máxima do teste com a frequência cardíaca de repouso. A ΔFC foi medida com o intuito de se verificar a amplitude de variação da frequência cardíaca durante o esforço realizado.

3.3.5. Análise do lactato

Além das variáveis descritas anteriormente, antes (repouso) e após (recuperação) a avaliação do desempenho físico aeróbio realizou-se a análise da

lactacidemia ([La]) através da ordenha sanguínea nos lobos auriculares com lancetas descartáveis (Accu-Chek® Safe-T-Pro Uno, Roche, São Paulo, Brasil). A avaliação da [La] foi efetuada durante o repouso, imediatamente após o teste de esforço e durante o período de 15 minutos pós-teste (análise da remoção do lactato do meio intramuscular para a corrente sanguínea), nos períodos: 2 minutos, 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos.

Em cada ordenha foram drenados aproximadamente 25 µL de sangue por capilar, em seguida, essa quantidade de sangue foi transferida para tiras reagentes (Accusport® BM-Lactate, Roche, São Paulo, Brasil), as quais eram postas para análise em um lactímetro portátil (Accutrend® Plus, Roche, São Paulo, Brasil) previamente calibrado com solução controle (Accusport® BM-Control-Lactate, Roche, São Paulo, Brasil) conforme as recomendações do fabricante (após a limpeza do equipamento ou troca do lote de tiras reagentes), onde foram analisadas através da fotometria de reflexão, por uma reação colorimétrica do mediador químico lactato-oxidase.

3.4. Intervenções

3.4.1. Grupo TMI

Este grupo realizou um protocolo de TMI de força com carga progressiva, através de um exercitador muscular inspiratório da marca POWERbreathe, modelo Plus Heavy Resistance Sports (POWERbreathe; HaB International Ltd., Warwickshire, United Kingdom) (Figura 7), através da técnica de CPI, durante 12

semanas, cinco vezes por semana, duas vezes ao dia (antes e após o treinamento de basquetebol), conforme descrito previamente por diversos estudos (Volianitis et al., 2001; Johnson et al., 2007; Griffiths e McConnell, 2007; Tong et al., 2008; Kilding et al., 2010; Bailey et al., 2010; Goosey-Tolfrey et al., 2010).



Figura 7: Exercitador muscular inspiratório utilizado no estudo (POWERbreathe Plus Heavy Resistance Sports – HaB International Ltd., Warwickshire, United Kingdom). Fonte: <http://www.powerbreathe.com/powerbreathe-plus-heavy-resistance-hr-red>.

A característica progressiva da carga de treinamento foi utilizada devido às afirmativas de McConnell (2013), já descritas neste estudo. Assim, o protocolo de TMI teve carga inicial de 50% da $PI_{m\acute{a}x}$, progredindo para 60% após a quarta semana, e para 70% após a oitava semana, como mostrado na Figura 2. Em cada

sessão de treinamento solicitava-se aos voluntários que realizassem 30 inspirações máximas e prolongadas (partindo do volume residual até alcançar a capacidade pulmonar total), mantendo o padrão muscular inspiratório diafragmático (Figura 8). Todo o treinamento foi realizado mediante a constante supervisão dos pesquisadores. A fim de manter a sobrecarga muscular durante todo o período de intervenção e com o intuito de evitar o efeito da adaptação sobre a carga ofertada, a cada duas semanas foram efetuadas reavaliações da P_{lmáx} e readequação da carga de treinamento.



Figura 8: Sessão de treinamento muscular inspiratório. Fonte: Dados do autor.

3.4.2. Grupo Simulação

Este grupo realizou um treinamento do tipo placebo (simulado) com o mesmo equipamento utilizado pelo Grupo TMI. Os protocolos de treinamento e avaliação dos dois grupos diferenciavam-se apenas pela carga de treino, a qual foi de 15% da $P_{l\acute{m}ax}$, com ajustes a cada 2 semanas, sem progressão percentual. Este protocolo é comumente utilizado como condição de treinamento placebo por diversos estudos (Volianitis et al., 2001; Johnson et al., 2007; Griffiths e McConnell, 2007; Tong et al., 2008; Kilding et al., 2010; Bailey et al., 2010; Goosey-Tolfrey et al., 2010), e recentemente foi descrito em revisão sistemática com metanálise por HajGhanbari et al. (2013) como uma carga ineficaz e incapaz de gerar adaptações à musculatura inspiratória.

3.5. Tratamento dos Dados

Todos os dados referentes às variáveis resposta desta pesquisa estão apresentados em médias e seus respectivos desvios-padrão ou intervalos de confiança (IC 95%), sendo a organização e tabulação dos dados realizada no programa Microsoft Excel 2010, e a análise dos mesmos a partir dos recursos do aplicativo BioEstat versão 5.0. Em todas as análises adotou-se a significância de 5%

Inicialmente verificou-se a normalidade da distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Em seguida, a partir da constatação de normalidade, foi feito o teste t de Student para as comparações das variáveis referentes às características dos voluntários. Além disso, para comparação das variáveis

categóricas (classificação funcional e etiologia da deficiência física) utilizou-se o teste de chi-quadrado. Já para as análises referentes aos efeitos do TMI, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) fatorial com *post hoc* de Tukey.

Por fim, efetuou-se o cálculo do tamanho do efeito (TE). Para esta análise, fez-se uso do programa Effect Size Generator[®], versão 2.3 (Swinburne University of Technology, Center for Neuropsychology, Melbourne, Australia), no qual se realizou a medida *d de Cohen* (Cohen, 1988). Os resultados desta análise foram interpretados de forma qualitativa perante os seguintes limites: <0,2 (insignificante); 0,2 – 0,6 (pequeno); 0,6 – 1,2 (moderado); 1,2 – 2,0 (grande); 2,0 – 4,0 (muito grande); >4,0 (extremamente grande) (Hopkins, 2004).

4. RESULTADOS

Na Tabela 1 estão apresentadas as características dos grupos estudados e as variáveis referentes à avaliação da CVF no teste de função pulmonar. Nesta, é possível observar a homogeneidade da amostra, bem como, que ambos os grupos não apresentavam disfunções respiratórias de origem restritiva e obstrutiva.

Tabela 1: Características dos grupos, apresentadas em média (desvio padrão).

Variáveis	Grupo TMI N = 8	Grupo Simulação N = 8	P valor
Homens / Mulheres (n)	4 / 4	4 / 4	
Idade (anos)	26,88 (5,51)	25,13 (6,49)	0,29
Massa Corporal (kg)	58,75 (17,12)	56,84 (9,05)	0,79
Estatura (cm)	158,00 (10,11)	147,25 (27,81)	0,56
% Massa gorda	25,74 (12,94)	33,03 (24,60)	0,47
Experiência esportiva (anos)	8,19 (5,92)	8,75 (6,20)	0,85
Função pulmonar			
CVF (L)	3,83 (0,41)	3,85 (0,87)	0,18
CVF (%)	109,13 (34,47)	108,00 (15,85)	0,27
VEF ₁ (L)	3,91 (0,33)	3,73 (0,94)	0,34
VEF ₁ (%)	87,73 (35,54)	103,00 (8,96)	0,92
VEF ₁ /CVF	0,84 (0,08)	0,86 (0,04)	0,67
Classificação funcional (IWBF)			
1 – 1.5	1	0	
2 – 2.5	0	3	
3 – 3.5	1	1	0,22
4 – 4.5	6	4	
Etiologia da deficiência motora			
Sequela de poliomielite	2	2	
Malformação congênita	2	3	
Amputação em MMII	3	1	0,67
Alterações ortopédicas de MMII	1	2	

TMI = Treinamento muscular inspiratório. CVF = capacidade vital forçada. VEF₁ = volume expiratório forçado no primeiro segundo. VEF₁/CVF = razão entre o volume expiratório forçado no primeiro segundo e a capacidade vital forçada. IWBF = "International Wheelchair Basketball Federation". MMII = membros inferiores.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores referentes à força muscular respiratória (inspiratória – Plmáx e expiratória – PEmáx) antes e após as intervenções. Observa-se que o grupo TMI apresentou elevação tanto da Plmáx, como da PEmáx na comparação intragrupo (pré vs. pós), e na análise intergrupos (TMI-pós vs. Simulação-pós), com tamanho do efeito (TE) classificado como “muito grande” para a Plmáx e “moderado” para a PEmáx.

Tabela 2: Resultados da análise de variância (ANOVA) e medidas da força muscular respiratória antes e após as intervenções propostas. Dados apresentados em médias e intervalos de confiança (IC 95%).

		Plmáx (cmH₂O)	PEmáx (cmH₂O)
ANOVA	Efeito grupo	F (1;28) = 14,3 P < 0,01	F (1;28) = 4,3 P = 0,05
	Efeito tempo	F (1;28) = 31,9 P < 0,01	F (1;28) = 3,6 P = 0,06
	Interação	F (1;28) = 6,4 P = 0,02	F (1;28) = 0,3 P = 0,62
TMI	Pré	146,1 (123,8 a 168,4)	201,0 (158,8 a 243,4)
	Pós	214,9*† (190,8 a 238,9)	241,4*† (206,9 a 276,1)
	Δ%	49,2 (36,0 a 62,5)	23,8 (10,8 a 36,7)
	TE	2,5	0,7
Simulação	Pré	135,6 (116,5 a 154,7)	175,0 (142,7 a 207,3)
	Pós	161,9 (150,1 a 173,7)	198,33 (180,6 a 216,1)
	Δ%	21,53 (8,3 a 34,7)	18,67 (0,4 a 36,9)
	TE	1,4	0,6

TMI = treinamento muscular inspiratório. Δ% = variação percentual. TE = tamanho do efeito. Plmáx = pressão inspiratória máxima. PEmáx = pressão expiratória máxima. Resultados do *post hoc* de Tukey: * P < 0,05 (vs. pré-treino); † P < 0,05 (vs. grupo simulação).

Ao que se refere à função pulmonar, na Tabela 3 observa-se a ausência de adaptações volumétricas e de desempenho muscular (medidas pela CVL e VVM, respectivamente) em ambos os grupos. Em consonância, na Tabela 4 também é possível observar a ausência de adaptações da mobilidade torácica em ambos os grupos estudados.

Tabela 3: Resultados da análise de variância (ANOVA) e medidas da função pulmonar antes e após as intervenções propostas. Dados apresentados em médias e intervalos de confiança (IC 95%).

		CVL (L)	CVL (%)	VVM (L/min)	VVM (%)
ANOVA	Efeito grupo	F (1;28) = 0,7 P = 0,59	F (1;28) = 0,002 P = 0,96	F (1;28) = 4,1 P = 0,03	F (1;28) = 3,2 P = 0,08
	Efeito tempo	F (1;28) = 1,8 P = 0,19	F (1;28) = 0,7 P = 0,57	F (1;28) = 0,4 P = 0,53	F (1;28) = 0,1 P = 0,76
	Interação	F (1;28) = 0,6 P = 0,56	F (1;28) = 0,03 P = 0,87	F (1;28) = 0,01 P = 0,92	F (1;28) = 0,004 P = 0,95
TMI	Pré	3,8 (3,5 a 4,1)	109,1 (85,2 a 135,0)	137,2 (122,2 a 152,1)	119,2 (99,9 a 138,6)
	Pós	4,0 (3,8 a 4,3)	115,4 (91,7 a 139,1)	140,6 (126,6 a 154,6)	122,2 (104,7 a 139,7)
	Δ%	6,1 (0,7 a 11,6)	---	3,0 (-3,1 a 9,2)	---
	TE	0,6	0,2	0,2	0,1
Simulação	Pré	3,8 (3,2 a 4,4)	108,0 (97,0 a 119,0)	119,3 (100,8 a 137,8)	104,9 (89,1 a 120,6)
	Pós	4,3 (3,7 a 4,9)	117,4 (104,3 a 130,5)	125,0 (112,6 a 137,4)	106,8 (95,4 a 118,2)
	Δ%	14,7 (1,5 a 28,0)	---	7,5 (-5,7 a 20,8)	---
	TE	0,6	0,5	0,2	0,1

TMI = treinamento muscular inspiratório. Δ% = variação percentual. TE = tamanho do efeito. CVL = capacidade vital lenta. VVM = ventilação voluntária máxima.

Tabela 4: Resultados da análise de variância (ANOVA) e medidas da mobilidade torácica antes e após as intervenções propostas. Dados apresentados em médias e intervalos de confiança (IC 95%).

		Axilar (cm)	Xifóidea (cm)
ANOVA	Efeito grupo	F (1;28) = 0,004 P = 0,95	F (1;28) = 0,4 P = 0,55
	Efeito tempo	F (1;28) = 0,7 P = 0,59	F (1;28) = 2,1 P = 0,16
	Interação	F (1;28) = 0,004 P = 0,95	F (1;28) = 0,9 P = 0,65
TMI	Pré	5,3 (3,7 a 7,0)	4,4 (3,1 a 5,6)
	Pós	5,9 (4,7 a 7,2)	5,7 (4,6 a 6,7)
	Δ%	21,1 (-5,8 a 48,1)	42,0 (8,8 a 75,2)
	TE	0,3	0,8
Simulação	Pré	5,3 (4,1 a 6,6)	4,6 (3,7 a 5,4)
	Pós	5,8 (4,9 a 6,8)	4,8 (3,8 a 5,9)
	Δ%	18,1 (-11,5 a 47,6)	9,8 (-18,3 a 37,9)
	TE	0,3	0,2

TMI = treinamento muscular inspiratório. Δ% = variação percentual. TE = tamanho do efeito.

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentadas as variáveis coletadas mediante a aplicação do teste de avaliação do desempenho físico aeróbio (teste de 12 minutos para cadeirantes). Na Tabela 5 não são observadas quaisquer adaptações nas variáveis “distância percorrida”, “velocidade média” e “percepção subjetiva de esforço” após o período de intervenção através do TMI. Entretanto,

ressaltamos a obtenção de valores de TE “moderado” nas variáveis “distância percorrida” e “velocidade média” apenas no grupo TMI. Para mais, a Tabela 6 apresenta valores de TE condizentes com a classificação “moderado” na análise da concentração de lactato sanguíneo em repouso ($[La]_{rep}$) em ambos os grupos, e TE “grande” nas variáveis referentes ao comportamento da frequência cardíaca (FC_{rep} e ΔFC) do grupo TMI.

Tabela 5: Resultados da análise de variância (ANOVA) e medidas da distância percorrida, velocidade média e percepção subjetiva de esforço durante a avaliação do desempenho físico aeróbio antes e após as intervenções propostas. Dados apresentados em médias e intervalos de confiança (IC 95%).

		Distância percorrida (m)	Velocidade média (km/h)	PSE (Borg: 0-10)
ANOVA	Efeito grupo	F (1;28) = 1,2 P = 0,28	F (1;28) = 7,9 P = 0,01	F (1;28) = 0,7 P = 0,60
	Efeito tempo	F (1;28) = 0,1 P = 0,74	F (1;28) = 0,3 P = 0,58	F (1;28) = 0,9 P = 0,65
	Interação	F (1;28) = 1,8 P = 0,19	F (1;28) = 1,0 P = 0,32	F (1;28) = 1,0 P = 0,67
TMI	Pré	2601,5 (2487,7 a 2715,2)	13,0 (12,4 a 13,6)	9,6 (8,9 a 10,4)
	Pós	2691,7 (2632,2 a 2751,2)	13,5 (13,2 a 13,8)	9,8 (9,4 a 10,1)
	$\Delta\%$	3,7 (-0,4 a 7,9)	3,7 (-0,4 a 7,9)	2,3 (-5,4 a 10,1)
	TE	0,7	0,7	0,2
Simulação	Pré	2498,0 (2354,1 a 2641,9)	12,5 (11,8 a 13,2)	8,5 (7,8 a 9,2)
	Pós	2472,8 (2358,2 a 2587,4)	12,4 (11,8 a 12,9)	9,0 (8,4 a 9,6)
	$\Delta\%$	-0,6 (-6,6 a 5,4)	-0,6 (-6,6 a 5,4)	7,5 (-5,0 a 19,9)
	TE	0,1	0,1	1,0

TMI = treinamento muscular inspiratório. $\Delta\%$ = variação percentual. TE = tamanho do efeito. PSE = percepção subjetiva de esforço.

Tabela 6: Resultados da análise de variância (ANOVA) e medidas da frequência cardíaca (FC) e concentração de lactato sanguíneo ([La]) durante a avaliação do desempenho físico aeróbio antes e após as intervenções propostas. Dados apresentados em médias e intervalos de confiança (IC 95%).

		FC_{rep} (bpm)	%FC_{máx} (%)	ΔFC (bpm)	[La]_{rep} (mmol/L)	Δ[La] (mmol/L)
ANOVA	Efeito grupo	F (1;28) = 1,1 P = 0,31	F (1;28) = 4,8 P = 0,04	F (1;28) = 0,8 P = 0,63	F (1;28) = 2,0 P = 0,16	F (1;28) = 0,4 P = 0,54
	Efeito tempo	F (1;28) = 0,3 P = 0,07	F (1;28) = 0,2 P = 0,69	F (1;28) = 3,0 P = 0,09	F (1;28) = 7,3 P = 0,01	F (1;28) = 0,7 P = 0,58
	Interação	F (1;28) = 7,2 P = 0,01	F (1;28) = 0,2 P = 0,69	F (1;28) = 6,0 P = 0,02	F (1;28) = 1,1 P = 0,30	F (1;28) = 0,1 P = 0,79
TMI	Pré	85,1 (80,1 a 90,1)	93,5 (89,1 a 97,9)	92,6 (83,2 a 102,0)	4,2 (3,1 a 5,4)	5,3 (4,5 a 6,1)
	Pós	72,8* (68,4 a 77,1)	95,2 (91,9 a 98,5)	111,0* (104,4 a 117,6)	2,7 (2,0 a 3,4)	6,1 (4,9 a 7,4)
	Δ%	-14,0 (-21,2 a -6,8)	2,1 (-1,1 a 5,2)	21,4 (11,7 a 31,0)	-26,0 (-52,1 a 0,1)	20,6 (-11,4 a 52,6)
	TE	1,7	0,5	1,6	1,1	0,5
Simulação	Pré	75,4 (67,5 a 83,3)	89,8 (84,6 a 94,9)	99,4 (89,2 a 109,5)	3,2 (2,4 a 4,0)	6,0 (4,0 a 7,9)
	Pós	78,3 (72,2 a 84,5)	89,7 (86,4 a 93,1)	96,3 (88,6 a 104,1)	2,5 (2,2 a 2,9)	6,4 (4,8 a 8,0)
	Δ%	5,8 (-8,0 a 19,6)	0,3 (-4,2 a 4,9)	-1,9 (-11,8 a 8,1)	-10,6 (-35,2 a 14,0)	16,7 (-3,0 a 36,5)
	TE	0,3	0,1	0,2	0,8	0,2

TMI = treinamento muscular inspiratório. Δ% = variação percentual. TE = tamanho do efeito. FC_{rep} = frequência cardíaca de repouso. %FC_{máx} = percentual alcançado da frequência cardíaca máxima calculada. ΔFC = variação da frequência cardíaca durante o teste de esforço. [La]_{rep} = concentração de lactato sanguíneo em repouso. Δ[La] = variação na concentração de lactato sanguíneo durante o teste de esforço. Resultados do *post hoc* de Tukey: * P < 0,05 (vs. pré-treino).

Nas comparações relacionadas à remoção do lactato sanguíneo (Figura 9), a análise de variância (ANOVA) não evidenciou adaptações entre os períodos avaliados em ambos os grupos, com exceção da comparação entre a concentração de lactato ao final do teste de esforço com a concentração de

lactato no 15^o minuto de recuperação pós-teste, após o período de intervenção do Grupo simulação.

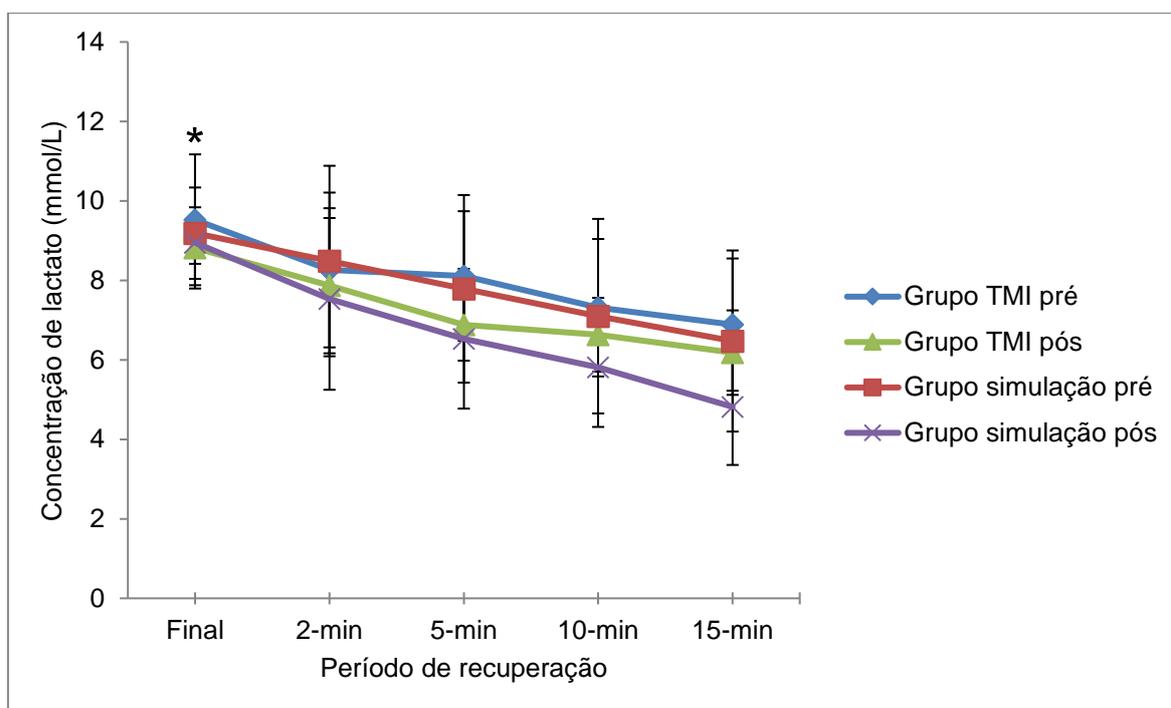


Figura 9: Análise gráfica da remoção de lactato antes e após as intervenções propostas. ANOVA (Efeito grupo: $F(1;140) = 1,8$; $P = 0,18$) (Efeito tempo: $F(9;140) = 7,4$; $P < 0,01$) (Interação: $F(9;140) = 0,3$; $P = 0,98$). Resultados do *post hoc* de Tukey: * $P < 0,01$ (Final vs. 15-min – Grupo simulação pós-intervenção).

5. DISCUSSÃO

Após o período de treinamento proposto, os principais achados desta pesquisa foram o aumento da força muscular inspiratória e expiratória no grupo TMI, e a ausência de adaptações na função pulmonar, mobilidade torácica, desempenho físico aeróbio e lactacidemia em ambos os grupos.

Acredita-se que a alta capacidade adaptativa dos músculos inspiratórios, associada à característica progressiva da carga de treinamento, possivelmente, influenciaram de forma positiva a elevação em grande magnitude da força muscular inspiratória (FMI) do grupo TMI.

Segundo Akiyama et al. (1996), o TMI é capaz de gerar adaptações em nível molecular através elevação da atividade enzimática (citocromo c oxidase) na cadeia transportadora de elétrons do músculo diafragma. Além disso, Ramírez-Sarmiento et al., (2002) afirmam que um programa de TMI pode causar alterações morfológicas na musculatura inspiratória através do aumento na proporção de fibras musculares do tipo I, e do tamanho das fibras musculares do tipo II.

Levando em consideração os achados dos estudos supracitados, sugerimos que a estratégia de treinamento utilizada no grupo TMI foi capaz de gerar maiores adaptações à musculatura inspiratória, fazendo com que observássemos uma variação da FMI não apresentada por estudos anteriores que realizaram o TMI em atletas com deficiências físicas.

Goosey-Tolfrey et al. (2010), encontraram elevação de 17% da FMI em um grupo de jogadores de basquetebol em cadeira de rodas após a aplicação de um protocolo de TMI durante 6 semanas, com carga fixa de 50% da P_{Imáx}. Mais recentemente, West et al. (2014) chegaram a um aprimoramento de 11% na FMI de jogadores de rugby em cadeira de rodas com LMT em nível cervical após 6 semanas de TMI, com carga inicial de 50% da P_{Imáx}, evoluindo para 60% a partir do momento que o voluntário se mostrasse apto a realizar as 30 inspirações forçadas do protocolo de treinamento de forma contínua. Contudo, devemos ter cautela ao comparar os resultados deste estudo com os de Goosey-Tolfrey et al. (2010) e West et al. (2014), uma vez que, essas pesquisas realizaram protocolos de TMI com duração menor (6 semanas) e recrutaram, majoritariamente, atletas com deficiências físicas oriundas de sequelas de LMT, o que gera uma série de particularidades sobre a função muscular e pulmonar desses sujeitos.

Em revisão sistemática, HajGhanbari et al. (2013) sugerem que estratégias de TMI de força com carga resistida produzam melhores adaptações sobre a FMI de atletas. Ainda, Romer e McConnell (2003) estabelecem que, para alcançar melhores resultados, o TMI deve ser realizado com a associação entre altas cargas de trabalho e baixa velocidade inspiratória. Além disso, McConnell e Griffiths (2010) afirmam que cargas de TMI que superem 70% da P_{Imáx} são prejudiciais aos músculos inspiratórios, uma vez que, nessa condição, tem-se uma redução drástica do volume de ar deslocado em cada ciclo respiratório, além de uma diminuição significativa do número de repetições (inspirações forçadas realizadas com a técnica correta) durante a sessão de treinamento. Os mesmos autores ainda sugerem que estes achados estejam associados com o declínio do

desempenho físico / esportivo tanto durante a rotina comum de treinamento, como durante as competições devido o surgimento de sintomas de *overreaching* funcional, sendo contraindicada a aplicação de protocolos de TMI com carga superior a 70% da P_{Imáx}.

Diante de todos esses conceitos e evidências previamente publicadas, sugerimos que a aplicação de um programa de TMI com carga incremental, respeitando os limites de carga descritos na literatura (60% a 70% da P_{Imáx}), tenha sido de extrema relevância para observarmos a melhora da FMI no grupo TMI. Contudo, ainda são necessários novos estudos que avaliem as respostas ao TMI em diferentes tipos de atletas, deficiências físicas e classificação funcional, assim como diversos tipos e magnitude de cargas, bem como novas formas de aplicação do TMI, para que possamos compreender melhor a influência de cada uma desses fatores sobre o aprimoramento da FMI em atletas de modalidades esportivas em cadeira de rodas.

Outra resposta relevante encontrada nesta pesquisa foi a elevação da força muscular expiratória (FME) no grupo TMI. Apesar de contraditório, este é um achado comum em estudos que trabalham com o TMI. Wylegala et al. (2007) observaram aumento de 15,2% da FME, após um período de 4 semanas de TMI em mergulhadores. Enquanto que, semelhante aos resultados aqui apresentados, Goosey-Tolfrey et al. (2010) demonstraram elevação de 23% na FME de jogadores de basquetebol em cadeira de rodas após 6 semanas de TMI.

Sabe-se que, de forma aguda, o encurtamento das fibras musculares durante a contração diafragmática gera a retificação desta musculatura a fim de

reduzir a pressão intratorácica (Reid e Dechman, 1995). Contudo, ao passo que esse mecanismo diminui a pressão intratorácica, ele provoca um aumento da pressão intra-abdominal, devido à compressão do conteúdo visceral dessa cavidade. Esse aumento da pressão intra-abdominal é transmitido lateralmente pela caixa torácica através da zona de aposição diafragmática, levando assim a expansão da porção inferior do tórax (De Troyer et al., 1982). À medida que a caixa torácica se expande, comprimindo o conteúdo abdominal, é observado um aumento da protrusão abdominal, o que conduz a uma elevação da tensão nas fibras musculares abdominais, fazendo com que, quanto maior a força de contração e amplitude de movimento diafragmático, maior será a força de retração exercida pela musculatura abdominal durante a expiração. Assim, supõe-se que o aumento da FME esteja relacionado ao aumento da FMI, e um possível aumento da amplitude de movimento diafragmática, conforme o mecanismo supracitado.

A despeito de adaptações funcionais dos músculos respiratórios, não foram observadas alterações nas variáveis referentes à mobilidade torácica em ambos os grupos. Somente o estudo de Moreno et al. (2012) realizou a análise da mobilidade torácica pela cirtometria em atletas cadeirantes. Os autores estudaram grupos de pessoas sedentárias e fisicamente ativas, com lesões medulares em diferentes níveis (tetraplégicos e paraplégicos), e por fim, observaram que a mobilidade torácica possui relação inversa com a gravidade da lesão medular, e direta com o nível de aptidão física dos sujeitos, constatando que os voluntários mais ativos apresentavam maior mobilidade torácica do que os sedentários.

Lanza et al. (2013), demonstraram a existência de correlação direta entre a mobilidade torácica (medida pela cirtometria toracoabdominal), a força muscular inspiratória e a função pulmonar de sujeitos saudáveis, atribuindo esses achados as afirmativas de que quanto maior for o volume de ar deslocado pelos pulmões durante o teste de função pulmonar, e quanto maior for a capacidade de gerar força dos músculos inspiratórios, maior será a mobilidade da caixa torácica.

Partindo das informações supracitadas, e diante da elevação da FMI no grupo TMI, hipotetizávamos um aumento da mobilidade torácica nos atletas pertencentes a este grupo, no entanto, não foram observadas tais adaptações. Este achado nos leva a supor que o aperfeiçoamento funcional dos músculos inspiratórios gerados pelo TMI não tenham sido suficientemente eficazes a ponto de produzir adaptações sobre mobilidade torácica, contrariando as afirmativas dos estudos supracitados.

A ausência de adaptações nas variáveis investigadas frente ao teste de 12 minutos para cadeirantes indicam, em termos práticos, que não houve melhora do desempenho físico aeróbio dos atletas que realizaram o TMI nesta pesquisa. Estudos anteriores apontam que os músculos inspiratórios são capazes de limitar o desempenho físico de indivíduos saudáveis e de atletas de alta exigência esportiva (Dempsey et al., 2002; Romer et al., 2006; McConnell e Lomax 2006; Harms, 2007; Dempsey et al., 2008; Romer e Polkey, 2008). Além disso, em pesquisa previamente publicada por este grupo, pôde-se observar a existência de correlação positiva entre a FMI e o desempenho físico aeróbio de atletas de basquetebol em cadeira de rodas (Pereira et al., 2016).

A limitação do desempenho físico aeróbio de atletas gerado pela musculatura inspiratória pode ser explicada pela magnitude da ativação do metaborreflexo induzido pelo trabalho da musculatura inspiratória. Como descrito anteriormente, a ativação do metaborreflexo muscular inspiratório acontece através do estímulo metabólico das fibras aferentes mielinizadas mecanossensíveis do tipo III, e não-mielinizadas quimiossensíveis do tipo IV, provenientes da musculatura inspiratória, especialmente do diafragma (St Croix et al., 2000; Dempsey et al., 2006). A exacerbação da ativação dessas fibras gera uma resposta reflexa vasoconstritora na musculatura esquelética periférica em atividade (ex.: músculos dos membros inferiores durante uma corrida) através da elevação da liberação de mediadores simpáticos locais (St Croix et al., 2000). A partir desse mecanismo, a menor oferta de sangue e conseqüente menor oferta de oxigênio à musculatura esquelética ativa, estabelece a redução do rendimento desses músculos pela exacerbação do desequilíbrio ácido-básico (principalmente pelo acúmulo de íons de hidrogênio [H⁺]) gerado pelo exercício físico (Harms et al., 2000; St. Croix et al., 2000).

A exacerbação na ativação do metaborreflexo muscular inspiratório também está associada à sensação de dispneia, e conseqüente diminuição da capacidade de gerar força dos músculos envolvidos no exercício físico, causando o aparecimento da sensação de fadiga precocemente e redução do consumo máximo de oxigênio (VO₂máx) (Bender & Martin, 1985; Mador et al., 1993; Johnson et al., 1996; McConnell et al., 1997; Perret et al., 1999; Williams et al., 2002).

Pesquisas que avaliaram os efeitos do TMI sobre o desempenho físico/esportivo em atletas de diversas modalidades têm demonstrado a grande importância da inserção desse tipo de treinamento na rotina de tais sujeitos. Volianitis et al. (2001) e Johnson et al. (2007) avaliaram os efeitos do TMI com carga fixa de 50% da $PI_{máx}$ em remadores e ciclistas, respectivamente, obtendo melhoras em seus desempenhos esportivos nas provas de 5000 m (remadores) e 25 km (ciclistas). Já Bailey et al. (2010), além de observarem o aumento da tolerância ao exercício, encontraram redução significativa da concentração de lactato sanguíneo até o sexto minuto do teste de esforço físico com carga constante, além disso, também puderam observar um aumento na amplitude do componente lento da cinética do consumo de oxigênio (VO_2), atribuindo esses achados a redução da magnitude de ativação do metaborreflexo muscular inspiratório.

Entretanto, corroborando os achados de Goosey-Tolfrey et al. (2010), esta pesquisa não observou adaptações positivas significativas no desempenho físico de atletas de basquetebol em cadeira de rodas após o TMI. A partir deste achado, pode-se inferir que o tamanho da amostra tenha influenciado na obtenção desses resultados, uma vez que, foi observado tamanho do efeito moderado para as variáveis “distância percorrida” e “velocidade média”. Assim, ressaltamos a necessidade de novas pesquisas, com maior número de participantes, para que tenhamos uma resposta mais coesa referente à influência do TMI sobre o desempenho físico de atletas de modalidades esportivas em cadeira de rodas.

Além dos aspectos já discutidos, deve-se levar em consideração a ausência de adaptações sobre a concentração e remoção da lactato sanguíneo

após o TMI. Entende-se que a variação da concentração de lactato sanguíneo esteja relacionada com a capacidade de produção de energia através da via metabólica anaeróbia láctica. Para mais, a capacidade de remoção do lactato de dentro das células musculares para a corrente sanguínea, bem como o seu transporte até as células hepáticas, cardíacas e musculares (fibras do tipo I), estão relacionadas com a eficiência dos transportadores de monocarboxilato (MCTs - proteínas transportadoras do lactato das células musculares para a corrente sanguínea), com a capacidade orgânica de regulação do pH intramuscular e de ressíntese de ATP (trifosfato de adenosina) durante um estresse físico de alta intensidade (Goodwin et al., 2007).

Estudos prévios como o de Messonnier et al. (2006), apontam que menores concentrações de lactato sanguíneo ao final de um teste de esforço físico, assim como uma melhor remoção do lactato sanguíneo, estão relacionadas a um melhor condicionamento físico. Os mesmos autores hipotetizam que a redução do acúmulo de lactato frente a uma mesma carga de trabalho muscular indica menor quebra da homeostase orgânica, e ressaltam que a evolução na eficiência da remoção do lactato sanguíneo aumenta a capacidade do organismo de se manter em exercício de alta intensidade devido à melhora do sistema tampão, principalmente pelo aumento da densidade mitocondrial e das MCTs.

Brown et al. (2010), avaliaram a eficácia do TMI de força com carga fixa de 50% da $Pl_{máx}$ sobre a concentração e remoção do lactato sanguíneo de sujeitos saudáveis. Como resultados, encontraram redução nas concentrações de lactato e o aperfeiçoamento da capacidade de remoção do lactato sanguíneo frente a um teste de esforço físico com carga constante. Os autores atribuíram esses achados

a adaptações estruturais e metabólicas inerentes ao TMI, justificadas pelos achados de Akiyama et al., (1996) e Ramírez-Sarmiento et al., (2002), descritos anteriormente.

Contrariando os achados de estudos anteriores, nesta pesquisa não foram observadas tais adaptações, o que nos leva a inferir três hipóteses: 1) a estratégia de TMI utilizada se mostrou incapaz de aprimorar a eficiência da via metabólica anaeróbia láctica dos músculos inspiratórios, do mesmo modo em que se mostrou inapta a melhorar a capacidade de utilização do lactato como substrato energético, diante de um esforço físico de alta intensidade; 2) o volume de produção de lactato pelos músculos inspiratórios é insuficiente para gerar alterações sistêmicas na [La]; 3) o protocolo de avaliação do desempenho físico aeróbio utilizado (teste de 12 minutos para cadeirantes) não foi sensível ao ponto de mostrar tais adaptações na via glicolítica, o que talvez seja uma das principais limitações deste estudo.

Mais estudos são necessários para elucidar de que forma o TMI pode gerar adaptações metabólicas que aumentem a eficácia da produção de energia durante o esforço físico de alta intensidade. Contudo, desde já, aderimos a hipótese que aponta que estratégias de TMI que associem longos tempos de execução com cargas moderadas de treinamento, sejam capazes de gerar adaptações que produzam maiores interferências sobre o fornecimento de energia e, por consequência, sobre o desempenho físico de atletas (Sales et al., 2016), uma vez que, os músculos inspiratórios são majoritariamente compostos por fibras musculares do tipo I e IIa, o que lhes confere alta capacidade oxidativa e de resistência a fadiga. Assim, possivelmente, ao associarmos estratégias de

TMI de resistência com o treinamento físico específico da modalidade esportiva em questão, observemos melhores resultados em comparação aos que estão expostos por esta pesquisa.

Independente das adaptações geradas pelo TMI sobre todas as variáveis estudadas, o período de treinamento físico / esportivo do basquetebol em cadeira de rodas pode ter influenciado os achados desta pesquisa, uma vez que, como demonstrado por Moreno et al. (2012) e Pereira et al. (2016), o treinamento esportivo de modalidades em cadeira de rodas é capaz de gerar adaptações musculares e sistêmicas que podem produzir melhores resultados no desempenho físico aeróbio e variáveis cardiopulmonares. Assim, deve-se ter cautela ao atribuímos todas as adaptações encontradas neste estudo apenas ao TMI.

Algumas limitações foram encontradas neste estudo e devem ser apontadas. Não foi possível atender ao número de sujeitos por grupo, sugerido pelo cálculo amostral, visto que haviam apenas 18 voluntários elegíveis para o estudo dentro da equipe esportiva na qual o experimento foi realizado. Contudo, vale ressaltar que grande parte dos ensaios clínicos que investigam questões pertinentes ao universo dos esportes adaptados apresentam um baixo número de participantes, uma vez que, quando comparado ao universo das pessoas sem deficiências físicas, ainda vislumbramos um baixo número de adeptos aos esportes adaptados, o que dificulta a realização de estudos com um maior número de participantes nesta população, como observado nos estudos de Goosey-Tolfrey et al. (2010) e Moreno et al. (2012). Todavia, salientamos que os critérios de elegibilidade propostos para este estudo foram seguidos

rigorosamente, e que todos os sujeitos elegíveis dentro da amostra estudada foram incluídos nas análises.

Outra limitação importante que possivelmente pode ter causado dificuldades na observação de resultados mais incisivos neste estudo, diz respeito ao teste de esforço utilizado para análise do desempenho físico dos atletas. Sabe-se que, para obtenção dos valores acurados referentes ao desempenho físico aeróbio, deve-se realizar um teste de exercício cardiopulmonar, contudo, diante das opções de testes de campo adaptados para a população avaliada, o teste de 12 minutos para cadeirantes mostrou-se como uma possibilidade viável para obtenção da variável investigada, mesmo tendo ciência de se tratar de um teste autocadenciado. Além disso, é possível que um teste de esforço cadenciado externamente e com característica intermitente atendesse de forma mais satisfatória a especificidade do esforço físico realizado na prática do basquetebol em cadeira de rodas.

Apesar das limitações supracitadas, ressaltamos a importância deste estudo para a comunidade científica, técnicos e treinadores, que precisam de respostas práticas e que deem embasamento teórico e científico à suas práticas diárias. Apesar de todas as dificuldades encontradas na realização de um ensaio clínico randomizado de alto rigor metodológico, conseguimos desenvolver uma pesquisa com atletas de alto rendimento em nível nacional e internacional, utilizando um grupo simulação e um grupo intervenção durante um longo período de tempo (12 semanas). Além disso, a utilização de um teste de campo realizado no mesmo ambiente de treinamento e jogo dos atletas aumenta a especificidade da avaliação, e torna os resultados desta pesquisa mais palpável aos

profissionais da área. A associação de todos esses fatores confere uma grande relevância científica a este estudo, principalmente por aproximar ciência e realidade prática.

6. CONCLUSÃO

Após análise e discussão dos achados deste estudo, pode-se concluir que o TMI associado ao treinamento físico / esportivo, é uma estratégia válida para melhora da força muscular respiratória de atletas de basquetebol em cadeira de rodas. Entretanto, essa estratégia de treinamento se mostrou inapta em melhorar o desempenho físico aeróbio, função pulmonar e mobilidade torácica desses sujeitos.

Contudo, estudos que avaliem diferentes intensidades, frequências, volumes, modalidades esportivas e estratégias de TMI ainda são necessários para que se possa definir qual a melhor metodologia de avaliação e de treinamento para cada modalidade esportiva.

REFERÊNCIAS*

Aaron EA, Seow KC, Johnson BD, Dempsey JA. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J Appl Physiol*. 1992; 72 (5): 1818-25.

Akiyama Y, Garcia RE, Bazzzy AR. Effect of inspiratory training on mitochondrial DNA and cytochrome-c oxidase expression in the diaphragm. *Am J Physiol*. 1996; 271 (2 Pt 1): 320-5.

Bailey SJ, Romer LM, Kelly J, Wilkerson DP, DiMenna FJ, Jones AM. Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2010; 109 (2): 457-68.

Bender PR, Martin BJ. Maximal ventilation after exhausting exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1985; 17: 164-167.

Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis*. 1969; 103: 641-50.

Brown PI, Sharpe GR, Johnson MA. Loading of trained inspiratory muscles speeds lactate recovery kinetics. *Med Sci Sports Exerc*. 2010; 42 (6): 1103-12.

Caldeira VS, Starling CC, Britto RR, Martins JA, Sampaio RF, Parreira VF. Reliability and accuracy of spirometry in healthy adults. *J Bras Pneumol*. 2007; 33 (5): 519-26.

* Baseadas na norma do *International Committee of Medical Journal Editors* - Grupo de Vancouver; 2005.

Cohen J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2.ed. Hillsdale, NJ, EUA: Lawrence Earlbaum Associates; 1988.

Coutts KD. Dynamics of wheelchair basketball. *Med Sci Sports Exerc.* 1992; 24 (2): 231-234.

De Rose Junior D, Deschamps S, Korsakas P. Situações causadoras de “stress” no basquetebol de alto rendimento: fatores competitivos. *Ver Paul Educ Fis.* 1999; 13 (2): 217-29.

De Troyer A, Kelly S. Chest wall mechanics in dogs with acute diaphragm paralysis. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1982; 53 (2): 373-9.

Dempsey JA, McKenzie DC, Haverkamp HC, Eldridge MW. Update in the understanding of respiratory limitations to exercise performance in fit, active adults. *Chest.* 2008; 134 (3): 613-622.

Dempsey JA, Romer L, Rodman J, Miller J, Smith C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir Physiol Neurobiol.* 2006; 151 (2-3): 242-50.

Dempsey JA, Sheel AW, St Croix CM, Morgan BJ. Respiratory influences on sympathetic vasomotor outflow in humans. *Respir Physiol Neurobiol.* 2002; 130 (1): 3-20.

Forbes S, Game A, Syrotuik D, Jones R, Bell GJ. The effect of inspiratory and expiratory respiratory training in rowers. *Res Sports Med.* 2011; 19 (4): 217-30.

Franklin BA, Swantek KI, Grais SL, Johnstone KS, Gordon S, Timmis GC. Field test estimation of maximal oxygen consumption in wheelchair users. Arch Phys Med Rehabil. 1990; 71 (8): 574-8.

Gomes AC. Carga de Treinamento nos Esportes. Londrina, PR, Brasil: Sport Training Ltda; 2010.

Goodwin ML, Harris JE, Hernández A, Gladden LB. Blood lactate measurements and analysis during exercise: a guide for clinicians. J Diabetes Sci Technol. 2007; 1 (4): 558-69.

Goosey-Tolfrey VL. Physiological profiles of elite wheelchair basketball players in preparation for the 2000 paralympic games. Adapt Phys Activ Q. 2005; 22 (1): 57-66.

Goosey-Tolfrey VL, Foden E, Perret C, Degens H. Effects of inspiratory muscle training on respiratory function and repetitive sprint performance in wheelchair basketball players. Br J Sports Med. 2010; 44 (9): 665-8.

Griffiths LA, McConnell AK. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. Eur J Appl Physiol. 2007; 99 (5): 457-466.

HajGhanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, *et al.* Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. J Strength Cond Res. 2013; 27 (6): 1643-63.

Harms CA, Wetter TJ, St Croix CM, Pegelow DF, Dempsey JA. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol.* 2000; 89 (1): 131-8.

Harms CA. Insights into the role of the respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol.* 2007; 584 (Pt 3): 711.

Hopkins WG. How to interpret changes in an athletic performance test. *Sportscience.* 2004; 8: 1-7.

Johnson BD, Aaron EA, Babcock MA, Dempsey JA. Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28: 1129-1137.

Johnson BD, Babcock MA, Suman OE, Dempsey JA. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *J Physiol.* 1993; 460: 385-405.

Johnson MA, Sharpe GR, Brown PI. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 101 (6): 761-770.

Kilding AE, Brown S, McConnell AK. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur J Appl Physiol.* 2010;108 (3): 505-11.

Lanza FC, de Camargo AA, Archija LR, Selman JP, Malaguti C, Dal Corso S. Chest wall mobility is related to respiratory muscle strength and lung volumes in healthy subjects. *Respir Care.* 2013; 58 (12): 2107-12.

Mador MJ, Magalang UJ, Rodis A, Kufel TJ. Diaphragmatic fatigue after exercise in healthy human subjects. *Am Rev Respir Dis.* 1993; 148: 1571-5.

Marques RFR, Gutierrez GL, Almeida MAB, Menezes RF. Mídia e movimento paraolímpico no Brasil: relações sob o ponto de vista de dirigentes do Comitê Paralímpico Brasileiro. *Rev Bras Educ Fís Esporte.* 2013; 27 (4): 583-96.

McArdle WD, Katch FI, Katch VL. *Fisiologia do Exercício: energia, nutrição e desempenho humano.* 6ª ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Guanabara Koogan;2008.

McConnell A. *Treinamento respiratório para um desempenho superior.* 1ª ed. Barueri, SP, Brasil: Manole; 2013.

McConnell AK, Caine MP, Sharpe GR. Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: the influence of baseline strength. *Int J Sports Med.* 1997; 18: 169-173.

McConnell AK, Griffiths LA. Acute cardiorespiratory responses to inspiratory pressure threshold loading. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42: 1696-1703.

McConnell AK, Lomax M. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *J Physiol.* 2006; 577 (Pt 1): 445-57.

McConnell AK, Romer LM. Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *Int J Sports Med.* 2004; 25 (4): 284-293.

McManus AM, Armstrong N. Physiology of elite young female athletes. *Med Sport Sci.* 2011; 56: 23-46.

Messonnier L, Freund H, Denis C, Féasson L, Lacour JR. Effects of training on lactate kinetics parameters and their influence on short high-intensity exercise performance. *Int J Sports Med.* 2006; 27 (1): 60-6.

Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, *et al.* American Thoracic Society / European Respiratory Society (ATS / ERS). Task Force: standardization of lung function testing - Standardization of Spirometry. *Eur Resp J.* 2005; 26 (2): 319-338.

Moreno MA, Zamunér AR, Paris JV, Teodori RM, Barros RM. Effects of wheelchair sports on respiratory muscle strength and thoracic mobility of individuals with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012; 91 (6): 470-7.

Mostoufi-Moab S, Widmaier EJ, Cornett JA, Gray K, Sinoway LI. Forearm training reduces the exercise pressor reflex during ischemic rhythmic handgrip. *J Appl Physiol (1985).* 1998; 84 (1): 277-83.

Neder JA, andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res.* 1999; 32 (6): 719-27.

Nickerson BG, Keens TG. Measuring ventilatory muscle endurance in humans as sustainable inspiratory pressure. *J Appl Physiol.* 1982; 52: 768-772.

Nicks CR, Morgan DW, Fuller DK, Caputo JL. The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *Int J Sports Med.* 2009; 30 (1): 16-21.

Padulo J, Attene G, Migliaccio GM, Cuzzolin F, Vando S, Ardigò LP. Metabolic optimization of the basketball free throw. *J Sports Sci.* 2015; 33 (14): 1454-8.

Pereira RN, Abreu MFR, Gonçalves CB, Corrêa WFS, Mizuhira DR, Moreno MA. Respiratory muscle strength and aerobic performance of wheelchair basketball players. *Motriz.* 2016; 22 (3):124-32.

Perret C, Pfeiffer R, Boutellier U, Wey HM, Sengler CM. Noninvasive measurement of respiratory muscle performance after exhaustive endurance exercise. *Eur Resp J.* 1999; 14: 264-269.

Platonov VN. *Teoria Geral do Treinamento Desportivo Olímpico.* Porto Alegre, RS, Brasil: ArtMed: 2004.

Ramírez-Sarmiento A, Orozco-Levi M, Guell R, Barreiro E, Hernandez N, Mota S, *et al.* Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: structural adaptation and physiologic outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 166 (11): 1491-7.

Reid WD, Dechman G. Considerations when testing and training the respiratory muscles. *Phys Ther.* 1995; 75 (11): 971-82.

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.* 2006; 571 (Pt 2): 425-39.

Romer LM, McConnell AK. Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35 (2): 237-44.

Romer LM, Polkey MI. Exercise-induced respiratory muscle fatigue: implications for performance. *J Appl Physiol.* 2008; 104 (3): 879-88.

Sales AT, Fregonezi GA, Ramsook AH, Guenette JA, Lima IN, Reid WD. Respiratory muscle endurance training in athletes and non-athletes: a systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport.* 2016; 17: 76-86.

Sheel AW, Derchak PA, Morgan BJ, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JÁ. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in rest leg blood flow in humans. *J Physiol.* 2001; 537 (Pt 1): 277-89.

Somers VK, Leo KC, Shields R, Clary M, Mark AL. Forearm endurance-training attenuates sympathetic nerve response to isometric handgrip in normal humans. *J Appl Physiol (1985).* 1992; 72 (3): 1039-43.

Sousa A, Corredeira R, Pereira AL. Desporto paraolímpico em Portugal: da sua génese à atualidade. *Rev Port Cien Desp.* 2013; 13 (1): 93-112.

St Croix CM, Morgan BJ, Wetter TJ, Dempsey JA. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *J Physiol.* 2000; 529 (2): 493-504.

Tong TK, Fu FH, Chung PK, Eston R, Lu K, Quach B, Nie J, So R. The effect of inspiratory muscle training on high-intensity, intermittent running performance to exhaustion. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008; 33 (4): 671-81.

Troosters T, van der Molen T, Polkey M, Rabinovich RA, Vogiatzis I, Weisman I, Kulich K. Improving physical activity in COPD: towards a new paradigm. *Respir Res*. 2013; 14 (1): 115.

Vergès S, Flore P, Nantermoz G, Lafaix PA, Wuyam B. Respiratory muscle training in athletes with spinal cord injury. *Int J Sports Med*. 2009; 30 (7): 526-532.

Vergès S, Renggli AS, Nottter DA, Spengler CM. Effects of different respiratory muscle training regimes on fatigue-related variables during volitional hyperpnoea. *Respir Physiol Neurobiol*. 2009; 169 (3): 282-90.

Volianitis S, McConnell AK, Koutedakis Y, McNaughton L, Backx K, Jones DA. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 36 (5): 803-809.

Wells GC, 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*. 2005; 94 (5-6): 527-40.

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*. 2014; 24 (5): 764-72.

Williams JS, Wonqsathikun J, Boon SM, Acevedo EO. Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34 (7): 1194-8.

Winslow C, Rozovsky J. Effect of spinal cord injury on the respiratory system. *Am J Phys Med Rehabil.* 2003; 82: 803-814.

Witt JD, Guenette JA, Rupert JL, McKenzie DC, Sheel AW. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *J Physiol.* 2007; 584 (Pt 3): 1019-28.

Wylegala JA, Pendergast DR, Gosselin LE, Warkander DE, Lundgren CE. Respiratory muscle training improves swimming endurance in divers. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 99 (4): 393-404.

Zakharov A, Gomes AC. *Ciência do Treinamento Desportivo.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Grupo Palestra Sport: 2002.

Certificado

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "*Treinamento muscular inspiratório em jogadores de basquetebol em cadeira de rodas: efeitos sobre o desempenho físico e variáveis cardiopulmonares*", sob o protocolo nº 57/13, da pesquisadora **Profa. Marlene Aparecida Moreno** esta de acordo com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde/MS, de 12/12/2012, tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa – UNIMEP.

We certify that the research project with title *Inspiratory muscle training in wheelchair basketball players: effects on physical performance and cardiopulmonary variables*", protocol nº 57/13, by Researcher **Profa. Marlene Aparecida Moreno** is in agreement with the Resolution 196/96 from Conselho Nacional de Saúde/MS and was approved by the Ethical Committee in Research at the Methodist University of Piracicaba – UNIMEP.



Prof. Dr. Rodrigo Batagello
Coordenador CEP - UNIMEP

Piracicaba, 28 de setembro de 2013

