

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG
Programa de Pós-Graduação em Ciências

Bruna Mara Franco Silveira

**PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS: DA BUSCA DE EVIDÊNCIAS À
APLICABILIDADE CLÍNICA**

Belo Horizonte

2022

Bruna Mara Franco Silveira

**PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS: DA BUSCA DE EVIDÊNCIAS À
APLICABILIDADE CLÍNICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências da Reabilitação.

Orientadora: Prof^a. Dra. Verônica Franco Parreira.

Belo Horizonte

2022

S587p Silveira, Bruna Mara Franco
2022 Pressões respiratórias máximas: da busca de evidências à aplicabilidade clínica.
[manuscrito] / Bruna Mara Franco Silveira – 2022.
204 f.: il.

Orientadora: Verônica Franco Parreira

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 154-162

1. Pulmões – Teses. 2. Sistema respiratório – Teses. 3. Exercícios respiratórios – Teses. 4. Fisioterapia – Teses. I. Parreira, Verônica Franco. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 615.825



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

UFMG

FOLHA DE APROVAÇÃO

PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS: DA BUSCA DE EVIDÊNCIAS À
APLICABILIDADE CLÍNICA

BRUNA MARA FRANCO SILVEIRA

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, como requisito para obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, área de concentração DESEMPENHO FUNCIONAL HUMANO.

Aprovada em 10 de fevereiro de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Verônica Franco Parreira - Orientadora
UFMG

Prof. Dayane Montemezzo
UDESC

Prof. Arnele Fatima Dornelas de Andrade
UFPE

Prof. Lianelle Aparecida Gomes Pereira
UFMG

Prof. Raquel Rodrigues Brito
UFMG

Belo Horizonte, 10 de fevereiro de 2022



ATA DA DEFESA DE TESE DA ALUNA BRUNA MARA FRANCO SILVEIRA

Realizou-se, no dia 10 de fevereiro de 2022, às 08:00 horas, de forma remota, pela Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa da tese intitulada *PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS: DA BUSCA DE EVIDÊNCIAS À APLICABILIDADE CLÍNICA*, apresentada por BRUNA MARA FRANCO SILVEIRA, número de registro 2017715772, graduada no curso de FISIOTERAPIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO. A Comissão Examinadora foi composta pelos seguintes membros: Profa. Verônica Franco Parreira - Orientadora (UFMG), Profa. Dayane Montemezzo (UDESC), Profa. Armêlé Fátima Dornelas de Andrade (UFPE), Profa. Danielle Aparecida Gomes Pereira (UFMG) e Profa. Raquel Rodrigues Britto (UFMG).

A Comissão considerou a tese:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim, presidente da comissão, e pelos demais membros da mesma.

Belo Horizonte, 10 de fevereiro de 2022.

Profa. Verônica Franco Parreira (Doutora)

Profa. Dayane Montemezzo (Doutora)

Profa. Armêlé Fátima Dornelas de Andrade (Doutora)

Profa. Danielle Aparecida Gomes Pereira (Doutora)

Profa. Raquel Rodrigues Britto (Doutora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por iluminar o meu caminho, por colocar pessoas especiais em minha vida, pelas realizações diárias e pelo aconchego que sinto em ter fé. Obrigada pela conquista!

Agradeço imensamente à minha família. Aos meus pais, por sempre me colocarem em primeiro lugar. Por sempre incentivarem os meus estudos. Por sempre fazerem o possível para o meu bem. Mãe, você é a melhor mãe do mundo! Obrigada pela doação, pelas orações e pelo amor sem limites. Pai, obrigada pela confiança, apoio e por sempre torcer por mim. Sem vocês isso não seria possível! Agradeço ao meu irmão Luiz Gustavo, por ser tudo que é. Por estar comigo desde o começo e ser essa fonte de sabedoria, admiração e inspiração. Você foi a pessoa que mais me incentivou desde o começo, eu não tenho dúvidas que não estaria aqui se não fosse por você. Obrigada pela amizade! Rafael, obrigada por tanto carinho e amor, o caminho com você é mais alegre. Obrigada por me dar a certeza que sempre posso contar com você! Agradeço aos meus familiares, em especial às minhas queridas tias Gislene Rosemeire, Gisleide Sueli e Luciana Silveira, por tanto apoio desde o início dessa trajetória e por entenderem a minha ausência. Aos meus primos, Hortência Franco, André Ricardo, João Victor Franco e Bruno Marinho, obrigada pela amizade e pelos momentos de felicidade juntos. Obrigada por torcerem tanto por mim!

Daniel, você torna a minha vida mais feliz desde o dia em que nos conhecemos. Obrigada pelo incentivo desde o começo dessa fase, quando você me apoiou tanto na decisão sobre a mudança para o doutorado. Esses últimos anos foram mais leves por ter você ao meu lado. Obrigada pela paciência e preocupação durante a fase final dessa trajetória. O orgulho que você sente pelas minhas conquistas me incentiva a continuar. “Se algo de bom acontece comigo, se torna mais verdadeiro quando falo para você. Se algo de ruim acontece comigo, só é tolerável porque eu posso queixar com você”. Obrigada por dividir a vida comigo! Obrigada pelos brindes! Obrigada por tudo!

Obrigada à Verônica Parreira, que não mede esforços para as conquistas dos seus alunos. Você me incentivou mesmo quando ainda não me conhecia tão bem, o que mudou a minha trajetória. Obrigada por ser tão amiga, cuidadosa e paciente. Obrigada por ter contribuído tanto para a minha formação profissional e pessoal. Tenho muito orgulho em ter sido sua aluna! Sou grata a todas as oportunidades

oferecidas durante esse período, obrigada por confiar em mim e me fazer confiar mais em mim mesma. Você me faz acreditar que tudo vai sempre dar certo no final. Obrigada pelas trocas e ensinamentos, além dos momentos felizes que dividimos. Você é um grande exemplo! Obrigada por ser tão admirável!

Liliane Mendes, eu agradeço todos os dias pelo dia que resolvi fazer aquele processo seletivo para entrar no LabCare e você me entrevistou. Agradeço por sua aula como aluna de iniciação à docência durante a minha graduação. Eu te admiro por tudo que é, como pesquisadora, fisioterapeuta e ser humano. Agradeço a sua confiança em mim desde o começo, os conselhos, as discussões, os ensinamentos. Acima de tudo, agradeço a sua amizade. Agradeço ao Hugo Pereira, com o seu cuidado sem fim, agradeço por ser um exemplo de excelência para mim, por ser tão amoroso, gentil e responsável. Obrigada por ter se tornado um grande amigo.

Agradeço ao Prof. Henrique Martins e ao Manoel Pereira, por contribuírem tanto para a concretização desse trabalho. Agradeço a paciência com as minhas dúvidas e por estarem à disposição. Não conseguiria sem vocês.

Agradeço a todos que conheci no LabCare. Agradeço a Giane Amorim, por tanto cuidado e zelo. Você esteve presente desde o início do projeto, obrigada por sempre nos ajudar a melhorar. Agradeço a Maira Casemiro, pelo cuidado com o nosso Lab. Sou muito grata pelas amizades que fiz e fortaleci durante esse período de estudos no LabCare. À Bianca Carmona, pelo companheirismo e pela ajuda por todos esses anos. Agradeço a amizade! À Ludmylla Quintino, por seu carinho e cuidado. Agradeço à Jéssica Loures, por sempre estar disponível quando precisei. Agradeço a todos (as) alunos (as) de iniciação científica, por dividirem essa trajetória de perto. Em especial, agradeço à aluna Daniella Cardoso, por ter cumprido um papel importante para que essa tese se concretizasse, realizado com responsabilidade e dedicação. Obrigada pela ajuda e pelas trocas. Também agradeço pela escolha e confiança ao ser minha orientanda de TCC junto à Mariana Felipe, que vocês sejam felizes na profissão escolhida. Agradeço aos queridos alunos, Guilherme Telles, Ana Carolina Viégas, Marina Couto e Anna Clara Pataro, por sempre confiarem tanto em mim, pelo aprendizado, pelas discussões e por me motivarem sempre. Tenho orgulho de vocês! Agradeço aos alunos e pacientes do projeto de reabilitação pulmonar “Respirar, pulmões pela vida - Respire e Movimente-se”, vocês contribuíram para o meu crescimento como pesquisadora. Agradeço especialmente ao Thiago Martins e aos alunos Daniel Gibson, Mariana Rezende, Fernanda Rodrigues, Jefferson Martins

e Sabrina Reis, pelas discussões e trabalhos em conjunto. Daniel, você é especial! Um agradecimento especial à Mariana Hoffman e à Susan Lage, por toda a confiança depositada em mim e pelo incentivo desde o início. Agradeço à Dayane Montemezzo, por ser tão carinhosa e cuidadosa comigo.

Aos professores do LabCare, em especial à Danielle Gomes e Fernanda Lanza que, em conjunto com a Profa. Isabela Sclauser, participaram do meu processo de qualificação durante o doutorado e fizeram contribuições importantes para a continuação desse trabalho. Ao Prof. Marcelo Velloso, que contribuiu para que eu seguisse nesse caminho. Ao Prof. Luciano Fonseca, que foi solícito quando precisei de ajuda com as coletas de dados com os pacientes. A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação.

Agradeço à Gabriela Matos e à Daysi Salomão, que me ajudaram com as coletas de dados com os pacientes com insuficiência cardíaca, às Professoras Eliane Mancuzo e Carolina Marinho, que contribuíram tanto com os pacientes com fibrose pulmonar idiopática e pós-COVID-19.

Agradeço à minha querida amiga Bianca Henriques, pela amizade que sempre contei e sempre irei contar. Obrigada pelo companheirismo e pela compressão nos momentos em que precisei me ausentar. Também agradeço às minhas amigas Camila Araújo, Fabíola Ribeiro e Aline Prado. Fico feliz por podermos dividir nossas conquistas. Aos meus queridos amigos, Valéria Andrade, Renata Frederico e Breno Teixeira, vocês me incentivam a ser sempre melhor. Obrigada pelos momentos inesquecíveis. À Ana Detomi, que tenho certeza que posso contar para tudo. Obrigada por fazer parte da minha vida. Agradeço à Letícia Queiroz e à Luísa Jubilini, por sempre torcerem por mim. Agradeço ao Frederico Nunes, pela amizade e incentivo. Tenho muito carinho por você. Agradeço à Grazielle Silva, por ser tão amorosa e cuidadosa. Amigos que fiz nos últimos anos (CEFET e COLTEC), vocês estiveram presentes por todo esse período. Tive muita sorte em ser acolhida por vocês. Ana Mendes e Alaor Donato, vocês se tornaram grandes amigos. Agradeço pelos momentos bons e pela torcida. Espero que os nossos caminhos continuem na mesma direção. Agradeço à Mariana Costa e ao Artur Vaz. Sou muito grata por nossa amizade, pelo apoio e momentos compartilhados.

Sou grata pela família que me acolheu como parte. Cida Santos, Ana Clara, Renato Espírito Santo, Aline, Lara e Rafael, obrigada pelo incentivo, reconhecimento

e amor. Obrigada pelo respeito e por sempre torcerem por mim. Fico feliz pela nossa união e por saber que posso contar com vocês.

Agradeço às fisioterapeutas Mariana Barcala, Larissa Faleiro e Flávia Nerbass, pelo aprendizado, pelas oportunidades e pela confiança em mim.

Agradeço a todos os voluntários que participaram da coleta de dados para os estudos incluídos nessa tese, incluindo os participantes saudáveis, todos os pacientes que se disponibilizaram e ainda aos fisioterapeutas associados à ASSOBRAFIR que se interessaram em contribuir para a pesquisa. Agradeço à ASSOBRAFIR, por responder prontamente ao nosso pedido de ajuda em relação a um dos estudos, com responsabilidade e confiança.

Agradeço aos funcionários da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG e também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro aos meus estudos durante o período do doutorado.

RESUMO

As medidas das pressões respiratórias máximas (PRM) são amplamente utilizadas para avaliar a força dos músculos respiratórios. É um método simples, rápido, não invasivo e bem tolerado, em que os indivíduos devem gerar pressões inspiratórias e expiratórias máximas (PI_{máx} e PE_{máx}, respectivamente) contra uma peça bucal ocluída. Os valores obtidos durante essas medidas são influenciados pelo volume pulmonar em que o teste é realizado. Medidas de PRM realizadas em nível de capacidade residual funcional (CRF) podem ser menos influenciadas pela pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório. Os objetivos da presente tese foram: i) resumir e avaliar criticamente as evidências sobre as propriedades de medida confiabilidade e validade na mensuração das PRM, usando as recomendações do COSMIN, ii) avaliar a validade concorrente do manovacuômetro TrueForce (LabCare/LEB – UFMG, Brasil) para medidas de PRM realizadas em volume residual (VR) e capacidade pulmonar total (CPT) e as confiabilidades teste-reteste e interexaminador para as PRM obtidas em CRF com o TrueForce em indivíduos saudáveis, além de comparar as medidas realizadas em diferentes volumes pulmonares com o novo instrumento em dois grupos: indivíduos saudáveis e indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica, iii) comparar as pressões inspiratórias obtidas em CRF com as medidas em VR, assim como comparar as pressões expiratórias obtidas em nível de CRF com as medidas em CPT em cinco grupos de indivíduos com diferentes condições de saúde (pós-COVID-19, DPOC, fibrose pulmonar idiopática, insuficiência cardíaca e acidente vascular encefálico), além de comparar as diferenças médias entre as medidas obtidas em CRF e em VR, assim como em CRF e CPT entre os cinco grupos, iv) investigar a utilização clínica das medidas de PRM por fisioterapeutas com experiência nas áreas de Fisioterapia cardiorrespiratória e Fisioterapia em terapia intensiva sob diferentes aspectos das medidas. O primeiro estudo desta tese é uma revisão sistemática que reuniu estudos que avaliaram as propriedades de medida confiabilidade e validade das medidas de PRM. A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados PubMed e EMBASE. Esta revisão foi elaborada de acordo com as recomendações do COSMIN e relatada de acordo com a recomendação PRISMA. Vinte e seis estudos foram incluídos. A confiabilidade teste-reteste foi classificada como nível de evidência moderado para PI_{máx} e PE_{máx}, a confiabilidade interexaminador foi classificada como nível de evidência baixo para PI_{máx} e muito baixo para PE_{máx} e o erro de medida foi muito baixo para PI_{máx} e PE_{máx}. A validade concorrente foi classificada como nível de evidência alto para PI_{máx} e PE_{máx}. As propriedades teste-reteste e erro de medida para PI_{máx} obtida em CRF foram classificadas como nível de evidência muito baixo, sem evidências suficientes para conclusões sobre as outras propriedades de medida e sobre PE_{máx} em CRF. Para o segundo estudo, as PRM foram avaliadas em 100 indivíduos saudáveis e realizadas utilizando os instrumentos TrueForce e o padrão-ouro MicroRPM® em níveis de VR e CPT para avaliar validade concorrente. As PRM foram obtidas em nível de CRF utilizando o TrueForce para avaliar as confiabilidades teste-reteste e interexaminador. As comparações entre PI_{máx}-CRF em comparação com VR e PE_{máx}-CRF em comparação com CPT foram realizadas em 100 indivíduos saudáveis e 15 indivíduos com DPOC. Os coeficientes de correlação intraclass para a validade concorrente foram 0,77 e 0,86 para PI_{máx} e PE_{máx}, respectivamente. Os coeficientes foram 0,87 e 0,78 para a avaliação da confiabilidade teste-reteste (PI_{máx} e PE_{máx}, respectivamente) e 0,91 e 0,84 para a confiabilidade interexaminador (PI_{máx} e PE_{máx}, respectivamente). Valores de p para os coeficientes de correlação

intraclasse $<0,001$. As PRM foram menores quando obtidas em CRF em indivíduos saudáveis e com DPOC. Para o terceiro estudo, PImáx e PEmáx foram obtidas em VR, CPT e CRF em ordem aleatorizada em indivíduos com diferentes condições de saúde (15 participantes foram avaliados em cada grupo). As pressões inspiratórias em CRF foram menores que em VR, assim como as pressões expiratórias em CRF foram menores que em CPT ($p \leq 0,005$ para todos). As diferenças médias entre a PImáx em VR e CRF variaram entre 8,0 e 12,8 cmH₂O e as diferenças médias entre a PEmáx em CPT e CRF variaram entre 51,9 e 62,9 cmH₂O. As diferenças médias foram semelhantes entre os grupos ($p \geq 0,227$ para todos). Para o quarto estudo, um questionário online e transversal foi enviado para fisioterapeutas das áreas de Fisioterapia cardiorrespiratória e Fisioterapia em terapia intensiva no Brasil. Cento e setenta e nove respostas foram obtidas e 168 foram incluídas nas análises. A maioria dos fisioterapeutas relatou que atualmente usa (109/168, 65%), ou já usou medidas de PRM (44/59, 75%). A maioria relatou utilizar o manômetro aneroide (70/109, 64%), escolhendo os valores de referência propostos por Neder *et al.* (35/109, 32%), registrando o pico (34/109, 31%) e as pressões sustentadas (34/109, 31%), e realizando as medidas em VR para PImáx (59/109, 54%), e em CPT para PEmáx (34/109, 31%). A maioria dos fisioterapeutas não conhecia todas as indicações e contraindicações para medidas de PRM. Sumarizando, os resultados dos quatro estudos incluídos na presente tese contribuem para o conhecimento em relação às medidas das PRM, desde às evidências científicas apresentadas em uma revisão sistemática até o entendimento da aplicabilidade clínica das medidas.

Palavras-chave: Capacidade residual funcional. Confiabilidade e validade. Músculos respiratórios. Pressões respiratórias máximas. Questionário.

ABSTRACT

Maximal respiratory pressures (MRP) measurements are widely used to assess respiratory muscle strength. This is a simple, fast, non-invasive, and well-tolerated method in which individuals generate maximal inspiratory and expiratory pressures (P_Imax and P_Emax, respectively) against an occluded mouthpiece. The values obtained during these measurements are influenced by the lung volume in which the test is performed. MRP measurements obtained at the functional residual capacity (FRC) level may minimize the influence of the elastic recoil pressure of the respiratory system on the measures. The aims of the present thesis were: i) to summarize and critically appraise the evidence on the measurement properties reliability and validity of MRP measurements using the COSMIN recommendations, ii) to evaluate concurrent validity of the TrueForce (LabCare/LEB – UFMG, Brazil) for MRP obtained at residual volume (RV) and total lung capacity (TLC), and test-retest and inter-rater reliability of MRP obtained at FRC with the TrueForce in healthy individuals, as well as to compare values obtained at different volumes in healthy individuals and individuals with COPD, iii) to compare inspiratory pressures obtained at functional residual capacity FRC with measures at RV, and expiratory pressures obtained at FRC with measures at TLC in individuals with health conditions (post-COVID-19, chronic obstructive pulmonary chronic, idiopathic pulmonary fibrosis, heart failure and stroke), and to compare the mean differences between measurements at FRC and RV/TLC among the groups, iv) to investigate the use of MRP by physiotherapists with experience in the cardiorespiratory and intensive care fields. The first study of this thesis is a systematic review that gathered studies evaluating the measurement properties reliability and validity of MRP. The literature search was performed in PubMed and EMBASE databases. This review was designed following the COSMIN recommendations, and reported according to PRISMA statement. Twenty-six studies were included. Test-retest reliability was graded as moderate level of evidence for P_Imax and P_Emax, interrater reliability was low for P_Imax and very low for P_Emax, and measurement error was very low for P_Imax and P_Emax. Concurrent validity was graded as high level of evidence for P_Imax and P_Emax. Test-retest and measurement error for P_Imax obtained at functional residual capacity were graded as very low quality evidence, with no sufficient evidence for conclusions on the other measurement properties and P_Emax at FRC. For the second study, MRP of 100 healthy individuals were obtained using the TrueForce and the gold-standard (MicroRPM®) at RV and TLC to evaluate concurrent validity. MRP were obtained at FRC using the TrueForce to evaluate test-retest and interrater reliability. The intraclass correlation coefficient were 0.77 and 0.86 for concurrent validity for P_Imax and P_Emax, respectively. The coefficients were 0.87 and 0.78 for test-retest reliability (P_Imax and P_Emax, respectively) and 0.91 and 0.84 for inter-rater reliability (P_Imax and P_Emax, respectively). MRP were lower When obtained at FRC for healthy individuals and with COPD. For the third study, inspiratory and expiratory pressures were obtained at RV, TLC and FRC in a random order with individuals with different health conditions (15 individuals were included in each group). Inspiratory pressures at FRC were lower than RV, and expiratory pressures at FRC were lower than TLC ($p \leq 0.005$ for all). The mean differences between P_Imax at RV and FRC were between 8.0 and 12.8 cmH₂O, and the mean differences between P_Emax at TLC and FRC were between 51.9 and 62.9 cmH₂O. All mean differences were similar among groups ($p \geq 0.227$ for all). For the fourth study, an online, cross-sectional, survey was developed for physiotherapists in

the cardiorespiratory and intensive care fields in Brazil, and sent via electronic mail. Of the 179 responses obtained, 168 were included in the analyses. Most physiotherapists reported that currently use (109/168, 65%), or already used MRP measurements (44/59, 75%). The majority reported using the aneroid manometer (70/109, 64%), choosing the reference values proposed by Neder et al. (35/109, 32%), recording peak (34/109, 31%) and sustained pressures (34/109, 31%), and performing the measurements at RV for P_Imax (59/109, 54%), and at TLC for P_Emax (34/109, 31%). Most physiotherapists were not aware of all indications and contraindications for MRP measurements. Summarizing, the results of the four studies included in this thesis contribute to the knowledge regarding MRP measures, from the scientific evidence presented in a systematic review to the understanding of the clinical applicability of the measures.

Keywords: Functional residual capacity. Reliability and validity. Respiratory muscles. Maximal respiratory pressures. Survey.

PREFÁCIO

Esta tese foi elaborada de acordo com a resolução N°004 /2018, de 03 de abril de 2018, regulamentada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais.

O primeiro capítulo apresenta a introdução com uma contextualização abreviada sobre o tema estudado. O segundo capítulo contém a revisão de literatura sobre o tema, organizada em cinco subtítulos: Mecânica respiratória, avaliação da força muscular respiratória: introdução às pressões respiratórias máximas, pressões respiratórias máximas em diferentes volumes pulmonares, propriedades de medida e condições de saúde. O terceiro capítulo apresenta a justificativa do estudo. O quarto capítulo inclui os diferentes objetivos dos estudos que serão apresentados na tese.

O quinto capítulo contém os resultados da presente tese descritos em forma de quatro artigos. O primeiro artigo: *Reliability and validity of maximal respiratory pressures: A systematic review*, resumizou e avaliou criticamente evidências sobre as propriedades de medida confiabilidade e validade na mensuração das PRM e será submetido à revista *Respiratory Care*. O segundo estudo apresentado avalia as propriedades de medida do manovacuômetro TrueForce e compara as medidas de pressões respiratórias máximas realizadas em diferentes volumes pulmonares em indivíduos saudáveis e em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica. Esse artigo foi publicado online na revista *Brazilian Journal of Physical Therapy*, em 14 de maio de 2021, com o título: *New method for evaluating maximal respiratory pressures: concurrent validity, test-retest, and interrater reliability*. O terceiro artigo, intitulado: *Maximal respiratory pressures: measurements at functional residual capacity in individuals with different health conditions using a digital manometer* teve como objetivo comparar medidas de pressão respiratórias máximas realizadas em diferentes volumes em indivíduos com diversas condições de saúde e será submetido à revista *Journal of Applied Physiology*. O quarto artigo, intitulado: *Aspects of maximal respiratory pressures measurement: A survey with physiotherapists of cardiorespiratory and intensive care fields in Brazil* investigou diferentes aspectos da utilização clínica das medidas de pressões respiratórias máximas por fisioterapeutas

com experiência nas áreas de fisioterapia cardiopulmonar e de terapia intensiva e será submetido à revista *Physiotherapy*.

Os estudos apresentados no capítulo cinco (5.2 e 5.3) foram aprovados pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (CEP - UFMG) sob os números de pareceres: 2.422.863 e 4.004.018, apresentados nos anexos A e B. Os termos de consentimento livre e esclarecido também estão apresentados nos apêndices A e B, respectivamente os apêndices C e D apresentam as fichas de avaliação dos participantes desses estudos. O estudo apresentado em 5.4 foi aprovado pelo CEP UFMG sob o número de parecer 4.245.453, apresentado no anexo C. O termo de consentimento livre e esclarecido, assim como o questionário utilizado nesse estudo estão no apêndice E.

O sexto capítulo apresenta as considerações finais da tese. Na sequência, estão as referências bibliográficas, anexos, apêndices e o minicurrículo com a produção acadêmica desenvolvida no período de doutorado da discente.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 Mecânica respiratória	19
2.2 Avaliação da força muscular respiratória: introdução às pressões respiratórias máximas	23
2.3 Pressões respiratórias máximas em diferentes volumes pulmonares	28
2.4 Propriedades de medida	33
2.5 Condições de saúde	36
2.5.1 Doença pulmonar obstrutiva crônica	36
2.5.2 Fibrose pulmonar idiopática	39
2.5.3 Insuficiência cardíaca	40
2.5.4 Acidente vascular encefálico	43
2.5.5 Pós-COVID-19	44
3 JUSTIFICATIVA	46
4 OBJETIVOS	47
5 RESULTADOS	48
5.1 Artigo 1	48
5.2 Artigo 2	89
5.3 Artigo 3	98
5.4 Artigo 4	125
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
7 REFERÊNCIAS	152
ANEXOS	161
APÊNDICES	174
MINICURRÍCULO	200

1 INTRODUÇÃO

As medidas das pressões respiratórias máximas (PRM) são amplamente utilizadas para avaliar a força muscular respiratória (FMR). A mensuração estática das PRM ocorre por meio da realização de esforços inspiratórios e expiratórios máximos (pressão inspiratória máxima - PImáx e pressão expiratória máxima - PEmáx, respectivamente) contra uma peça bucal ocluída utilizando um manovacuômetro^{1, 2, 3}. A realização dessa medida é simples, rápida, não invasiva e bem tolerada pelos indivíduos, por isso é aplicável em diferentes contextos clínicos e científicos^{1, 2}.

As PRM podem ser utilizadas para monitorar a fraqueza muscular respiratória e auxiliar o diagnóstico de diferentes condições de saúde. A avaliação da PImáx é particularmente relevante em algumas condições de saúde que estão frequentemente associadas à dispneia e à intolerância ao exercício, incluindo a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC)^{4, 5}, a fibrose pulmonar idiopática (FPI)⁶, a insuficiência cardíaca (IC)⁷, o acidente vascular encefálico (AVE)⁸ e a doença causada pelo Sars-Cov-2 (*Coronavirus Disease 2019* - COVID-19)⁹. Além disso, a PImáx pode ser utilizada durante a investigação de dispneia sem causa aparente, para a definição de parâmetros e também para a avaliação de intervenções, como o treinamento muscular respiratório, para avaliar indivíduos no pré-operatório de cirurgias torácicas, durante o desmame da ventilação mecânica invasiva, além do seu uso em pesquisas científicas^{3, 10, 11}. Apesar de existirem medidas mais específicas para avaliar a tosse, as medidas de PEmax podem ser utilizadas para avaliar a sua eficácia e consequente capacidade de eliminar secreção¹².

Os procedimentos utilizados para essa avaliação são amplamente descritos na literatura. A *European Respiratory Society* (ERS) publicou, em 2019, recomendações padronizadas quanto à realização das medidas³, porém, alguns aspectos ainda variam na prática clínica, como o instrumento utilizado, a variável escolhida para definir a pressão, os valores de referência, as indicações e contraindicações à sua realização e o volume pulmonar para iniciar as manobras. Os resultados obtidos por meio das medidas de PRM são influenciados por diferentes fatores, incluindo o volume pulmonar em que o teste é realizado^{2, 10, 11, 13}. A PImáx é normalmente obtida a partir de uma expiração máxima, próximo ao volume residual (VR) e a PEmáx a partir de uma inspiração máxima, próximo à capacidade pulmonar total (CPT)³. Estudos

pioneiros investigaram a relação entre o volume pulmonar e a pressão exercida pelos músculos respiratórios e mostraram que a $Pl_{máx}$ diminui com o aumento do volume pulmonar e a $PE_{máx}$ aumenta com o aumento do volume pulmonar em indivíduos saudáveis^{14, 15, 16, 17, 18}. Alguns fatores podem ser atribuídos a essa variação, como a mudança da relação comprimento-tensão dos músculos respiratórios em diferentes volumes pulmonares^{13, 14, 17}, a influência do raio da curvatura dos músculos respiratórios em sua capacidade de gerar pressão^{17, 19}, e a pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório, que não é subtraída do resultado final das PRM^{13, 14, 17}. Portanto, medidas obtidas em VR e CPT podem superestimar a verdadeira força muscular respiratória^{1, 13}. Medidas realizadas em indivíduos com diferentes condições de saúde podem ser mais influenciadas por esses fatores. A pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório em nível da capacidade residual funcional (CRF) é próxima a zero, portanto, medidas de PRM realizadas em nível de CRF seriam menos influenciadas por esse fator^{2, 13, 20}. Alguns estudos realizaram medidas de PRM em nível de CRF^{20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28}, entretanto, o método utilizado era qualitativo (inspeção visual), complexo e pouco disponível na prática clínica (pletismografia corporal) ou utilizando um espirômetro. Além disto, poucos estudos descreveram propriedades de medida e valores de referência para essas medidas^{20, 29, 30, 31}.

O Laboratório de Engenharia Biomédica (LEB), em parceria com o Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) – ambos da Universidade Federal de Minas Gerais, construíram um manovacuômetro capaz de identificar o momento em que o indivíduo testado está o mais próximo da CRF, o que permite realizar as manobras de PRM nesse volume pulmonar utilizando um instrumento que apresenta um bom equilíbrio entre custo e acurácia. O passo-a-passo para obter as medidas de PRM em nível de CRF utilizando esse manovacuômetro digital está descrito no apêndice F.

Para que um novo instrumento tenha aplicabilidade clínica, o mesmo deve ter sua qualidade garantida por meio da avaliação das suas propriedades de medida, dentre as quais se destacam a validade e confiabilidade, além de sempre que possível ser de fácil manuseio, acessível e de baixo custo³². A avaliação de propriedades psicométricas e a aplicabilidade clínica deste novo instrumento foram o principal objeto de estudo desta tese. Adicionalmente, as propriedades de medidas confiabilidade e validade de critério concorrente das PRM foram estudados por meio

de uma revisão sistemática, assim como aspectos clínicos e técnicos dessa medida relatados por fisioterapeutas.

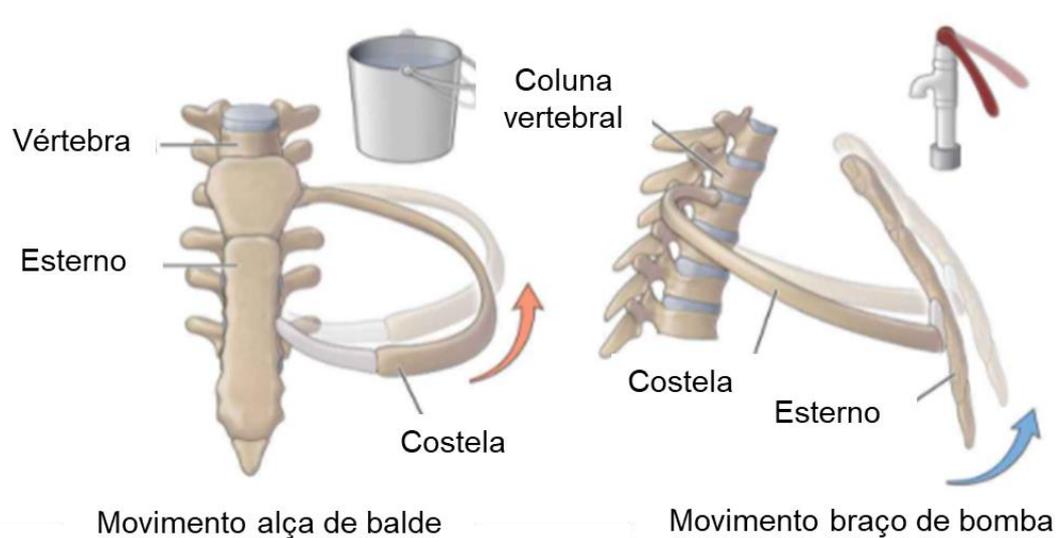
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mecânica respiratória

A principal função do sistema respiratório é realizar a troca gasosa, permitindo que o oxigênio seja entregue às células de hemoglobina e que o dióxido de carbono seja removido e expelido para o ambiente³³. A ventilação pulmonar - processo fisiológico responsável pela movimentação de ar entre a atmosfera e os alvéolos e vice-versa - depende, na respiração tranquila, da ação coordenada dos músculos inspiratórios para gerar pressões mais subatmosféricas, promovendo a expansão da parede torácica. A expiração, que promove a retração da parede torácica ocorre em função do recolhimento elástico, de maneira passiva^{34, 35, 36}. Em indivíduos saudáveis, há um ponto do ciclo respiratório em que ocorre um equilíbrio entre o recolhimento elástico do sistema respiratório (final da expiração) e a expansão da parede torácica (início da inspiração). Esse ponto é representado pela CRF, definida como o volume que permanece nos pulmões após uma expiração tranquila³⁷.

A parede torácica é formada pela caixa torácica e pelo abdômen, compartimentos separados pelo diafragma. A movimentação da caixa torácica está diretamente relacionada ao movimento das costelas que, por sua vez, depende principalmente do movimento das articulações costovertebrais e costotransversas ao redor do eixo definido por essas articulações. Quando as costelas se movimentam na direção cranial, suas inserções ventrais se deslocam lateralmente, anteriormente e cranialmente, as cartilagens costais giram cranialmente e o esterno se movimenta anteriormente, com conseqüente aumento dos diâmetros latero-lateral e ântero-posterior da caixa torácica. O componente rotacional que ocorre ao redor do eixo transversal é chamado de “braço de bomba” e o que ocorre ao redor do eixo ântero-posterior é chamado de “alça de balde, ilustrado na figura 1)^{33, 36}.

Figura 1: Representação dos movimentos das costelas braço de bomba e alça de balde. Modificado de: Lungs.



Fonte: MORTON DA, FOREMAN K, ALBERTINE KH. eds. The Big Picture: Gross Anatomy. New York, NY: McGraw-Hill, 2011 *apud* Musculoskeletal key. 2016. Disponível em: <https://musculoskeletalkey.com/the-thoracic-spine-4/>.

Os músculos primários da inspiração incluem o diafragma, intercostais externos, paraesternais, escalenos e abdutores da glote^{36, 38}. Os músculos esternocleidomastóideo, trapézios, peitorais e serrátil anterior são considerados músculos acessórios, que contribuem para a inspiração durante situações nas quais ocorre aumento de demanda ventilatória. Durante a expiração ativa, os músculos abdominais, intercostais internos e triângulo do esterno são ativados³⁶.

O diafragma é uma lâmina musculotendinosa fina, em formato de cúpula, que separa os dois compartimentos da parede torácica. Esse músculo esquelético apresenta uma anatomia única, de acordo com a sua função. As fibras musculares do diafragma irradiam do centro tendíneo e se inserem em diferentes estruturas, formando as porções crural (ou vertebral) e costal. A porção crural se insere na face ântero-lateral das três primeiras vértebras lombares e na aponeurose do ligamento arqueado e a porção costal se insere nas margens superiores das seis costelas inferiores e no processo xifóide do esterno^{33, 35, 36}. A região que corresponde a porção cilíndrica do diafragma, diretamente ligada à face interna da parte inferior da caixa torácica é chamada de zona de aposição, a região da cúpula do diafragma é formada principalmente pelo tendão central.

Durante a respiração, o diafragma age primariamente como um pistão. A descida da cúpula durante a sua contração causa uma expansão da cavidade pleural

no sentido crânio-caudal e um movimento caudal das vísceras abdominais, com deslocamento anterior da parede do abdômen. Portanto, ocorre uma queda da pressão pleural, com conseqüente aumento do volume pulmonar. O diafragma também atua sobre as costelas inferiores em que está inserido, promovendo elevação e rotação externa dos mesmos^{35, 36}.

Os músculos intercostais são divididos em duas camadas musculares finas: intercostais externos e intercostais internos. As fibras dos intercostais externos estão dispostas obliquamente, com origem na costela superior e inserção na costela inferior e direção caudal e anterior. A camada de fibras internas também apresenta a costela superior como origem e a inferior como inserção, mas sua orientação é caudal e posterior. Os intercostais externos percorrem a caixa torácica desde os tubérculos das costelas até as articulações costoverbrais, já os intercostais internos estão entre as articulações condroesternais e os tubérculos das costelas. Por isso, a porção lateral dos músculos intercostais é formada por duas camadas e a porção anterior por apenas uma camada (o que também pode acontecer próximo às vértebras, mas a camada de intercostais externos é duplicada devido à presença dos levantadores das costelas). Os intercostais internos que formam uma camada única entre o esterno e as articulações condrocostais são chamados de intercostais paraesternais, essa porção mais próxima ao esterno é coberta por uma fina camada de fibras orientadas quase que perpendicularmente às intercostais e formam o músculo triângulo do esterno³⁶. A ação dos músculos intercostais durante a respiração é complexa. Entre as diversas teorias criadas com o objetivo de explicá-la, De Troyer e Boriek³⁶ destacam a teoria de Hamberger, uma das explicações mais aceitas e utilizadas como embasamento para outros estudos. De acordo com essa teoria, a contração dos intercostais externos cria um torque sobre a costela inferior maior que o torque agindo sobre a costela superior (pois sua inserção inferior está mais distante do eixo de rotação das costelas), elevando as costelas e contribuindo assim para a insuflação dos pulmões. O oposto é proposto para os intercostais internos, pois essas fibras possuem inserção inferior mais próxima do eixo, com torque sobre a costela inferior menor que aquele agindo sobre a superior, abaixando as costelas e contribuindo assim para a desinsuflação dos pulmões. Portanto, essa teoria propõe que as funções opostas dos intercostais externos e internos são decorrentes da orientação das fibras musculares por si só. Entretanto, De Troyer e Boriek reúnem estudos que sugerem outras explicações para a ação dos músculos intercostais durante a respiração por

meio de bases teóricas, como o teorema de reciprocidade de *Maxwell*, que relaciona essa ação à massa do músculo, à tensão muscular por área de secção transversa e à mudança fracionada no comprimento do músculo durante a insuflação pulmonar. De acordo com esses autores, a porção dorsal dos intercostais externos mais craniais e os paraesternais causam uma redução da pressão pleural quando contraídos isoladamente, assim como os escalenos, trabalhando junto ao diafragma para expandir a parede torácica durante a inspiração. Já os intercostais internos presentes nos espaços intercostais mais caudais e o triângulo do esterno apresentam uma ação expiratória, trabalhando junto aos músculos abdominais para desinsuflar a parede torácica quando necessário. Segundo os mesmos autores³⁶, a função oposta dos músculos intercostais é primariamente definida pela ativação regional seletiva desses músculos, determinada por mecanismos de controle centrais, não periféricos.

A ação dos escalenos durante a inspiração é reconhecida como primária em humanos, mesmo na respiração tranquila. A contração dos escalenos movimentam as costelas e o esterno na direção cranial, gerando expansão da caixa torácica no sentido ântero-posterior e aumento do volume pulmonar^{33, 36}. Já os músculos abdutores da glote, principalmente os cricoaritenóideos posteriores e os cricotireóideos, promovem uma abertura ativa das pregas vocais, reduzindo a resistência da via aérea, contribuindo assim para o aumento do fluxo de ar durante a inspiração³⁸.

A expiração é passiva durante a respiração tranquila, com retorno do pulmão e da parede torácica às suas posições de equilíbrio. Entretanto, a expiração pode se tornar ativa, como por exemplo durante o exercício ou a hiperventilação³³, e nestas situações, diferentes músculos são ativados, entre eles os intercostais internos e o triângulo do esterno (cuja função foi discutida anteriormente) e os músculos abdominais - que incluem o reto abdominal, o oblíquo externo, oblíquo interno e o transverso do abdômen, que revestem a parede ântero-lateral do abdômen. A função primária dos músculos oblíquos (interno e externo) e do transverso do abdômen é comprimir a parede abdominal, com aumento da pressão intra-abdominal e deslocamento do diafragma no sentido cranial, com consequente aumento da pressão pleural e redução do volume pulmonar. O músculo reto abdominal realiza a mesma ação quando o abdômen apresenta uma convexidade externa. Além disso, a contração dos músculos abdominais provoca o deslocamento cranial do diafragma, o que promove um aumento da zona de aposição do diafragma e um aumento da tensão

passiva do diafragma. Essa tensão passiva eleva as costelas inferiores e contribui para expandir a caixa torácica na próxima inspiração^{33, 36}.

O entendimento da mecânica respiratória elucida as diferentes funções dos músculos inspiratórios e expiratórios, justificando a importância da avaliação da força desses músculos e introduzindo a relevância dessa avaliação na prática clínica fisioterapêutica.

2.2 Avaliação da força muscular respiratória: introdução às pressões respiratórias máximas

A avaliação da FMR tem sido amplamente usada em ambientes clínicos e acadêmicos, com desfechos relevantes devido à relação entre a fraqueza dos músculos respiratórios e o comprometimento da ventilação e consequente troca gasosa^{3, 34}. Estudos mostram que indivíduos com diferentes condições de saúde podem apresentar fraqueza muscular respiratória, incluindo condições neuromusculares, pulmonares e cardíacas^{3, 5, 6, 7, 34}, o que pode contribuir para limitações e restrições no dia-a-dia desses indivíduos.

Diversos métodos foram descritos para avaliar a FMR, entre eles, testes volitivos e não volitivos^{1, 3}. Testes volitivos dependem da compreensão e da colaboração dos indivíduos avaliados. Os testes não volitivos, como a estimulação do nervo frênico e a ultrassonografia diafragmática para avaliar a força do diafragma e estimulação dos músculos abdominais para avaliar a força expiratória, são indicados quando o indivíduo apresenta dificuldade para compreensão e realização de testes. Entre as medidas volitivas, métodos invasivos e não invasivos foram descritos. Medidas de pressão esofágica, gástrica e transdiafragmática durante a manobra de *sniff* (fungar) ou durante a manobra de tosse são utilizadas quando medidas não invasivas não são confiáveis ou para refinar a avaliação da FMR. Entretanto, essas medidas são consideradas mais complexas e pouco disponíveis clinicamente³. Em relação aos métodos volitivos não invasivos, a medida de *Sniff Nasal Inspiratory Pressure* (SNIP) apresenta concordância com a medida de pressão esofágica³⁹, sendo cada vez mais estudada e utilizada clinicamente¹. Entretanto, entre os diversos métodos para a avaliação da FMR, a mensuração estática das PRM se destaca. Esse

é um método clássico em que esforços respiratórios gerados contra uma via aérea ocluída refletem a pressão do sistema respiratório como um todo, pressão que reflete a FMR global³.

A mensuração das PRM é o método mais utilizado para investigar a força dos músculos inspiratórios. É um método rápido, de fácil entendimento, não invasivo e bem tolerado pelos indivíduos, com ampla utilização em diferentes populações e contextos clínicos^{2, 3, 18}.

A PImáx apresenta uma forte correlação com a dispneia, por isso, pode ser utilizada na investigação desse sintoma, principalmente quando a dispneia não está associada à uma causa aparente. A avaliação da PImáx também é indicada quando resultados alterados são encontrados em exames rotineiros relacionados à função pulmonar sem sinais claros de obstrução e/ou restrição, por exemplo^{2, 3}. A fraqueza muscular respiratória pode estar presente em indivíduos com diferentes condições de saúde, como doenças neuromusculares, DPOC, asma, condições cardíacas, doenças neurológicas, doenças pulmonares intersticiais e, possivelmente, em indivíduos que foram infectados pela doença causada pelo Sars-Cov-2 (*Coronavirus Disease 2019 - COVID-19*)^{5, 6, 7, 8, 9, 40}. Portanto, a medida de PImáx pode ser utilizada para auxiliar o diagnóstico de fraqueza muscular inspiratória em indivíduos com essas condições, assim como durante a definição e avaliação de intervenções, como o treinamento muscular respiratório^{41, 42, 43, 44, 45}. Essa medida também apresenta aplicabilidade na avaliação de indivíduos no pré-operatório de cirurgias torácicas e abdominais, no desmame da ventilação mecânica invasiva, com suspeita de paralisia diafragmática, além do seu uso em pesquisas científicas^{2, 3, 10, 11}.

A medida de PEmax pode ser utilizada na avaliação da eficácia da tosse e consequente capacidade de eliminar secreção, que está relacionada com a prevenção de complicações, como a pneumonia aspirativa¹². Entretanto, existem medidas mais específicas para a avaliação da tosse, como o pico de fluxo da tosse⁴⁶. Além disso, a PEmáx pode ser útil para diferenciar fraqueza muscular generalizada de fraqueza específica do diafragma ou de outros músculos inspiratórios, pois se a PImáx resultou em valores baixos e a PEmáx em valores altos, é possível que a fraqueza não seja generalizada⁴⁷.

Segundo a recomendação publicada pela ERS em 2019 “*ERS Statement on Respiratory Muscle Testing at Rest and during Exercise*”³, testes que avaliam a FMR devem ser evitados nas seguintes condições: cirurgia recente (torácica, abdominal,

cerebral, no ouvido, nariz e garganta), pneumotórax, infarto agudo do miocárdio, aneurisma da aorta ascendente, hemoptise, embolia pulmonar, diarreia aguda/incontinência por estresse, hipertensão arterial grave (sistólica > 200 mmHg e diastólica > 120mmHg), confusão/ demência, desconforto do indivíduo e risco de infecção. A Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia acrescenta em sua recomendação a presença de fístulas pleurocutâneas ou pulmonares, hérnias abdominais, problemas agudos de ouvido médio, glaucoma ou descolamento de retina, hidrocefalia, meningocele e processos neurológicos que cursam com disfunção da deglutição como contraindicações absolutas e considera como contraindicações relativas: pouca colaboração do paciente, traqueostomia, paralisia facial, hemorroidas sangrantes, história de síncope tussígena e doenças da coluna vertebral (Souza 2002).

As sociedades *American Thoracic Society* (ATS) e ERS¹³ sugeriam em 2002 que valores de P_{Imáx} maiores que 80 cmH₂O excluiriam fraqueza muscular inspiratória importante. Entretanto, a recomendação internacional mais recente³ indica que a fraqueza muscular inspiratória pode ser identificada quando o resultado do teste é menor que o limite inferior de normalidade para a P_{Imáx} definido de acordo com a equação de predição utilizada. Diversos autores propuseram valores de referência para indivíduos com diferentes idades e naturais de diferentes países, assim como diferentes equações de predição¹¹. De acordo com a revisão sistemática sobre valores de referência para a P_{Imáx} publicada em 2014¹¹, esses valores variam consideravelmente entre os estudos, seja por características dos indivíduos avaliados que influenciam P_{Imáx} (principalmente idade e sexo), pela necessidade de compreensão total dos indivíduos durante os testes ou pela variação dos aspectos técnicos das medidas, como o instrumento utilizado ou a variável de desfecho escolhida. Rodrigues *et al.*⁴⁸ mostraram que a presença ou ausência de fraqueza muscular respiratória pode depender da equação de predição escolhida. Os valores de referência e/ou equações de predição escolhidos devem ser obtidos a partir de uma amostra que represente, do modo mais próximo possível, as características demográficas dos indivíduos testados e que siga a metodologia padronizada pela ERS³ para a realização das medidas¹¹. Os resultados das medidas de PRM devem ser interpretados junto ao quadro clínico do indivíduo e não de modo isolado³.

Para a população brasileira, seis estudos foram encontrados com o objetivo de estabelecer valores de referência para as PRM em adultos^{49, 50, 51, 52, 53, 54}. Camelo,

Terra Filho e Manço estabeleceram valores de referência para a pressão pico (inspiratória e expiratória) utilizando manômetros de diafragma em uma amostra de 60 indivíduos saudáveis⁴⁹. Neder *et al.*⁵⁰, Costa *et al.*⁵² e Simões *et al.*⁵¹ estabeleceram equações preditivas para as PRM utilizando manovacuômetros analógicos e as variáveis utilizadas foram pressão pico^{50, 52} e pressão platô⁵¹. Os fatores preditores foram: idade e sexo para PImáx e PEmáx em um estudo que incluiu 100 indivíduos que trabalhavam em uma universidade na cidade de São Paulo-SP⁵⁰, também idade e sexo para PImáx e PEmáx em outro estudo que incluiu 120 indivíduos de cidade de São Carlos-SP⁵², e idade para homens e mulheres e peso para mulheres (PImáx e PEmáx) em um estudo que incluiu 140 indivíduos de seis cidades do Estado de São Paulo-SP⁵¹. Fora do estado de São Paulo, Pessoa *et al.*⁵³ estabeleceram equações de predição para as PRM utilizando a pressão média máxima medida por um manovacuômetro digital. Os fatores preditores para a FMR foram idade, sexo e peso para a PImáx e idade, sexo e circunferência abdominal para PEmáx e foram incluídos 134 indivíduos residentes em Belo Horizonte-MG. Sanchez *et al.*⁵⁴ também estabeleceram equações preditivas para as PRM em homens e mulheres considerando variáveis antropométricas (idade e índice de massa corporal para PImáx e PEmáx), utilizando um manovacuômetro analógico e a variável pressão platô, tendo por base os dados de 353 indivíduos residentes em Manaus-AM. Para todos os estudos realizados com indivíduos brasileiros, as medidas de PImáx foram obtidas em VR e as medidas de PEmáx em CPT.

Há um consenso sobre alguns fatores individuais que influenciam os valores de PRM, como sexo^{50, 53, 54, 55} e a idade^{50, 53, 54, 55}. Outras variáveis individuais, como: peso^{51, 53}, altura⁵⁶, índice de massa corporal⁵⁴, tabagismo, nível de atividade física e nível educacional também podem estar relacionados aos resultados das medidas⁵⁵. Além disso, fatores metodológicos e relativos à técnica também podem influenciar os valores obtidos durante as medidas de PRM. Alguns aspectos relacionados ao método utilizado para essa avaliação como: tipo de manovacuômetro, interface, utilização ou não de clipe nasal, comando verbal, número de manobras realizadas, critérios de reprodutibilidade e pressão selecionada para registro, são amplamente descritos na literatura, mas podem variar entre estudos e entre recomendações nacionais e internacionais^{2, 3, 10, 57}.

A escolha do equipamento interfere na análise dos resultados, uma vez que os manovacuômetros digitais apresentam algumas vantagens quando comparados aos

instrumentos analógicos. Os manovacômetros digitais apresentam um intervalo operacional mais amplo. Também possuem um sistema de gravação capaz de coletar os dados de pressão e exibi-los graficamente por meio de um software, permitindo a visualização da curva pressão versus tempo em tempo real e a obtenção dos dados de pressão durante toda a manobra de esforço máximo^{10, 13}, enquanto os manovacômetros analógicos apresentam um intervalo operacional menor, permitem apenas uma mensuração pontual da pressão máxima atingida, são dependentes da precisão do avaliador para obter o momento em que a maior pressão foi realizada, além de apresentarem procedimentos de calibração complexos. Portanto as medidas realizadas com instrumentos digitais são consideradas mais fáceis, mais acuradas e mais confiáveis^{10, 13}. Entretanto, o uso do manovacômetro analógico para medidas de PRM ainda é frequente devido à dificuldade de acesso, preço mais elevado e manuseio difícil do instrumento digital⁵⁸.

Os valores das PRM escolhidos ao registrar os resultados do teste também variam consideravelmente na literatura e podem influenciar a interpretação dos resultados obtidos. A ERS³ recomenda que as pressões inspiratórias e expiratórias máximas sejam mantidas por no mínimo 1,5 segundos, permitindo o registro da pressão máxima sustentada por um segundo. A ERS afirma que essa medida, definida como pressão platô, pressão sustentada ou pressão média máxima, é preferível em relação a medida de pressão pico, porém softwares específicos são necessários para que ela seja operacionalizada, dificultando assim essa medida. Outras definições para a pressão platô ou pressão sustentada são encontradas na literatura, por exemplo: o valor mais alto mantido por um período assumindo um valor inferior a pressão pico^{2, 11}, a pressão obtida após terminado o 1º segundo de manobra¹⁰ ou ainda como a pressão sustentada por 1 a 3 segundos, sem a necessidade de um software⁵⁹. Alguns autores utilizam a medida recomendada pela ERS, mas a definem apenas como pressão média máxima^{2, 11, 20}. Alguns estudos definem a pressão pico como o valor mais alto registrado durante a manobra de PRM^{11, 52}.

Ainda como um fator relacionado à medida, o volume pulmonar em que as medidas das PRM são realizadas também influencia o resultado dessa avaliação¹³. Estudos demonstraram como as pressões respiratórias se comportam de acordo como o volume pulmonar, como detalhado a seguir.

2.3 Pressões respiratórias máximas em diferentes volumes pulmonares

A influência do volume pulmonar sobre as medidas de PRM tem sido investigada há mais de um século⁶⁰. O quadro 1 apresenta os valores das PRM obtidas em diferentes volumes pulmonares reportados por diferentes estudos. Alguns estudos foram realizados como percentuais da capacidade vital, enquanto outros avaliaram as medidas em níveis da CPT. De acordo com os valores para volumes e capacidades apresentados por Guyton e Hall⁶¹, a CRF se situa entre 25 e 30% da capacidade vital e entre 40 e 50% da CPT para um homem adulto saudável. Em 1946, Rahn, Chadwick e Fenn¹⁴ construíram um diagrama de pressão-volume baseados na avaliação de 11 indivíduos saudáveis para PImáx e 12 para PEmáx. Eles determinaram os volumes pulmonares por meio de um espirômetro que era acoplado à boca após uma expiração completa, com as porcentagens de volume inspirado determinadas como o desejado. Após a inspiração, um *plug* nasal conectado a um manômetro de mercúrio era inserido em uma das narinas para avaliar as PRM medidas em diferentes volumes pulmonares¹⁴. Os dados referentes a esse estudo estão reportados no quadro 1 com a unidade de medida mmHg. Cook, Mead e Orzalesi¹⁶ analisaram a relação entre PRM e volumes pulmonares por meio de um método que envolvia um manômetro de mercúrio acoplado à um bocal e recipientes com diferentes volumes. O indivíduo deveria inspirar e expirar o volume contido nesses recipientes forçadamente. Os pesquisadores avaliaram 56 indivíduos saudáveis que foram divididos em seis grupos de acordo com a idade. Os dados apresentados no quadro 1 são relativos aos indivíduos com média de idade 29 anos. Lausted *et al.*¹⁷ avaliaram 48 indivíduos saudáveis divididos em dois grupos de acordo com o sexo. Os volumes pulmonares eram monitorados por um espirômetro. Esse instrumento era preenchido previamente com uma certa quantidade de volume e, no momento em que a porcentagem de volume necessário era atingida, uma válvula era automaticamente fechada e a pressão máxima realizada através de um transdutor de pressão. Os dados apresentados no quadro 1 referentes a esse estudo estão separados por sexo.

Quadro 1. Valores das PRM obtidas em volumes pulmonares reportados por estudos

Estudos	PI_{máx}			PE_{máx}		
Rahn <i>et al.</i> ¹⁴ (% da CV)	3,9	21,7	91	9,7	25	83
Rahn <i>et al.</i> ¹⁴ (PRM em mmHg)	86,0 ± 19,5	74,6 ± 14,1	23,6 ± 12,9	41,5 ± 13,4	52,5 ± 20,8	107,0 ± 16,3
Cook, Mead e Orzalesi ¹⁶ (% da CPT)	30	40	90	30	40	90
Cook, Mead e Orzalesi ¹⁶ (PRM em cmH ₂ O)	112 ± 35	109 ± 31	38 ± 14	57 ± 50	112 ± 61	184 ± 36
Lausted <i>et al.</i> ¹⁷ (% da CV) - mulheres	12,1	22,5	92,6	8,9	27,6	84,4
Lausted <i>et al.</i> ¹⁷ (PRM em cmH ₂ O) - mulheres	65,9 ± 31,6	65,0 ± 31,6	28,0 ± 29,0	38,7 ± 25,0	53,4 ± 30,7	61,2 ± 39,0
Lausted <i>et al.</i> ¹⁷ (% da CV) - homens	13,5	24,2	94,2	8,2	26,2	80,8
Lausted <i>et al.</i> ¹⁷ (PRM em cmH ₂ O) - homens	96,7 ± 45,5	95,3 ± 49,8	38,9 ± 38,8	63,2 ± 32,6	84,1 ± 39,9	97,2 ± 41,5

Dados apresentados como média ± desvio padrão. PI_{máx} = pressão inspiratória máxima, PE_{máx} = pressão expiratória máxima, CV = capacidade vital, CPT = capacidade pulmonar total.

Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar das diferenças entre os métodos de avaliação, assim como entre os resultados obtidos, há um consenso entre os estudos sobre o aumento dos valores de $P_{lm\acute{a}x}$ com a redução do volume pulmonar e o aumento da $P_{Em\acute{a}x}$ com o aumento do volume pulmonar. Alguns motivos podem ser atribuídos a essa mudança, como a relação comprimento-tensão dos músculos respiratórios, a mudança do raio da curvatura dos músculos respiratórios em diferentes volumes pulmonares e a pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório^{13, 17, 19, 36}.

A relação entre a força gerada pelos músculos respiratórios (inspiratórios e expiratórios) e o seu comprimento é similar à essa relação nos músculos periféricos. O músculo apresenta maior capacidade de gerar força quando atua próximo ao seu comprimento considerado ótimo³⁶. Há uma perda da capacidade em gerar pressão inspiratória quando o diafragma está encurtado (volumes altos) e dos músculos abdominais em gerar pressão expiratória quando também estão em uma posição encurtada (volumes baixos)². Entretanto, essa relação é complexa. O diafragma, por exemplo, é uma estrutura em forma de cúpula que age como um pistão, portanto, a força resultante em cada unidade do músculo não se relaciona apenas com a tensão ali gerada. Além disso, a força exercida pelo diafragma está associada a uma rede complexa de interações com outros músculos respiratórios e com a parede torácica, incluindo o seu conteúdo¹³.

A equação de Laplace prevê que a pressão em um circuito fechado é proporcional ao produto da tensão pela espessura da parede e inversamente proporcional ao raio da curvatura, sendo a pressão em uma esfera o dobro daquela gerada em um cilindro. A estrutura do diafragma pode ser comparada à uma esfera e, se aplicada ao sistema respiratório, a equação mostra que ao contrair, o diafragma se torna mais achatado e o seu raio da curvatura diminuiu, aumentando a pressão gerada. Portanto, a pressão inspiratória diminui, junto ao raio da curvatura, enquanto o volume pulmonar aumenta. Já os músculos abdominais estão dispostos mais como um cilindro e se achatam em volumes menores, com o raio da curvatura reduzido nessa posição. Por isso, pressões expiratórias maiores são geradas em volumes maiores¹⁷. Segundo De Troyer e Boriek³⁶, a relação comprimento-tensão durante a contração do diafragma

apresenta maior influência para a capacidade de gerar força quando comparada às mudanças no raio da curvatura.

Além disso, as propriedades viscoelásticas do sistema respiratório também influenciam os resultados das PRM. As pressões inspiratórias e expiratórias geradas ao nível da boca refletem a soma da pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório (pressões de retração elástica dos pulmões e da caixa torácica) e da verdadeira pressão muscular^{2, 13, 17}, sendo que a pressão de recolhimento elástico não é subtraída do valor final obtido. A recomendação publicada pela ATS/ ERS em 2002 sobre testes de FMR¹³ sugeria que a pressão de recolhimento elástico em VR poderia atingir valores de até 30 cmH₂O, com contribuições no valor final da P_{Imáx} de até 30% ou até mesmo mais, em casos em que a pressão muscular está mais reduzida. A recomendação também sugere que as medidas de P_{Emáx} realizadas em CPT poderiam apresentar valores de recolhimento elástico superiores a 40 cmH₂O¹³, dados originalmente publicados por Rochester em 1988¹⁸. Em condições fisiológicas, a pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório em nível da CRF é próxima a zero, portanto, as medidas das pressões ao nível da boca se equivaleriam à pressão muscular respiratória. Portanto, medidas realizadas em CRF seriam menos influenciadas por esse fator^{1, 13}.

Além de reduzir a influência do recolhimento elástico no resultado final, medidas de PRM obtidas em CRF podem apresentar a vantagem de não necessitar que o indivíduo testado consiga alcançar volumes pulmonares mínimos (para a P_{Imáx}) e máximos (para a P_{Emáx})^{20, 47}, minimizar resultados baixos pelo fato do indivíduo não conseguir chegar nesses volumes^{2, 20}, serem menos cansativas²⁰ e mais aplicáveis clinicamente naqueles indivíduos que já espera-se que a FMR seja reduzida, como em doentes críticos, em que as forças elásticas do sistema respiratório podem ser influenciar ainda mais o resultado final da medida⁴⁷. Alguns estudos realizaram medidas de PRM em nível de CRF^{20, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 62, 63, 64, 65}. Entretanto, o método utilizado era qualitativo (inspeção visual), complexo e pouco disponível na prática clínica (pletismografia corporal) ou utilizando um espirômetro. Windisch *et al.*²⁰ avaliaram 533 indivíduos saudáveis com idades entre 10 e 90 anos com o objetivo de investigar se medidas de pressões inspiratórias (média e pico) eram

comparáveis, assim como medidas de pressões inspiratórias realizadas em CRF e RV utilizando um transdutor de pressão. Os autores controlaram o volume em que a medida era realizada por meio de um espirômetro. Para os homens (n=229), a pressão máxima sustentada por um segundo foi em média $9,5 \pm 3,1$ kPa em CRF e $10,5 \pm 3,4$ kPa em VR (diferença média $1,0$ kPa = $10,2$ cmH₂O), para as mulheres (n=304), $6,2 \pm 2,7$ kPa em CRF e $7,3 \pm 3,1$ kPa em VR (diferença média $1,1$ kPa = $11,2$ cmH₂O). O mesmo estudo mostrou que as medidas realizadas nos dois volumes foram comparáveis e que as medidas foram igualmente fáceis de serem realizadas.

A literatura é escassa em relação a estudos que avaliaram propriedades de medidas dos testes de PRM realizado em CRF. Larson and Kim²⁹ avaliaram 31 indivíduos saudáveis e mostraram que as medidas de P_{Imáx} realizadas em CRF em dois dias com um intervalo de oito dias entre elas apresentaram forte correlação ($r=0,90$) e foram similares entre os dias. Os autores utilizaram um manômetro analógico e o método para identificação do volume para realizar a manobra em CRF não foi descrito. Windisch *et al.*²⁰ repetiram as medidas de P_{Imáx} obtidas em nível de CRF em 50 indivíduos saudáveis (grupo inicial com 533) e mostraram que as medidas foram reprodutíveis, de acordo com o coeficiente de repetibilidade e avaliação de concordância por meio da análise de Bland-Altman. Jardim e Camelier³⁰ avaliaram 13 indivíduos saudáveis com o objetivo de investigar os efeitos de Flunisolida sobre a força e a *endurance* dos músculos respiratórios e periféricos. De forma associada, os pesquisadores repetiram as medidas de P_{Imáx} e P_{Emáx} obtidas em CRF durante três dias consecutivos para avaliar a reprodutibilidade da medida e utilizaram o teste de Friedman para reportar sobre a ausência de diferença estatística entre os valores obtidos nos três dias. As medidas de PRM foram obtidas por meio de um manovacúmetro analógico e o método para identificação do volume em que a manobra deveria ser realizada não foi descrito.

Poucos estudos estabeleceram valores de referências para as PRM obtidas em CRF. Um estudo realizado na Finlândia avaliou as PRM de 200 indivíduos saudáveis utilizando um manômetro de diafragma. A P_{Imáx} foi obtida em nível de CRF (por meio de inspeção visual) e a P_{Emáx} em nível de CPT. Os valores de referência para a P_{Imáx} variaram entre 5 a 15 kPa ($50,9$ a $152,9$

cmH₂O) para os homens e entre 3 a 14 kPa (30,6 a 142,8 cmH₂O) para as mulheres³¹.

Na sequência, serão abordados os conceitos relativos às propriedades de medidas, que são cruciais para a interpretação adequada das PRM.

2.4 Propriedades de medida

Para que um novo instrumento tenha aplicabilidade clínica e científica, o mesmo deve ter sua qualidade garantida por meio da avaliação das suas propriedades de medida³². A iniciativa COSMIN (COnsensus based Standards for the selection of health Measurement INstruments - <https://www.cosmin.nl/>) consiste em um time multidisciplinar que inclui pesquisadores experientes em pesquisa epidemiológica, psicométrica e qualitativa que se reúnem para desenvolver instrumentos que contribuem para a seleção mais apropriada de instrumentos de medida principalmente nas áreas da saúde⁶⁶. A iniciativa reuniu especialistas em um estudo internacional que utilizou o método Delphi para determinar um consenso em relação à taxonomia, terminologia e definições das propriedades de medidas. Os 43 pesquisadores que participaram do estudo deveriam avaliar o grau de concordância em relação às propostas em uma escala de 1 a 5. O consenso era atingido quando no mínimo 67% das respostas eram concordantes. Após quatro rodadas de respostas, três grandes domínios foram definidos: confiabilidade, validade e responsividade⁶⁷.

O domínio confiabilidade inclui três propriedades de medida: consistência interna, confiabilidade e erro de medida. A consistência interna está relacionada ao grau em que diferentes itens de um teste associados entre si⁶⁷.

A confiabilidade é a extensão em que a medida é consistente e livre de erro e espera-se que o instrumento realize medidas consistentes quando o indivíduo testado não mudou^{32, 67}. Estudos de confiabilidade contribuem para estimar a influência de diferentes fontes de variação nos resultados finais por meio de estudos de confiabilidade em si e para investigar o erro causado por essas variações em termos absolutos, como nos estudos de erro de medida ou

de concordância⁶⁶. As estimativas de confiabilidade variam de acordo com a possível fonte de variação, entre elas: a confiabilidade teste-reteste, usada para estabelecer se um instrumento é capaz de medir uma variável com consistência, em que o indivíduo é submetido ao mesmo teste sob condições similares em ocasiões separadas, a confiabilidade intraexaminador, que avalia se os resultados das medidas diferem quando as medições são realizadas pelo mesmo avaliador em mais de um momento, a confiabilidade interexaminador, que avalia se os resultados das medidas diferem quando realizadas por dois ou mais avaliadores e a consistência interna, que avalia a associação entre diferentes conjuntos de itens ou perguntas em mesmo um instrumento^{32, 66, 67}.

Para que um estudo que avaliou a confiabilidade de um instrumento de medida seja considerado adequado, ele deve seguir alguns parâmetros definidos pelo *checklist* recentemente publicado pela iniciativa COSMIN⁶⁶: os indivíduos testados devem ser estáveis em relação ao constructo a ser medido, o intervalo de tempo entre as medições deve ser adequado (depende do constructo a ser medido e da amostra estudada, deve ser longo o suficiente para evitar viés de memória e curto o suficiente para garantir que os indivíduos não tenham mudado em relação ao constructo avaliado), o protocolo da medida deve ser o mesmo em cada repetição (exceto quando essa for a fonte de variação avaliada), a amostra avaliada no estudo deve ser ≥ 100 indivíduos⁶⁸, para variáveis contínuas, o coeficiente de correlação intraclassa (ICC) é a análise estatística preferível, para variáveis ordinais, o Coeficiente Kappa de Cohen e para as variáveis dicotômicas ou nominais, a estatística Kappa ponderado. A propriedade de medida erro de medida (definida como o erro sistemático e aleatório que não está relacionado às possíveis mudanças no constructo medido) apresenta os mesmos critérios definidos pelo COSMIN para a confiabilidade, exceto a estatística: para variáveis contínuas, o erro padrão da medida ou os limites de concordância são preferíveis, para variáveis categóricas, a concordância é expressa como porcentagens de concordância totais ou específicas⁶⁶.

A validade está relacionada à garantia de que o teste está medindo o que se propõe a medir. O domínio validade também inclui três propriedades de medida: validade de conteúdo (avalia o grau em que o conteúdo de um instrumento reflete adequadamente o constructo avaliado – mais aplicável para

questionários), que inclui a validade de face (avalia o grau em que os itens de um instrumento parecem refletir o constructo avaliado – mais fraca), validade de constructo (está relacionada a capacidade de um instrumento para medir determinado constructo considerado abstrato e reflete o grau em que esse instrumento reflete os componentes teóricos do constructo e pode ser dividida em validade estrutural, teste de hipóteses e validade transcultural)^{32, 66, 67} e validade de critério (indica se as medidas realizadas por um novo instrumento podem substituir medidas realizadas por um instrumento já bem estabelecido).

A validade de critério pode ser dividida em concorrente e preditiva. A iniciativa COSMIN não discute esses termos pois são considerados já bem definidos na literatura. A validade de critério concorrente está relacionada ao grau em que um novo método concorda com outro tido como válido. É utilizada quando há um novo instrumento potencialmente mais eficiente, fácil, acessível e prático do que outro instrumento já estabelecido^{32, 67}. Para que um estudo de validade de critério concorrente seja considerado adequado, o critério adotado para comparação deve ser considerado como um padrão-ouro adequado, a amostra de indivíduos avaliada deve ser ≥ 50 , a nova medida e a padronizada devem ser aplicadas com o menor intervalo de tempo possível e a análise estatística deve incluir correlações ou o cálculo da área sob a curva de Característica de Operação do Receptor (ROC) caso as variáveis sejam contínuas e determinação da sensibilidade e especificidade para variáveis dicotômicas⁶⁸. A validade preditiva estabelece se os resultados de um novo instrumento podem ser utilizados para prever desfechos³².

O domínio responsividade contém apenas uma propriedade de medida, também chamada responsividade⁶⁷. Essa propriedade de medida está relacionada ao grau em que um instrumento detecta mudança do constructo avaliado ao longo do tempo e pode ser considerada como uma validade longitudinal⁶⁹. A responsividade é especialmente relevante em testes que são usados para avaliar a eficácia de uma intervenção em que o resultado do instrumento testado deve ser proporcional à mudança observada em outro instrumento de responsividade já conhecida³².

Na presente tese, uma revisão sistemática relacionada às propriedades de medida - validade concorrente, confiabilidade e erro de medida – das medidas

de PRM foi realizada. Além disso, um dos estudos apresentados avaliou propriedades de medidas – validade de critério concorrente, confiabilidades teste-reteste e interexaminador - das medidas de PRM obtidas com um novo instrumento em indivíduos saudáveis.

Na próxima subseção, serão discutidos conceitos básicos relativos às diferentes condições de saúde que foram incluídos como objeto de estudo em um dos artigos apresentados na tese.

2.5 Condições de saúde

As medidas das PRM apresentam aplicabilidade tanto no ambiente clínico como no científico, com ampla utilização em diferentes populações. No entanto, a medida de $P_{lm\acute{a}x}$ é mais relevante clinicamente pois a fraqueza dos músculos inspiratórios pode resultar em uma ventilação pulmonar inadequada, particularmente durante o exercício ou em resposta às exacerbações, mesmo em condições em que o mecanismo principal da doença é a limitação persistente ao fluxo aéreo durante a expiração⁴⁷.

Dentre as diversas condições de saúde que podem apresentar alteração da força dos músculos respiratórios, neste estudo iremos explorar as seguintes condições de saúde: pós-COVID-19, DPOC, FPI, IC e AVE.

2.5.1 Doença pulmonar obstrutiva crônica

A DPOC é uma doença progressiva comum, prevenível e tratável caracterizada por sintomas respiratórios persistentes e limitação ao fluxo aéreo não totalmente reversível devido às anormalidades do parênquima pulmonar (enfisema) e das vias aéreas (bronquite crônica). Essas alterações são normalmente causadas por alta exposição a partículas ou gases nocivos⁷⁰. O fator de risco principal para a DPOC é o tabagismo, mas a DPOC também pode

ser mais prevalente em locais com exposição recorrente e prolongada ao material gerado pela combustão de biomassa em ambientes internos (fogões a lenha, lareiras, etc.) e com poluição do ar externo, assim como em indivíduos no processo de envelhecimento e com fatores genéticos que predispõem à doença, como deficiência de alfa-1-antitripsina⁷⁰. A DPOC é a terceira maior causa de morte no mundo, causando 3,23 milhões de mortes no mundo em 2019⁷¹. Em setembro de 2021, a DPOC causou 5.010 internações nos hospitais do Sistema Único de Saúde no Brasil⁷². O diagnóstico de DPOC deve ser considerado em qualquer indivíduo que apresente dispneia, tosse crônica ou produção de expectoração, assim como histórico de exposição aos fatores de risco para a doença. A espirometria é necessária para o diagnóstico da doença, sendo que valores da relação entre o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF₁) e a capacidade vital forçada menores que 0,70 após a administração de broncodilatador confirmam a presença de limitação persistente ao fluxo aéreo⁷⁰. A classificação da gravidade da limitação do fluxo aéreo é baseada no VEF₁:

- Leve: VEF₁ ≥ 80% do predito
- Moderada: 50% ≤ VEF₁ < 80% do predito
- Grave: 30% ≤ VEF₁ < 50% do predito
- Muito grave: VEF₁ < 30% do predito⁷⁰

Os sintomas respiratórios mais comuns incluem dispneia, tosse e/ou produção de secreção. A dispneia crônica e progressiva é o sintoma mais comum da DPOC. A tosse com produção de secreção está presente em até 30% dos pacientes. Esses sintomas podem variar diariamente e ao longo da progressão da doença. Outros sintomas comuns em indivíduos com DPOC são respiração ofegante, aperto no peito, fadiga, perda de peso, anormalidades nutricionais e anorexia⁷⁰.

As comorbidades comuns da DPOC são doenças cardiovasculares, síndrome metabólica, osteoporose, depressão, ansiedade e câncer de pulmão. Uma das manifestações extrapulmonares mais comuns da DPOC é a disfunção dos músculos esqueléticos, caracterizada por perda das células musculares (sarcopenia) e função anormal das células musculares restantes. A disfunção

dos músculos esqueléticos é causada por diferentes fatores, como inatividade, nutrição insuficiente, miopatia esteróide, inflamação e hipóxia⁷⁰. Assim como os músculos periféricos, os músculos respiratórios também podem apresentar força muscular reduzida pelos mesmos motivos, além da presença de hiperinsuflação grave (que aumenta o volume expiratório final, alterando a função diafragmática devido à mudança da sua relação comprimento-tensão)⁷³ e fluxo sanguíneo comprometido devido à concorrência com os músculos locomotores pelo débito cardíaco⁷⁴. A disfunção dos músculos inspiratórios causa uma redução na capacidade desses músculos em gerar mudanças na pressão intratorácica e aumento de volume corrente, o que contribui para a hipoxemia, hipercapnia, dispneia e intolerância ao exercício e já foi observada em indivíduos com DPOC, principalmente em sua forma grave^{34, 75}.

Com os músculos inspiratórios fracos, há um aumento da estimulação do comando neural central, amplificando a percepção de esforço e o trabalho inspiratório, mesmo quando não há um aumento da ventilação⁵. Os músculos respiratórios estão sobrecarregados pelas características da doença, o que diminui a sua capacidade de sustentar a ventilação durante esforços maiores. Indivíduos com DPOC mais grave, com possível fraqueza muscular respiratória, não são capazes de aumentar o volume inspirado de modo suficiente, por isso, precisam aumentar a frequência respiratória para responder ao comando neural central. No entanto, esse aumento da frequência respiratória aumenta o espaço morto fisiológico e a velocidade de encurtamento dos músculos respiratórios já enfraquecidos. Por esses motivos, a resposta muscular do sistema respiratório aos esforços maiores em pacientes mais graves é limitada e a percepção de desconforto respiratório, ou dispneia, é um dos sintomas mais importantes relatados por indivíduos com DPOC, assim como a intolerância ao exercício⁷⁴.

De acordo com a Iniciativa Global para a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica, a avaliação da FMR deve ser incluída antes e após um programa de reabilitação pulmonar em indivíduos com DPOC⁷⁰. Além disso, a medida de P_{Imáx} tem sido amplamente utilizada para avaliação e definição de parâmetros para o treinamento muscular inspiratório realizado em indivíduos com DPOC⁴¹.

2.5.2 Fibrose pulmonar idiopática

A FPI é definida como uma forma específica de pneumonia intersticial fibrosante crônica e progressiva, com causa desconhecida. É doença de curso variável, que se manifesta principalmente em indivíduos adultos do sexo masculino e está limitada aos pulmões⁷⁶. Deve ser considerada em todos os adultos com dispneia crônica ao esforço, tosse, crepitações inspiratórias nas bases pulmonares e/ou hipocratismo digital sem outra causa conhecida. Além disso, a FPI cursa com alteração da função pulmonar, diminuição da capacidade vital e das trocas gasosas e redução da difusão de monóxido de carbono durante repouso ou exercício^{6, 77}. A maioria dos indivíduos diagnosticados com FPI possuem histórico de tabagismo. Outros fatores de risco para a FPI incluem refluxo gastroesofágico, infecções virais crônicas, hepatite C e histórico familiar de doenças pulmonares intersticiais⁷⁷.

Indivíduos com suspeita de FPI são avaliados inicialmente em busca de causas identificáveis para doenças pulmonares intersticiais. Caso nenhuma causa potencial seja identificada e nenhum diagnóstico específico seja definido, achados clínicos e tomográficos são considerados para determinar ou excluir o diagnóstico de FPI. Para o diagnóstico de FPI, a ausência de outras causas deve estar associada a um desses dois fatores: presença de achados relativos à pneumonia intersticial usual na tomografia computadorizada de alta resolução ou combinações específicas de achados tomográficos com padrões histológicos (quando há amostra do tecido pulmonar)⁷⁶.

Um dos sintomas mais incapacitantes para os indivíduos com FPI é a dispneia durante o exercício, que pode se estender para o repouso com o avanço da doença⁷⁶. Os mecanismos envolvidos no desenvolvimento da dispneia ao esforço nesses pacientes ainda não foram totalmente elucidados, com várias fontes potenciais para o desconforto respiratório⁷⁴. Um desses mecanismos está relacionado ao declínio da CPT e da capacidade vital, associado à redução da capacidade de difusão do monóxido de carbono. A redução dos volumes pulmonares associada à alteração da complacência pulmonar exige que os músculos inspiratórios gerem maiores pressões para um determinado volume

corrente^{6, 74}. Portanto, a dispneia e a intolerância ao exercício em indivíduos com doenças pulmonares intersticiais, incluindo a FPI, podem estar associadas, pelo menos parcialmente, à disfunção muscular respiratória^{6, 78}.

Walterspacher *et al.*⁶ utilizaram medidas de função muscular respiratória volitivas e não-volitivas para comparar a FMR de 25 indivíduos com doenças pulmonares intersticiais (16 com padrão de pneumonia intersticial) com 24 indivíduos saudáveis. As medidas não-volitivas mostraram fraqueza muscular respiratória dos indivíduos doentes em relação aos saudáveis. Alguns mecanismos fisiopatológicos já descritos para a presença dessa disfunção muscular respiratória, entre eles: o descondicionamento e perda de massa muscular causado pela redução do nível de atividade física nesses pacientes⁷⁸, o processo inflamatório sistêmico devido aos níveis elevados de citocinas pró-inflamatórias, os efeitos dos esteroides orais em altas doses, as anormalidades eletrolíticas, a presença potencial de polineuropatia (que pode ocorrer secundariamente à perda axonal, reduzindo os valores de pressão de contração), a desnutrição⁷⁴, além das restrições mecânicas ao diafragma causadas pela rigidez do pulmão, que resultam em aumento do trabalho respiratório^{6, 74}.

2.5.3 Insuficiência cardíaca

De acordo com o *ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure* publicado em 2021⁷⁹, a IC é definida como uma síndrome clínica que apresenta sintomas cardinais, como falta de ar, edema nos tornozelos e fadiga, que podem ser acompanhados por sinais, como elevação da pressão venosa jugular e crepitações pulmonares. A síndrome é causada por uma anormalidade estrutural e/ou funcional do coração que resulta em pressões intracardíacas elevadas e/ou débito cardíaco inadequado, alterações que podem ocorrer no repouso ou durante o exercício. Possíveis causas para a disfunção cardíaca são: disfunção diastólica e/ou sistólica do miocárdio, alteração das

valvas cardíacas, do pericárdio ou do endocárdio, assim como anormalidades da condução e do ritmo cardíaco.

A classificação dos diferentes fenótipos para a IC é tradicionalmente baseada na medida da fração de ejeção do ventrículo esquerdo (FEVE). A seguinte classificação é a mais recente:

- IC com fração de ejeção reduzida: FEVE \leq 40% associada aos sintomas,
- IC com fração de ejeção moderadamente reduzida: FEVE entre 41 e 49% associada aos sintomas,
- IC com fração de ejeção preservada: FEVE \geq 50% associada aos sintomas de IC e evidência objetiva de alteração cardíaca estrutural e/ou funcional consistente com a presença de disfunção diastólica do ventrículo esquerdo/pressões de enchimento do ventrículo esquerdo aumentadas, incluindo a elevação dos peptídeos natriuréticos⁷⁹.

A IC também pode ser resultado de alterações da mecânica e da função do ventrículo direito. A sobrecarga de pressão ou volume nessa câmara cardíaca é causada principalmente por hipertensão pulmonar induzida pela disfunção do ventrículo esquerdo, mas também pode ocorrer por cardiomiopatia arritmogênica do ventrículo direito ou doença valvar. A IC é geralmente dividida em duas formas: IC crônica e IC aguda. A IC é considerada crônica quando está presente naqueles indivíduos com um diagnóstico já estabelecido de IC ou que apresentam um início mais gradual dos sintomas. A IC é considerada aguda naqueles indivíduos que pioraram (IC descompensada) ou que apresentaram sintomas repentinamente. Além disso, a gravidade da IC ainda pode ser descrita pela classificação *New York Heart Association*, que utiliza da gravidade dos sintomas e atividade física dos pacientes para classificá-los de I a IV⁷⁹. A classe I significa ausência de sintomas e nenhuma limitação em atividades rotineiras, a classe II caracteriza indivíduos com sintomas e limitações em atividades leves, que estão confortáveis no repouso, mas apresentam dispneia a esforços habituais, a classe III inclui indivíduos com limitação importante durante atividades físicas, atividades mais leves que as rotineiras produzem sintomas, a classe IV representa limitações graves, com sintomas presentes no repouso.

Indivíduos com IC crônica frequentemente apresentam intolerância ao exercício associada à dispneia e fadiga. Alguns mecanismos já foram descritos para esse sintoma, como alterações hemodinâmicas centrais e anormalidades autonômicas, vasculares e ventilatórias⁷. Com a progressão da IC, alterações pulmonares podem se torna mais frequentes, como alteração da relação ventilação-perfusão, capacidade de difusão pulmonar reduzida, hipertensão pulmonar, aumento do calibre da vasculatura bronquial, que reduz o lúmen da via aérea, aumentando a resistência ao fluxo aéreo, entre outras^{80, 81}.

As respostas pulmonares ao exercício também podem estar alteradas, incluindo uma resposta ventilatória exacerbada⁷. Além disso, uma disfunção progressiva dos músculos esqueléticos pode ser observada nesses indivíduos, sendo mais pronunciada nos músculos inspiratórios, o que pode estar associada à redução do débito cardíaco e hipóxia tecidual, à inflamação, ao aumento do catabolismo sistêmico, além da imobilização prolongada⁸¹. Essas mudanças causam degradação proteica, aumento dos níveis de citocinas inflamatórias, alteração das fibras tipo I (lentas) para fibras tipo II (rápidas), redução do número de mitocôndrias e comprometimento do metabolismo oxidativo^{81, 82}.

Nesse contexto, indivíduos com IC crônica frequentemente apresentam fraqueza muscular inspiratória, que pode ser uma das causas da dispneia e intolerância ao exercício presente nessa condição de saúde^{81, 82}. Durante o exercício, pacientes com IC apresentam uma resposta ventilatória exacerbada às demandas metabólicas, o que exige o recrutamento excessivo dos músculos respiratórios. Além disso, eles frequentemente aumentam a frequência respiratória em vez de aumentar o volume corrente, o que aumenta a percepção de falta de ar durante o exercício^{7, 81}. Essa resposta está associada ao acúmulo de metabólitos dos músculos causado pelas alterações dos músculos esqueléticos, o que sensibiliza os metaborreceptores localizados nos músculos esqueléticos, induzindo uma resposta reflexa para a hiperventilação e a vasoconstrição periférica, o que contribui para o aumento da sensação de dispneia e para a redução da tolerância ao exercício, assim como o aumento da sensibilidade dos quimiorreceptores nesses pacientes⁸³.

2.5.4 Acidente vascular encefálico

Em 2017, as associações *American Heart Association* and *American Stroke Association* atualizaram a definição clínica do AVE incluindo alguns termos novos e critérios clínicos e teciduais⁸⁴. O termo AVE inclui o infarto do sistema nervoso central, que pode ser definido como a morte das células do cérebro, medula espinhal ou da retina atribuída à isquemia, com base em evidências neuropatológicas, de neuroimagem e/ou clínicas de lesão permanente. O infarto do sistema nervoso central pode ser considerado como AVE isquêmico quando se refere especificamente ao infarto acompanhado por sintomas evidentes, enquanto o infarto silencioso não é acompanhado por sintomas conhecidos. O AVE também pode ser causado por hemorragia intracerebral e hemorragia subaracnóidea. Quando a causa não é especificada, o AVE pode ser definido como disfunção neurológica aguda causada por isquemia ou hemorragia (de modo presumível), persistindo por 24 horas ou mais ou até a morte, mas sem evidência suficiente para ser classificado como um dos citados anteriormente.

Os sinais e sintomas mais comuns durante o AVE para homens e mulheres são: dormência ou fraqueza súbita da face, braço ou perna, especialmente de um lado do corpo, confusão, dificuldade para falar, entender e/ou enxergar (um ou ambos os olhos), dificuldade súbita para caminhar, tontura, perda de equilíbrio ou falta de coordenação. Mulheres ainda podem apresentar fraqueza geral, problemas de memória, fadiga, náusea ou vômito⁸⁵.

Após um AVE, o indivíduo frequentemente apresenta hemiparesia (fraqueza) ou hemiplegia (paralisia) em um lado do corpo, contralateral à lesão encefálica⁸⁶. A perda da capacidade de gerar força é um dos principais fatores para a redução da funcionalidade nesses indivíduos⁸⁷. Assim como os músculos periféricos, a musculatura respiratória desses indivíduos pode apresentar redução importante, tanto na fase aguda como na crônica^{8, 88, 89}, que também pode estar relacionada a um ciclo de inatividade que retroalimenta a deterioração da função muscular global e respiratória. Pollock *et al.*⁸ publicaram uma revisão sistemática em 2013 com os objetivos de determinar os níveis de fraqueza

muscular respiratória e sobre os efeitos do treinamento muscular respiratório em indivíduos que tiveram AVE. Os pesquisadores realizaram uma metanálise incluindo quatro estudos e mostraram que a $PI_{máx}$ e a $PE_{máx}$ de indivíduos que tiveram AVE eram significativamente menores quando comparado com os saudáveis, com diferença média de 41,39 cmH₂O e 54,62 cmH₂O respectivamente. Além disso, esses indivíduos podem apresentar alterações no padrão respiratório^{90, 91} e alterações da atividade diafragmática^{92, 93}. A dispneia é uma queixa frequente nesses indivíduos⁹⁴ e pode estar relacionada à essas alterações, a um estilo de vida sedentário e ao descondicionamento⁹⁵. Menezes *et al.*⁹⁴ avaliaram 285 indivíduos pós-AVE (mínimo 3 meses do evento) por meio de ligação telefônica e mostraram que 44% da amostra reportaram apresentar dispneia, sendo que 85% dos participantes relataram que a dispneia limita a atividade e, para 49%, a dispneia restringe a participação social. A detecção precoce da dispneia é recomendada e tem o potencial de melhorar a função desses indivíduos se abordada propriamente⁹⁴.

Além disso, a fraqueza dos músculos inspiratórios e expiratórios pode impactar a função da tosse nesses indivíduos. A força dos músculos inspiratórios está relacionada com a fase inspiratória no início da tosse na qual ocorre o aumento do volume pulmonar e a força dos músculos expiratórios com o aumento da pressão intratorácica necessária para produzir o fluxo de ar adequado durante a tosse⁹⁶. A tosse ineficaz pode aumentar o risco de episódios de pneumonia aspirativa, complicação frequente nesses indivíduos^{8, 12}.

2.5.5 Pós-COVID-19

A Organização Mundial de Saúde declarou em 11 de março de 2020 a pandemia global da COVID-19⁹⁷. A COVID-19 é definida como uma infecção respiratória aguda potencialmente grave causada pelo novo coronavírus. A apresentação clínica é geralmente como uma infecção respiratória cuja gravidade dos sintomas varia desde um resfriado leve a uma pneumonia viral grave que pode levar à síndrome respiratória aguda grave, potencialmente fatal.

Os sintomas característicos incluem febre, tosse, dispneia e/ou perda do paladar/olfato. Alguns indivíduos podem possar apresentar sintomas leves relacionados às vias aéreas superiores ou serem até mesmo assintomáticos. A forma grave da doença pode causar falência de múltiplos órgãos, choque séptico, tromboembolismo venoso, entre outras complicações (BMJ). Idosos e pessoas com comorbidades, como doenças cardiovasculares, diabetes, doenças respiratórias crônicas ou câncer, têm maior probabilidade de desenvolver condições mais graves da doença⁹⁸.

Os indivíduos que foram infectados pelo coronavírus 2019 podem apresentar diversos tipos de complicações, com potencial perda da funcionalidade e redução da capacidade de exercício^{99, 100}. O comprometimento funcional pós-COVID-19 pode limitar as atividades de vida diária, alterar o desempenho profissional e dificultar a interação social⁹⁹. Diversas manifestações pulmonares já foram identificadas após a fase aguda da doença, incluindo dispneia aos esforços, redução da capacidade de difusão pulmonar para o monóxido de carbono, além de lesões pulmonares fibrosantes identificadas na tomografia computadorizada de alta resolução¹⁰⁰. Muitos indivíduos podem precisar de suporte ventilatório (desde suplementação de oxigênio à ventilação não-invasiva ou invasiva) e apresentarem consequências sistêmicas causadas pela hospitalização prolongada. Além disso, os indivíduos afetados podem se tornar mais sedentários, aumentando o risco de comorbidades⁹⁹. Poucas evidências estão disponíveis em relação a força muscular desses indivíduos^{9, 101}.

Valores de pressões inspiratórias e expiratórias abaixo da normalidade foram observados em indivíduos infectados com outra cepa do vírus, como o SARS-CoV identificado em 2002¹⁰². Huang *et al.*¹⁰¹ avaliaram a P_Imáx e a P_Emáx em 57 indivíduos diagnosticados com COVID-19, após 30 dias da alta hospitalar e relataram que 49,1% e 22,8% dos indivíduos apresentaram, respectivamente, P_Imáx e P_Emáx menores que 80% do valor predito.

3 JUSTIFICATIVA

As medidas das PRM são amplamente utilizadas para avaliar a FMR. É um método simples, não invasivo e bem tolerado pelos indivíduos^{1, 2}. Essas medidas podem ser utilizadas para monitorar a fraqueza muscular e auxiliar no diagnóstico de diferentes condições de saúde, para investigar a presença de dispneia sem causa aparente, para a definição de parâmetros e avaliação de intervenções, entre outras^{3, 10, 11}. Poucos estudos descreveram propriedades de medida e valores de referência para essas medidas^{20, 29, 30, 31}. Assim, a realização de uma revisão sistemática sobre o tema contribuirá para a síntese das evidências científicas relacionadas às propriedades de medida das PRM.

Os valores obtidos durante essas medidas são influenciados pelo volume pulmonar em que o teste é realizado^{2, 10, 11, 13}. Medidas de PRM realizadas em nível de CRF podem ser menos influenciadas por esse fator, pois a pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório nesse nível pulmonar é próxima a zero^{2, 20, 37}. Alguns estudos realizaram medidas de PRM em nível de CRF^{21-23, 25, 28-30, 62}. Entretanto, essas medidas foram realizadas por meio de métodos qualitativos, pouco disponíveis ou em conjunto com espirômetro. Um manovacuômetro capaz de identificar o momento em que o indivíduo avaliado está o mais próximo da CRF foi desenvolvido pelo LEB em parceria com o LabCare – ambos da UFMG, permitindo realizar as manobras de PRM nesse volume pulmonar¹⁰³. Para que um novo instrumento tenha aplicabilidade clínica, o mesmo deve ter sua qualidade garantida por meio da avaliação das suas propriedades de medida³².

Os valores das PRM em diferentes volumes pulmonares podem variar em indivíduos com diferentes condições de saúde, em função da pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório, que não é subtraída do resultado final das PRM quando realizadas em CRF e VR^{13, 14, 17}. Assim avaliar estas medidas em CRF e em VR/ CPT possibilitará identificar a influência do volume pulmonar nos valores observados nestes indivíduos.

Finalmente, conhecer como os profissionais brasileiros usam as medidas de PRM trará luz sobre a realidade e contribuirá para o aumento da aplicabilidade clínica das medidas.

4 OBJETIVOS

- Resumir e avaliar criticamente as evidências sobre as propriedades de medida confiabilidade e validade na mensuração das pressões respiratórias máximas obtidas em diferentes volumes pulmonares, usando as recomendações da iniciativa COSMIN.
- Avaliar a validade concorrente do manovacuômetro TrueForce para medidas de PRM realizadas em VR e CPT e as confiabilidades teste-reteste e interexaminador para as PRM obtidas em CRF com o TrueForce em indivíduos saudáveis, além de comparar as medidas realizadas em diferentes volumes pulmonares (CRF e VR para a P_{Imáx} e em CRF e CPT para P_{Emáx}) com o novo instrumento em dois grupos: indivíduos saudáveis e indivíduos com DPOC.
- Comparar as medidas de pressões inspiratórias obtidas em nível CRF com as medidas em VR, assim como comparar as medidas de pressões expiratórias obtidas em nível de CRF com as medidas em CPT em cinco grupos de indivíduos com as seguintes condições de saúde: pós-COVID-19, DPOC, FPI, IC e AVE e comparar as diferenças médias entre as medidas obtidas em CRF e em VR (pressões inspiratórias), assim como em CRF e CPT (pressões expiratórias).
- Investigar a utilização clínica das medidas de pressões respiratórias por fisioterapeutas com experiência nas áreas de fisioterapia cardiorrespiratória e de fisioterapia na terapia intensiva sob diferentes aspectos tais como o uso ou não das medidas e as razões para a não utilização, explorar os aspectos técnicos dos testes, como instrumentos de medida, procedimentos utilizados, o grau de dificuldade para a operacionalização dos testes, assim como os valores de referência e equações preditivas utilizadas, além de documentar o conhecimento desses profissionais sobre as indicações e contraindicações para o uso das PRM.

5 RESULTADOS

5.1 Artigo 1

Reliability and validity of maximal respiratory pressures: A systematic review

Este artigo será submetido ao periódico *Respiratory Care*

Abstract

BACKGROUND: Measuring maximal respiratory pressure (MRP) is the most common method used to investigate the strength of inspiratory (maximal inspiratory pressure- $P_{I\max}$), and expiratory muscles (maximal expiratory pressure- $P_{E\max}$). The aim of this systematic review is to summarize and critically appraise the evidence on the measurement properties reliability and validity of MRP using the COSMIN recommendations.

METHODS: A systematic literature search was performed in PubMed and EMBASE databases for studies published up to September 2021. This review was designed following the COSMIN recommendations, and reported according to PRISMA statement.

RESULTS: Of 642 reports identified by searches, 26 were included. Test-retest reliability was graded as moderate level of evidence for $P_{I\max}$ at residual volume (RV) and $P_{E\max}$ at total lung capacity (TLC) ($ICC > 0.70$ for both), interrater reliability was low for $P_{I\max}$ at RV and very low for $P_{E\max}$ at TLC ($ICC > 0.70$ for both), and measurement error was very low for $P_{I\max}$ at RV and $P_{E\max}$ at TLC. Concurrent validity was graded as high level of evidence for $P_{I\max}$ at RV and $P_{E\max}$ at TLC ($r > 0.80$ for both). Test-retest reliability and measurement error for $P_{I\max}$ obtained at functional residual capacity (FRC) were graded as very low-quality evidence, with no sufficient evidence for conclusions on the other measurement properties and $P_{E\max}$ at FRC.

CONCLUSIONS: Only concurrent validity of MRP was classified as high-quality evidence. Further high-quality studies would be reasonable to evaluate the measurement properties (mainly interrater reliability and measurement error) for this method at FRC and in individuals with health conditions.

Key words: functional residual capacity; measurement properties; reproducibility of results; respiratory muscles; reliability; systematic review; validity.

Introduction

Maximal respiratory pressure (MRP) measurements are widely used to investigate respiratory muscle strength. This is a simple, non-invasive, well-tolerated and quickly performed method used to measure the maximal inspiratory pressure (P_Imax), and maximal expiratory pressure (P_Emax).^{1,2} Respiratory muscle weakness, mainly the inspiratory muscles, are closely linked to impaired ventilation, gas exchange and oxygen delivery to tissues, reducing the capacity to respond to increased metabolic demands. Therefore, this method can be useful for assessing and monitoring individuals with respiratory muscle weakness due to respiratory, cardiac, or neuromuscular conditions.¹⁻⁴ Measurements of P_Imax are also useful in the differential diagnosis of dyspnea without apparent cause, in the evaluation of weaning from invasive mechanical ventilation, in the setting and evaluation of interventions, such as the inspiratory muscle training, among other indications.^{1,2,5-8} Measurements of P_Emax may be linked to cough impairment, which are related to complications, such as the increased risk of aspiration pneumonia.⁹

This method has been widely investigated, and several reports describing different methods can be identified in the literature. The European Respiratory Society (ERS) published standardized recommendations updating the protocol for the measurements,² however, some aspects of the measurement still vary in scientific research and in clinical practice, such as the instrument used, the lung volume to start the maneuvers, and the variable chosen to define the pressure (i.e., peak or plateau), among others. Overall, the individuals are asked to perform maximal inspiratory or expiratory efforts against an occluded mouthpiece connected to a pressure transducer, usually obtained from residual volume (RV) for P_Imax, and total lung capacity (TLC) for P_Emax.^{1,2} Measurements obtained at functional residual capacity (FRC) are also reported.^{1,3,10}

Outcome measures used in clinical and research setting must have their quality guaranteed by the evaluation of their measurement properties.¹¹ The COSMIN (COnsensus-based Standards for the selection of health Measurement INstruments) initiative consists of a multidisciplinary team of researchers with different expertise who join efforts to develop tools that help users to select the most adequate outcome measurement instrument for different purposes in research and clinical practice, such as their methodological guideline for systematic reviews.¹² The aim of this this systematic review is to summarize and critically appraise the evidence on the measurement properties reliability and validity of MRP measurements obtained at RV, TLC and FRC using the COSMIN recommendations.

Methods

Literature Sources

This systematic review was designed according to the recommendations of the COSMIN initiative¹², and reported according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement.¹³ A systematic literature search was performed in PubMed and EMBASE. The databases were searched from inception to September 19, 2021 using the search strategy proposed by Terwee et al.¹⁴, with the general search terms related to MRP and the measurement properties: respiratory muscle strength, maximal respiratory pressure, manometer, test-retest reliability, interrater reliability, measurement error, and concurrent validity. The complete list is presented in appendix 1. The references of the eligible studies were screened for potentially relevant articles that were not identified in the initial search. All steps of the review protocol were performed independently by two reviewers, and the discrepancies

were first solved by reaching a consensus, and if necessary, a third reviewer was involved.

This systematic review was registered in PROSPERO: CRDXXXXXXXXXXXXX.

Study selection

The inclusion criteria were: Full text articles published before September 2021 in any language, the study should have evaluated one or more measurement properties of MRP measurements, and the study population consisted of humans of all ages. The exclusion criteria were: Studies with no data on reliability and/or validity of MRP measurements, and studies that investigated MRP in individuals submitted to mechanical ventilation. The papers were imported in the reference software Endnote, and checked for duplicates. BS and HP independently screened titles, abstracts and full texts to select eligible articles. Disagreements were resolved through discussion, and if necessary, a third reviewer (VP) helped reaching consensus.

Data extraction

Two independent investigators (BS and HS) extracted the data from the reports using predefined Excel datasheets. Extracted data included general characteristics of the study (study design, country, sample size, purpose of the study, etc.), and its population (healthy condition, sex, age, height, weight, lung function parameters, etc.), characteristics of MRP measurements technique (lung volume, variable of interest, instrument, interface, duration of maneuvers, acceptability and reproducibility criteria etc.), values of MRP when reported, details of measurement properties for each study (recall time – if applicable, stability of individuals and environment, number of measures, statistical analyses, etc), and results of the evaluated measurement properties. Since different definitions are reported for peak, plateau and average pressures, the following definitions were used to summarize the variables: plateau pressure was reported as the

highest pressure that could be sustained for a defined period: 1, 1.5, 2 or 3 seconds,¹⁵⁻²⁹ and peak pressure was defined as the highest value reached during MRP.³⁰⁻³²

Assessment of methodological quality of studies

The COSMIN checklist¹² was the tool used to evaluate the quality of the studies. This checklist was originally developed to assess the quality of studies involving patient-reported outcome measures (PROMs), and the checklist for outcome measurement instruments was not yet available. Therefore, some items of the original checklist were modified according to previous studies^{33,34}, *e.g.*: adding standards about whether the environment was stable when evaluating reliability. For each study included, the four-point rating system developed by the COSMIN initiative was used, where a set of standards was rated as “very good”, ‘adequate’, ‘doubtful’ or ‘inadequate’. The overall rating was determined as the lowest rating of the boxes using the ‘worst score counts’ principle. BS and GC independently scored the methodological quality of the included studies.

Assessment of the quality of measurement properties

Measurement properties of interest were defined in line with the COSMIN taxonomy.³⁵ The following measurement properties were included: test-retest reliability, interrater reliability, measurement error, and criterion validity (concurrent).

Reliability was defined in this review as the extent to which the results of an outcome measurement is consistent and free from error, estimating the influence of different sources of variation on the final results, and here we highlight: test-retest reliability (the individual is subjected to the same test under similar conditions on separate occasions), and interrater reliability (related to the reproducibility of measurements performed by two or more evaluators).³⁵ Measurement error is defined as the systematic and random error that is not related to possible changes in the measured construct.³⁵

Studies that used statistical methods considered appropriated for measurement error analyses, *e.g.*: Bland-Altman plots, were included in this measurement property.¹² Criterion concurrent validity is defined in this review as the degree to which the results of an outcome measurement reflect the results obtained with an instrument considered gold standard.³⁵ When one study covered more than one measurement property, each one was assessed and rated separately.

BS and VP rated the quality of the results for measurement properties, and reached a consensus when discrepancies were identified. The criteria used for this evaluation were defined according to the COSMIN recommendation,¹² as described in table 1.

Best Evidence Synthesis

After summarizing all evidence per measurement property, the quality of this evidence was graded using the Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation (GRADE) approach as recommended by the COSMIN user manual,¹² which refers to the confidence that the summarized data can be trusted. The GRADE classification takes into account the risk of bias (according to the quality of the studies), inconsistency (related to results), imprecision (related to sample size), and indirectness (if the study population is different from the review's scope). The starting point assumes that the overall result is of high quality, and the quality of evidence is downgraded by one or two levels per factor to moderate, low, or very low evidence.

Results

Search Results

Figure 1 shows the flowchart of studies included in this systematic review. Our search strategy identified 602 possible references for inclusion in our analysis. Forty

studies were identified by manual search. After removing 129 duplicated references, 110 studies were excluded by title and 139 by abstract, which yielded 264 papers to be fully read. Ultimately, 26 studies that met our inclusion criteria were identified.

Technical aspects of maximal respiratory pressures

Table 2 presents the details about the technical features of MRP measurements for all included studies. Sixteen out of the studies used an analogic model of manometer, and 12 used a flanged mouthpiece, whether rigid or not. The majority of the studies performed MRP at RV and at TLC (five performed P_Imax obtained at FRC, and one performed P_Emax at FRC). The variables chosen to report MRP varied between plateau pressures (maximal pressure sustained for some duration or the average pressure during one second) and peak pressures. The reproducibility criteria for the MRP tests ranged between two to three measurements with five to 20% variability from the best. The only acceptability criteria cited in some studies were no air leak and the pressure should be held for at least one second. Table 3 shows the values for P_Imax and P_Emax reported by the studies, divided as values in different days for test-retest reliability and measurement error, values obtained by two raters for interrater reliability, and with two instruments for concurrent validity.

Quality of studies and measurement properties and synthesis of evidence

Details about the methodological quality of included studies and about the quality of the results on test-retest reliability, interrater reliability, measurement error, and concurrent validity are summarized in Tables 4, 5, 6, and 7, respectively. Most studies evaluated test-retest reliability. None of the included studies focused on the measurement error, however, as recommended by the COSMIN initiative,¹² the studies that used specified statistical analyses for measurement error were included in the review, and classified as this measurement property. These tables also present the conclusion about

the overall quality of the test-retest reliability, interrater reliability, measurement error, and concurrent validity, respectively. The overall quality of evidence was reported for P_Imax obtained at FRC and at RV, and P_Emax obtained at TLC and FRC.

Reliability

Table 4 presents the twenty studies that evaluated test-retest reliability. Ten of the studies included healthy adults,^{17,22,25,27,32,36-40} three included individuals with COPD^{17,37,41} three included healthy children,^{21,26,30} two included healthy elderly,^{19,31} one included children with asthma²⁰, one included individuals with chronic heart failure,⁴² one included individuals with multiple sclerosis,³⁸ one included individuals with non-cystic fibrosis bronchiectasis,²⁴ and one included moderately trained individuals.¹⁸ The intraclass correlation coefficients (ICC) between test and retest of P_Imax ranged between 0.78 and 0.98 in seven studies.^{21,24-27,40,42} One of these studies performed P_Imax at FRC.⁴² For P_Emax, ICC values ranged between 0.82 and 0.97.^{21,24-27} The correlation coefficients between test and retest for P_Imax ranged between 0.84 and 0.97 in four studies,^{19,20,37,41} and two of these studies performed P_Imax at FRC.^{20,37} For P_Emax, one study reported a correlation coefficient of 0.97.¹⁹ The coefficient of variation (CV) for P_Imax ranged between 4.7 and 11% in three studies,³⁰⁻³² and between 3.4 and 11% for P_Emax in the same three studies. The overall quality for test-retest reliability was moderate for P_Imax and moderate for P_Emax. For P_Imax obtained at FRC, the overall quality was very low, and there were no studies available to make conclusions about P_Emax at FRC.

Table 5 shows three studies evaluated interrater reliability in healthy adults,^{28,40,43} and one in individuals with COPD.⁴¹ The ICC values between raters ranged between 0.87 and 0.99 for P_Imax,^{28,40,41,43} and between 0.83 and 0.99 for P_Emax.^{28,43} One study reported a CV of 0.032% for P_Imax and 0.037% for P_Emax.⁴³ The overall quality for

interrater reliability was low for P_Imax and very low for P_Emax. None of the studies performed P_Imax and P_Emax at FRC.

Table 6 shows data for measurement error. Three studies evaluated this property measurement in healthy adults,^{22,23,25} one in healthy children,²⁶ one in healthy elderly,¹⁹ one in children with bronchiectasis,²⁰ one in non-cystic fibrosis bronchiectasis,²⁴ and one in individuals with chronic heart failure.⁴² The mean difference between the tests ranged between -6.5 and 1.60 cmH₂O for P_Imax,^{19,24,25} and between -10.05 and 0.60 cmH₂O for P_Emax.^{19,24,25} Two studies qualitatively analyzed the Bland Altman plots.^{20,26} One of them reported lack of agreement between measurements of P_Imax,²⁰ and the other reported that 95% of the differences were within two standard deviations from the mean for P_Imax and P_Emax.²⁶ Three studies reported coefficients of repeatability (COR), ranging between 10.2 and 27.35% for P_Imax.^{19,20,23} Two of these studies performed P_Imax at FRC,^{20,23} and one of those reported COR/range.²³ One study reported COR between 12.8 and 14.7% for P_Emax.¹⁹ Two studies reported CV obtained with the Bland Altman method for P_Imax, which ranged between 6.6 and 8.5%, both studies performed P_Imax at FRC.^{20,42} One study used the standard error of measurement to report measurement error, and showed values between 10 and 12 for P_Imax, and between 9 and 14 for P_Emax,²⁵ and another used random error, reporting values between 1.051 and 1.056 for P_Imax, and between 1.045 and 1.051 for P_Emax. The overall quality for measurement error was very low for P_Imax and P_Emax. The same overall quality was considered for P_Imax obtained at FRC, and there were no studies available to make conclusions about P_Emax at FRC.

Concurrent validity

Table 7 shows the details of the five studies that assessed concurrent validity of the MRP. Four of them included healthy individuals,^{15,16,27,29} individuals with chronic

respiratory diseases,^{15,16} with COPD,⁴¹ and with chronic neurologic diseases.¹⁶ All studies compared new manometers with manometers considered gold standard at the time. One study reported ICC values of 0.99 for P_Imax and P_Emax.²⁹ The correlation coefficient for P_Imax ranged between 0.85 and 0.99.^{16,27,41} and between 0.83 and 0.99 for P_Emax.^{16,27} The mean difference between different instruments ranged between -3 and 0.29 cmH₂O for P_Imax, and between -2 and 0.75 cmH₂O for P_Emax.^{15,27,29} The overall quality for concurrent validity was high for P_Imax and P_Emax. None of the studies performed MRP at FRC.

Discussion

The aim of this systematic review was to summarize and critically appraise the evidence on reliability and validity of MRP measurements using the COSMIN recommendations. To our knowledge, this is the first systematic review on MRP assessment that appraised the methodological quality of the included studies. Based on the findings of this study, test-retest reliability was graded as moderate for P_Imax and P_Emax, interrater reliability was low for P_Imax and very low for P_Emax, and measurement error was very low for P_Imax and P_Emax. The level of the evidence for concurrent validity was high for P_Imax and P_Emax. For P_Imax obtained at FRC, test-retest and measurement error presented very low quality, and for the other measurement properties of P_Imax and P_Emax obtained at FRC, there were no sufficient evidence for making conclusions.

Methods or instruments used in clinical and scientific settings must have their quality guaranteed by the evaluation of their measurement properties.¹¹ We decided to establish levels of evidence for P_Imax obtained at RV and FRC, and for P_Emax obtained

at TLC and FRC, because the literature is not exclusive for MRP obtained at only one lung volume. P_Imax is usually obtained at RV, and P_Emax at TLC.² However, some studies reported that pressure developed by the muscles is greatly influenced by the lung volume in which the maneuver is obtained, showing that P_Imax decreases as lung volume increases, and P_Emax increases as lung volume increases in healthy individuals.^{10,44,45} This difference may be due to the changes in the length-tension relationship of the respiratory muscles in different lung volumes,^{44,46,47} to the influence of the muscles' radius of curvature in pressure-generating capacity,^{44,46} and to the elastic recoil pressure of the respiratory system influence on the final pressures values.^{10,44,47} The elastic recoil pressure of the respiratory system at FRC under physiological conditions is close to zero. MRP measurements performed at FRC would reflect respiratory muscle pressure, minimizing the influence of elastic recoil.^{3,10} Therefore, this review also presented the overall rating for measurement properties of MRP obtained at FRC.

The present study showed that the level of the evidence for test-retest reliability was moderate for P_Imax obtained at RV and P_Emax obtained at TLC, based on the GRADE approach to summarize evidence. The overall quality for this measurement property was downgraded in one level due to serious risk of bias identified for presenting only one adequate and consistent study, added to some doubtful studies. The majority of the other studies were evaluated as inadequate mainly for the sample size or the statistical analyzes used. Some studies do not consider the sample size in the risk of bias evaluation for reliability studies because it could be pooled in the final analyzes, and others choose to evaluate this characteristic individually and disregard in the GRADE analyses, which was our choice, since we did not pool the data due to the small number of consistent and adequate studies. Some studies were considered inadequate or doubtful because they used paired t-test, ANOVA, or simple correlations to analyze reliability. The ICC is the most

adequate method for reliability studies according to the COSMIN initiative.¹² Significance tests, such as the paired t-test and ANOVA are incorrectly used when comparing two or more measures. These tests can show a high correlation between two measures, when they do not agree with each other.⁴⁸ Correlations are also cited as the statistical methods in some studies, which show whether pairs of variables are related and how strong that relationship is (it only assesses the linear association between them, not their agreement).^{48,49} Studies with Bland-Atman analyses were included in the measurement error section. The studies with better methodological quality included in the overall rating for test-retest reliability present consistent results for P_Imax and P_Emax (ICC \geq 0.70). Therefore, the level of evidence was not downgraded for this reason. No downgrade was necessary due to imprecision (since the studies were already included in the risk of bias evaluation), or indirectness (since no restrictions for studies population were established). For test-retest reliability evaluated by studies that performed P_Imax at FRC, the overall level of evidence was very low. It was downgraded for risk of bias (only doubtful studies) and for inconsistency (only one doubtful study with ICC \geq 0.70. No studies with P_Emax at FRC were available for making conclusions. No distinction between studies' population was performed due to the small number of studies. The majority of the included studies evaluated healthy adults. Even with the moderate level of evidence reported for P_Imax and P_Emax obtained at RV and TLC, more high-quality would be reasonable to reveal the measurement properties for this method in different health conditions and at different lung levels.

For interrater reliability, the level of evidence was low for P_Imax at RV and very low for P_Emax at TLC. For P_Imax, the evidence was downgraded in one level due to serious risk of bias (more than one doubtful study, and the others were all inadequate), and in another level for inconsistency (only doubtful studies with consistent results, ICC

≥ 0.70). For PEmax, the evidence was downgraded in two levels for risk of bias (only one doubtful study, and all the others inadequate), and in two levels for inconsistency (only one doubtful study with consistent results, $ICC \geq 0.70$). Neither PImax nor PEmax were downgraded for imprecision and indirectness. Not enough evidence was identified to make conclusions on measurements obtained at FRC and with individuals with health conditions.

Considering measurement error, none of the included studies reported the actual evaluation of this measurement property, however, as recommended by the COSMIN initiative,¹² the studies that used specific statistical analyses *e.g.*: Bland -Altman plots, were included as studies that evaluated measurement error. The level of evidence for measurement error presented by this study was very low for PImax at RV and PEmax at TLC. Two studies that evaluated PImax were classified as doubtful (serious risk of bias), and only one for PEmax (very serious risk of bias), downgrading one and two levels for risk of bias, respectively (all the others were considered inadequate). Both PImax and PEmax had their level of evidence for measurement error downgraded in two levels because the quality of their results was considered indeterminate. Most of the studies have used the appropriate statistical analyses (Bland-Altman method), however, the assessment of results' quality proposed by the COSMIN¹² considers the minimal important change for the outcome evaluated, which has not yet been defined for MRP using an anchor-based longitudinal approach, as recommended,¹² resulting in results with indeterminate quality. Neither PImax nor PEmax were downgraded for imprecision and indirectness. Measurement error for PImax obtained at FRC was also rated as very low evidence. There were no sufficient studies to conclude about PEmax at FRC and measurement error of MRP performed in different health conditions.

For the criterion concurrent validity evaluation, the review team defined that the instrument would be considered gold standard if it was well established at the time of the evaluation. The level of the evidence for concurrent validity was high for PImax at RV and PEmax at TLC. Concurrent validity was not downgraded for risk of bias (more than one study with adequate methodological quality), inconsistency (adequate studies with consistent results, correlation with gold standard ≥ 0.70), imprecision and indirectness. The best evidence for concurrent validity included reports using analogic manometers,^{16,41} and the digital one.²⁷ The results for overall quality were similar between these evidences, but we highlight that the ERS guidelines recommend the use of digital manometers.² Sub-group analysis on studies that assessed concurrent validity of manometers in individuals with health conditions was not possible due to the small number of evidence. No studies evaluated the concurrent validity of MRP obtained at FRC, which prevents conclusion on this subject.

A limitation of our review was that we examined two databases, which may have led to the exclusion of some reports. However, we included the most relevant databases regarding the subject, which are also recommended by the COSMIN criteria. High-quality studies are warranted to establish definitive recommendations on test-retest reliability, interrater reliability, and measurement error of MRP obtained at RV and TLC. The lack of evidence was definitely identified for measurement properties of MRP obtained at FRC, and with people in different health conditions. The quality of clinical studies using these techniques would be improved if more high-quality studies on these measurement properties were available.

Conclusion

Based on the findings of this study, test-retest reliability was graded as moderate for P_Imax and P_Emax, interrater reliability was low for P_Imax and very low for P_Emax, and measurement error was very low for P_Imax and P_Emax. For concurrent validity, the level of evidence was high for P_Imax and P_Emax. For P_Imax obtained at FRC, test-retest and measurement error presented very low quality, and there was no sufficient evidence for making conclusions for the other measurement properties. Further studies examining measurement properties of MRP in individuals with different conditions required for improved recommendations.

References

1. Evans JA, Whitelaw WA. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respir Care*. Oct 2009;54(10):1348-59.
2. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. Jun 2019;53(6):1801214. doi:10.1183/13993003.01214-2018.
3. Caruso P, Albuquerque ALPd, Santana PV, Cardenas LZ, Ferreira JG, Prina E, et al. Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. *J Bras Pneumol*. 2015;41:110-123.
4. Parshall MB, Schwartzstein RM, Adams L, Banzette RB, Manning HL, Bourbeau J, et al. An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med*. Feb 15 2012;185(4):435-52. doi:10.1164/rccm.201111-2042ST.
5. Menezes KK, Nascimento LR, Avelino PR, Alvarenga MTM, Teixeira-Salmela LF. Efficacy of Interventions to Improve Respiratory Function After Stroke. *Respir Care*. Jul 2018;63(7):920-933. doi:10.4187/respcare.06000.

6. Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reyckler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*. Jul 2018;12(7):2178-2188. doi:10.1111/crj.12905.
7. Wu J, Kuang L, Fu L. Effects of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. *Congenit Heart Dis*. Mar 2018;13(2):194-202. doi:10.1111/chd.12586.
8. Hoffman M, Augusto VM, Eduardo DS, Silveira BMF, Lemos MD, Parreira VF. Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. *Physiother Theory Pract*. Aug 2019;1-11. doi:10.1080/09593985.2019.1656314.
9. Man WD, Kyroussis D, Fleming TA, Chetta A, Harraf F, Mustfa N, et al. Cough gastric pressure and maximum expiratory mouth pressure in humans. *Am J Respir Crit Care Med*. Sep 2003;168(6):714-7. doi:10.1164/rccm.200303-334BC.
10. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. Aug 2002;166(4):518-624. doi:10.1164/rccm.166.4.518.
11. Portney LG, Watkins MP. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. Pearson/Prentice Hall; 2015.
12. Mokkink LB, de Vet HCW, Prinsen CAC, Patrick DL, Alonso J, Bouter LM, Terwee CB. COSMIN Risk of Bias checklist for systematic reviews of Patient-Reported Outcome Measures. *Qual Life Res*. 05 2018;27(5):1171-1179. doi:10.1007/s11136-017-1765-4.
13. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann T, Mulrow C, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *Bmj*. Mar 29 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
14. Terwee CB, Jansma EP, Riphagen, II, de Vet HC. Development of a methodological PubMed search filter for finding studies on measurement properties of measurement instruments. *Qual Life Res*. Oct 2009;18(8):1115-23. doi:10.1007/s11136-009-9528-5.
15. Hamnegard CH, Wragg S, Kyroussis D, Aquilina R, Moxham J, Green M. Portable measurement of maximum mouth pressures. *Eur Respir J*. Feb 1994;7(2):398-401. doi:10.1183/09031936.94.07020398.
16. Casan P, Giner J, Sanchis J. Valoración de un nuevo manómetro para presiones respiratorias máximas. *Arch Bronconeumol*. 1989;25:322-325.
17. Morrison NJ, Richardson J, Dunn L, Pardy RL. Respiratory muscle performance in normal elderly subjects and patients with COPD. *Chest*. Jan 1989;95(1):90-4. doi:10.1378/chest.95.1.90.

18. McConnell AK, Caine MP, Sharpe GR. Inspiratory muscle fatigue following running to volitional fatigue: the influence of baseline strength. *Int J Sports Med*. Apr 1997;18(3):169-73. doi:10.1055/s-2007-972614.
19. McConnell AK, Copestake AJ. Maximum static respiratory pressures in healthy elderly men and women: issues of reproducibility and interpretation. *Respiration*. 1999;66(3):251-8. doi:10.1159/000029386.
20. Sette L, Ganassini A, Boner AL, Rossi A. Maximal inspiratory pressure and inspiratory muscle endurance time in asthmatic children: reproducibility and relationship with pulmonary function tests. *Pediatr Pulmonol*. Dec 1997;24(6):385-90. doi:10.1002/(sici)1099-0496(199712)24:6<385::aid-ppul2>3.0.co;2-g.
21. Domènech-Clar R, López-Andreu JA, Compte-Torrero L, Diego-Damiá A, Macián-Gisbert V, Perpiñá-Tordera M, Roqués-Serradilla JM. Maximal static respiratory pressures in children and adolescents. *Pediatric Pulmonology*. 2003;35(2):126-132. doi:10.1002/ppul.10217.
22. Romer LM, McConnell AK. Inter-test reliability for non-invasive measures of respiratory muscle function in healthy humans. *Eur J Appl Physiol*. 2004;91:167-176.
23. Windisch W, Hennings E, Sorichter S, Hamm H, Criée CP. Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: which is best? *Eur Respir J*. May 2004;23(5):708-13. doi:10.1183/09031936.04.00136104.
24. Moran F, Piper A, Elborn JS, Bradley JM. Respiratory muscle pressures in non-CF bronchiectasis: repeatability and reliability. *Chron Respir Dis*. Aug 2010;7(3):165-71. doi:10.1177/1479972310375595.
25. Dimitriadis Z, Kapreli E, Konstantinidou I, Oldham J, Strimpakos N. Test/retest reliability of maximum mouth pressure measurements with the MicroRPM in healthy volunteers. *Respir Care*. Jun 2011;56(6):776-82. doi:10.4187/respcare.00783.
26. Heinzmann-Filho JP, Vidal PCV, Jones MH, Donadio MVF. Normal values for respiratory muscle strength in healthy preschoolers and school children. *Respir Med*. 2012;106.
27. Pessoa IMS, Pereira HLA, Aguiar LT, Tagliaferri TL, Silva LAM, Parreira VF. Test-retest reliability and concurrent validity of a digital manovacuometer. *Fisioter Pesqui*. 2014;21:236-242.
28. Brocki BC, Andreasen JJ, Langer D, Souza DSR, Westerdahl E. Postoperative inspiratory muscle training in addition to breathing exercises and early mobilization improves oxygenation in high-risk patients after lung cancer surgery: a randomized controlled trial. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2015;49(5):1483-1491. doi:10.1093/ejcts/ezv359.
29. Torres-Castro R, Sepúlveda-Cáceres N, Garrido-Baquedano R, Barros-Poblete M, Otto-Yáñez M, Vasconcello L, et al. Agreement between clinical and non-clinical digital manometer

for assessing maximal respiratory pressures in healthy subjects. *PLoS One*. 2019;14(10):e0224357. doi:10.1371/journal.pone.0224357.

30. Wagener JS, Hibbert ME, Landau LI. Maximal respiratory pressures in children. *Am Rev Respir Dis*. May 1984;129(5):873-5. doi:10.1164/arrd.1984.129.5.873
31. McElvaney G, Blackie S, Morrison NJ, Wilcox PG, Fairbairn MS, Pardy RL. Maximal static respiratory pressures in the normal elderly. *Am Rev Respir Dis*. Jan 1989;139(1):277-81. doi:10.1164/ajrccm/139.1.277.
32. Ng GY, Stokes MJ. Maximal inspiratory and expiratory mouth pressures in sitting and half-lying positions in normal subjects. *Respir Med*. May 1991;85(3):209-11. doi:10.1016/s0954-6111(06)80081-8.
33. Abedi A, Mokkink LB, Zadegan SA, Paholpak MD, Tamai K, Feffrey CW, Zorica B. et al. Reliability and Validity of the AOSpine Thoracolumbar Injury Classification System: A Systematic Review. *Global Spine J*. Apr 2019;9(2):231-242. doi:10.1177/2192568218806847.
34. Jaspers MEH, van Haasterecht L, van Zuijlen PPM, Mokkink LB. A systematic review on the quality of measurement techniques for the assessment of burn wound depth or healing potential. *Burns*. Mar 2019;45(2):261-281. doi:10.1016/j.burns.2018.05.015.
35. Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, Alonso J, Stratford PW, Knol DL, et al. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. *J Clin Epidemiol*. Jul 2010;63(7):737-45. doi:10.1016/j.jclinepi.2010.02.006.
36. Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis*. May 1969;99(5):696-702. doi:10.1164/arrd.1969.99.5.696.
37. Larson JL, Kim MJ. Reliability of maximal inspiratory pressure. *Nurs Res*. Sep-Oct 1987;36(5):317-9.
38. Smeltzer SC, Laviertes MH. Reliability of Maximal Respiratory Pressures in Multiple Sclerosis* *Chest*. 1999;115(6):1546-1552.
39. Jardim JR, Camelier A, Dal Corso S, Rodrigues JE. Strength and endurance of the respiratory and handgrip muscles after the use of flunisolide in normal subjects. *Respir Med*. Jul 2007;101(7):1594-9. doi:10.1016/j.rmed.2006.10.017.
40. Jalan NS, Daftari SS, Retharekar SS, Rairikar SA, Shyam AM, Sancheti PK. Intra- and inter-rater reliability of maximum inspiratory pressure measured using a portable capsule-sensing pressure gauge device in healthy adults. *Can J Respir Ther*. Spring 2015;51(2):39-42.
41. Larson JL, Covey MK, Vitalo CA, Alex CG, Patel M, Kim MJ. Maximal inspiratory pressure. Learning effect and test-retest reliability in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Chest*. Aug 1993;104(2):448-53. doi:10.1378/chest.104.2.448.

42. Täger T, Schell M, Cebola R, Fröhlich H, Dösch A, Franke J, et al. Biological variation, reference change value (RCV) and minimal important difference (MID) of inspiratory muscle strength (P_Imax) in patients with stable chronic heart failure. *Clin Res Cardiol*. Oct 2015;104(10):822-30. doi:10.1007/s00392-015-0850-3.
43. Parreira VF, França D, Zampa C, Fonseca M, Tomich G, Britto R. Maximal respiratory pressures: actual and predicted values in healthy subjects. *Braz J Phys Ther*. 2007;11:361-368.
44. Lausted CG, Johnson AT, Scott WH, Johnson MM, Coyne KM, Coursey DC. Maximum static inspiratory and expiratory pressures with different lung volumes. *Biomed Eng Online*. May 05 2006;5:29. doi:10.1186/1475-925X-5-29.
45. Cook CD, Mead J, Orzalesi MM. Static volume-pressure characteristics of the respiratory system during maximal efforts. *J Appl Physiol*. Sep 1964;19:1016-22. doi:10.1152/jappl.1964.19.5.1016.
46. Paiva M, Verbanck S, Estenne M, Poncelet B, Segebarth C, Macklem PT. Mechanical implications of in vivo human diaphragm shape. *J Appl Physiol*. 1992;72 4:1407-12.
47. Rahn H, Otis AB, Chadwick LE, Fenn WO. The pressure-volume diagram of the thorax and lung. *Am J Physiol*. 1946;146(2):161-78. doi:10.1152/ajplegacy.1946.146.2.161.
48. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. Feb 8 1986;1(8476):307-10.
49. Bunce C. Correlation, agreement, and Bland-Altman analysis: statistical analysis of method comparison studies. *Am J Ophthalmol*. 2009;148 1:4-6.

Appendix 1

Search terms used in the literature search

respiratory muscle strength or respiratory muscles or respiratory strength or inspiratory muscle* or expiratory muscle* or respiratory muscle weakness or inspiratory muscle weakness or expiratory muscle weakness

and

maxim* respiratory pressure or maxim* inspiratory pressure or maxim* expiratory pressure or maxim* static respiratory pressure or maxim* static inspiratory pressure or maxim* static expiratory pressure or maxim* mouth pressure or maxim* inspiratory mouth pressure or maxim* expiratory mouth pressure or maxim* static inspiratory mouth pressure or maxim* static expiratory mouth pressure or P_{Imax} or P_{E_{max}} or MRP or MIP or MEP or respiratory pressure* or inspiratory pressure or expiratory pressure or mouth pressure

and

manovacuometry or manovacuumeter or manometer or pressure transducer or respiratory strength instrument or respiratory muscle instrument or respiratory muscle testing or maxim* mouth pressure measurements or respiratory muscle strength test or respiratory pressure meter or assess* or diagnostic methods

and

instrumentation OR methods OR "Validation Studies" OR "Comparative Study" OR "psychometrics" OR psychometr* OR clinimetr* OR clinometr* OR "outcome assessment health care" OR "outcome assessment" OR "outcome measure*" OR "observer variation" OR "observer variation" OR "Health Status Indicators" OR "reproducibility of results" OR reproducib* OR "discriminant analysis" OR reliab* OR unreliab* OR valid* OR "coefficient of variation" OR coefficient OR homogeneity OR homogeneous OR "internal consistency" OR cronbach* AND alpha OR alphas OR item AND correlation* OR selection* OR reduction* OR agreement OR precision OR imprecision OR "precise values" OR test-retest OR test AND retest OR reliab* AND test OR retest OR stability OR interrater OR inter-rater OR intrarater OR intra-rater OR intertester OR inter-tester OR intratester OR intra-tester OR interobserver OR inter-observer OR intraobserver OR intra-observer OR intertechnician OR inter-technician OR

intratechnician OR intra-technician OR interexaminer OR inter-examiner OR intraexaminer OR intra-examiner OR interassay OR inter-assay OR intraassay OR intra-assay OR interindividual OR inter-individual OR intraindividual OR intra-individual OR interparticipant OR inter-participant OR intraparticipant OR intra-participant OR kappa OR kappa OR kappas OR repeatab* OR replicab* OR repeated AND measure OR measures OR findings OR result OR results OR test OR tests OR generaliza* OR generalisa* OR concordance OR intraclass AND correlation* OR discriminative OR "known group" OR " "analysis" OR "analyses" OR "structure" OR "factor structures" OR dimension* OR subscale* OR multitrait AND scaling AND analysis OR analyses OR "item discriminant" OR "interscale correlation*" OR error OR errors OR "individual variability" OR "interval variability" OR "rate variability" OR variability AND analysis OR values OR uncertainty AND measurement OR measuring OR "standard error of measurement" OR sensitiv* OR responsive* OR limit AND detection OR "minimal detectable concentration" OR interpretab* OR minimal OR minimally OR clinical OR clinically AND important OR significant OR detectable AND change OR difference OR small* AND real OR detectable AND change OR difference OR "meaningful change" OR "ceiling effect" OR "floor effect" OR "Item response model" OR IRT OR Rasch OR "Differential item functioning" OR DIF OR "computer adaptive testing" OR "item bank" OR "cross cultural equivalence"

not

"addresses" OR "biography" OR "case reports" OR "comment" OR "directory" OR "editorial" OR "festschrift" OR "interview" OR "lectures" OR "legal cases" OR "legislation" OR "letter" OR "news" OR "newspaper article" OR "patient education handout" OR "popular works" OR "congresses" OR "consensus development conference" OR "consensus development conference, nih" OR "practice guideline" OR animal

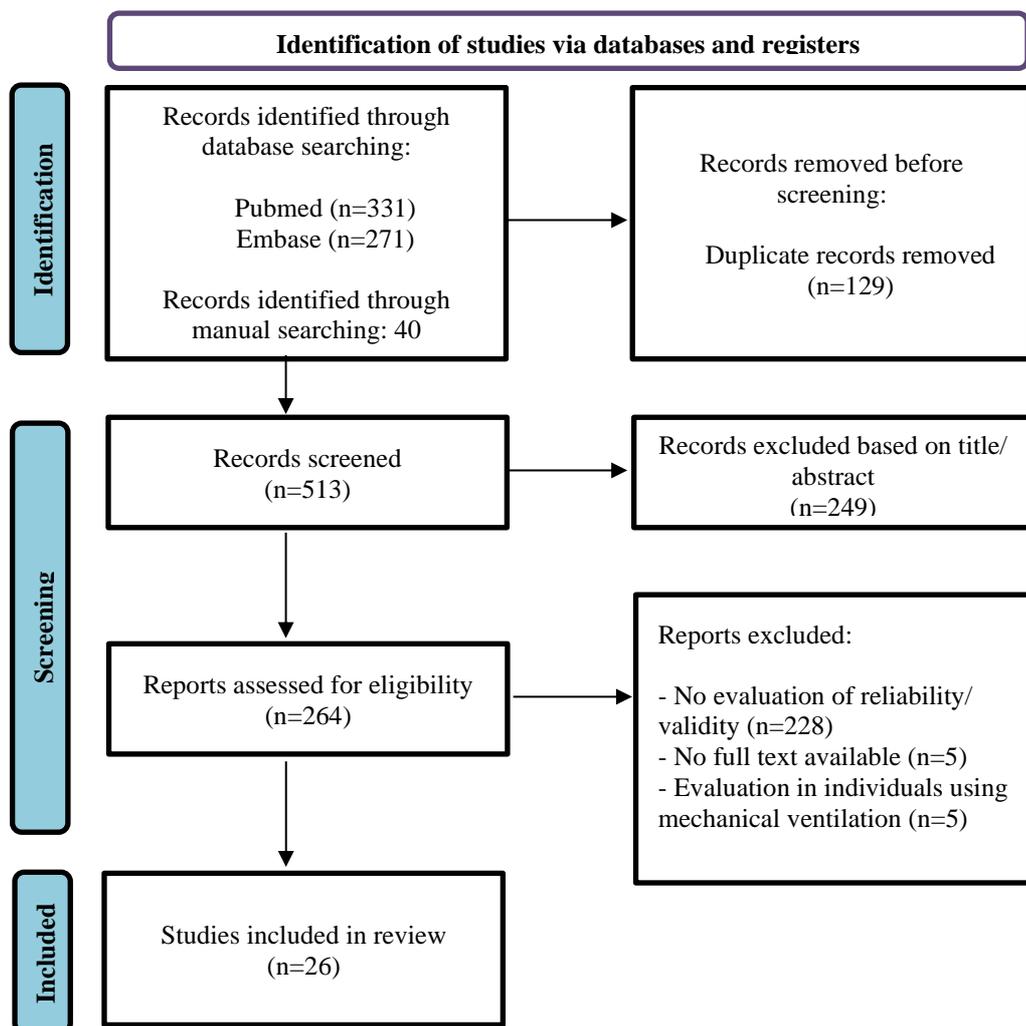


Figure caption:

Fig.1. Flowchart of literature search and study selection

Table 1. Quality criteria for results on measurement properties

Measurement property	+	?	-
Reliability (test-retest and interrater)	ICC ≥ 0.70	ICC not reported	ICC < 0.70
Measurement error	SDC or LoA $< MIC$	MIC not defined	SDC or LoA $> MIC$
Criterion validity (concurrent)	Correlation with gold standard ≥ 0.70 or AUC ≥ 0.70	Not all information for reported	Correlation with gold standard < 0.70 or AUC < 0.70

+ = sufficient
 ? = indeterminate
 - = insufficient
 ICC = intraclass correlation coefficient
 SDC = smallest detectable change
 LoA = limits of agreement
 MIC = minimal important change
 AUC = area under the curve

Table 2. Technical aspects of maximal respiratory pressure measurements

Author year	Instructions	Interface	PImax lung volume	PEmax lung volume	Variable for PImax	Variable for PEmax	Interval (s)	Numbers of maneuvers	Duration (s)	Acceptability criteria	Reproducibility criteria
Black and Hyatt, 1969	Analogic	Circular rubber	RV	TLC	PImax (not specified)	PEmax (not specified)	NR	At least 2	At least 1	NR	NR
Wagener, Hibbert and Landau, 1984	Analogic	Rigid	RV	TLC	Peak (highest 1-s value)	Peak (highest 1-s value)	NR	20	At least 1	NR	NR
Larson and Kim, 1987	Analogic (magnehelic)	Rubber	RV and FRC	NA	PImax (not specified)	NA	NR	At least 3	At least 1	NR	No air leak, pressure should be held for at least 1 s NR
Casan, Giner and Sanchis, 1989	Analogic and digital	Circular semirigid	RV	TLC	Plateau (values sustained for at least 3 s)	Plateau (values sustained for at least 3 s)	NR	At least 5	At least 3	NR	NR
Morrison et al, 1989	NR	NR	RV	TLC	Plateau (values sustained for 1 s)	Plateau (values sustained for 1 s)	NR	Several	NR	NR	NR
McElvaney et al, 1989	Analogic	NR	RV	TLC	Peak (highest 1-s value)	Peak (highest 1-s value)	NR	At least 3	At least 1	3 meas with less than 5% variability	NR
Ng and Stokes, 1991	Analogic (magnehelic)	Disposable cardboard	NR	NR	Peak (highest 1-s value)	NR	60	2	At least 1	NR	NR
Larson et al, 1993	Analogic	Flanged	RV	NA	Plateau (values sustained for 1 s)	NA	60	5	At least 1	NR	No air leak, pressure should be held for at least 1 s NR
Hamnegard et al, 1994	Digital	Flanged	RV	TLC	Plateau (1-s average pressure) and peak	Plateau (1-s average pressure) and peak	NR	5	2–3	NR	No air leak, pressure should be held for at least 1.5 s NR
McConnell, Caine and Sharpe, 1997	Digital	Flanged	RV	NA	Plateau (1-s average pressure) and peak	NA	NR	~ 3	NR	2 meas with less than 5% variability	NR

Table 2. Continue

Author year	Instructions	Interface	PImax lung volume	PEmax lung volume	Variable for PImax	Variable for PEmax	Interval (s)	Numbers of maneuvers	Duration (s)	Acceptability criteria	Reproducibility criteria
Sette et al, 1997	Analogic	Not specified	FRC	NA	Plateau (values sustained for 1 s)	NA	At least 60	At least 5	NR	2 meas with less than 5% variability	NR
Smeltzer and Lavietes, 1999	Analogic (magnehelic)	Plastic unflanged	RV	TLC	PImax (not specified)	PEmax (not specified)	90	Max 10	At least 1	NR	No air leak, pressure should be held for at least 1 s
McConnell and Copestakeb, 1999	Digital	Flanged	RV	TLC	Plateau (1-s average pressure) and peak	Plateau (1-s average pressure) and peak	NR	Several	NR	4 to 5 meas with less than 10% variability	NR
Domenech et al, 2003	Analogic	Plastic, oval and semirigid	RV	TLC	Plateau (values sustained for at least 1 s)	Plateau (values sustained for at least 1 s)	60	At least 3. Max 9	At least 3	3 meas with less than 5% variability	NR
Romer and McConnel, 2004	Digital	Flanged	RV	TLC	Plateau (1-s average pressure) and peak	Plateau (1-s average pressure) and peak	30	10	At least 1	NR	NR
Windisch et al, 2004	Analogic	Flanged	RV and FRC	NA	Plateau (values sustained for s) and peak	NA	NR	At least 7	At least 1	2 meas with less than 5% variability	NR
Jardim et al, 2007	Analogic	NR	FRC	FRC	PImax (not specified)	PEmax (not specified)	60	10	1		
Parreira et al, 2007	Analogic	Plastic	RV	TLC	PImax (not specified)	PEmax (not specified)	60	At least 3	At least 1	3 meas with less than 10% variability	No air leak, pressure should be held for at least 1 s
Moran et al, 2010	Digital	Plastic, flanged and rigid	RV	TLC	Plateau (2-s average pressure)	Plateau (2-s average pressure)	60	3	At least 2	3 meas with less than 10% variability	NR
Dimiattris et al, 2011	Digital	Rubber flanged	RV	TLC	Plateau (1-s average pressure)	Plateau (1-s average pressure)	30	18	At least 1	NR	NR
Heinzmann-Filho et al, 2012	Digital	Flanged and semi-rigid	RV	TLC	Plateau (values sustained for 1 s)	Plateau (values sustained for 1 s)	60	At least 3. Max 9	At least 1	2 meas with less than 10% variability	No air leak

Table 2. Continue

Author year	Instructions	Interface	PI _{max} lung volume	PE _{max} lung volume	Variable for PI _{max}	Variable for PE _{max}	Interval (s)	Numbers of maneuvers	Duration (s)	Acceptability criteria	Reproducibility criteria
Pessoa et al, 2014	Digital	NR	RV	TLC	Plateau (1-s average pressure) and peak	Plateau (1-s average pressure) and peak	NR	At least 3	At least 1.5	1 with less than 10% and 1 with less than 20% variability	No air leak, pressure should be held for at least 1.5 s
Jalan et al, 2015	Analogic	Flanged	RV	NA	PE _{max} (not specified)	NA	60	3	At least 1	NR	NR
Tager et al, 2015	Analogic	Flanged	FRC	NA	NR	NA	Short rest	At least 3	NR	3 meas with less than 5% variability	NR
Brocki et al, 2016	Digital	Flanged	RV	TLC	Plateau (values sustained for 1 s)	Plateau (values sustained for 1 s)	NR	At least 3	NR	3 meas with less than 10 cmH ₂ O variability	NR
Torres-Castro et al, 2019	Digital	Rubber flanged	RV	TLC	Plateau (values sustained for 1 s)	Plateau (values sustained for 1 s)	60	At least 3 Max 8	At least 1	3 meas with less than 10 % variability	NR

PI_{max} = maximal inspiratory pressure

PE_{max} = maximal expiratory pressure

NA = not applicable

NR = not reported

RV = residual volume

TLC = total lung capacity

FRC = functional residual capacity

S = seconds

Max = maximal

Meas = measurement

Table 3. Technical aspects of maximal respiratory pressure measurements

Author, year	P _I max				P _E max				Comments
	First day	Second day	Third day	Fourth day	First day	Second day	Third day	Fourth day	
Black and Hyatt, 1969 Wagener, Hibbert and Landau, 1984	Best: 11.1±2.4 KPa Mean: 9.3±2.4	NR	NR	NR	Best: 14.0±3.6 Mean: 11.7±3.0	NR	NR	NR	Values of MRP not reported Mean±SD values of MRP evaluated in five days. Pressures reported as the best and the mean of maneuvers Measures obtained at RV and FRC in healthy individuals, and at RV in individuals with COPD Values of MRP not reported
Larson and Kim, 1987	At RV: 78±26 At FRC: 79±25 At RV in COPD: 52±25	At RV: 84±23 At FRC: 80±26 At RV in COPD: 59±25	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Values of MRP not reported Measures obtained in individuals with COPD Measures reported as plateau and peak pressures at pre- and post-exercise
Morrison et al, 1989 McElvaney et al, 1989	89±26	95±21	94±21	NA	159±61	142±50	146±58	NA	
Ng and Stokes, 1991 Larson et al, 1993	53±24	57±25	60±25	62±25	NA	NA	NA	NA	
McConnell, Caine and Sharpe, 1997	Plateau: Pre-ex: 143.6±31.8 Post-ex: 123.2±34.9 Peak: Pre-ex: 156.6±33.8 Post-ex: 140.4±31.5	Plateau: Pre-ex: 146.2±26.6 Post-ex: 129±25.1 Peak: Pre-ex: 156.6±24.6 Post-ex: 138.2±24.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	

Table 3. Continue

Author, year	P _I max				P _E max				Comments
	First day	Second day	Third day	Fourth day	First day	Second day	Third day	Fourth day	
Sette et al, 1997	72.2±20.6	75.8±22.9	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Measures obtained at FRC
Smeltzer and Lavietes, 1999	101.7±31.8 MS: 61±32.4	112±29.3 MS: 65.8±32.6	115.2±27.5 MS: 70±31.3	118.9±28.7 MS: 72.3±32.5	70.3±14.9 MS: 41.1±20.2	73.7±14.8 MS: 42.7±20.4	4.5±15.4 MS: 45.7±21.6	4.6±16 MS: 45.6±20.8	Measures obtained in healthy individuals and in individuals with multiple sclerosis.
McConnell and Copestakeb, 1999	Plateau: M: 94.3±25.9 W: 73±28.3 Peak: M 101.9±25.3 W: 78.6±29	Plateau: M: 96.9±26.3 W: 76.3±27.2 Peak: M: 102.1±26.8 W: 84.6±29.5	NA	NA	Plateau: M: 122.8±28.4 W: 81.7±30.7 Peak: M: 131.8±29.9 W: 92.1±31.5	Plateau: M 123.3±27.1 W: 81±29.9 Peak: M: 136.1±26.7 W: 91.9±32.8	NA	NA	Values expressed as % predicted Measures reported as plateau and peak pressures at pre- and post-exercise
Domenech et al, 2003									Values of MRP not reported
Romer and McConnel, 2004	Plateau: 130±13.3 Peak: 138.6±14.4	Plateau: 131.8±12.4 Peak: 141.9±14.7	NA	NA	Plateau: 172.3±13.8 Peak: 180.7±13.9	Plateau: 173±12.2 Peak: 182.7±13.1	NA	NA	Measures reported as plateau and peak pressures. Measures obtained at the stand position
Windisch et al, 2004	At RV: Plateau 0.5: 10.61±3.79 KPa Plateau 1.0: 9.74±3.79 Peak: 11.83±3.73 At FRC: Plateau 0.5: 9.57±3.53 Plateau 1.0: 8.74±3.52 Peak: 10.36±3.59	At RV: Plateau 0.5: 11.47±3.93 Plateau 1.0: 10.49±4.05 Peak: 12.64±3.99 At FRC: Plateau 0.5: 10.06±3.68 Plateau 1.0: 9.29±3.68 Peak: 10.73±3.61	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Measures reported as plateau sustained for 0.5 second, plateau sustained for 1.0 second and peak. Measures obtained at RV and FRC.

Table 3. Continue

Author, year	PI _{max}				PE _{max}				Comments
	First day	Second day	Third day	Fourth day	First day	Second day	Third day	Fourth day	
Jardim et al, 2007	182.1±8	182.9±9.2	180.4±9.7	NA	140.0±22.5	140.8±24.9	142.3±26.2	NA	Measures obtained at FRC
Moran et al, 2010	Best: 75.90±20 Mean: 70.20±19	Best: 79.40±19 Mean: 74.20±20	NA	NA	Best: 102.25±27 Mean: 95.50±24	Best: 112.30±32 Mean: 104.30±32			Pressures reported as the best and the mean of maneuvers
Dimiatis et al, 2011	Best at sit: 140±21 Best at stand: 140±23 Mean at sit: 124±22 Mean at stand: 126±26	NR	NR	NR	Best at sit: 152±18 Best at stand: 152±25 Mean at sit: 136±19 Mean at stand: 136±25	NR	NR	NR	Mean±error of MRP evaluated in three days. Pressures reported as the best and mean of maneuvers in the sit and stand positions
Heinzmann-Filho et al, 2012	87.75±21.62	90.20±22.04	NA	NA	99.51±28.28	104.06±29.58	NA	NA	
Pessoa et al, 2014	Plateau: 108.74±29.08 Peak: 120.90±32.36	Plateau: 106.73±29.40 Peak: 118.17±30.93	NA	NA	Plateau: 130.92±37.76 Peak: 139.47±39.77	Plateau: 135.78±40.78 Peak: 143.60±43.64	NA	NA	Plateau pressure reported here was the 1-s average pressure reported as the mean maximum pressure originally.
Jalan et al, 2015	82±33	82.44±32.79	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
Tager et al, 2015	Group A: 7.47±3.53 KPa Group B: 7.53±2.98 Group C: 7.18±3.13	Group A: 7.81±2.68 Group B: 7.90±2.75 Group C: 7.23±2.98	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Meas obtained at FRC in individuals with CHF Pressures obtained in cohorts A, B, and C (90, 180, 365 days apart)

Table 3. Continue

Author, year	Evaluator 1	Evaluator 2	Evaluator 1	Evaluator 2	
Larson et al, 1993					Values of MRP not reported
Parreira et al, 2007					Values of MRP not reported
Jalan et al, 2015	74.49±24.92	72.95±22.44	NA	NA	
Brocki et al, 2016					Values of MRP not reported
Author, year	Standard manometer	New manometer	Standard manometer	New manometer	
Casan, Giner and Sanchis, 1989	88±41	84±41	121±49	115±46	
Larson et al, 1993					Values of MRP not reported
Hamnegard et al, 1994					Values of MRP not reported
Pessoa et al, 2014	109.93±31.02	108.74±29.08	137.77±37.98	130.92±37.76	
Torres-Castro et al, 2019	90.8±26.4	91.1±26.4	113.8±40.4	114.5±40.5	

Data expressed as mean±standard deviation, except where otherwise indicated.

Measures were all obtained at residual volume and total lung capacity, except where otherwise indicated.

Value of best measure reported, except where otherwise indicated.

PI_{max} = maximal inspiratory pressure

PE_{max} = maximal expiratory pressure

MRP = maximal respiratory pressure

NA = not applicable

NR = not reported

SD = standard deviation

RV = residual volume

FRC = functional residual capacity

COPD = chronic obstructive pulmonary disease

Ex = exercise

MS = multiple sclerosis

M = men

W = Women

Sit = sitting

Stand = standing

CHF = chronic heart failure

Table 4 – Reliability (test-retest): methodological quality, quality of results and overall level of evidence for MRP measurements

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Black and Hyatt, 1969	PI _{max} PE _{max}	I	6	1 day	The highest value for PI _{max} and PE _{max} on the third day was less than 10% greater than the value on the first day in 3 subjects and was unchanged or lower in 3 subjects.	?	Healthy condition
Wagener, Hibbert and Landau, 1984	PI _{max} (best) PI _{max} (mean) PE _{max} (best) PE _{max} (mean)	I	40	4 weeks	No significant dif among tests for all variables CV: PI _{max} : 11±3% PE _{max} : 10±3%	? ? ?	Healthy children
Larson and Kim, 1987	PI _{max} RV PI _{max} at FRC PI _{max} at RV in COPD	D	31 at RV 31 at FRC 37 COPD	8 days for healthy and 7 for COPD	PI _{max} RV: r=0.89, no significant dif between tests PI _{max} at FRC: r= 0.90, significant dif between tests PI _{max} at RV in COPD: r=0.86 for 1 st and 2 nd tests, r=0.95 for 2 nd , and 3 rd tests, significant dif among tests	? ? ?	Measures obtained at RV and FRC in healthy individuals, and at RV in individuals with COPD
Morrison et al, 1989	PI _{max} in healthy PE _{max} in healthy PI _{max} in COPD PE _{max} in COPD	I	8 healthy 8 COPD	7 days	PI _{max} in healthy: significant dif among tests PE _{max} in healthy: no significant dif among tests PI _{max} in COPD: no significant dif among tests PE _{max} in COPD: no significant dif among tests	? ? ? ?	Healthy condition and COPD
McElvaney et al, 1989	PI _{max} PE _{max}	I	13 for PI _{max} 12 for PE _{max}	NR	No significant dif among tests for all variables CV: PI _{max} : 9±4% PE _{max} : 9±5%	? ? ?	Healthy elderly
Ng and Stokes, 1991	PI _{max} (sit) PI _{max} (half lying) PE _{max} (sit) PE _{max} (half lying)	I	7	1 day	No significant dif among tests for all variables CV: PI _{max} (sit): 4.7% PI _{max} (half lying): 10.3% PE _{max} (sit): 3.4% PE _{max} (half lying): 4.4%	? ? ? ?	Healthy condition
Larson et al, 1993	PI _{max}	A	91	7 days	r=0.97 (with evidence of no systematic error provided), no significant dif between 3 rd and 4 th tests	?	COPD
McConnell, Caine and Sharpe, 1997	PI _{max} (plateau and peak) pre- and post-ex PE _{max} (plateau and peak) pre- and post-ex	I	6	4 weeks	No significant dif between tests for all variables and conditions	?	Moderately-trained male individuals evaluated before and after exercise

Table 4. Continue

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Sette et al, 1997	PI _{max}	I	20	Same day	r=0.84, no significant dif between tests	?	Children with bronchial asthma. Measures obtained at FRC
Smeltzer and Lavietes, 1999	PI _{max} in healthy PI _{max} in MS	I	61 healthy 72 MS	7 days	MS: significant dif among first 3 tests, and no significant dif between 3 rd and 4 th tests. Healthy: significant dif among 1 st and last 3 tests	?	Healthy condition and multiple sclerosis
McConnell and Copestakeb, 1999	PI _{max} (plateau and peak) in men and women PE _{max} (plateau and peak) in men and women	I	17 men 22 women	7 days	PI _{max} : r ≥ 0.97, no significant dif between plateau and peak pressures for men and women PE _{max} : r ≥ 0.97, no significant dif between plateau and peak pressures for men and significant dif for peak pressure for women	?	Healthy elderly
Domenech et al, 2003	PI _{max} PE _{max}	A	88	2-3 days	ICC: PI _{max} : 0.95 PE _{max} : 0.98	+ +	Healthy children and adolescents
Romer and McConnel, 2004	PI _{max} (plateau) PI _{max} (peak) PE _{max} (plateau) PE _{max} (peak)	I	24	Max 3 weeks	PI _{max} (plateau and peak): significant dif between tests PE _{max} (plateau and peak): no significant dif between tests	?	Healthy condition. Measures obtained at the stand position
Jardim et al, 2007	PI _{max} PE _{max}	I	13	1 day	PI _{max} : no significant dif among tests PE _{max} : no significant dif among tests	?	Healthy condition. Measures obtained at FRC
Moran et al, 2010	PI _{max} (best) PI _{max} (mean) PE _{max} (best) PE _{max} (mean)	I	20	10-14 days	PI _{max} (best and mean): no significant dif between tests PE _{max} (best and mean): significant dif between tests ICC: PI _{max} (best): 0.93 PE _{max} (best): 0.90	?	Non-CF bronchiectasis
Dimiatri et al, 2011	PI _{max} (best sit) PI _{max} (best stand) PI _{max} (mean sit) PI _{max} (mean stand) PE _{max} (best sit) PE _{max} (best stand) PE _{max} (mean sit) PE _{max} (mean stand)	I	15	7 days	ICC: PI _{max} (best sit): 0.87 PI _{max} (best stand): 0.81 PI _{max} (mean sit): 0.86 PI _{max} (mean stand): 0.78 PE _{max} (best sit): 0.90 PE _{max} (best stand): 0.83 PE _{max} (mean sit): 0.88 PE _{max} (mean stand): 0.82	+ + + + + + + +	Healthy condition

Table 4. Continue

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Heinzmann-Filho et al, 2012	PI _{max} PE _{max}	I	29	3 weeks	ICC: PI _{max} : 0.98 PE _{max} : 0.97	+ +	Healthy preschoolers and school children
Pessoa et al, 2014	PI _{max} (plateau) PI _{max} (peak) PE _{max} (plateau) PE _{max} (peak)	D	30	2-15	ICC: PI _{max} (plateau): 0.89 PI _{max} (peak): 0.88 PE _{max} (plateau): 0.84 PE _{max} (peak): 0.83 No significant dif between tests for all variables	+ + + + ?	Healthy condition
Jalan et al, 2015	PI _{max}	D	40	1 day	ICC: PI _{max} : 0.96 No significant dif between tests for all variables	+ ?	Healthy condition
Tager et al, 2015	Group A (90) Group B (180) Group C (365)	D	25 (group A) 93 (group B) 184 (group C)	93 days 185 days 365 days	ICC: Group A (90): 0.83 Group B (180): 0.87 Group C (365): 0.88	+ + +	CHF Measures obtained at FRC

Level of evidence for PI_{max} at RV: moderate

Level of evidence for PE_{max} at TLC: moderate

Level of evidence for PI_{max} at FRC: very low

Level of evidence for PE_{max} at FRC: no conclusions

MRP = maximal respiratory pressures

PI_{max} = maximal inspiratory pressure

PE_{max} = maximal expiratory pressure

Methodological quality: I = inadequate; D = doubtful; A = adequate

Dif = difference

CV = coefficient of variation

RV = residual volume

FRC = functional residual capacity

NR = non-reported

COPD = chronic obstructive pulmonary disease

R = correlation coefficient r

Sit = sitting

Ex = exercise

MS = multiple sclerosis

ICC = intraclass correlation coefficient

Max = maximal

Non-CF bronchiectasis = non-cystic fibrosis bronchiectasis

Stand = standing

CHF = chronic heart failure

Table 5 – Reliability (interrater): methodological quality, quality of results and overall level of evidence for MRP measurements

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Larson et al, 1993	PImax	I	15	Simultaneously	r=0.99, no significant difference between raters	?	COPD
Parreira et al, 2007	PImax PEmax	I	5	NR	ICC: PImax: 0.89 PEmax: 0.83 CV PImax: 0.032 PEmax: 0.037	+ + ? ?	Healthy condition
Jalan et al, 2015	PImax	D	40	1 day	ICC: PImax: 0.92	+ +	Healthy condition
Brocki et al, 2016	PImax PEmax	D	10	NR	ICC: PImax: 0.87 PEmax: 0.99	+ + +	Healthy condition

Level of evidence for PImax at RV: low

Level of evidence for PEmax at TLC: very low

Level of evidence for PImax at FRC: no conclusions

Level of evidence for PEmax at FRC: no conclusions

MRP = maximal respiratory pressures

PImax = maximal inspiratory pressure

PEmax = maximal expiratory pressure

Methodological quality: I = inadequate; D = doubtful

R = correlation coefficient r

COPD = chronic obstructive pulmonary disease

NR = non-reported

ICC = intraclass correlation coefficient

CV = coefficient of variation

Table 6 – Measurement error: methodological quality, quality of results and overall level of evidence for MRP measurements

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Dimitriadis, 2011	PI _{max} (best sit)	I	15	7 days	SEM:		Healthy condition
	PI _{max} (best stand)				PI _{max} (best sit): 10	?	
	PI _{max} (mean sit)				PI _{max} (best stand): 12	?	
	PI _{max} (mean stand)				PI _{max} (mean sit): 10	?	
	PE _{max} (best sit)				PI _{max} (mean stand): 12	?	
	PE _{max} (best stand)				PE _{max} (best sit): 10	?	
	PE _{max} (mean sit)				PE _{max} (best stand): 14	?	
	PE _{max} (mean stand)				PE _{max} (mean sit): 9	?	
					PE _{max} (mean stand): 12	?	
					Bland Altman: Limits of agreement reasonably narrow for all variables	?	
	Bias:						
	PI _{max} (mean sit): -5.3	?					
	PI _{max} (mean stand): -6.5	?					
	PE _{max} (mean sit): -5.9	?					
	PE _{max} (mean stand): -7.7	?					
Sette et al, 1997	PI _{max}	I	20	Same day	COR: 24.8% CV: 8.5% Bland Altman: considerable lack of agreement between different meas for PI _{max}	?	Children with bronchial asthma. Measures obtained at FRC
McConnell and Copestakeb, 1999	PI _{max} (plateau)	D	39	7 days	COR:		Healthy elderly
	PI _{max} (peak)				PI _{max} (plateau): 10.2%	?	
	PE _{max} (plateau)				PI _{max} (peak): 11.4%	?	
	PE _{max} (peak)				PE _{max} (plateau): 12.8%	?	
					PE _{max} (peak): 14.7%	?	
					Mean difference±SD		
					PI _{max} (plateau): 1.41±5.12	?	
					PI _{max} (peak): 1.60±5.72	?	
	PE _{max} (plateau): -0.26±6.38	?					
	PE _{max} (peak): 0.60±7.37	?					
Romer and McConnell, 2004	PI _{max} (plateau)	I	24	Max 3 weeks	Random error:		Healthy condition. Measures obtained at the stand position
	PI _{max} (peak)				PI _{max} (plateau): 1.056±0.010	?	
	PE _{max} (plateau)				PI _{max} (peak): 1.051±0.009	?	
	PE _{max} (peak)				PE _{max} (plateau): 1.045±0.008	?	
					PE _{max} (peak): 1.051±0.009	?	

Table 6. Continue

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Windisch et al, 2004	PI _{max} at RV: Plateau 0.5 Plateau 1.0 Peak PI _{max} at FRC Plateau 0.5 Plateau 1.0 Peak	D	50	1-4 weeks	COR/ range PI _{max} at RV: Plateau 0.5: 27.35 Plateau 1.0: 26.19 Peak: 25.18 PI _{max} at FRC: Plateau 0.5: 24.93 Plateau 1.0: 23.15 Peak: 27.16	? ? ? ? ? ?	Healthy condition. Measures obtained at RV and FRC
Moran et al, 2010	PI _{max} (best) PI _{max} (mean) PE _{max} (best) PE _{max} (mean)	I	20	10-14 days	Bland Altman (bias±limits of agreement): PI _{max} (best): -3.50±20 PI _{max} (mean): -4.0±25 PE _{max} (best): -10.05±35 PE _{max} (mean): -8.80±36	? ? ? ?	Non-CF bronchiectasis
Heinzmann-Filho et al, 2012	PI _{max} PE _{max}	I	29	3 weeks	Bland Altman: 95% of the differences were within two standard deviations from the mean for both variables	?	Healthy preschoolers and school children

Table 6. Continue

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Tager et al, 2015	PImax Group A (90) Group B (180) Group C (365)	D	25 (group A) 93 (group B) 184 (group C)	93 days 185 days 365 days	CV according to Bland Altman method: Group A (90): 8.5 Group B (180): 7.2 Group C (365): 6.6	? ? ?	CHF Measures obtained at FRC

Level of evidence for PImax at RV: very low

Level of evidence for PEmax at TLC: very low

Level of evidence for PImax at FRC: very low

Level of evidence for PEmax at FRC: no conclusions

MRP = maximal respiratory pressures

PImax = maximal inspiratory pressure

PEmax = maximal expiratory pressure

Methodological quality: I = inadequate; D = doubtful

Sit = sitting

Stand = standing

SEM = standard error of measurement

COR = coefficient of repeatability

CV = coefficient of variation

Meas = measurement

RV = residual volume

FRC = functional residual capacity

COR/range = ratio of coefficient of repeatability and the range of the second measurement

COPD = chronic obstructive pulmonary disease

Non-CF bronchiectasis = non-cystic fibrosis bronchiectasis

CHF = chronic heart failure

Table 7 – Concurrent validity: methodological quality, quality of results and overall level of evidence for MRP measurements

First author, year	MRP evaluated	Methodological quality	N	Comparator instrument	Time interval	Results	Quality of results	Comments
Casan, Giner and Sanchis, 1989	PImax PEmax	A	34	Pressure transducer - Hewlett Packard HP-1290A® (GS)	Simultaneously	PImax: $r = 0.987$ PEmax: $r = 0.998$ No significant dif between tests for both variables	+ + ?	Healthy condition and with chronic respiratory neuromuscular conditions
Larson et al, 1993	PImax	D	15	Pressure transducer - Viggo Spectromed® (GS)	Simultaneously	$r=0.97$ No significant dif between tests	+ ?	COPD
Hamnegard et al, 1994	PImax (plateau) PImax (peak) PEmax (plateau) PEmax (peak)	I	24	Pressure transducer - Validyne MP45-1® (GS)	Simultaneously	Bland Altman: excellent agreement between measures for all variables Mean dif±SD: PImax (plateau): 0.19 ± 0.12 PImax (peak): 0.12 ± 0.20 PEmax (plateau): -0.04 ± 0.12 PEmax (peak): -0.14 ± 0.18 No significant dif between tests for all variables	? ? ? ? ?	Healthy condition and chronic respiratory condition
Pessoa et al, 2014	PImax (plateau) PEmax (plateau)	A	30	Digital manometer - MicroRPM® (GS)	Same day	PImax (plateau): $r \geq 0.85$ PEmax (plateau): $r \geq 0.83$. No significant dif between tests for all variables Bland Altman: no systematic overestimation or underestimation pressures Bias: PImax: -3 PEmax: -2	+ + ? ? ? ?	Healthy condition
Torres-Castro et al, 2019	PImax PEmax	I	27	Digital manometer MicroRPM® (GS)	Simultaneously	Bland Altman: the results suggest low disagreement Bias: PImax: -0.29 PEmax: 0.75 ICC: PImax: 0.99 PEmax: 0.99	? ? ? ? ?	Healthy condition

Level of evidence for PImax at RV: high

Level of evidence for PEmax at TLC: high

Level of evidence for PImax at FRC: no conclusions

Level of evidence for PEmax at FRC: no conclusions

MRP = maximal respiratory pressures
PImax = maximal inspiratory pressure
PEmax = maximal expiratory pressure
Methodological quality: A = adequate; D = doubtful
Dif = difference
I = inadequate
GS = gold-standard
R = correlation coefficient r
COPD = chronic obstructive pulmonary disease
ICC = intraclass correlation coefficient
NR = non-reported
CV = coefficient of variation

5.2 Artigo 2

New method for evaluating maximal respiratory pressures: Concurrent validity, test-retest, and interrater reliability

Apresentado a partir da próxima página.



Brazilian Journal of Physical Therapy

<https://www.journals.elsevier.com/brazilian-journal-of-physical-therapy>



ORIGINAL RESEARCH

New method for evaluating maximal respiratory pressures: Concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability

Bruna M.F. Silveira^a, Manoel C.B. Pereira^b, Daniella R. Cardoso^c, Giane A. Ribeiro-Samora^a, Henrique R. Martins^d, Verônica F. Parreira^{c,*}

^a Rehabilitation Sciences Program, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil

^b Electrical Engineering Program, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil

^c Department of Physical Therapy, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil

^d Department of Electrical Engineering, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil

Received 30 June 2020; received in revised form 12 February 2021; accepted 21 April 2021

Available online xxx

KEYWORDS

Chronic obstructive pulmonary disease
Functional residual capacity
Measurement properties
Physical therapy
Respiratory muscles

Abstract

Background: Maximal respiratory pressures (MRP) obtained at functional residual capacity (FRC) may reflect the real respiratory muscle pressure.

Objectives: To evaluate concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability of MRP performed with a new instrument in healthy individuals, and to compare values obtained at different volumes in healthy individuals and individuals with COPD.

Methods: MRP of 100 healthy individuals were obtained using the TrueForce and the MicroRPM[®] at residual volume (RV) and total lung capacity (TLC) to evaluate concurrent validity. MRP were obtained at FRC using the TrueForce to evaluate reliability. Comparisons of inspiratory pressure values (FRC compared to RV) and expiratory pressure values (FRC compared to TLC) were performed with 100 healthy individuals and 15 individuals with COPD.

Results: The intraclass correlation coefficient (ICC) was 0.77 and 0.86 for concurrent validity for inspiratory and expiratory pressures, respectively. Test-retest reliability showed an ICC of 0.87 for inspiratory pressure, and 0.78 for expiratory pressure; inter-rater reliability showed an ICC of 0.91 for inspiratory pressure, and 0.84 for expiratory pressure. Measurements performed at RV and TLC were higher when compared to FRC [mean difference (95%CI)= -8.30 (-11.82, -4.78) cmH₂O; -37.29 (-42.63, -31.96) cmH₂O] in healthy individuals, and -11.09 (-15.83, -6.35) cmH₂O; -57.14 (-71.05, -43.05) cmH₂O in COPD, for inspiratory and expiratory pressures, respectively.

Conclusion: MRP performed with the TrueForce presented good concurrent validity, good test-retest reliability, excellent inter-rater reliability for inspiratory pressure and good inter-rater

* Corresponding author at: Department of Physical Therapy, Universidade Federal de Minas Gerais, Avenida Antônio Carlos, 6627 Pampulha, 31270-901 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

E-mail: veronica.parreira@pq.cnpq.br (V.F. Parreira).

<https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2021.04.012>

1413-3555/© 2021 Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Please cite this article in press as: B.M. Silveira, M.C. Pereira, D.R. Cardoso et al., New method for evaluating maximal respiratory pressures: Concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability, *Brazilian Journal of Physical Therapy* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2021.04.012>

reliability for expiratory pressure. MRP were lower when obtained at FRC for healthy individuals and with COPD.

© 2021 Associação Brasileira de Pesquisa e Pós-Graduação em Fisioterapia. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introduction

Maximal respiratory pressure (MRP) measurements are commonly used for evaluating respiratory muscle strength. For these measurements, maximal inspiratory (P_{lmax}) and expiratory (P_Emax) efforts are performed at the mouth against an occluded piece connected to a manometer. This is a simple, non-invasive, and well-tolerated method, which can be useful for assessing and monitoring patients with respiratory muscle weakness due to respiratory, cardiac, or neuromuscular conditions.¹

However, the values obtained with these measurements are influenced by different factors, including the lung volume at which the test is performed.^{1,2} P_{lmax} is usually performed at residual volume (RV) and P_Emax at total lung capacity (TLC), which reflects the pressure of the respiratory muscles in addition to the elastic recoil pressure of the respiratory system, overestimating the actual muscle respiratory strength. The American Thoracic Society/European Respiratory Society statement (ATS/ERS)³ reports an increase of 30 cmH₂O if P_{lmax} is performed at RV and an increase of 40 cmH₂O if P_Emax is performed at TLC in healthy individuals.³ Studies have shown that higher P_{lmax} values were obtained if the test was performed at RV in healthy individuals^{4–6} and in individuals with chronic obstructive pulmonary disease (COPD)⁷, and higher P_Emax values were observed if tests were performed at TLC also in healthy individuals.^{3,8}

The elastic recoil pressure of the respiratory system at functional residual capacity (FRC) under physiological conditions is close to zero. MRP measurements performed at FRC would reflect respiratory muscle pressure, minimizing the influence of elastic recoil. Studies have used this method to evaluate MRP,^{8–10} but they identified FRC through a qualitative method (visual inspection) using spirometric data, or through a very complex and not clinically applicable method (body plethysmography). A new digital manometer named TrueForce was recently developed. It monitors volume and flow in real time, enabling identification of FRC and MRP measurements at this lung volume, which was not possible in the current available manometers. In addition, this instrument is simple to operate and it communicates with a dedicated software, which enables graphically visualizing the curves: pressure *versus* time and volume *versus* time in real time, and it enables evaluating variables such as maximum average pressure, peak pressure, and plateau pressure.

Before a measurement instrument becomes available for research and clinical use, its measurement properties must be established. The primary aim of this study was to evaluate concurrent validity of the TrueForce for MRP performed at RV and TLC, and test-retest and inter-rater reliability of MRP performed at FRC with the TrueForce in healthy individuals. The secondary aim was to compare measurements performed at different lung volumes (FRC and RV for P_{lmax}, and FRC and TLC for P_Emax) with the new instrument within two groups: healthy individuals and individuals with COPD.

Methods

Study design and sample

This was a methodological study. The inclusion criteria for healthy individuals were: age between 20 and 40 years old, body mass index between 18.5 and 29.99 kg/m²,¹¹ normal lung function according to predicted values,¹² self-reported absence of cardiac and neuromuscular diseases and absence of contraindications for the performance of MRP tests. The inclusion criteria for individuals with COPD were: diagnosis of COPD confirmed by lung function test,¹³ age between 40 and 85 years, and clinically stable (no exacerbations and/or hospitalization in the past four weeks). The exclusion criteria for healthy individuals were: inability to understand or perform any of the procedures, fever and/or cold in the two weeks prior to the tests, or exhaustive exercise in the last 48 hours before tests; the individual would also be excluded for precautionary reasons if peripheral oxygen saturation before or during the tests was less than 90%, heart rate between 60 and 100 bpm,¹⁴ and/or blood pressure before the test was greater than or equal to 160/100mmHg.¹⁵ The exclusion criteria for individuals with COPD were: other pulmonary diseases or inability to understand and/or perform the procedures. The study was approved by the Institution Ethics Committee from the Universidade Federal de Minas Gerais (CAAE: 80257617.0.0000.5149), Belo Horizonte, MG, Brazil, and written informed consent was obtained from all participants.

Main measurement instrument

MRP at FRC were measured using the new TrueForce manometer (Fig. 1). This instrument obtains information through two sensors, pressure and flow. The pressure sensor is designed to measure differential pressure into a range of \pm 5psi, with a frequency response up to 2 kHz and



Fig. 1 Nose clip (A), flanged silicone mouthpiece (B) and TrueForce-UFG manometer (C).

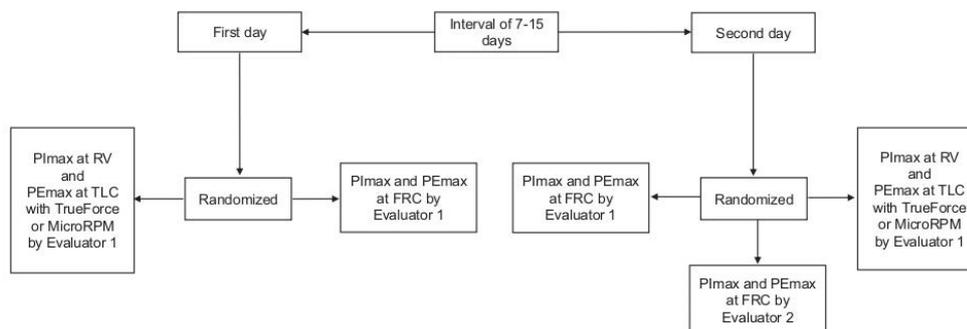


Fig. 2 Flowchart of the study protocol for healthy individuals. Abbreviations: PImax, maximal inspiratory pressure; PEmax, maximal expiratory pressure; RV, residual volume; TLC, total lung capacity; FRC: functional residual capacity.

resolution = 0.04 cmH₂O. The flow sensor presents a flow range of ± 200 slm, typical accuracy of 1.5%, sample rate up to 2 kHz, and enables volume to be calculated in real time, which permits maneuvers at FRC.^{16,17} The interface used was a flanged silicone mouthpiece with a 2 mm air leak orifice present in the instrument.¹ In addition, the TrueForce is portable and its communication with the software is via Bluetooth. The PImax and PEmax variables, which are calculated by the area of one second around the peak pressure value, were analyzed through the graphic interface of the Manovac-FRC software program.

Complementary measures

A Koko[®] PFT spirometer (nSpireHealth Inc., USA) was used to assess lung function, and the test was performed according to the ATS/ERS recommendations.¹⁸ Obtained values were compared with those predicted by Pereira et al.¹²

Body weight and height were assessed with a calibrated scale with stadiometer (Filizola ind. Ltda, Brazil). A MicroRPM[®] manometer (Micro Medical, UK) was used to evaluate the concurrent validity of the new instrument. This reliable instrument¹⁹ is well-established in the literature for measuring PImax at RV and PEmax at TLC.^{20,21} The PUMA PC software program (Micro Medical, UK) was used to operationalize MRP.

The GOLD classification of airflow limitation severity was used to characterize the individuals with COPD as follows: mild (forced expiratory volume in first second - FEV₁ \geq 80% predicted), moderate (50% \leq FEV₁ < 80% predicted), severe (30% \leq FEV₁ < 50% predicted), and very severe (FEV₁ < 30% predicted).¹³

Procedures

For healthy individuals, data were collected on two days within a 7 to 15-day interval by trained evaluators (both with a background in physical therapy and trained by a senior investigator).²² Participants were screened for previous physical activity, health condition, and vital signs in all testing sessions. The sessions occurred at the same time of the day for each participant, and instructions about the protocol were provided in a standardized manner performed by trained evaluators, minimizing variations in the environment

and measurement setting. The flowchart of measurements is presented in Fig. 2.

The participants underwent a lung function test on the first day after an initial interview for demographic and clinical data. Next, the participants underwent MRP at FRC, RV, and TLC by Evaluator 1. The participants remained in a sitting position with their trunk and lower limbs supported, head in a neutral position and used a nose clip for the PImax and PEmax measurements performed at FRC with the TrueForce. They were instructed to breathe several times following a pattern similar to a sigh: inhaling just above the tidal volume and exhaling as if relaxing the chest.^{23,24} After performing the required number of respiratory cycles, a yellow light indicated that a breathing pattern was found, and the FRC range was identified. In the next respiratory cycle, a green light alerted the evaluator to occlude the occlusion orifice and request a maximal inspiration or expiration according to the test (PImax or PEmax). The evaluator also needed to press the cheeks of the participants in the case of PEmax.¹ Participants performed at least five maneuvers with a 1-minute interval between them. At least three of these five efforts should be acceptable (without air leakage, pressure maintained for at least 1.5 seconds, and volume of the maneuver within limits of FRC), and reproducible (variation < 10%).¹ The last maneuver could not be the greatest, which would suggest a learning effect.²⁵ The highest value was selected. PImax at RV and PEmax at TLC were then performed after a 10-minute interval and vital signs returned to baseline, according to the ATS/ERS recommendations.¹

PImax and PEmax at FRC were repeated by Evaluator 1 on the second day, and then by Evaluator 2 (blinded) after a 10-minute interval and vital signs having returned to baseline with the aim to evaluate test-retest and inter-rater reliability, respectively. The tests using the digital manometer MicroRPM[®] at RV and TLC were subsequently performed after resting 10 more minutes and vital signs having returned to baseline again to evaluate the concurrent validity, also by Evaluator 1 and following standardized recommendations.¹ The test order was randomized: PImax at RV and PEmax at TLC using TrueForce and MicroRPM[®] were randomized within days; and the tests performed on the same day were all randomized, including the PImax and PEmax order.

For individuals with COPD, the measurements of MRP at FRC and at RV and TLC were obtained on the same day in a

randomized order by one evaluator following the same protocol described for healthy individuals.

Sample size

The sample size calculation for the measurement properties assessment followed the methodology proposed by Mokkink et al.²² They recommend a sample of at least 100 individuals for a very good reliability assessment and a sample of at least 50 individuals for a very good validity assessment of an instrument. The same sample of healthy individuals were evaluated for the comparison between MRP obtained at different lung volumes, in addition to 15 individuals with COPD. The sample size for this comparison was based on all patients referred to our outpatient rehabilitation program, who met inclusion criteria, until its interruption on the beginning of the COVID-19 pandemics.

Statistical analysis

The data distribution was verified by the Shapiro-Wilk test. Data were presented as mean and standard deviation. Concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability were evaluated by intraclass correlation coefficient (ICC) two-way mixed model (ICC_{3,1}), with a 95% confidence interval (CI). ICC values less than 0.5 were considered poor, between 0.5 and 0.75 moderate, between 0.75 and 0.9 good, and greater than 0.9 excellent reliability.²⁶ Agreement between measurements was also evaluated by graphical analyses using Bland-Altman plots. Differences between MRP performed at FRC and at RV and TLC were compared using the paired t-test analyses within groups separately for healthy individuals and individuals with COPD. The data were analyzed in the SPSS version 23.0 and the significance level was set at 5%.

Results

A total of 151 individuals were initially recruited. However, 33 did not meet inclusion criteria, while another 18 were excluded for not attending the second visit. Therefore, 100 healthy participants completed the protocol for the reliability evaluation and the first 50 participants were assessed for concurrent validity. Fifteen individuals with mild to severe COPD were evaluated.¹²

Table 1 shows the demographic, anthropometric, and clinical data of the participants.

Concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability

Table 2 presents data regarding the concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability. P_{lmax} at RV and P_{Emax} at TLC performed with the new instrument (TrueForce) and with the instrument considered gold standard (MicroRPM®) presented ICC values of 0.77 and 0.86, respectively. The test-retest reliability of P_{lmax} and P_{Emax} obtained at FRC presented ICC values of 0.87 and 0.78, respectively. Inter-rater reliability showed an ICC value of 0.91 for P_{lmax} and 0.84 for P_{Emax}.

Table 1 Participants' demographic, anthropometric, and clinical data.

Characteristic	Healthy individuals	Individuals with COPD
Sex	50M/50W	7M/ 8 W
Age (years)	25 ± 4	69 ± 8
BMI (kg/m ²)	23.80 ± 3.0	25.26 ± 4.9
FEV ₁ (L)	3.73 ± 0.7	1.33 ± 0.53
FEV ₁ (% predicted)	96.80 ± 8.4	54.89 ± 23.58
FVC (% predicted)	97.25 ± 8.5	74.93 ± 19.7
FEV ₁ /FVC	0.84 ± 0.1	0.55 ± 0.15

Data are expressed as mean ± standard deviation, except for sex which is the number of males (M) and females (W). Abbreviations: BMI, body mass index; FEV₁, forced expiratory volume in first second; FVC, forced vital capacity; FEV₁/FVC, ratio of FEV₁ to FVC.

Fig. 3A presents the agreement between measurements performed with the TrueForce and MicroRPM®, between Evaluator 1 on two days (Fig. 3B), and between Evaluator 1 and Evaluator 2 on the same day (Fig. 3C). Low bias values and ranges of acceptable agreement were observed in all comparisons. In addition, most values were within limits of agreement.

Comparison between lung volumes in healthy individuals and with COPD

In healthy individuals, P_{lmax} performed at RV presented higher values compared to measures performed at FRC [106.49 ± 28.50 cmH₂O for RV and 98.19 ± 23.90 cmH₂O for FRC; mean difference (95% CI) = -8.30 (-11.82, -4.78)]. Regarding expiratory maneuvers, P_{Emax} performed at TLC also presented higher values compared to measures performed at FRC [126.33 ± 33.73 cmH₂O for TLC and 89.04 ± 26.43 cmH₂O for FRC; mean difference (95% CI) = -37.29 (-42.63, -31.96)]. In individuals with COPD, the mean P_{lmax} performed at RV was also higher than maneuvers performed at FRC [63.9 ± 16.49 cmH₂O for RV and 53.03 ± 19.30 cmH₂O for FRC; mean difference (95% CI) = -11.09 (-15.83, -6.35)]. P_{Emax} values were also higher when obtained at TLC compared to measures performed at FRC in individuals with COPD [95.84 ± 26.32 cmH₂O for TLC and 38.69 ± 11.53 cmH₂O for FRC; mean difference (95% CI) = -57.14 (-71.05, -43.05)].

Discussion

This study showed that P_{lmax} at RV and P_{Emax} at TLC performed with TrueForce and MicroRPM® have similar values. MRP performed with TrueForce presented good test-retest reliability for P_{lmax} and for P_{Emax}. The inter-rater reliability was excellent for inspiratory pressure and good for expiratory pressure. P_{lmax} and P_{Emax} performed at RV and TLC, respectively, presented significantly higher values compared to measures performed at FRC for healthy individuals and for those with COPD.

The use of portable and digital mouth pressure meters has been studied since 1994, when Hamnegård et al.²⁷

Table 2 Data on concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability evaluated in 100 healthy individuals.

Measurement properties					
<i>Concurrent validity</i>					
	TrueForce	MicroRPM®	ICC	95% CI	p-value
Plmax _{RV} cmH ₂ O	106.5 ± 28.5	113.7 ± 32.7	0.77	0.60, 0.87	<0.001
PEmax _{TLC} cmH ₂ O	126.3 ± 33.7	135.4 ± 37.8	0.86	0.73, 0.92	<0.001
<i>Test-retest reliability</i>					
	1 st day	2 nd day	ICC	95% CI	p-value
Plmax _{FRC} cmH ₂ O	96.8 ± 23.0	98.2 ± 23.9	0.87	0.80, 0.90	<0.001
PEmax _{FRC} cmH ₂ O	81.7 ± 23.7	89.0 ± 26.4	0.78	0.69, 0.84	<0.001
<i>Inter-rater reliability</i>					
	Evaluator 1	Evaluator 2	ICC	95% CI	p-value
Plmax _{FRC} cmH ₂ O	98.2 ± 23.9	100.6 ± 37.8	0.91	0.86, 0.94	<0.001
PEmax _{FRC} cmH ₂ O	89.0 ± 26.4	91.7 ± 30.2	0.84	0.77, 0.89	<0.001

Data are expressed as mean ± standard deviation. Abbreviations: Plmax, maximal inspiratory pressure; PEmax, maximal expiratory pressure; RV, residual volume; TLC, total lung capacity; FRC, functional residual capacity; ICC, intraclass correlation coefficient; 95% CI, 95% confidence interval.

validated a hand-held device in healthy individuals and individuals with respiratory diseases. Pessoa et al.²⁸ also evaluated the concurrent validity of a digital manometer in measuring MRP. The correlation between the values observed was high for all variables. Our results agree with these findings, showing good agreement between the instruments for MRP performed at RV and TLC.

There is a lack of recent studies evaluating test-retest and inter-rater reliability of MRP measured at FRC, which may be explained by the absence of a simple instrument available for this evaluation. Larson and Kim²⁹ studied the test-retest reliability of Plmax measured at different lung volumes in 31 healthy individuals, and showed that the two tests of Plmax measured at FRC presented excellent correlation ($r=0.90$) and no significant difference between them. Jardim et al.³⁰ evaluated the test-retest reliability of Plmax and PEmax measured at FRC in healthy individuals using an aneroid manometer in three consecutive days, with no significant differences between them. No clear description on how they identified FRC was provided.

The results of the present study showed excellent inter-rater reliability for Plmax and good reliability for PEmax in healthy individuals. Jalan et al.³¹ tested the reliability of a pressure device in 40 healthy individuals, and presented an ICC of 0.92 for Plmax performed by two evaluators. However, the Plmax was obtained at RV. To the best of our knowledge, there are no studies evaluating inter-rater reliability of MRP measured at FRC. Therefore, comparisons were limited.

Our results also showed that Plmax obtained at RV and PEmax obtained at TLC presented higher values compared to measures performed at FRC. These findings are probably explained by the additional passive elastic recoil pressure of the respiratory system. Ringqvist³² evaluated MRP of healthy

individuals at different vital capacity percentages, reporting significant increases when performing Plmax at RV and PEmax at TLC compared to FRC (11.4 cmH₂O and 54.5 cmH₂O, respectively). The ATS/ERS statement in 2002³ states that Plmax obtained at RV may contribute to an increase of 30 cmH₂O in the final result and an increase of 40 cmH₂O if PEmax is obtained at TLC, in healthy individuals. Windisch et al.⁸ evaluated 533 healthy individuals and observed a mean increase of ~10 cmH₂O when Plmax was performed at RV compared to FRC. Our results are consistent with their findings regarding the significant difference between MRP at different lung volumes, but there are variations among the mean increases, mostly for PEmax. This may be explained by variations in the clinical, demographic, and anthropometric factors of individuals included in the studies, or by different methods used for evaluating MRP and different lung volumes.

In this study, the mean increase in PEmax obtained at TLC compared to FRC in individuals with COPD was noteworthy. This may also be explained by the changes in the length of the expiratory muscles with the volume reduction (from TLC to FRC), minimizing their pressure-generating capacity.³³ We highlight that individuals with COPD constantly activate abdominals (mainly the transversus abdominis) due to the expiratory flow limitation, which may cause an increased maximal expiratory pressure in greater lung volumes – in which the abdominals present a more advantageous position – compared to measurements at FRC,³⁴ potentially explaining the greater difference between the measurements.

For Plmax, the difference between measurements obtained at RV and FRC was similar to the values described for healthy young individuals,^{8,32} however, individuals matched on age and sex should be evaluated to determine the influence of lung volume on these measurements for

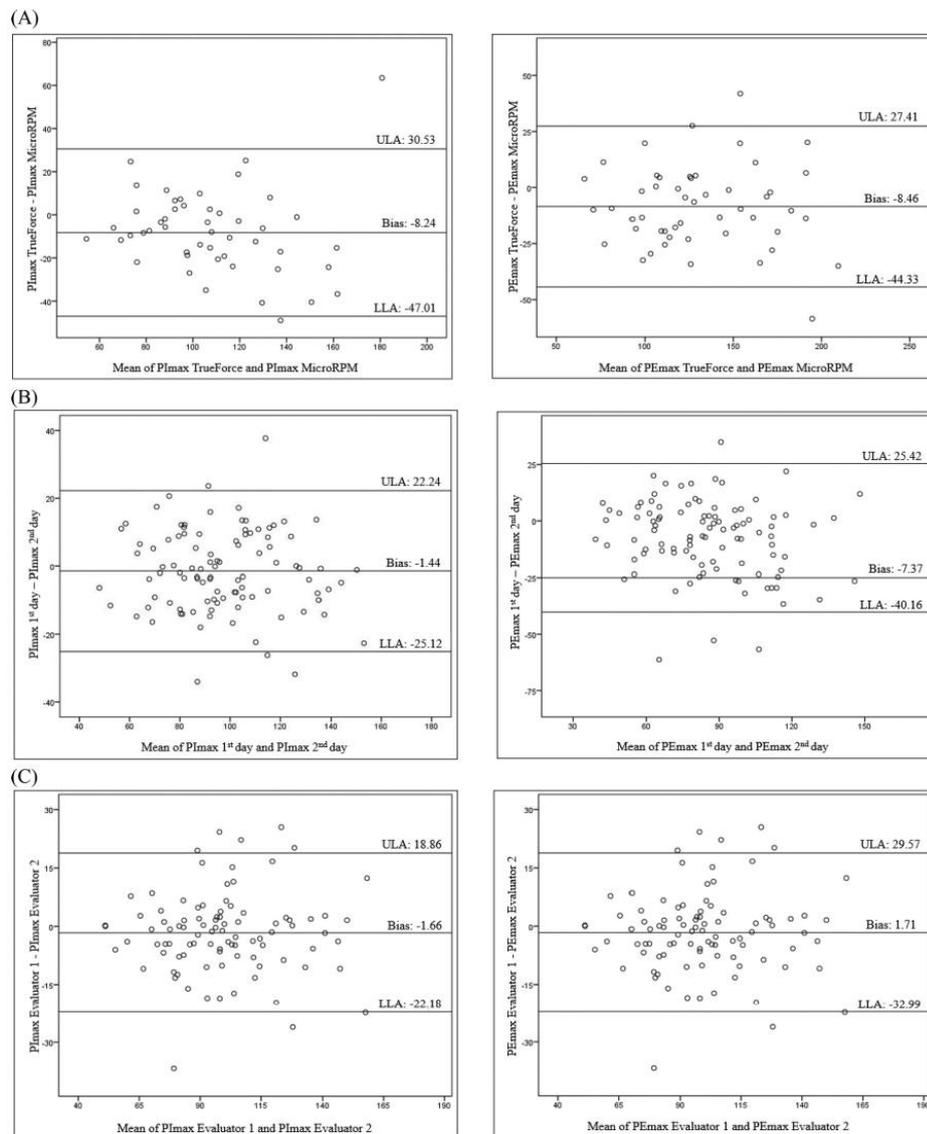


Fig. 3 Bland-Altman plots to visualize the agreement of: (A) Measures performed with TrueForce and MicroRPM® – concurrent validity; (B) Measures performed by Evaluator 1 - test-retest reliability; (C) Measures performed by Evaluator 1 and 2 - inter-rater reliability. Data related to the evaluation of 100 healthy individuals. Abbreviations: Pimax, maximal inspiratory pressure; PEmax, maximal expiratory pressure; ULA, upper limit of agreement; LLA, lower limit of agreement.

individuals with COPD. Langer et al.⁷ measured Pimax at FRC in individuals with COPD and reported an increase of -16 cmH₂O when the test was obtained at RV. We hypothesized that lower Pimax values identified in individuals with COPD may be associated with real inspiratory muscle weakness but also with lung hyperinflation, which may lead the diaphragm to a less mechanical advantageous position.³⁵

It is well known that maximal respiratory mouth pressure measurements are the most used tests for evaluating respiratory muscle strength. However, Pimax and PEmax are frequently performed at RV and TLC, respectively, which may lead to inaccurate conclusions. The use of the method proposed by this study, which permits more accurate MRP measurements at FRC, enables evaluating muscle strength only,

minimizing the influence of viscoelastic properties of the respiratory system in the final outcomes. Therefore, the MRP results obtained through this new method may be used to discriminate respiratory muscle weakness due to actual lower respiratory muscle strength or due to impairments in elastic properties related to the different healthy conditions, thereby justifying the clinical application of the new proposed method.

One limitation of this study was the impossibility to test the criterion validity of the instrument for measuring maximal respiratory pressures at FRC due to the lack of feasibility of the gold standard tests for this evaluation. Further studies including patients with different health conditions and with different age ranges are needed with the aim to evaluate the clinical applicability of these measures at FRC.

Conclusion

The TrueForce presented good concurrent validity. P_{lmax} and P_{Emax} performed at functional residual capacity presented good test-retest reliability, P_{lmax} presented excellent inter-rater reliability and P_{Emax} showed good inter-rater reliability. This study also demonstrated that P_{lmax} obtained at RV and P_{Emax} obtained at TLC presented higher values compared to measures performed at functional residual capacity in healthy individuals and in individuals with COPD.

Conflicts of Interest

None to declare.

Acknowledgements

The authors thank the engineer Armando Aguiar de Souza Cruz Neto and co-workers for his contribution in the development of the software's first version - Manovac. This work was partly financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Brazil), Finance Code 001; the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Grant 309990/2017-3 and the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). The sources of financial support had no role in the design, implementation, or reporting of this study.

References

- Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. 2019;53(6):1801214. <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>.
- Pessoa IMS, Parreira VF, Fregonezi GA, Sheel AW, Chung F, Reid WD. Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review. *Can Respir J*. 2014;21(1):43–50. <https://doi.org/10.1155/2014/982374>.
- ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518–624. <https://doi.org/10.1164/rccm.166.4.518>.
- Rohrer F. Der Zusammenhang der Atemkräfte und ihre Abhängigkeit vom Dehnungszustand der Atmungsorgane. *Pflüger's Arch*. 1919;165:419–444. [doi:https://doi.org/10.1007/BF01681079](https://doi.org/10.1007/BF01681079).
- Rahn H, Otis AB, Chadwick LE, Fenn WO. The pressure-volume diagram of the thorax and lung. *Am J Physiol*. 1946;146(2):161–178. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1946.146.2.161>.
- Cook CD, Mead J, Orzalesi MM. Static volume-pressure characteristics of the respiratory system during maximal efforts. *J Appl Physiol*. 1964;19:1016–1022. <https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.5.1016>.
- Langer D, Ciavaglia C, Faisal A, et al. Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD. *J Appl Physiol*. 2018;125(2):381–392. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01078.2017>.
- Windisch W, Hennings E, Sorichter S, Hamm H, Crieé CP. Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: which is best? *Eur Respir J*. 2004;23(5):708–713. <https://doi.org/10.1183/09031936.04.00136104>.
- El-Deen HAB, Alanazi FS, Ahmed KT. Effects of inspiratory muscle training on pulmonary functions and muscle strength in sedentary hemodialysis patients. *J Phys Ther Sci*. 2018;30(3):424–427. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.424>.
- Manders E, Bonta PI, Kloek JJ, et al. Reduced force of diaphragm muscle fibers in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2016;311(1):L20–L28. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00113.2016>.
- World Health Organization/Europe. Body mass index- BMI. Accessed 5 June 2020, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>.
- Pereira CAC, Sato T, Rodrigues SC. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. *J Bras Pneumol*. 2007;33(4):397–406.
- Agusti A, Beasley R, Celli B. R. *Global Strategy for Prevention, Diagnosis and Management of COPD*. 2021. Accessed 02 Jan 2021; <https://goldcopd.org/2021-gold-reports/>.
- American Heart Association. All About Heart Rate (Pulse). Accessed 15 March, 2021, <https://www.heart.org/en/health-topics/high-blood-pressure/the-facts-about-high-blood-pressure/all-about-heart-rate-pulse>.
- Malachias MVB. 7ª Diretriz Brasileira de Hipertensão Arterial. *Arq Bras Cardiol*. 2016;107(Suppl.3):1–83.
- Pereira MCB, Lana FM, Latorre HPF, Silveira BMF, Torres FFE, Martins HR. Development of maximal respiratory pressures measurement system at functional residual capacity level. *Revista Argentina de Bioingeniería*. 2018;22.
- Pereira MCB, Silveira BMF, Pereira HLA, Parreira VF, Martins HR. Desenvolvimento de um Sistema para Medição das Pressões Respiratórias Máximas em Nível de Capacidade Residual Funcional e Validação em Indivíduos Saudáveis. *TrueForce: a new digital manometer to measure maximal respiratory pressures at functional residual capacity*. *Res Biomed Eng*; 2021 <https://doi.org/10.1007/s42600-021-00139-2>. In press.
- Culver BH, Graham BL, Coates AL, et al. Recommendations for a standardized pulmonary function report. An official American thoracic society technical statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2017;196(11):1463–1472. <https://doi.org/10.1164/rccm.201710-1981ST>.
- Dimitriadis Z, Kapreli E, Konstantinidou I, Oldham J, Strimpakos N. Test/retest reliability of maximum mouth pressure measurements with the MicroRPM in healthy volunteers. *Respir Care*. 2011;56(6):776–782. <https://doi.org/10.4187/respcare.00783>.
- Leelarungrayub J, Pinkaew D, Yankai A, Chautrakorn B, Kuntain R. Simple artificial training device for respiratory muscle

- strength and lung volumes in healthy young male and female subjects: a pilot study. *J Bodyw Mov Ther.* 2017;21(4):995–1002. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2016.11.012>.
21. Kuo YC, Chang HL, Cheng CF, Mündel T, Liao YH. Six-week inspiratory resistance training ameliorates endurance performance but does not affect obesity-related metabolic biomarkers in obese adults: a randomized controlled trial. *Respir Physiol Neurobiol.* 2020;273: 103285. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2019.103285>.
 22. Mookkink LB, de Vet HCW, Prinsen CAC, et al. COSMIN risk of bias checklist for systematic reviews of patient-reported outcome measures. *Qual Life Res.* 2018;27(5):1171–1179. <https://doi.org/10.1007/s11136-017-1765-4>.
 23. Salazar E, Knowles JH. An analysis of pressure-volume characteristics of the lungs. *J Appl Physiol.* 1964;19:97–104. <https://doi.org/10.1152/jappl.1964.19.1.97>.
 24. Agostoni E, Hyatt E. Handbook of physiology. *Am. Physiol. Soc.* 1964;1.
 25. Pessoa IMS, Coelho CM, Mendes LPS, Montemezzo D, Pereira DAG, Parreira VF. Comparison of three protocols for measuring the maximal respiratory pressures. *Fisioterapia em Movimento.* 2015;28(1):31–39.
 26. Koo TK, Li MY. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med.* 2016;15(2):155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>.
 27. Hammegard CH, Wrang S, Kyroussis D, Aquilina R, Moxham J, Green M. Portable measurement of maximum mouth pressures. *Eur Respir J.* 1994;7(2):398–401. <https://doi.org/10.1183/09031936.94.07020398>.
 28. Pessoa IMS, Pereira HLA, Aguiar LT, Tagliaferri TL, Silva LAM, Parreira VF. Test-retest reliability and concurrent validity of a digital manovacuometer. *Fisioterapia e Pesquisa.* 2014;21(3):236–242.
 29. Larson JL, Kim MJ. Reliability of maximal inspiratory pressure. *Nurs Res.* 1987;36(5):317–319.
 30. Jardim JR, Camelier A, Dal Corso S, Rodrigues JE. Strength and endurance of the respiratory and handgrip muscles after the use of flunisolide in normal subjects. *Respir Med.* 2007;101(7):1594–1599. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2006.10.017>.
 31. Jalan NS, Daftari SS, Retharekar SS, Rairikar SA, Shyam AM, Sancheti PK. Intra- and inter-rater reliability of maximum inspiratory pressure measured using a portable capsule-sensing pressure gauge device in healthy adults. *Can J Respir Ther.* 2015;51(2):39–42.
 32. Ringqvist T. The ventilatory capacity in healthy subjects. An analysis of causal factors with special reference to the respiratory forces. *Scand J Clin Lab Invest Suppl.* 1966;88:5–179.
 33. Rochester DF. The diaphragm: contractile properties and fatigue. *J Clin Invest.* 1985;75(5):1397–1402. <https://doi.org/10.1172/jci11841>.
 34. Ninane V, Rypens F, Yernault JC, De Troyer A. Abdominal muscle use during breathing in patients with chronic airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis.* 1992;146(1):16–21. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/146.1.16>.
 35. Rodrigues F, Bárbara C. Maximal respiratory pressures: proposition for a protocol of assessment. *Revista Portuguesa de Pneumologia.* 2002;6(4):297–307. [doi:doi.org/10.1016/S0873-2159\(15\)30905-3](https://doi.org/10.1016/S0873-2159(15)30905-3).

5.3 Artigo 3

Maximal respiratory pressures: Measurements at functional residual capacity in individuals with different health conditions using a digital manometer

Running head: Respiratory pressures at FRC in different health conditions

Este artigo será encaminhado ao periódico *Journal of Applied Physiology*.

ABSTRACT

Introduction: Measuring maximal respiratory pressure (MRP) is a widely used method of investigating the strength of inspiratory (maximal inspiratory pressure- $P_{I\max}$) and expiratory muscles (maximal expiratory pressure- $P_{E\max}$). The primary aims of this study were: to compare inspiratory pressures obtained at functional residual capacity (FRC) with measures at residual volume (RV), and expiratory pressures obtained at FRC with measures at total lung capacity (TLC) in individuals with health conditions (post-COVID-19, COPD, idiopathic pulmonary fibrosis, heart failure and stroke); and to compare the mean differences between measurements at FRC and RV/TLC among the groups.

Methods: Inspiratory and expiratory pressures were obtained at different lung volumes in a random order. Mixed factorial analysis of covariance (ANCOVA) with repeated measures was used to compare measurements obtained at different lung volumes within and among groups.

Results: Seventy-five individuals were included in the final analyses (15 individuals with each health condition). Inspiratory pressures at FRC were lower than RV, and expiratory pressures at FRC were lower than TLC ($p \leq 0.005$). The mean differences between inspiratory pressures at RV and FRC were between 8.0 and 12.8 cmH₂O, and the mean differences between expiratory pressures at TLC and FRC were between 51.9 and 62.9 cmH₂O. All mean differences were similar among groups ($p \geq 0.227$).

Conclusion: Inspiratory and expiratory pressures at FRC were lower than measures obtained at RV/TLC for each group of healthy conditions. The mean differences between measurements at FRC and RV/TLC were similar among groups.

NEW & NOTEWORTHY

This is the first study to investigate MRP obtained at different lung volumes in individuals with different health conditions (post-COVID-19, COPD, idiopathic pulmonary fibrosis, heart failure and stroke). Inspiratory and expiratory pressures obtained at FRC were lower than measures obtained at RV and TLC for each group of health conditions, but the difference between inspiratory pressures at different lung volumes was not clinically relevant. The mean differences between measures at FRC and RV/TLC were similar among groups.

Keywords: Dyspnea; functional residual capacity; heart diseases; lung diseases; respiratory muscles

INTRODUCTION

Maximal respiratory pressure (MRP) measurement is widely used to evaluate respiratory muscle strength through maximal inspiratory pressures (P_Imax), and maximal expiratory pressures (P_Emax). This is a simple, non-invasive, and well-tolerated method, which can be useful to monitor muscle weakness, to investigate dyspnea without apparent cause, in the evaluation of weaning from invasive mechanical ventilation and in the setting and evaluation of interventions, such as the respiratory muscle training (1-5).

The pressure developed by the inspiratory muscles plays a key role in the ventilatory process, intrinsically linked to the capacity of responding to increased metabolic demands (6). Therefore, the assessment of P_Imax may be valuable for assessing and monitoring individuals with health conditions that are usually followed by exercise intolerance and dyspnea, such as chronic obstructive pulmonary disease (COPD) (7, 8), idiopathic pulmonary fibrosis (IPF) (9), chronic heart failure (CHF) (10), stroke (11), and individuals post coronavirus disease 2019 (post-COVID-19) (12). Measurements of P_Emax are considered of clinical relevance as it may reflect cough impairment, which are related to complications, such as the increased risk of aspiration pneumonia (13).

P_Imax is usually performed at residual volume (RV), and P_Emax at total lung capacity (TLC) (1). However, pioneer studies reported that pressure developed by the muscles is greatly influenced by the lung volume in which the maneuver is obtained. Since Rohrer in 1916 (14), authors have been explaining that MRP relation to volume are threefold: the elastic recoil pressure of the respiratory system influences the final pressures values (15-17), the changes in the length-tension relationship of the respiratory muscles in different lung

volumes (15, 17, 18) and the influence of the muscles radius of curvature in pressure-generating capacity (17, 18). These studies showed that PI_{max} decreases as lung volume increases, and PE_{max} increases as lung volume increases in healthy individuals. Measurements performed in individuals with different health conditions could be more influenced by these factors.

MRP obtained at functional residual capacity (FRC) would minimize the influence of the elastic recoil pressure of the respiratory system in the final pressure values (16, 19). Studies have been using measurements obtained at FRC (20-26), but they identified FRC through a qualitative method - visual inspection, using spirometers - a non-specific equipment to assess the FRC level, or using body plethysmography - a little clinically applicable method. A digital manometer capable of identifying the FRC moment to perform MRP has been recently validated, which provides a good balance between cost and accuracy (27, 28).

For these reasons, the aims of the study were: i) to compare PI_{max} and PI_{peak} obtained at FRC with measures obtained at RV, as well as PE_{max} and PE_{peak} obtained at FRC with measures obtained at TLC in each group of individuals post-COVID-19, with COPD, IPF, CHF, and stroke, using a digital manometer and, ii) to compare the mean differences between the measurements at FRC and at RV /TLC among the five groups. We hypothesized that measures obtained at FRC would be lower than measures obtained at RV for inspiratory pressures and measures obtained at TLC for expiratory pressures; we also hypothesized that differences between measurements obtained at different lung volumes would differ among health conditions.

METHODS

Study Design and Sample

This was a cross-sectional study. The inclusion criteria for individuals post-COVID-19 were: individuals who were diagnosed with COVID-19, and were discharged from the hospitalization at three months before the assessment; for individuals with COPD: diagnosis of COPD confirmed by lung function test (29); for individuals with IPF: clinical diagnosis and by computed tomography; for individuals with CHF: clinical diagnosis of CHF, New York Heart Association (NYHA) functional classification between I and III (30), for individuals with stroke: last episode of stroke diagnosed >6 months and <5 years. For people with CHF and stroke: normal lung function according to predicted values (31). All individuals should be clinically stable (no fever and/or cold the two weeks prior to the tests, as well as hospitalization in the past four weeks), body mass index between 18.5 and 34.9 kg/m² (32), age 18 and above, and self-reported absence of contraindications for the performance of MRP tests (1). The exclusion criteria for all individuals were: inability to understand or perform any of the procedures, the self-related presence of any of the other studied health conditions, or exhaustive exercise in the last 48 hours before tests.

The study was approved by the Ethics Committee from the Institution (----), and written informed consent was obtained from all individuals.

Main Measurement Instrument

MRP were measured using the manometer TrueForce (LabCare/LEB – UFMG, Brazil), which is capable of obtaining MRP at FRC, RV and TLC (27, 28). This instrument obtains information through a data acquisition unit composed by

the pressure and flow sensors. The pressure sensor is designed to measure differential pressure into a range of ± 5 psi (± 351.5 cmH₂O), with a 12-bit resolution, and accuracy of 0.25%. The flow sensor presents a flow range of ± 200 L/min, typical accuracy of 1.5%, sample rate up to 2kHz, with a resolution of 14-bits, and enables volume to be calculated in real time, which permits the maneuvers at FRC. Both sensors communicate with the microcontroller at a 200Hz sample rate, and are already pre-calibrated from the manufacturer (recalibrated once to confirm it). After that, the sensors are self-corrected according to the ambient temperature (27). P_Imax and P_Emax, which are calculated by the area of one second around the peak pressure value, as well as P_Ipeak and P_Epeak, which are the highest pressure achieved, were analyzed through the graphic interface from the dedicate software program (Manovac-FRC software program). The instrument is portable and it communicates with the software via Bluetooth. The interface used was a flanged silicone mouthpiece, and a 2mm air leak orifice was present in the instrument (1).

Complementary Measures

Body weight and height were assessed with a calibrated scale with stadiometer (Filizola ind. Ltda, Brazil). Pulmonary function test was obtained using a calibrated spirometer (Koko®, PFT type, nSpireHealth INC., CO, USA) according to standardized recommendations (33), and data were compared with those predicted for the Brazilian population (31).

The GOLD classification of airflow limitation severity was used to characterize the individuals with COPD as follows: mild (forced expiratory volume in first second - FEV₁ \geq 80% predicted), moderate (50% \leq FEV₁ < 80% predicted),

severe ($30\% \leq FEV_1 < 50\%$ predicted), and very severe ($FEV_1 < 30\%$ predicted) (29). The NYHA functional classification is based on severity of symptoms and physical activity, and it was used to classify the individuals with CHF as: Class I (no limitation of physical activity), class II (slight limitation of physical activity), or class III (marked limitation of physical activity) (30).

Procedures

Participants attended for one data collection session, performed by one trained evaluator. First, they underwent the initial evaluation to obtain clinical, demographic, and anthropometric data, including previous physical activity in the last 48 hours, and vital signs. The individuals then performed spirometry, and completed the MRP tests at FRC, RV, and TLC in a randomized order (<https://random-number-generator.com/pt/>). Initially, the tests at FRC were obtained with the individuals remaining in a sitting position with their trunk and lower limbs supported, and head in a neutral position. A nose clip was used. They were instructed to breathe several times following a pattern similar to a sigh: inhaling just above the tidal volume, and exhaling as if relaxing the chest (27, 34, 35). After performing the required number of respiratory cycles, a yellow light indicated that a breathing pattern was identified, and the FRC range (figure 1) - in which the effort should be performed - was identified. In the next respiratory cycle, a green light alerted the evaluator to request a maximal inspiration or expiration according to the test, while occluding the occlusion orifice. The evaluator also needed to press the cheeks of the individuals in the case of expiratory effort (1). Individuals performed at least five maneuvers with a 1-minute interval between them. At least three of these five efforts should follow the

acceptability criteria: without air leakage, pressure maintained for at least 1.5 seconds, and volume of the maneuver within limits of FRC, and they were reproducible if the variation were $< 10\%$ (1). The last maneuver could not be the greatest, which would suggest a learning effect (36). The highest values of P_Imax, P_Ipeak, P_Emax, P_Epeak were selected.

Next, the individuals performed P_Imax at RV and P_Emax at TLC after resting for 10 minutes, and vital signs - peripheral oxygen saturation, blood pressure, and heart rate, have returned to baseline. These tests were obtained according to the ERS recommendations (1), in which maximal inspiratory effort was performed from RV, and maximal expiratory effort from TLC. Vital signs and perceived exertion to breath according to the modified 0-10 Borg dyspnea Scale (37) were evaluated before and immediately after each test.

Data Analyses

The Shapiro-Wilk test was used to evaluate data distribution, which were presented as measures of central tendency (mean or median), and dispersion (standard deviation or interquartile range). Mixed factorial analysis of covariance (ANCOVA) with repeated measures was used to compare measurements obtained at different lung volumes within and among groups. "FRC and RV" (from the P_Imax and P_Ipeak measures) and "FRC and TLC" (from the P_Emax and P_Epeak measures) were considered intragroup factors and the "health conditions" as intergroup factors. The variable "age" was included in the model as a covariate, as it differed significantly among "health conditions", and because it is closely related to the measures of P_Imax and P_Emax. The Bonferroni test was used as a post hoc analysis. The level of significance was set at 5%. Data

analysis was performed with the Statistical Package for the Social Sciences, version 23 (SPSS Inc, Chicago, USA).

RESULTS

Ninety-four individuals were recruited and 75 were included in the final analyses. The flowchart of participants is presented in Figure 2. Table 1 presents demographic, anthropometric, and clinical data of the individuals evaluated, divided by the five health conditions (post-COVID-19, COPD, IPF, CHF, and stroke).

Comparisons of MRP obtained at FRC and RV as well as FRC and TLC within and among groups

Table 2 shows the comparisons between P_Imax and P_Ipeak obtained at FRC and at RV in individuals with the different health conditions (comparisons within groups). For all groups, the mean P_Imax and P_Ipeak performed at FRC were lower than maneuvers obtained at RV. Table 3 shows the comparisons between P_Emax and P_Epeak obtained at FRC and at TLC (comparisons within groups). For all groups, the mean P_Emax and P_Epeak performed at FRC were also lower than maneuvers obtained at TLC.

The mean differences between P_Imax and P_Ipeak obtained at FRC and RV, as well as P_Emax and P_Epeak obtained at FRC and TLC, presented in tables 2 and 3, respectively, were similar among the five groups of health conditions ($p \geq 0.227$ for all comparisons among groups).

Figure 3 shows, for each group, the mean of FRC volumes identified for the inspiratory and expiratory maneuvers, and the actual lung volume in which

the maneuvers were obtained. All maneuvers were obtained within the required FRC limits.

DISCUSSION

As far as we know, this was the first study to compare MRP obtained at FRC and at RV and TLC in individuals with different health conditions. P_Imax and P_Ipeak obtained at FRC were lower than measures obtained at RV, as well as P_Imax and P_Epeak, which were lower when obtained at FRC compared to TLC. The mean differences between the measurements at FRC and at RV and TLC were similar among the five groups.

The most common method used to evaluate the force production of the respiratory muscles is the measurement of MRP against an occluded mouthpiece. This method can be useful in the assistance of diagnosis and prognosis of some diseases that are followed by a suspicious of respiratory muscle weakness, mainly in the presence of exercise intolerance and dyspnea, such as COPD (7-11). Individuals post-COVID-19 may also benefit from the evaluation of respiratory muscle strength, primarily in those who required hospitalization (12). In addition, MRP are commonly used in the setting and evaluation of interventions, mainly during inspiratory muscle training (2-5).

The protocol used for these measurements usually includes the maximal inspiratory effort obtained at RV, and maximal expiratory effort obtained at TLC (1). However, an urge for comparing MRP obtained at different lung volumes in individuals with health conditions emerged after reviewing several studies claiming that lung volume would influence the results of MRP. Pioneer studies report that P_Imax decreases as lung volume increases, and P_Emax decreases

as lung volume decreases (14-16, 21, 28, 39, 40) raising explanations for this phenomenon, such as the changes in length/tension relationship of the respiratory muscles, and changes in the of radius of curvature of these muscles in the different lung volumes of healthy individuals, as well as the additional passive elastic recoil pressure of the respiratory system present when the measures are obtained at minimal volumes for $P_{I\max}$, and maximal volumes or $P_{E\max}$. Measurements performed in individuals with health conditions associated with alterations of the lungs recoil (e.g.: COPD and IPF) could be more influenced by this factor.

For these reasons, we believed relevant changes would be observed when performing MRP at different lung volumes in individuals with different lung conditions. However, our hypothesis was not confirmed since we observed similar mean differences between $P_{I\max}$ and $P_{I\text{peak}}$ obtained at FRC and RV among the groups of individuals with different health conditions. The difference was around 8 to 13 cmH₂O for $P_{I\max}$, and 7 to 14 cmH₂O for $P_{I\text{peak}}$, which is relatively small in clinical practice (41). This difference is comparable with some results reported by other investigators with healthy individuals, ranging between 3 and 12 cmH₂O (17, 21, 28, 39, 40, 42). Langer et al. (25) measured $P_{I\max}$ at FRC and at RV in individuals with COPD and reported an increase of ~16 cmH₂O when the test was obtained at RV. Windish et al. (21) suggested that $P_{I\max}$ obtained at FRC and RV were comparable using regression parameters and between-subject variability.

Clanton and Diaz (43) considered that when it is expected that $P_{I\max}$ is small, such as in critically ill patients, it would be useful to take these measurements near FRC, where the influence of viscoelastic properties of the

respiratory system would make a lower contribution to the final results, since the amount of stored energy would be lower. The same authors suggested that these measurements would be useful with individuals without enough breath to adequately expire for the seconds required to achieved RV to perform P_Imax. Therefore, we believe that disregard the lung volume in which P_Imax is performed, the measurement should be performed according to the instrument available and, in some cases, it would be preferable at CRF volume. We highlight that the individuals assessed in the present study may experience increased respiratory muscle effort, associated with high ventilatory demand relative to inspiratory muscle capacity, and present dyspnea as a common symptom despite the different pathophysiology mechanisms for those with COPD (7), CHF (10), stroke (44), IPF (9), and post-COVID-19. For individuals post-COVID-19, we believe they may present similar mechanisms compared to the individuals with IPF due to the clinical similarities, such as diffusing capacity of the lungs for carbon monoxide impairment, and signs of fibrosis (45). Therefore, raising a suspicious of inspiratory muscle weakness during the evaluation of these individuals is reiterated.

Expiratory pressures reflect the ability to cough and expectorate, which may be important for individuals with chronic respiratory diseases and neuromuscular diseases (46). The results of this study showed that measurements obtained at FRC were importantly lower than measurements obtained at TLC for P_Emax and P_Epeak. Similar mean differences between P_Emax and P_Epeak obtained at FRC and at TLC were observed among the groups of individuals with different health conditions. The difference was around 52 to 63 cmH₂O for P_Emax, and 48 to 54 cmH₂O for P_Epeak. Studies have

compared these measurements, and observed a wide range of differences, from 22 to 72 cmH₂O (17, 28, 39, 40). The main reason for this difference may be the loss of force when the expiratory muscles shorten, through the force-length relationship. The Laplace equation may be also appropriate in this explanation. This equation defines that certain pressure in an enclosed system is proportional to wall tension and wall thickness and inversely proportional to the curvature radius. Therefore, when the abdominals get flatter at smaller volumes, *i.e.*: from TLC to FRC, the curvature radius increases and smaller pressures are developed (17). We believe that in many situations, PEmax may be lower due to these reasons, not necessarily because the abdominals are weak. Clinically, the main reason for measuring PEmax is to evaluate cough function in individuals with greater loss of muscle function, *e.g.*: neuromuscular disease, and specific measures, such as the cough peak flow (47) could be used for this purpose avoiding the misreading results. In addition, we highlight that the inability to inflate the lungs may be the main cause of reduced cough function in these individuals, which could lead to specific strategies to increase lung volume (48) instead of improving expiratory muscle function.

For these reasons, the results of this study may be more clinically relevant when the evaluation of PImax is applicable, since there are specific strategies - with specific instruments - for enhancing inspiratory pressure, and the use of inspiratory muscle training is increasing with individuals with different health conditions, which is not correspondent to the training of expiratory muscles. In addition, PImax measurements should be considered more clinically relevant due to the largest role of the inspiratory muscles for increased ventilatory demands.

One limitation of this study is that sample size calculation was not performed a priori, and the number was arbitrarily chosen to enable the data collection with five different health conditions. However, the data was normally distributed, and we were able to perform a strong statistical test, with well-defined p-values (with no even tendency to achieve differences among conditions).

Future studies to investigate MRP obtained at different lung volumes in critical ill individuals, and with neuromuscular conditions may be relevant. Comparisons between these results and measurements obtained with age-matched healthy individuals could contribute in the investigation of reasons for differences between MRP obtained at different lung volumes.

CONCLUSION

Inspiratory and expiratory pressures obtained at FRC were lower than measures obtained at RV and TLC, respectively, with more relevant differences observed for the expiratory ones. The mean differences between the measurements at FRC and at RV and TLC were similar among individuals with different health conditions.

GRANTS

This work was partly financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – Brazil), Finance Code 001; the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Grant ----- and ----- . The sources of financial support had no role in the design, implementation, or reporting of this study.

DISCLOSURES

No conflicts of interest, financial or otherwise, are declared by the authors.

REFERENCES

1. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, Dubé P, Fauroux B, Gea J, Guenette J, Hudson A, Kabitx H, Laghi F, Langer D, Luo Y, Neder A, O'Donnell D, Polkey M, Rabinovich R, Rossi A, F Seires, Similowski T, Spengler C, Vogiatzis I, Verges S. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J* 53: 1801214, 2019. doi:10.1183/13993003.01214-2018.
2. Menezes KK, Nascimento LR, Avelino PR, Alvarenga MTM, Teixeira-Salmela LF. Efficacy of Interventions to Improve Respiratory Function After Stroke. *Respir Care*. 63: 920-33, 2018. doi:10.4187/respcare.06000.
3. Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reychler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*. 12: 2178-88, 2018. doi:10.1111/crj.12905.
4. Wu J, Kuang L, Fu L. Effects of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. *Congenit Heart Dis* 13: 194-202, 2018. doi:10.1111/chd.12586.
5. Hoffman M, Augusto VM, Eduardo DS, Silveira BMF, Lemos MD, Parreira VF. Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. *Physiother Theory Pract* 1-11, 2019. doi:10.1080/09593985.2019.1656314.
6. Ratnovsky A, Elad D, Izbicki G, Kramer MR. Mechanics of respiratory muscles in single-lung transplant recipients. *Respiration* 73: 642-50, 2006. doi:10.1159/000092671.
7. Ottenheijm CA, Heunks LM, Dekhuijzen PN. Diaphragm muscle fiber dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: toward a pathophysiological concept. *Am J Respir Crit Care Med*. 175: 1233-40, 2007. doi:10.1164/rccm.200701-020PP.
8. ATS Committee on Dyspnea. An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med* 185: 435-52, 2012. doi:10.1164/rccm.201111-2042ST.
9. Waltersbacher S, Schlager D, Walker DJ, Müller-Quernheim J, Windisch W, Kabitz HJ. Respiratory muscle function in interstitial lung disease. *Eur Respir J* 42: 211-9, 2013. doi:10.1183/09031936.00109512.

10. Ribeiro JP, Chiappa GR, Neder JA, Frankenstein L. Respiratory muscle function and exercise intolerance in heart failure. *Curr Heart Fail Rep* 6: 95-101, 2009. doi:10.1007/s11897-009-0015-7.
11. Pollock RD, Rafferty GF, Moxham J, Kalra L. Respiratory muscle strength and training in stroke and neurology: a systematic review. *Int J Stroke* 8: 124-30, 2013. doi:10.1111/j.1747-4949.2012.00811.x.
12. Torres-Castro R, Vasconcello-Castillo L, Alsina-Restoy X, Solis-Navarro L, Burgos F, Puppo H, Vilaró J. Respiratory function in patients post-infection by COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Pulmonology* 27:328-37, 2021. doi:10.1016/j.pulmoe.2020.10.013.
13. Man WD, Kyroussis D, Fleming TA, Chetta A, Harraf F, Mustfa N, Raffert G, Polkey M, Moxham J. Cough gastric pressure and maximum expiratory mouth pressure in humans. *Am J Respir Crit Care Med* 168: 714-717, 2003. doi:10.1164/rccm.200303-334BC.
14. Rohrer F. Der Zusammenhang der Atemkräfte und ihre Abhängigkeit vom Dehnungszustand der Atmungsorgane. *Pflüger's Arch* 165: 419-44, 1919. doi:10.1007/BF01681079.
15. Rahn H, Otis AB, Chadwick LE, Fenn WO. The pressure-volume diagram of the thorax and lung. *Am J Physiol* 146: 161-178, 1946. doi:10.1152/ajplegacy.1946.146.2.161.
16. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med* 166: 518-624, 2002. doi:10.1164/rccm.166.4.518.
17. Lausted CG, Johnson AT, Scott WH, Johnson MM, Coyne KM, Coursey DC. Maximum static inspiratory and expiratory pressures with different lung volumes. *Biomed Eng Online* 5: 29, 2006. doi:10.1186/1475-925X-5-29.
18. Paiva M, Verbanck S, Estenne M, Poncelet B, Segebarth C, Macklem PT. Mechanical implications of in vivo human diaphragm shape. *J appl physiol* 72: 1407-1412, 1992. doi:10.1152/jappl.1992.72.4.1407.
19. Caruso P, Albuquerque ALPd, Santana PV, Cardenas LZ, Ferreira JG, Prina E, Trevizan PF, Pereira MC, Iamonti V, Pletsch R, Macchione MC, Carvalho CRC. Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. *J Bras Pneumol* 41: 110-123, 2015. doi:10.1590/S1806-37132015000004474.
20. Hart N, Sylvester K, Ward S, Cramer D, Moxham J, Polkey MI. Evaluation of an inspiratory muscle trainer in healthy humans. *Respir Med* 95: 526-531. 2001. doi:10.1053/rmed.2001.1069.
21. Windisch W, Hennings E, Sorichter S, Hamm H, Criée CP. Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: which is best? *Eur Respir J* 23: 708-713, 2004. doi:10.1183/09031936.04.00136104.
22. Jardim JR, Camelier A, Dal Corso S, Rodrigues JE. Strength and endurance of the respiratory and handgrip muscles after the use of flunisolide in

- normal subjects. *Respir Med* 101: 1594-1599, 2007. doi:10.1016/j.rmed.2006.10.017.
23. Tager T, Schell M, Cebola R, Frohlich H, Dosch A, Franke J, Katus H, Wians F, Frankenstein, L. Biological variation, reference change value (RCV) and minimal important difference (MID) of inspiratory muscle strength (P_Imax) in patients with stable chronic heart failure. *Clin Res Cardiol* 104: 822-830, 2015. doi:10.1007/s00392-015-0850-3.
24. Manders E, Bonta PI, Kloek JJ, Symersky P, Bogaard HJ, Hooijman PE, Jasper JR, Fady IM, Stienen JM, Vonk-Noordegraaf A, Man FS, Ottenheijm AC. Reduced force of diaphragm muscle fibers in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 311: L20-8, 2016. doi:10.1152/ajplung.00113.2016.
25. Langer D, Ciavaglia C, Faisal A, Webb KA, Neder JA, Gosselink R, Dacha S, Topalovic M, Ivanova A, O'Donnell D. Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD *J Appl Physiol* 125: 381-392, 2018. doi:10.1152/jappphysiol.01078.2017.
26. El-Deen HAB, Alanazi FS, Ahmed KT. Effects of inspiratory muscle training on pulmonary functions and muscle strength in sedentary hemodialysis patients. *J Phys Ther Sci* 30: 424-427, 2018. doi:10.1589/jpts.30.424.
27. Pereira MCB, Silveira BMF, Pereira HLA, Parreira VF, Martins HR. TrueForce: a new digital manometer to measure maximal respiratory pressures at functional residual capacity. *Res Biomed* 37: 181-91, 2021. doi:10.1007/s42600-021-00139-2.
28. Silveira BMF, Pereira MCB, Cardoso DR, Ribeiro-Samora GA, Martins HR, Parreira VF. New method for evaluating maximal respiratory pressures: Concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability. *Braz J Phys Ther* 2021. doi: 10.1016/j.bjpt.2021.04.012.
29. Agusti A, Beasley R, Celli B, R. Global strategy for prevention, diagnosis and management of COPD 2021. Accessed 10 Oct 2021, <https://goldcopd.org/2021-gold-reports/>.
30. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: Developed by the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) With the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *European Heart Journal*. 2021. doi: 10.1093/eurheartj/ehab670.
31. Pereira CAC, Sato T, Rodrigues SC. New reference values for forced spirometry in white adults in Brazil. *J bras pneumol* 33: 397-406, 2007. doi:10.1590/s1806-37132007000400008.
32. World Health Organization/Europe. Body mass index- BMI. Accessed 5 Aug 2021, <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>.

33. ATS Committee on Proficiency Standards for Pulmonary Function Laboratories. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 196: 1463-72, 2017. doi:10.1164/rccm.201710-1981ST.
34. Agostoni E, Hyatt E. *Handbook of physiology*: Am. Physiol. Soc; 1964.
35. Salazar E, Knowles JH. An analysis of pressure-volume characteristics of the lungs. *J Appl Physiol* 19: 97-104, 1964. doi: 10.1152/jappl.1964.19.1.97.
36. Pessoa IMS, Coelho CM, Mendes LPS, Montemezzo D, Pereira DAG, Parreira VF. Comparison of three protocols for measuring the maximal respiratory pressures. *Fisioter. Mov* 28:31-39, 2015. doi:10.1590/0103-5150.028.001.AO03.
37. Burdon JG, Juniper EF, Killian KJ, Hargreave FE, Campbell EJ. The perception of breathlessness in asthma. *Am Rev Respir Dis* 126: 825-828, 1982. doi:10.1164/arrd.1982.126.5.825.
38. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med* 15: 155-63, 2016. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012.
39. Pessoa IM, Houry Neto M, Montemezzo D, Silva LA, Andrade AD, Parreira VF. Predictive equations for respiratory muscle strength according to international and Brazilian guidelines. *Braz J Phys Ther* 18: 410-8, 2014. doi:10.1590/bjpt-rbf.2014.0044.
40. Cook CD, Mead J, Orzalesi MM. Static volume-pressure characteristics of the respiratory system during maximal efforts. *J Appl Physiol* 19: 1016-1022, 1964. doi:10.1152/jappl.1964.19.5.1016.
41. Ringqvist T. The ventilatory capacity in healthy subjects. An analysis of causal factors with special reference to the respiratory forces. *Scand J Clin Lab Invest Suppl* 88: 5-179, 1966.
42. Iwakura M, Okura K, Kubota M, Sugawara K, Kawagoshi A, Takahashi H, Taknobu S. Estimation of minimal clinically important difference for quadriceps and inspiratory muscle strength in older outpatients with chronic obstructive pulmonary disease: a prospective cohort study. *Phys Ther Res* 24: 35-42, 2021. doi: 10.1298/ptr.E10049.
43. Coast JR, Weise SD. Lung volume changes and maximal inspiratory pressure. *J Cardiopulmonary Rehabil* 10: 461-464, 1990. doi:10.1097/00008483-199012000-00003.
44. Clanton TL, Diaz PT. Clinical assessment of the respiratory muscles. *Phys Ther* 75: 983-95, 1995. doi:10.1093/ptj/75.11.983.
45. Menezes KKP, Nascimento LR, Alvarenga MTM, Avelino PR, Teixeira-Salmela LF. Prevalence of dyspnea after stroke: a telephone-based survey. *Braz J Phys Ther* 23: 311-6, 2019. doi:10.1016/j.bjpt.2018.09.006.

46. Froidure A, Mahsouli A, Liistro G, De Greef J, Belkhir L, Gérard L, Bertrand A, Koenig S, Pothen L, Yildiz H, Mwenge B, Aboubakar F, Gohy S, Pilette C, Reyckler G, Coche E, Yombi J, Ghaye B, Sungg J. Integrative respiratory follow-up of severe COVID-19 reveals common functional and lung imaging sequelae. *Respir Med* 181: 106383, 2021. doi:10.1016/j.rmed.2021.106383.
47. Park KH, Kim RB, Yang J, Oh JH, Park SY, Kim DG, Shing J, Sungg J. Reference Range of Respiratory Muscle Strength and Its Clinical Application in Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Single-Center Study. *J Clin Neurol* 12: 361-7, 2016. doi:10.3988/jcn.2016.12.3.361.
48. Bach JR, Gonçalves MR, Páez S, Winck JC, Leitão S, Abreu P. Expiratory flow maneuvers in patients with neuromuscular diseases. *Am J Phys Med Rehabil* 85: 105-11, 2006. doi:10.1097/01.phm.0000197307.32537.40.
49. Kang SW, Bach JR. Maximum insufflation capacity. *Chest* 118: 61-5, 2000. doi:10.1378/chest.118.1.61.

Table 1. *Participants' demographic, anthropometric, and clinical data*

Characteristic	Individuals post-COVID-19 (n=15)	Individuals with COPD (n=15)	Individuals with IPF (n=15)	Individuals with CHF (n=15)	Individuals with stroke (n=15)
Sex	8 M / 7 F	7 M/ 8 F	6 M/ 9 F	8 M/ 7 F	9 M/ 6 F
Age (years)	55 ± 12	69 ± 8	59 ± 9	51 ± 9	57 ± 11
Body mass index (kg/m ²)	29.0 ± 4.9	25.3 ± 4.9	28.6 ± 3.5	26.4 ± 4.3	27.2 ± 2.9
FEV ₁ (L)	2.5 ± 0.5	1.3 ± 0.5	1.9 ± 0.7	3.3 ± 0.8	2.9 ± 0.6
FEV ₁ (% predicted)	81 ± 18	55 ± 24	72 ± 22	98 ± 17	89 ± 7
FVC (L)	3.2 ± 0.7	2.4 ± 0.8	2.4 ± 0.9	3.8 ± 0.9	3.4 ± 0.6
FVC (% predicted)	82 ± 20	75 ± 20	70 ± 20	97 ± 15	88 ± 8
FEV ₁ /FVC	80 ± 7	55 ± 15	83 ± 7	86 ± 7	84 ± 9
LVEF (%)	-	-	-	36.5 ± 7.7	-
NYHA class I, n (%)	-	-	-	1 (6)	-
NYHA class II, n (%)	-	-	-	10 (67)	-
NYHA class III, n (%)	-	-	-	4 (27)	-

Data shown as means ± SD except where otherwise indicated. M, Male; F, Female; COVID-19, Coronavirus disease 2019; COPD, Chronic obstructive pulmonary disease; IPF, Idiopathic pulmonary fibrosis; CHF, Chronic heart failure; FEV₁, Forced expiratory volume in first second; FVC, Forced vital capacity; FEV₁/FVC, Ratio of FEV₁ to FVC; LVEF, Left ventricular ejection fraction; NYHA, New York Heart Association classification

Table 2. Comparisons *Plmax* and *Plpeak* obtained at FRC and RV within groups of individuals with different health conditions

Health condition	<i>Plmax</i> _{FRC} (cmH ₂ O)	<i>Plmax</i> _{RV} (cmH ₂ O)	<i>Plmax</i> _{RV} <i>Plmax</i> _{FRC} (Mean dif.)	95%CI	p-value	<i>Plpeak</i> _{FRC} (cmH ₂ O)	<i>Plpeak</i> _{RV} (cmH ₂ O)	<i>Plpeak</i> _{RV} <i>Plpeak</i> _{FRC} (Mean dif.)	95%CI	p-value
COVID-19	68.0 ± 24.0	79.3 ± 24.9	11.3	5.8 - 16.8	<0.001	75.8 ± 26.4	86.3 ± 26.5	10.6	5.1 - 16.0	<0.001
COPD	63.3 ± 26.7	71.7 ± 27.7	8.4	2.3 -14.5	0.008	71.2 ± 29.3	78.4 ± 29.5	7.2	1.1 - 13.3	0.02
IPF	74.5 ± 23.5	85.7 ± 24.5	11.1	5.5 - 16.7	<0.001	83.3 ± 25.9	95.7 ± 26.1	12.4	6.9 - 18.0	<0.001
CHF	64.4 ± 24.6	77.2 ± 25.6	12.8	7.1 – 18.4	<0.001	73.4 ± 27.1	87.7 ± 27.2	14.4	8.6 - 20.0	<0.001
Stroke	57.6 ± 23.5	65.6 ± 24.5	8.0	2.6 -13.4	0.004	63.7 ± 25.9	73.6 ± 26.1	9.9	4.5 - 15.3	<0.001

Data shown as means ± SD. COVID-19, Coronavirus disease 2019; COPD, Chronic obstructive pulmonary disease; IPF, Idiopathic pulmonary fibrosis; CHF: Chronic heart failure. *Plmax*, maximal inspiratory pressure; FRC, functional residual capacity; RV, residual volume; Mean dif., mean difference; 95% CI, 95% confidence interval; *Plpeak*, peak inspiratory pressure.

Table 3. Comparisons between PEmax and PEpeak obtained at FRC and TLC within individuals with different health conditions

Health condition	PEmax _{FRC} (cmH ₂ O)	PEmax _{TLC} (cmH ₂ O)	PEmax _{TLC} - PEmax _{FRC} (Mean dif.)	95% CI	p-value	PEpeak _{FRC} (cmH ₂ O)	PEpeak _{TLC} (cmH ₂ O)	PEpeak _{TLC} - PEpeak _{FRC} (Mean dif.)	95% CI	p-value
COVID-19	39.9 ± 21.1	91.8 ± 35.9	51.9	37.4 - 55.5	<0.001	55.7 ± 28.9	104.2 ± 38.2	48.6	33.7 - 63.5	<0.001
COPD	40.5 ± 24.2	101.4 ± 41.2	60.9	44.2 - 77.7	<0.001	66.9 ± 33.2	117.2 ± 43.8	50.3	33.2 - 67.4	<0.001
IPF	45.9 ± 20.8	108.8 ± 35.3	62.9	48.1 - 77.8	<0.001	66.92 ± 28.4	121.3 ± 37.5	54.4	39.2 - 69.5	<0.001
CHF	51.0 ± 21.6	109.8 ± 36.8	58.8	43.9 - 73.8	<0.001	72.5 ± 29.7	120.6 ± 39.1	48.1	32.8 - 63.4	<0.001
Stroke	28.2 ± 20.8	85.5 ± 35.2	57.2	42.9 - 71.6	<0.001	43.2 ± 28.4	96.7 ± 37.5	53.5	38.8 - 68.1	<0.001

Data shown as means ± SD. COVID-19, Coronavirus disease 2019; COPD, Chronic obstructive pulmonary disease; IPF, Idiopathic pulmonary fibrosis; CHF: Chronic heart failure; PEmax, maximal expiratory pressure; FRC, functional residual capacity; TLC, total lung capacity; mean dif., mean difference; 95% CI, 95% confidence interval; PEpeak, peak expiratory pressure.

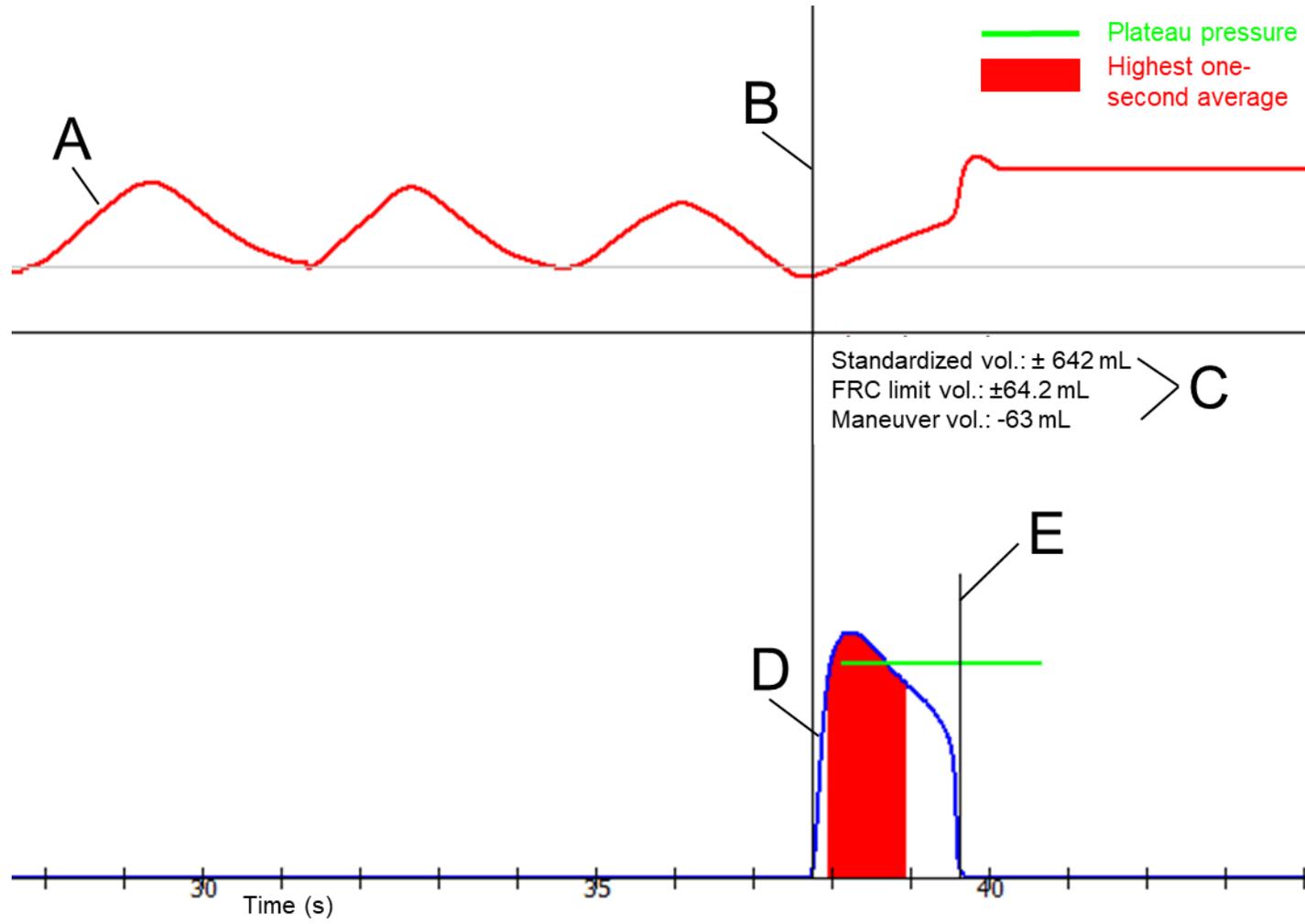


FIGURE 1

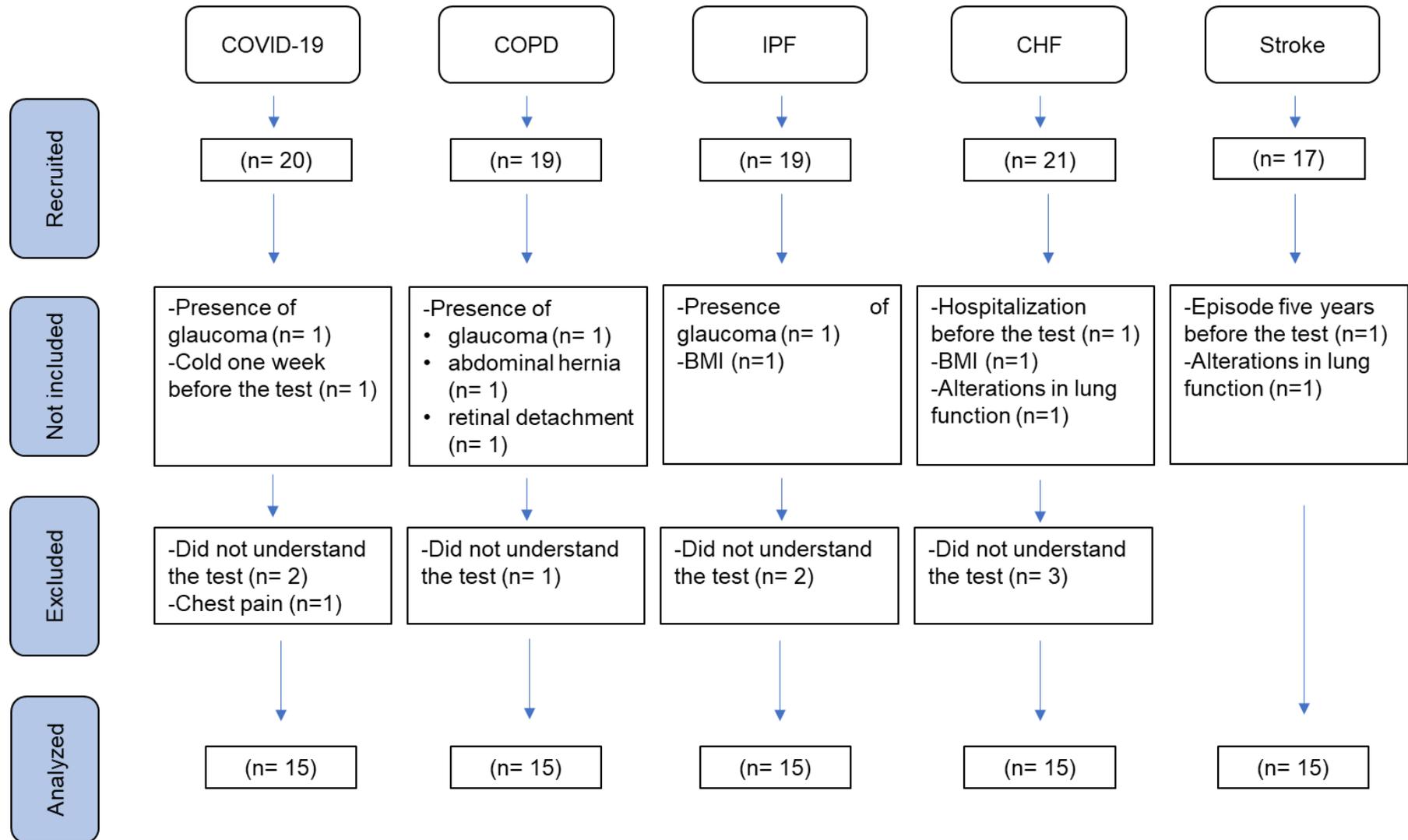


FIGURE 2

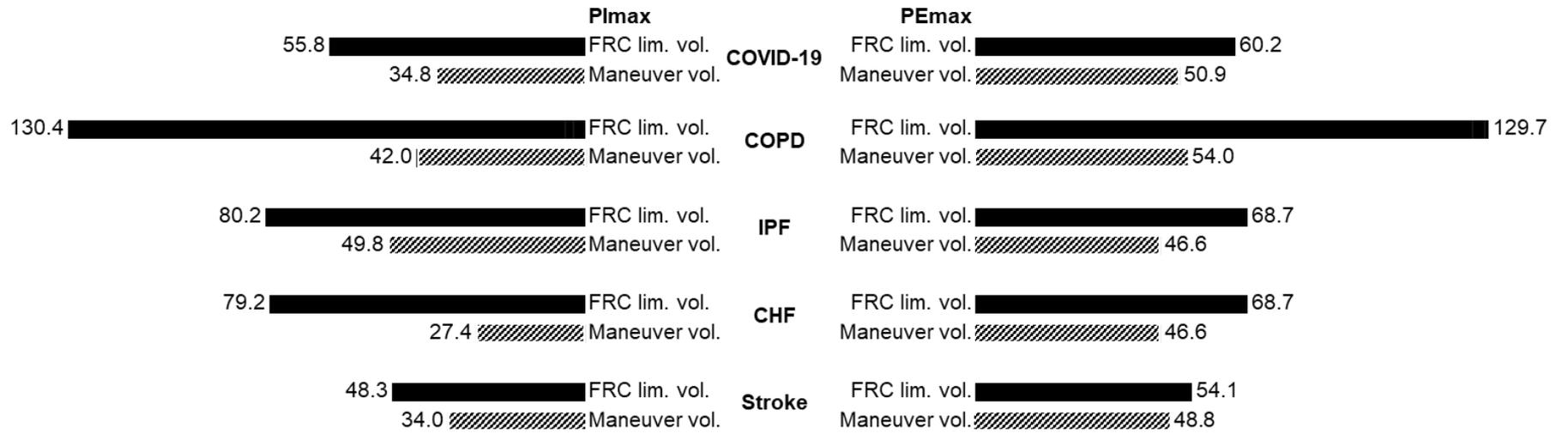


FIGURE 3

Figure Captions

Figure 1. Example of identification of functional residual capacity limit volume using the Manovac-FRC interface. A, volume curve; B, vertical marker of maneuver start; C, volume results; D, pressure curve; E, vertical marker of maneuver end.

Figure 2. Flowchart of participants through the study

Figure 3. Mean volume identified as functional residual capacity limit volume and actual volume of the maneuver. P_Imax, maximal inspiratory pressure; P_Emax, maximal expiratory pressure; FRC, functional residual capacity; lim. vol., limit volume; COVID-19, post-coronavirus disease 2019; COPD, chronic obstructive pulmonary disease; IPF, idiopathic pulmonary fibrosis; CHF, chronic heart failure.

5.3 Artigo 4

Aspects of maximal respiratory pressures measurement: A survey with physiotherapists of cardiorespiratory and intensive care fields in Brazil

Este artigo será encaminhado ao periódico *Physiotherapy*

ABSTRACT

Introduction: Maximal respiratory pressure (MRP) measurements are widely used to assess respiratory muscle strength. Standardized recommendations have been established on the performance of the test; however, many aspects of the measurements vary among professionals. **Objective:** To investigate the clinical use of MRP by physiotherapists with experience in the cardiorespiratory and intensive care fields, explore the technical aspects of the tests reported by them, and document their knowledge about the indications and contraindications to this method. **Methods:** An online, cross-sectional, survey was developed for physiotherapists in the cardiorespiratory and intensive care fields in Brazil, and sent via electronic mail. **Results:** Of the 179 responses obtained, 168 were included in the analyses. Most physiotherapists reported that currently use (109/168, 65%), or already used MRP measurements (44/59, 75%), while some of them reported never using the test due to the lack of the equipment in their service (35/59, 59%). The majority reported using the aneroid manometer (70/109, 64%), choosing the reference values proposed by Neder *et al.* (35/109, 32%), recording peak (34/109, 31%) and sustained pressures (34/109, 31%), and performing the measurements at residual volume for inspiratory pressure (59/109, 54%), and at total lung capacity for expiratory pressure (34/109, 31%). Most physiotherapists were not aware of all indications and contraindications for MRP measurement. **Conclusions:** The use of MRP is not standardized among physiotherapists with experience in the cardiorespiratory and intensive care fields. The majority of the physiotherapists interviewed do not fully understand when the measures are indicated or contraindicated.

Contribution of the paper:

- This study adds information on the technical aspects of the use of MRP by physiotherapists with experience in the cardiorespiratory and intensive care fields.
- The questionnaire identifies that most of the physiotherapists do not fully understand the indications and contraindications of the measures.
- This study contributed in the identification of a real need to update the professionals and sectors that provide this test.

Keywords: Health care surveys; physical therapy; respiratory muscles; surveys and questionnaires.

INTRODUCTION

The measurement of maximal respiratory pressure (MRP) is used to evaluate respiratory muscle strength, since they are defined as the pressures an individual is able to generate at the mouth against an occluded airway. It is a simple, fast and non-invasive method used to measure the maximal inspiratory pressure (MIP), and maximal expiratory pressure (MEP) [1]. The clinical applications for MRP are extensive, such as the monitoring of respiratory muscle weakness, in the setting of respiratory muscle training, among others [2-7]. In addition to its use in research settings [1, 8].

The procedures used for this assessment are widely described in the literature, with several studies describing different methods. The European Respiratory Society (ERS) published, in 2019, standardized recommendations regarding the measurements [1], however, some aspects of the measurement still vary in clinical practice, such as the instrument used, lung volume to start the maneuvers, variable chosen to define the pressure (*i.e.*, peak or plateau), reference values, and indications and contraindications for the measurements.

The instrument used to perform MRP may interfere in the analysis of the results. Digital manometers have some advantages over aneroid ones, such as allowing communication with a software, the graphic visualization of the pressure versus time curve in real time, which permits the assessment of the respiratory pressures throughout the maximal effort maneuver, in addition to a considerably longer operational range [9].

The lung volume that MRP measurements are obtained also influences the outcome of this assessment. MIP tests are frequently measured at residual volume (RV) and MEP tests at total lung capacity (TLC). Measures obtained at functional

residual capacity (FRC) are described in the literature [1, 10]. At this lung volume, the elastic recoil pressure is close to zero, therefore, measurements of pressures at the mouth are equivalent to the respiratory muscle pressure, minimizing the influence of the elastic recoil of the respiratory system [9].

Some differences were observed in the literature about the criteria for indicating or contraindicating the performance of MRP. Studies have described several applications for performing MRP measurements [1, 8, 11]. Regarding the contraindications of the measurements, the ERS statement [1] reports that recent surgery (thoracic, abdominal, brain, ear, nose and throat), pneumothorax, acute myocardial infarction, ascending aortic aneurysm, hemoptysis, pulmonary embolism, acute diarrhea/stress incontinence, severe hypertension (systolic > 200 mmHg and diastolic > 120mmHg), dementia, patient discomfort and risk of infection are conditions in which MRP measurement should be avoided. However, there are no reports on the motivations of practitioners in choosing to perform or not to perform these measurements, and in which patients they consider the measurements relevant. In addition, there is a diversity of predictive equations and reference values described for MRP [1, 8]. Pessoa *et al.* [12] suggest that these values should be chosen from a study that included a sample that represents the demographic characteristics of the individual tested, and followed the methodology proposed by international guidelines.

In this context, the aims of this study were to investigate the clinical use of MRP by physiotherapists with experience in the cardiorespiratory and intensive care fields, such as the use or not use, and reasons not to use; to explore the technical aspects of the tests reported by them, such as measurement instrument, procedure protocols, degree of difficulty in operationalizing the tests, the reference values and predictive

equations used; and document their knowledge on indications and contraindications for the use of MRP.

METHODS

Study design

This was a cross-sectional study using an electronic survey, approved by the Institution Ethics Committee of the (-----).

Participants

The study included physiotherapists working in Brazil associated to -----, an association of physiotherapists working in cardiorespiratory and/ or intensive care fields, or who had experience working in these Physiotherapy fields, at any age, sex, time from graduation and professional career, and working at any level of health care services, such as basic health unit, home-based, specialized clinic, outpatient clinic, or hospital.

The participant would be excluded if he/she was not able to understand the questionnaire, did not work in the fields mentioned above (considering that ----- also includes professionals working with individuals with vascular diseases), did not finish the undergraduate course, and if he/she did not work in Brazil. All participants should fill the electronic informed consent at survey initiation.

The sample size was based on the percentage of answers gathered on the study of Garvey *et al.* [12], in which the questionnaires were sent to the individuals associated to the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, and 12.5% of them were answered. Eight-hundred and three emails were sent; therefore, the sample size was 100 participants.

Data collection

An electronic survey of 29 questions divided in three sections was developed, with data collection completed between October 2020 and April 2021. The first section consisted of completing the informed consent. The second intended to gather demographic and professional information (age, sex, federative unit, year and institution of undergraduation, advanced certifications and professional degree, duration of clinical experience, working institution – if public or private, and Physiotherapy working field). The third section consisted of questions related to the use of MRP tests, and consisted of nine multiple choice questions, and two open questions (for the indications and contraindications). At the end, a space was reserved for comments. A pilot questionnaire was sent to three physiotherapists with experience in clinical and research settings for review, with minor changes performed after their suggestions.

Procedures

The questionnaire was constructed and distributed using Google Forms (<https://docs.google.com/>). Eight-hundred and three individuals registered in the association were invited through an email consisting of a brief presentation of the researchers, the aims of the study, the estimated time to fulfill the survey, the link to the electronic questionnaire, and contact information. The first invitation was sent on October 2020, and three months later the same email was resent to remind the participants. Data collection was closed one month after the cessation of responses.

Statistical analysis

The answers of each questionnaire were automatically sent to the authors and converted to Microsoft Office Excel spreadsheets. The measures of central tendency

and dispersion used were mean and standard deviation. The descriptive data were reported as absolute (n) and relative frequencies (%). The open questions answers - indications and contraindications for the use of MRP - were gathered according to the main response of the participant and described as absolute and relative frequencies.

RESULTS

Sample characteristics

Of all questionnaires distributed nationally to physiotherapists, 179/803 (22%) finished the survey. The answers of nine participants were excluded because they did not work in the cardiorespiratory and/or intensive care fields, one because he/she was an undergraduated student, and another because he/she did not work in the country. Therefore, 168 questionnaires were analyzed (168/179, 94%).

The mean age of the participants was 35.5 ± 9.7 (range 22 to 83 years) who were in their majority female (120/168, 71%). Regarding the year of undergraduation, the majority, 131/168 (78%), finished from 2001 to 2020. When asked about the undergraduation institution, 107/168 (64%) reported being from a private university while 61/168 (36%) reported being from a public university. Most of the participants concluded some graduation degree (163/168, 97%), and the majority had a master's or PhD degree (94/168, 56%). The largest group of respondents worked in the Southeast of Brazil 93/168 (55%). The characteristics of the participants related to their working experience are described in table 1. Most of them worked in the adults Intensive Care Unit for one to ten years. The majority worked in public institutions, and with adults.

Please insert table 1 here

Aspects of the use of maximal respiratory pressures

Figure 1 shows the answers related to the use MRP measurements. Most of the physiotherapists use MRP measurements during their clinical practice - Figure 1A. Of the physiotherapists who do not currently use the measures, some of them have already used MRP – Figure 1B, and stopped using them for some reasons – Figure 1C. Of the physiotherapists who never used the MRP measurements, most of them reported it was because the lack of equipment – Figure 1D.

Please insert figure 1 here

For the physiotherapists who used MRP measurements in their clinical practice (109/168, 65%), as detailed in Table 2, most of them reported to use an aneroid manometer to perform the tests; most preferred the reference values described by Neder *et al.* [14] for adults and doesn't know or remember it for children; they used in their majority the peak pressure or sustained pressure variables when reporting the MRP; and most physiotherapists perform measurements obtained at RV for inspiratory pressure and at TLC for expiratory pressure.

Please insert table 2 here

For the level of difficulty in operationalizing the MRP measures, they could answer as low, medium or high difficulty for different aspects of the test. In figure 2, as further the blue line is from the line 1, the higher is the difficulty reported in that aspect. The physiotherapists answered that they encounter the highest difficulty in giving the test instructions to the patient.

Please insert figure 2 here

Table 3 details the answers about the physiotherapists' knowledge about indications and contraindications. Most of them use the test for evaluating patients weaning from invasive mechanical ventilation, and for pulmonary rehabilitation assessment. For the contraindications, most participants answered that if the patient could not cooperate for the test, in the presence of pneumothorax, or acute myocardial infarction/ recent unstable angina, the MRP measurements were contraindicated.

Please insert table 3 here

DISCUSSION

The main results of this study were: most physiotherapists working in the cardiorespiratory and intensive care fields whom answered the questionnaire reported that currently use or already used MRP measurements. For those who never used MRP, the main reason was the lack of the equipment in their service. Most of them reported using the aneroid manometer, recording the variables peak and sustained pressure, and performing the measurements at RV for MIP and at TLC for MEP. Most physiotherapists were not aware of all indications and contraindications for MRP measurements.

The physiotherapists who participated in this study were mainly women, graduated from private institutions, and working in the intensive care field. Most of them reported to work in public institutions with adults in the southeast region of Brazil, which is in line with the territorial distribution of Physiotherapy professionals, according to Matsumura in 2018 [15].

The respiratory muscles play an essential role on the adequation of the ventilatory response to metabolic demands. Therefore, the assessment of the respiratory muscle strength has been extensively studied, which is becoming more common with the advance of new treatments, as the respiratory muscle training. The MRP measurement

is the most used method to assess the respiratory muscle strength, since it is an easy, fast, and non-invasive test [1]. This study showed that most physiotherapists interviewed use MRP measurements in their clinical practice. For those who reported that have already used the measurements, but currently do not use them, the most frequent reason to not perform the tests anymore is the lack of the instrument necessary, which is the same justification for those who claimed they never performed the test. We believe one of the explanations for the absence of the manometer is the cost of the instrument associated with the costs of the accessories required for the test. We highlight that the major cost with the tests is the initial acquisition of the instrument, which would be hopefully plenty used for the evaluation of respiratory muscles strength in different populations, supporting in the physiotherapists' process of decision-making.

According to the results obtained, most physiotherapists use the aneroid manometer, which may be explained by the difference of expenses between the aneroid and the digital manometers, and by the lack of digital equipment offers for purchase in Brazil. However, the aneroid instruments present disadvantages related to the digital ones. They are mechanical, which makes calibration difficult, limits the operating range, present less definition precision, and they are more prone to errors. On the other hand, the digital instrument offers an easier and more reliable reading of the values, normally enables the visualization of the pressure versus time curve during the test performance, and calculate more options of variables, such as maximal average pressure, peak pressure, and plateau pressure [9]. The results observed agree with Montemezzo *et al.* [16], showing that although the digital instruments present several advantages, they are little available in Brazil.

After performing the MRP test, the correct interpretation of these results is clinically important to identify the respiratory muscle weakness in each individual.

Pessoa *et al.* [12] reviewed the reference values for MIP available in 2014, and the ERS statement [1] updated this information in 2019. Almost half of the physiotherapists reported using the equations reported by Neder *et al.* [14] and Costa *et al.* [17], which included individuals from the state of São Paulo, in the southeast of Brazil, and used the aneroid manometer. Pessoa *et al.* [12] studied individuals from Belo Horizonte, also in the southeast region. The authors developed equations including more independent variables, and used a digital instrument, proposing equations with stronger methodological rigor. None of these studies included individuals from other regions of Brazil, except the southeast region, which may justify the use of these values by physiotherapists even in the other regions.

Most of the physiotherapists reported choosing the sustained pressure or the peak pressure values for the interpretation of the test. The values of MRP may considerably vary due to the variable registered. The sustained pressure, also named plateau pressure, present different definitions, but some authors define it as the highest value sustained for more than one second [18] or for a defined minimum duration [19]. The peak pressure may be defined as the highest value reached during the test [12]. According to Windisch *et al.* [18] peak and plateau pressures can be used in a comparable way. However, the one recommended by the ERS statement [1] is the plateau pressure calculated by specific software using the pressure-time curves, also called maximal average pressure for some authors [20]. We highlight that aneroid manometers only permit the record of peak pressure and sustained pressure without analyzing the curve pressure [16].

Most physiotherapists perform MRP obtained at RV for MIP and at TLC for MEP, while ~30% of them reported using measurements at FRC. The test obtained at this lung level minimizes the influence of the elastic recoil pressure of the respiratory system,

since this retraction pressure is close to zero when the lung volume is at FRC, which may represent the actual respiratory muscle strength. However, accurate measurements of MRP obtained at FRC are not common due to the difficulty to find an instrument capable of identifying the right moment to perform the efforts at FRC.

The participants answered that they encounter more difficulties in three aspects of the measurement: giving the test instructions to the patient, understanding the acceptability and reliability criteria of the test, and conducting the correct material cleaning. Even though there were no standardization of verbal commands found in the literature, there are standardized recommendations that can help when giving instructions for the tests. In 2002, Souza [11] recommended that the examiner should teach and demonstrate the procedures to the individual who will be tested, in addition to vigorous verbal commands during the performance of the tests, while the online supplement of the ERS statement [1] positions that the examiner should strongly urge subjects to make maximal inspiratory and expiratory efforts. Regarding the acceptability and reliability criteria of the tests, the ERS statement reports standardized recommendations [1].

The indications for performing MRP measurements are very described in the literature [1, 8, 11], with no definitive consensus on when to use them. Although the participants had answered that understanding the indications and contraindications for MRP is not one of the biggest issues for the test, only two indications for the use of MRP were widely cited by the participants: assessment for weaning from invasive mechanical ventilation, and assessment for pulmonary rehabilitation. We highlight that the indication of dyspnea without apparent cause is one of the most important indications for the tests [1], and it was only reported by six participants of the study. There are recently updated contraindications for MRP [1]. The most cited by the physiotherapists were individuals

who do not cooperate, pneumothorax, acute myocardial infarction or recent unstable angina. Some of the contraindications more recently recommended were not cited by the participants, which, in addition to the missing indications, suggest that many physiotherapists working in the cardiorespiratory and intensive care fields do not fully understand when MRP should be indicated or contraindicated. Therefore, improving their acknowledgment could contribute for enhancing the clinical applicability of the measurements.

A limitation of the study was that some questions of the questionnaire were not answered by the participants. This may have happened because the participant did not know the answer, or did not understand the question. The adherence of the professionals who received the questionnaire via e-mail was satisfactory, since 22% of them completed the survey. This achievement rate was higher than the sample size initially proposed according to the Garvey *et al.* [12], which, in addition to the variety of the professionals' demographic characteristics increases the external validity of the study.

CONCLUSION

This study showed that many physiotherapists working in the cardiorespiratory and intensive care fields use or already used MRP measurement, while some of them reported never using the test due to the lack of the equipment in their service. The technical aspects of the MRP method are not standardized among the physiotherapists. Their knowledge on when to indicate or contraindicate the test is also limited, which should be improved with specific strategies to prevent the incorrect use of the tests in the individuals evaluated. This study contributed in the identification of a real need to update the professionals and sectors that provide this test.

Ethical approval: This study was approved by the Institution Ethics Committee of the -
-----, (number: -----).

Funding: This work was partly financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior (CAPES – Brazil), Finance Code 001; the Conselho
Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Grant -----, and the
Fundação ----- (-----). The sources of financial support had no role in the design,
implementation, or reporting of this study.

Declarations of interest: None to declare.

Table 1. Characteristics of participants' working experience (n=168)

Characteristics	Number	%
Physiotherapy working field	(n=168)	
Intensive care	95	57
Cardiorespiratory	68	40
Intensive care and cardiorespiratory	5	3
Duration of practice in this field	(n=168)	
< 1 year	8	5
1-10 years	76	45
11-20 years	54	32
21-30 years	24	14
31-40 years	5	3
>40 years	1	1
Working place setting ^a	(n=168)	
Hospital (Intensive Care Unit)	104	62
Outpatient public service	17	10
Hospital (infirmary)	13	8
Home-based Physiotherapy	13	8
University professors	12	7
Private clinics	11	7
Hospital (emergencies)	1	1
Is the service that the physiotherapist work public or private? ^a	(n=168)	
Public	98	58
Private	70	42
Target patients seen by the physiotherapist ^a	(n=168)	
Adults	94	56
Elderly	57	34
Children and teenagers	23	14
Newborn	3	2

Data are expressed as n and percentage. ^a Absolute and relative frequencies add up to more than 100 as participants were able to answer with multiple responses.

Table 2. Technical aspects of MRP measurements (n=109)

Characteristics	Number	%
Where did the physiotherapists learn how to use MRP?	n= 109	
Undergraduation course	47	43
Graduation course	42	39
Studies with colleagues	10	9
Specific course	7	6
Individual studies	1	1
Physiotherapy residency	1	1
No answer	1	1
Instrument used to measure MRP	n= 109	
Aneroid Manometer	70	64
Digital Manometer	21	19
Aneroid and Digital Manometer	18	17
Predictive equations and reference values used ^a	n= 109	
Adults:		
Neder JA <i>et al.</i> 1999 [14]	35	32
Costa D <i>et al.</i> 2010 [17]	17	15
Pessoa IM <i>et al.</i> 2014 [8]	14	13
Sanchez FF <i>et al.</i> 2018 [21]	3	3
Simões RP <i>et al.</i> 2010 [22]	1	1
Children:		
Lanza FC <i>et al.</i> 2015 [23]	6	5
Heinzmann-Filho JP <i>et al.</i> 2012 [24]	2	2
Doesn't remember/ Doesn't know	28	26
MIP cutt-off point<-30 mmHg	2	2
Doesn't use reference values or predictive equations	1	1

Table 2. Continue

Variable chosen to interpret the test	n= 109	
Peak pressure	34	31
Sustained pressure	34	31
Maximal average pressure	27	25
Plateau pressure	10	9
No answer	3	3
S-index	1	1
Lung volume in which the MRP is obtained	n= 109	
Inspiratory pressure		
Residual volume	59	54
Functional residual capacity	33	20
No answer	17	16
Expiratory pressure		
Total lung capacity	34	31
Functional residual capacity	25	23
No answer	50	46

Data are expressed as n and percentage. MRP = maximal respiratory pressures.

^a Absolute and relative frequencies add up to more than 100 as participants were able to answer with multiple responses.

Table 3. Data related to the indications and contraindications for the use of MRP (n=109)

Indications and contraindications for MRP measurements ^a	N	%
Indications for MRP measurements	n=109	
Assessment for weaning from Invasive Mechanical Ventilation	55	50
Pulmonary rehabilitation assessment	49	45
Assessment of ventilatory muscle dysfunction in neuromuscular diseases	23	21
Preoperative assessment of thoracic, cardiac and abdominal surgeries	11	10
In the presence of dyspnea without apparent cause	6	6
Scientific research	4	4
Assessment of burn patients	1	1
No answer	3	3
Absolute contraindications for MRP measurements ^a	n=109	
Confused/ demented/ deterioration of physical or mental state that prevents patient cooperation	60	55
Pneumothorax	35	32
Acute myocardial infarction or recent unstable angina	31	28
Ascending aortic aneurysm	22	20
Pulmonary fistulas	18	17
Glaucoma or retinal detachment	18	17
Recent surgery or trauma (thoracic / abdominal / brain / ear, nose, throat)	10	9
Severe hypertension (systolic >200 mmHg, diastolic >120 mmHg)	8	7
Acute middle ear problems	2	2
Pulmonary embolism	1	1
Haemoptysis	1	1
Relative contraindications ^a	n=109	
Tracheostomy	16	15
Facial paralysis	16	15
Others	26	25
No answer	17	16

Data are expressed as n and percentage. MRP = maximal respiratory pressures.

^a Absolute and relative frequencies add up to more than 100 as participants were able to answer with multiple responses.

Figure captions

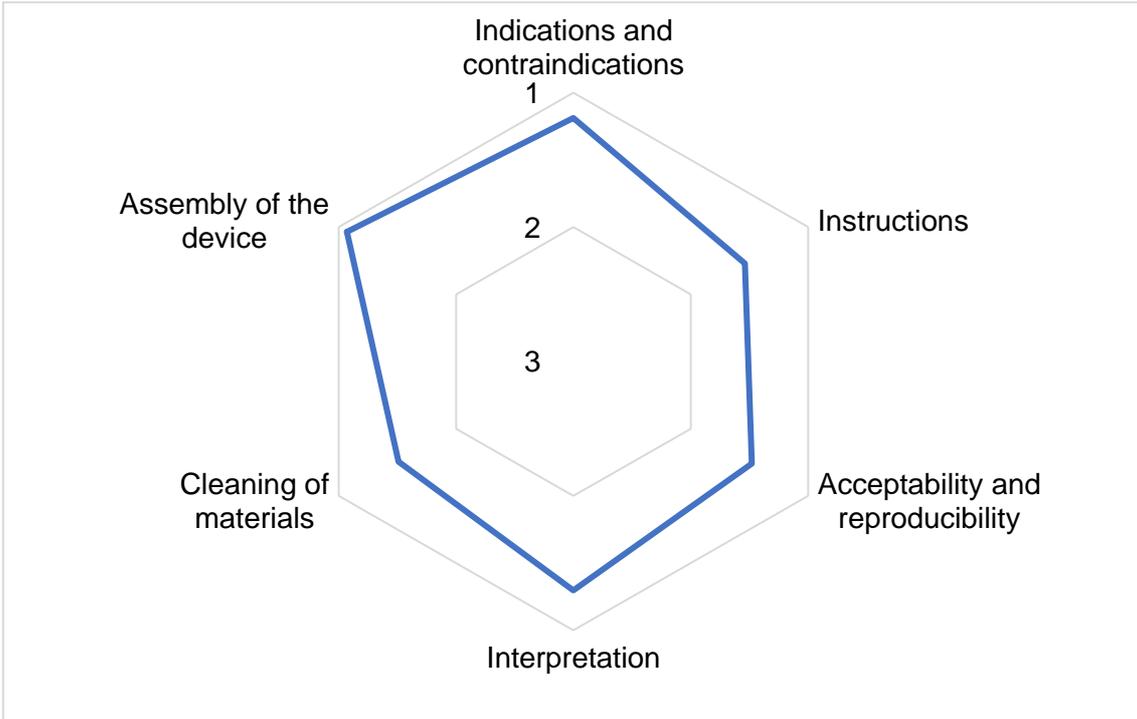
Fig. 1. Answers related to the use of MRP measurements. Figure 1A= Do you use MRP in your clinical practice? (n=168); figure 1B= If you currently do not use MRP, have you already used them? (n=59); figure 1C= Reasons you already used MRP measurements, but no longer use them (n=44); figure 1D= Reasons you do not use MRP measurements (n=59). MRP= maximal respiratory pressures.

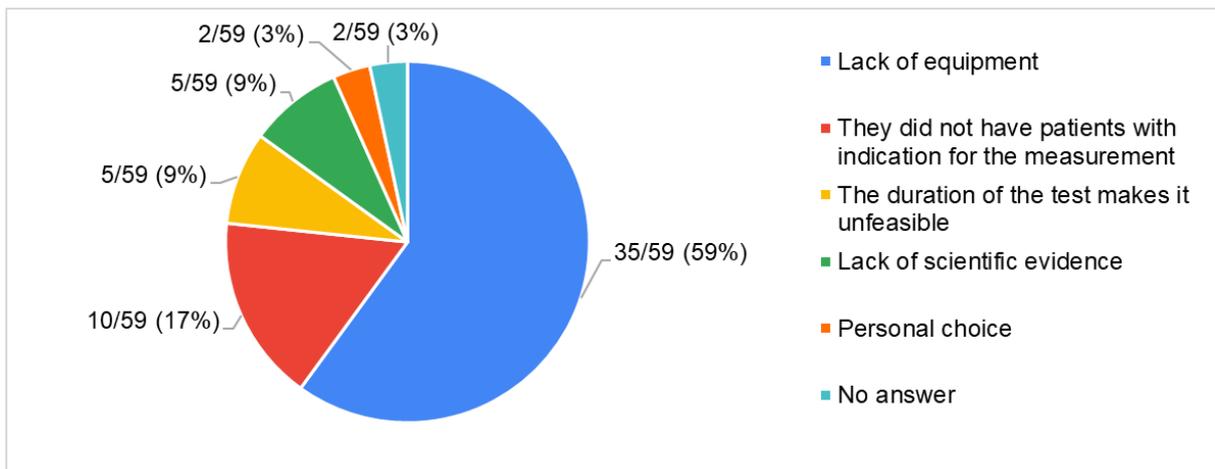
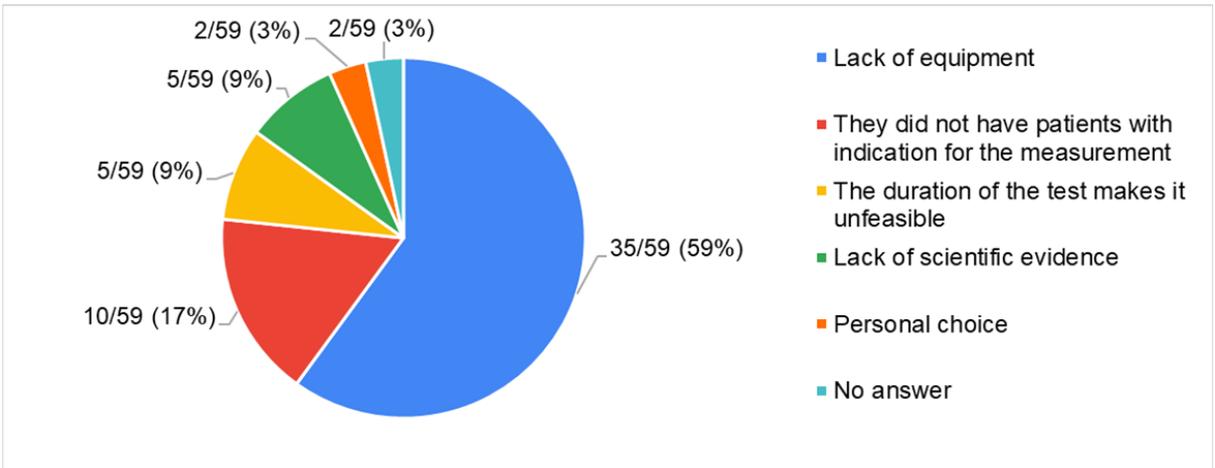
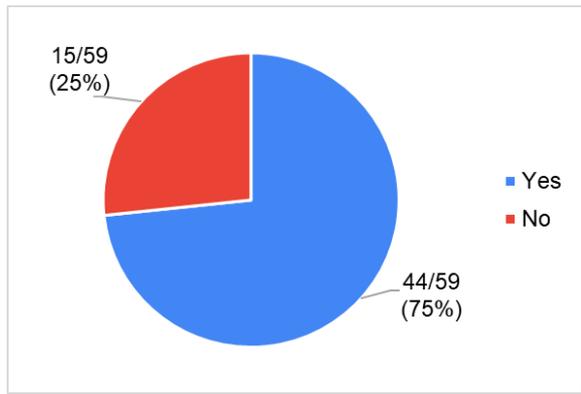
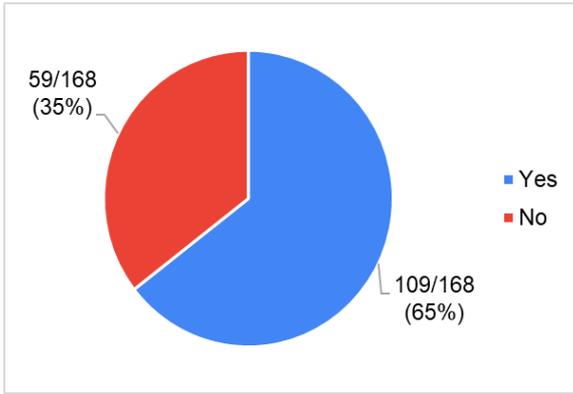
Fig. 2. Difficulty level related to different aspects of the maximal respiratory pressure measurements operationalization. 1= low difficulty; 2= medium difficulty; 3= high difficulty.

REFERENCES

- [1] Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. 2019;53(6):1801214, <https://doi.org/10.1183/13993003.01214-2018>.
- [2] Menezes KK, Nascimento LR, Avelino PR, Alvarenga MTM, Teixeira-Salmela LF. Efficacy of Interventions to Improve Respiratory Function After Stroke. *Respir Care*. 2018;63(7):920-33, doi: 10.4187/respcare.06000.
- [3] Beaumont M, Forget P, Couturaud F, Reychler G. Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J*. 2018;12(7):2178-88, doi: 10.1111/crj.12905.
- [4] Silva IS, Pedrosa R, Azevedo IG, Forbes AM, Fregonezi GAF, Dourado Junior MET, et al. Respiratory muscle training in children and adults with neuromuscular disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;9(9):CD011711, doi: 10.1002/14651858.CD011711.pub2.
- [5] Wu J, Kuang L, Fu L. Effects of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. *Congenit Heart Dis*. 2018;13(2):194-202, doi: 10.1111/chd.12586.
- [6] Hoffman M, Augusto VM, Eduardo DS, Silveira BMF, Lemos MD, Parreira VF. Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. *Physiother Theory Pract*. 2021;37(8):895-905, doi: 10.1080/09593985.2019.1656314.
- [7] Lage SM, Pereira DAG, Corradi Magalhães Nepomuceno AL, Castro AC, Araújo AG, Hoffman M, et al. Efficacy of inspiratory muscle training on inspiratory muscle function, functional capacity, and quality of life in patients with asthma: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2021;35(6):870-81, doi: 10.1177/0269215520984047.
- [8] Pessoa IM, Hourí Neto M, Montemezzo D, Silva LA, Andrade AD, Parreira VF. Predictive equations for respiratory muscle strength according to international and Brazilian guidelines. *Braz J Phys Ther*. 2014;18(5):410-8, doi: 10.1590/bjpt-rbf.2014.0044.
- [9] ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518-624, doi: 10.1164/rccm.166.4.518.
- [10] Silveira BMF, Pereira MCB, Cardoso DR, Ribeiro-Samora GA, Martins HR, Parreira VF. New method for evaluating maximal respiratory pressures: Concurrent validity, test-retest, and inter-rater reliability. *Braz J Phys Ther*. 2021, doi: 10.1016/j.bjpt.2021.04.012.
- [11] Souza RB. Pressões respiratórias estáticas máximas. *J Bras Pneumol*. 2002; 155-65.
- [12] Garvey C, Fullwood MD, Rigler J. Pulmonary rehabilitation exercise prescription in chronic obstructive lung disease: US survey and review of guidelines and clinical practices. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2013;33(5):314-22, doi: 10.1097/HCR.0b013e318297fea4.
- [13] Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Braz J Med Biol Res*. 1999;32(6):719-27, doi: 10.1590/s0100-879x1999000600007.
- [14] Matsumura ESS, Sousa AS, Guedes JA, Teixeira RC, Kietzer KS, Castro LSF. Geographical distribution of physiotherapists in Brazil. *Fisioter Pesqui*. 2018;25(32):309-14, <https://doi.org/10.1590/1809-2950/17027025032018>.

- [15] Montemezzo D, Velloso M, Britto RR, Parreira VF. Maximal respiratory pressures: devices and procedures used by Brazilian physical therapists. *Fisioter Pesqui.* 2010;17(2):147-52, <https://doi.org/10.1590/S1809-29502010000200010>.
- [16] Pessoa IMS, Parreira VF, Fregonezi GA, Sheel AW, Chung F, Reid WD. Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review. *Can Respir J.* 2014;21(1):43-50, <https://doi.org/10.1155/2014/982374>.
- [17] Costa D, Gonçalves HA, Lima LPd, Ike D, Cancelliero KM, Montebelo MIL. New reference values for maximal respiratory pressures in the Brazilian population. *J Bras Pneumol.* 2010;36:306-12, <https://doi.org/10.1590/S1806-37132010000300007>.
- [18] Windisch W, Hennings E, Sorichter S, Hamm H, Criée CP. Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: which is best? *Eur Respir J.* 2004;23(5):708-13, doi: 10.1183/09031936.04.00136104.
- [19] Evans JA, Whitelaw WA. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. *Respiratory care.* 2009;54(10):1348-59.
- [20] Hamnegard CH, Wragg S, Kyroussis D, Aquilina R, Moxham J, Green M. Portable measurement of maximum mouth pressures. *Eur Respir J.* 1994;7(2):398-401.
- [21] Sanchez FF, Silva CDA, Maciel MCSPG, Marques JRD, Brosina EL, Lins RG. Predictive equations for respiratory muscle strength by anthropometric variables. *Clin Respir J.* 2018;12(7):2292-9, doi: 10.1111/crj.12908.
- [22] Simões RP, Deus AP, Auad MA, Dionísio J, Mazzonetto M, Borghi-Silva A. Maximal respiratory pressure in healthy 20 to 89 year-old sedentary individuals of central São Paulo State. *Braz J Phys Ther.* 2010;14(1):60-7, <https://doi.org/10.1590/S1413-35552010000100010>.
- [23] Lanza FC, de Moraes Santos ML, Selman JPR, Silva JC, Marcolin N, Santos J, et al. Reference equation for respiratory pressures in pediatric population: a multicenter study. *PLoS One.* 2015;10(8):e0135662, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135662>.
- [24] Heinzmann-Filho JP, Donadio MVF. Respiratory muscle strength test: is it realistic in young children? *Rev Paul Pediatr.* 2015;33(3):274-9, <https://doi.org/10.1016/j.rpped.2015.01.008>.





6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese foi realizada com o objetivo geral de aprofundar o conhecimento relacionado às medidas de PRM obtidas em nível de CRF. As medidas de PRM vêm sendo estudadas há mais de cem anos, no entanto, ainda existem lacunas a serem preenchidas na literatura sobre esse tema.

O tema principal desta tese surgiu a partir do entendimento de que as medidas de PRM realizadas em níveis de VR e CPT podem superestimar os valores reais de força muscular respiratória e medidas de PRM realizadas em nível de CRF poderiam ser menos influenciadas pela pressão de recolhimento elástico do sistema respiratório. A parceria entre o LEB da Escola de Engenharia da UFMG, e o LabCare da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, também da UFMG, possibilitou o desenvolvimento de um novo manovacuômetro com a tecnologia necessária para realizar as medidas de PRM em nível de CRF, o que permitiu a realização dos principais estudos desta tese. Sem essa parceria, que existe desde a década de 2010, já possibilitou o desenvolvimento de equipamentos e a elaboração de teses e dissertações, tanto do programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação (EEFFTO), quanto do de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais.

Primeiramente, uma revisão de literatura permitiu maior aprofundamento sobre as propriedades de medida confiabilidade e validade das PRM realizadas em volumes pulmonares padronizados (VR e CPT) e em CRF. A confiabilidade teste-reteste foi classificada como nível de evidência moderado, a confiabilidade interexaminador foi classificada como nível de evidência baixo para $P_{l\acute{m}ax}$ e muito baixo para $P_{E\acute{m}ax}$ e o erro de medida foi muito baixo para $P_{l\acute{m}ax}$ e $P_{E\acute{m}ax}$. A validade concorrente foi classificada como nível de evidência alto. Poucos estudos que avaliassem as propriedades de medida das PRM obtidas em CRF foram encontrados, mas as propriedades teste-reteste e erro de medida foram classificadas como nível de evidência muito baixo e não foi possível concluir sobre as outras propriedades de medida e sobre a $P_{E\acute{m}ax}$ em CRF. Esses resultados indicam que mais estudos relacionados à avaliação das propriedades de medida das PRM em indivíduos com diferentes condições de saúde e obtidas em diferentes volumes pulmonares são necessários.

Os dois principais artigos desta tese (2 e 3) abordaram a avaliação das propriedades de medida das PRM realizadas com esse novo instrumento e compararam as medidas realizadas em diferentes volumes pulmonares em indivíduos saudáveis e com diferentes condições de saúde, estudos originais, dentro do meu conhecimento. Os resultados do segundo estudo mostraram as PRM realizadas com o novo instrumento apresentam validade concorrente e confiabilidade teste-reteste de boa magnitude, além de excelente confiabilidade interexaminador para PImáx e boa para PEmáx.

No terceiro estudo, foi observado que as medidas em CRF foram menores que as medidas realizadas em VR para PImáx e CPT para PEmáx para todos os grupos com condições de saúde. As diferenças médias entre a PImáx em VR e CRF variaram entre 8,0 e 12,8 cmH₂O (considerada pequena clinicamente) e houve uma concordância essas medidas, avaliada pelo coeficiente de correlação intraclass. Portanto, sugere-se que as medidas de PImáx possam ser realizadas tanto em nível de CRF quanto em nível de VR, de acordo com o instrumento disponível e, em alguns casos, seria preferível realizá-la em CRF, como em indivíduos com dificuldade para chegar em volumes pulmonares máximos e mínimos. Para a PEmáx, as diferenças médias entre medidas realizadas em CPT e CRF variaram entre 51,9 e 62,9 cmH₂O e houve uma discordância entre essas medidas. O principal motivo para essa diferença parece estar relacionada à perda de força dos abdominais quando se encontram em posição encurtada, explicada por meio da relação comprimento-tensão. No entanto, os resultados desse estudo são mais relevantes para a avaliação de indivíduos em que a força muscular inspiratória é potencialmente importante, principalmente por existirem estratégias de treinamento específicas para essa musculatura. Clinicamente, a principal razão para medir a PEmáx seria para avaliar a função da tosse, no entanto, medidas específicas para essa avaliação estão disponíveis, como o pico de fluxo da tosse, o que evitaria resultados imprecisos. Além disso, o estudo 2 mostrou que as diferenças médias entre as medidas realizadas em diferentes volumes pulmonares foram semelhantes entre os grupos, o que sugere que a diferença entre as medidas realizadas pode estar mais relacionada à relação comprimento-tensão dos músculos respiratórios comparada à influência do recolhimento elástico do sistema respiratório sobre as medidas.

O quarto artigo apresentado nesta tese investigou, por meio de um questionário, a utilização clínica das medidas de PRM por fisioterapeutas com

experiência nas áreas de fisioterapia cardiopulmonar e fisioterapia em terapia intensiva sob diferentes aspectos. Esse tema surgiu a partir do questionamento se esse teste era de fato utilizado na avaliação fisioterapêutica e como era utilizado. Os resultados mostraram que o uso das PRM não é padronizado entre os fisioterapeutas. A maioria dos fisioterapeutas entrevistados não compreende totalmente as indicações e contraindicações das medidas. Portanto, aprimorar o conhecimento dos fisioterapeutas atuantes nessas áreas pode contribuir para o aumento da aplicabilidade clínica das PRM.

O período de doutoramento se iniciou com expectativas e preocupações, devido à mudança do mestrado para o doutorado, ao mesmo tempo em que a vontade e o empenho para que tudo desse certo me acompanhavam desde o começo, além de grandes apoiadores ao meu lado. Vários desafios foram vividos e superados. Trabalhar com um instrumento novo foi desafiador, desde a sua construção e testes iniciais até a finalização das medidas realizadas com indivíduos com condições de saúde, quando contratempos já se tornavam raros. Após a declaração da Organização Mundial de Saúde sobre a pandemia causada pelo novo coronavírus, mudanças precisaram ser realizadas, com novas ideias e reprogramações de cronograma. As coletas realizadas com indivíduos com condições de saúde foram praticamente todas realizadas durante esse período, seguindo as recomendações necessárias e após a vacinação de todos os voluntários. A espera foi angustiante, mas ao final me sinto muito grata por ter conseguido finalizar as coletas de dados dos pacientes como planejado e ainda incluir indivíduos que foram diagnosticados com a COVID-19. Esse período também foi marcado por dúvidas em relação à continuidade da pesquisa e educação no Brasil, mas o encerro com a esperança de que tempos melhores virão.

A defesa desta tese encerra um período que me permitiu crescer como pesquisadora, fisioterapeuta e pessoa, marcado por desafios, oportunidades, muito aprendizado e pessoas as quais serei para sempre grata.

REFERÊNCIAS

- 1 CARUSO, P. *et al.* Diagnostic methods to assess inspiratory and expiratory muscle strength. **J Bras Pneumol**, v. 41, p. 110-123, 2015. ISSN 1806-3713.
- 2 EVANS, J. A.; WHITELOW, W. A. The assessment of maximal respiratory mouth pressures in adults. **Respir Care**, v. 54, n. 10, p. 1348-59, Out 2009. ISSN 0020-1324.
- 3 LAVENEZIANA, P. *et al.* ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. **Eur Respir J**, v. 53, n. 6, p. 1801214, Jun 2019. ISSN 0903-1936.
- 4 OTTENHEIJM, C. A.; HEUNKS, L. M.; DEKHUIJZEN, P. N. Diaphragm muscle fiber dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: toward a pathophysiological concept. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 175, n. 12, p. 1233-40, Jun 15 2007. ISSN 1073-449X. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17413128> >.
- 5 PARSHALL, M. B. *et al.* An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 185, n. 4, p. 435-52, Fev 15 2012. ISSN 1535-4970. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22336677> >.
- 6 WALTERSPACHER, S. *et al.* Respiratory muscle function in interstitial lung disease. **Eur Respir J**, v. 42, n. 1, p. 211-9, Jul 2013. ISSN 0903-1936.
- 7 RIBEIRO, J. P. *et al.* Respiratory muscle function and exercise intolerance in heart failure. **Curr Heart Fail Rep**, v. 6, n. 2, p. 95-101, Jun 2009. ISSN 1546-9549. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19486593> >.
- 8 POLLOCK, R. D. *et al.* Respiratory muscle strength and training in stroke and neurology: a systematic review. **Int J Stroke**, v. 8, n. 2, p. 124-30, Fev 2013. ISSN 1747-4949. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22568454> >.
- 9 TORRES-CASTRO, R. *et al.* Respiratory function in patients post-infection by COVID-19: a systematic review and meta-analysis. **Pulmonology**, v. 27, n. 4, p. 328-337, 2021 Jul-Ago 2021. ISSN 2531-0437. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33262076> >.
- 10 SOUZA, R. B. Pressões respiratórias estáticas máximas. **J Pneumol**, v. 28, n. Supl 3, p. S155-65, 2002.
- 11 PESSOA, I. M. S. *et al.* Reference values for maximal inspiratory pressure: a systematic review. **Can Respir J**, v. 21, n. 1, p. 43-50, Jan-Fev 2014. ISSN 1198-2241.

- 12 MAN, W. D. *et al.* Cough gastric pressure and maximum expiratory mouth pressure in humans. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 168, n. 6, p. 714-7, Set 15 2003. ISSN 1073-449X. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12857722> >.
- 13 ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 166, n. 4, p. 518-624, Ago 2002. ISSN 1073-449X. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12186831> >.
- 14 RAHN, H.; OTIS, A. B. *et al.* The pressure-volume diagram of the thorax and lung. **Am J Physiol**, v. 146, n. 2, p. 161-78, 1946. ISSN 0002-9513.
- 15 COAST, J. R.; WEISE, S. D. Lung volume changes and maximal inspiratory pressure. **J Cardiopulm Rehabil Prev**, v.10, n. 12 p. 461-464, 1990. ISSN 12.
- 16 COOK, C. D.; MEAD, J.; ORZALESI, M. M. Static volume-pressure characteristics of the respiratory system during maximal efforts. **J Appl Physiol**, v. 19, p. 1016-22, 1964. ISSN 0021-8987.
- 17 LAUSTED, C. G. *et al.* Maximum static inspiratory and expiratory pressures with different lung volumes. **Biomed Eng Online**, v. 5, p. 29, Mai 05 2006. ISSN 1475-925X. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16677384> >.
- 18 ROCHESTER, D. F. Tests of respiratory muscle function. **Clin Chest Med**, v. 9, n. 2, p. 249-61, Jun 1988. ISSN 0272-5231.
- 19 PAIVA, M. *et al.* Mechanical implications of in vivo human diaphragm shape. **J Appl Physiol**, v. 72 4, p. 1407-12, 1992.
- 20 WINDISCH, W. *et al.* Peak or plateau maximal inspiratory mouth pressure: which is best? **Eur Respir J**, v. 23, n. 5, p. 708-13, Mai 2004. ISSN 0903-1936.
- 21 LANGER, D. *et al.* Inspiratory muscle training reduces diaphragm activation and dyspnea during exercise in COPD. **J Appl Physiol (1985)**, v. 125, n. 2, p. 381-392, 2018. ISSN 1522-1601. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29543134> >.
- 22 SETTE, L. *et al.* Maximal inspiratory pressure and inspiratory muscle endurance time in asthmatic children: reproducibility and relationship with pulmonary function tests. **Pediatr Pulmonol**, v. 24, n. 6, p. 385-90, 1997. ISSN 8755-6863. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9448229> >.
- 23 SUZUKI, S.; SATO, M.; OKUBO, T. Expiratory muscle training and sensation of respiratory effort during exercise in normal subjects. **Thorax**, v. 50, n. 4, p. 366-70, 1995. ISSN 0040-6376. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7785008> >.

- 24 RAFFERTY, G. F. *et al.* Sniff nasal inspiratory pressure in children. **Pediatr Pulmonol**, v. 29, n. 6, p. 468-75, 2000. ISSN 8755-6863. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10821729> >.
- 25 MANDERS, E. *et al.* Reduced force of diaphragm muscle fibers in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. **Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol**, v. 311, n. 1, p. L20-8, 2016. ISSN 1040-0605.
- 26 IANDELLI, I. *et al.* Assessing inspiratory muscle strength in patients with neurologic and neuromuscular diseases: comparative evaluation of two noninvasive techniques. **Chest**, v. 119, n. 4, p. 1108-13, 2001. ISSN 0012-3692.
- 27 HART, N. *et al.* Evaluation of an inspiratory muscle trainer in healthy humans. **Respir Med**, v. 95, n. 6, p. 526-31, 2001. ISSN 0954-6111.
- 28 EL-DEEN, H. A. B.; ALANAZI, F. S.; AHMED, K. T. Effects of inspiratory muscle training on pulmonary functions and muscle strength in sedentary hemodialysis patients. **J Phys Ther Sci**, v. 30, n. 3, p. 424-427, 2018. ISSN 0915-5287.
- 29 LARSON, J. L.; KIM, M. J. Reliability of maximal inspiratory pressure. **Nurs Res**, v. 36, n. 5, p. 317-9, 1987. ISSN 0029-6562.
- 30 JARDIM, J. R. *et al.* Strength and endurance of the respiratory and handgrip muscles after the use of flunisolide in normal subjects. **Respir Med**, v. 101, n. 7, p. 1594-9, 2007. ISSN 0954-6111.
- 31 KARVONEN, J.; SAARELAINEN, S.; NIEMINEN, M. M. Measurement of respiratory muscle forces based on maximal inspiratory and expiratory pressures. **Respiration**, v. 61, n. 1, p. 28-31, 1994. ISSN 0025-7931. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8177969> >.
- 32 PORTNEY, L. G.; WATKINS, M. P. **Foundations of Clinical Research: Applications to Practice**. 3 ed. Pearson/Prentice Hall, 2015. ISBN 9780803646575.
- 33 WEST, J. B. **Fisiologia Respiratória**. 8 ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2009. ISBN 9788496921283.
- 34 LAGHI, F.; TOBIN, M. J. Disorders of the Respiratory Muscles. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 168, n. 1, p. 10-48, 2003. Disponível em: < <https://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/rccm.2206020> >.
- 35 RATNOVSKY, A.; ELAD, D.; HALPERN, P. Mechanics of respiratory muscles. **Respir Physiol Neurobiol**, v. 163, n. 1-3, p. 82-9, 2008. ISSN 1569-9048.
- 36 DE TROYER, A.; BORIEK, A. M. Mechanics of the Respiratory Muscles. **Compr Physiol**, p. 1273-1300, 2011. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cphy.c100009> >.

- 37 HOPKINS, E.; SHARMA, S. **Physiology, Functional Residual Capacity. [Updated 2019 Mar 14]**. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2020. PMID: 29763183.
- 38 LUDLOW, C. L. Central nervous system control of the laryngeal muscles in humans. **Respir Physiol Neurobiol**, v. 147, n. 2-3, p. 205-22, 2005. ISSN 1569-9048. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15927543> >.
- 39 HERITIER, F. *et al.* Sniff nasal inspiratory pressure. A noninvasive assessment of inspiratory muscle strength. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 150, n. 6 Pt 1, p. 1678-83, 1994. ISSN 1073-449X.
- 40 JAITOVICH, A.; BARREIRO, E. Skeletal Muscle Dysfunction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. What We Know and Can Do for Our Patients. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 198, n. 2, p. 175-186, 2018. ISSN 1073-449X.
- 41 BEAUMONT, M. *et al.* Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. **Clin Respir J**, v. 12, n. 7, p. 2178-2188, 2018. ISSN 1752-6981.
- 42 WU, J.; KUANG, L.; FU, L. Effects of inspiratory muscle training in chronic heart failure patients: A systematic review and meta-analysis. **Congenit Heart Dis**, v. 13, n. 2, p. 194-202, 2018. ISSN 1747-079x.
- 43 HOFFMAN, M. *et al.* Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. **Physiother Theory Pract**, p. 1-11, 2019. ISSN 1532-5040. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31429627> >.
- 44 MENEZES, K. K. *et al.* Efficacy of Interventions to Improve Respiratory Function After Stroke. **Respir Care**, v. 63, n. 7, p. 920-933, 2018. ISSN 0020-1324.
- 45 LAGE, S. M. *et al.* Efficacy of inspiratory muscle training on inspiratory muscle function, functional capacity, and quality of life in patients with asthma: A randomized controlled trial. **Clin Rehabil**, v. 35, n. 6, p. 870-881, 2021. ISSN 1477-0873. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33406892> >.
- 46 BACH, J. R. *et al.* Expiratory flow maneuvers in patients with neuromuscular diseases. **Am J Phys Med Rehabil**, v. 85, n. 2, p. 105-11, 2006. ISSN 0894-9115. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16428900> >.
- 47 CLANTON, T. L.; DIAZ, P. T. Clinical assessment of the respiratory muscles. **Phys Ther**, v. 75, n. 11, p. 983-95, 1995. ISSN 0031-9023.

- 48 RODRIGUES, A. *et al.* Maximal inspiratory pressure: does the choice of reference values actually matter? **Chest**, v. 152, n. 1, p. 32-39, 2017. ISSN 0012-3692.
- 49 CAMELO, J.; TERRA FILHO, J.; MANCO, J. Pressões respiratórias máximas em adultos normais. **J Pneumol**, v. 11, p. 181-184, 1985.
- 50 NEDER, J. A. *et al.* Reference values for lung function tests. II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. **Braz J Med Biol Res**, v. 32, n. 6, p. 719-27, 1999. ISSN 0100-879X. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10412550> >.
- 51 SIMÕES, R. P. *et al.* Pressões respiratórias máximas em indivíduos saudáveis sedentários de 20 a 89 anos da região central do Estado de São Paulo. **Braz J Phys Ther**, v. 14, n. 1, p. 60-67, 2010. ISSN 1413-3555.
- 52 COSTA, D. *et al.* New reference values for maximal respiratory pressures in the Brazilian population. **J Bras Pneumol**, v. 36, p. 306-312, 2010. ISSN 1806-3713.
- 53 PESSOA, I. M. *et al.* Predictive equations for respiratory muscle strength according to international and Brazilian guidelines. **Braz J Phys Ther**, v. 18, n. 5, p. 410-8, 2014 Set-Out 2014. ISSN 1809-9246. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25372003> >.
- 54 SANCHEZ, F. F. *et al.* Predictive equations for respiratory muscle strength by anthropometric variables. **Clin Respir J**, v. 12, n. 7, p. 2292-99, 2018. ISSN 1752-6981.
- 55 CARPENTER, M. A. *et al.* Demographic and anthropometric correlates of maximum inspiratory pressure: The Atherosclerosis Risk in Communities Study. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 159, n. 2, p. 415-22, 1999. ISSN 1073-449X.
- 56 WILSON, S. H. *et al.* Predicted normal values for maximal respiratory pressures in caucasian adults and children. **Thorax**, v. 39, n. 7, p. 535-8, 1984. ISSN 0040-6376.
- 57 FÁTIMA, R.; CRISTINA, B. Maximal respiratory pressures : Proposition for a protocol of assessment. **Rev Port Pneumol**, v. 6, n. 4, 2002.
- 58 MONTEMEZZO, D. *et al.* Pressões respiratórias máximas: equipamentos e procedimentos usados por fisioterapeutas brasileiros. **Fisioter Pesqui**, v. 17, p. 147-152, 2010. ISSN 1809-2950.
- 59 SMYTH, R. J.; CHAPMAN, K. R.; REBUCK, A. S. Maximal inspiratory and expiratory pressures in adolescents. Normal values. **Chest**, v. 86, n. 4, p. 568-72, 1984. ISSN 0012-3692.

- 60 ROHRER, F. Der Zusammenhang der Atemkräfte und ihre Abhängigkeit vom Dehnungszustand der Atmungsorgane. **Pflüger's Arch**, v. 165, p. 419–44, 1919.
- 61 HALL, J. E. **Guyton e Hall Tratado De Fisiologia Médica**. Elsevier Brasil, 2017. ISBN 9788535285543.
- 62 MAILLARD, J. O. *et al.* Reproducibility of twitch mouth pressure, sniff nasal inspiratory pressure, and maximal inspiratory pressure. **Eur Respir J**, v. 11, n. 4, p. 901-5, 1998. ISSN 0903-1936.
- 63 WITT, J. D. *et al.* Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. **J Physiol**, v. 584, n. Pt 3, p. 1019-28, 2007. ISSN 0022-3751.
- 64 NOMORI, H. *et al.* Respiratory muscle strength after lung resection with special reference to age and procedures of thoracotomy. **Eur J Cardiothorac Surg**, v. 10, n. 5, p. 352-8, 1996. ISSN 1010-7940.
- 65 SPINELLI, A. *et al.* Control of breathing in patients with myasthenia gravis. **Am Rev Respir Dis**, v. 145, n. 6, p. 1359-66, 1992. ISSN 0003-0805.
- 66 MOKKINK, L. B. *et al.* COSMIN Risk of Bias tool to assess the quality of studies on reliability or measurement error of outcome measurement instruments: a Delphi study. **BMC Med Res Methodol**, v. 20, n. 1, p. 293, 2020. ISSN 1471-2288.
- 67 MOKKINK, L. B. *et al.* The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. **J Clin Epidemiol**, v. 63, n. 7, p. 737-45, 2010. ISSN 0895-4356.
- 68 MOKKINK, L. B. COSMIN Risk of Bias checklist for systematic reviews of Patient-Reported Outcome Measures. **Qual Life Res**, v. 27, n. 5, p. 1171-79, 2018. ISSN 1573-2649. Disponível em: <
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29260445> >.
- 69 MOKKINK, L.; TERWEE, C.; DE VET, H. Key concepts in clinical epidemiology: responsiveness, the longitudinal aspect of validity. **J Clin Epidemiol**, 2021. ISSN 1878-5921. Disponível em: <
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34116141> >.
- 70 AGUSTI, A.; BEASLEY, R.; CELLI, B., R. **Global strategy for prevention, diagnosis and management of copd**, 2021. Disponível em: <https://goldcopd.org/2021-gold-reports/>.
- 71 WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)**. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)), 2021. Acesso em: 10 de novembro de 2021.

- 72 SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. **Mês de atenção à DPOC**: uma das doenças pulmonares mais prevalentes em adultos. <https://sbpt.org.br/portal/dia-mundial-dpoc-2021/>, 2021. Acesso em: 10 nov. 2021.
- 73 O'DONNELL, D. E. Ventilatory limitations in chronic obstructive pulmonary disease. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 7 Suppl, p. S647-55, 2001. ISSN 0195-9131
- 74 MAHLER, D. A.; O'DONNELL, D. E. **Dyspnea**: mechanisms, measurement, and management, 3. ed. Taylor & Francis, 2014. ISBN 9781482208696.
- 75 POLKEY, M. I.; GREEN, M.; MOXHAM, J. Measurement of respiratory muscle strength. **Thorax**, v. 50, n. 11, p. 1131-5, 1995. ISSN 0040-6376. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8553266> >.
- 76 RAGHU, G. *et al.* Diagnosis of Idiopathic Pulmonary Fibrosis. An Official ATS/ERS/JRS/ALAT Clinical Practice Guideline. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 198, n. 5, p. e44-e68, 2018. ISSN 1073-449x.
- 77 RAGHU, G. *et al.* An official ATS/ERS/JRS/ALAT statement: idiopathic pulmonary fibrosis: evidence-based guidelines for diagnosis and management. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 183, n. 6, p. 788-824, 2011. ISSN 1073-449X.
- 78 HOLLAND, A. E. Exercise limitation in interstitial lung disease - Mechanisms, significance and therapeutic options. **Chron Respir Dis**, v. 7, n. 2, p. 101-112, 2010.
- 79 MCDONAGH, T. A. *et al.* 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. **Eur Heart J**, v. 42, n. 36, p. 3599-726, 2021. ISSN 0195-668x.
- 80 LAOUTARIS, I. D. The 'aerobic/resistance/inspiratory muscle training hypothesis in heart failure'. **Eur J Prev Cardiol**, v. 25, n. 12, p. 1257-62, 2018. ISSN 2047-4873.
- 81 LALANDE, S. *et al.* Exercise Intolerance in Heart Failure: Central Role for the Pulmonary System. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 48, n. 1, p. 11-19, 2020. ISSN 0091-6331.
- 82 FERNANDEZ-RUBIO, H. *et al.* Inspiratory Muscle Training in Patients with Heart Failure. **J Clin Med**, v. 9, n. 6, 2020. ISSN 2077-0383.
- 83 RIBEIRO, J. P.; CHIAPPA, G. R.; CALLEGARO, C. C. The contribution of inspiratory muscles function to exercise limitation in heart failure: pathophysiological mechanisms. **Rev Bras Fisioter**, v. 16, n. 4, p. 261-7, 2012.
- 84 COUPLAND, A. P. *et al.* The definition of stroke. **J R Soc Med**, v. 110, n. 1, p. 9-12, 2017. ISSN 0141-0768.

- 85 CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Stroke Signs and Symptoms**. https://www.cdc.gov/stroke/signs_symptoms.htm, 2020. Acesso em: 15 de novembro de 2021.
- 86 CARR, J. H. **Neurological Rehabilitation**. Segunda edição. Elsevier India, 2011. ISBN 9788131228852.
- 87 CANNING, C. G. *et al.* Loss of strength contributes more to physical disability after stroke than loss of dexterity. **Clin. Rehabil**, v. 18, n. 3, p. 300-08, 2004. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1191/0269215504cr715oa> >.
- 88 KIM, M. *et al.* Diaphragm Thickness and Inspiratory Muscle Functions in Chronic Stroke Patients. **Med Sci Monit**, v. 23, p. 1247-1253, 2017. ISSN 1234-1010.
- 89 RAMOS, S. M. *et al.* Evaluation of Respiratory Muscular Strength Compared to Predicted Values in Patients with Stroke. **Int J Environ Res Public Health**, v. 17, n. 3, 2020. ISSN 1661-7827.
- 90 LANINI, B. *et al.* Chest wall kinematics in patients with hemiplegia. **Am J Respir Crit Care Med**, v. 168, n. 1, p. 109-13, 2003. ISSN 1073-449X.
- 91 TEIXEIRA-SALMELA, L. F. *et al.* Respiratory pressures and thoracoabdominal motion in community-dwelling chronic stroke survivors. **Arch Phys Med Rehabil**, v. 86, n. 10, p. 1974-8, 2005. ISSN 0003-9993.
- 92 DE ALMEIDA, I. C. *et al.* Effects of hemiplegy on pulmonary function and diaphragmatic dome displacement. **Respir Physiol Neurobiol**, v. 178, n. 2, p. 196-201, 2011. ISSN 1569-9048.
- 93 COHEN, E. *et al.* Diaphragmatic movement in hemiplegic patients measured by ultrasonography. **Thorax**, v. 49, n. 9, p. 890-5, 1994. ISSN 0040-6376.
- 94 MENEZES, K. K. P. *et al.* Prevalence of dyspnea after stroke: a telephone-based survey. **Braz J Phys Ther**, v. 23, n. 4, p. 311-16, 2019. ISSN 1809-9246. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30245043> >.
- 95 BILLINGER, S. A. *et al.* Reduced cardiorespiratory fitness after stroke: biological consequences and exercise-induced adaptations. **Stroke Res Treat**, v. 2012, p. 959120, 2012. ISSN 2090-8105.
- 96 LEE, K. K. *et al.* Global Physiology and Pathophysiology of Cough: Part 1: Cough Phenomenology - CHEST Guideline and Expert Panel Report. **Chest**, v. 159, n. 1, p. 282-93, 2021. ISSN 0012-3692.
- 97 CUCINOTTA, D.; VANELLI, M. WHO Declares COVID-19 a Pandemic. **Acta Biomed**, v. 91, n. 1, p. 157-160, 2020. ISSN 0392-4203.

- 98 WORLD HEALTH ORGANIZATION, **Coronavirus disease (COVID-19)**. https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1, 2021. Acesso em: 15 de novembro DE 2021.
- 99 SANTANA, A. V.; FONTANA, A. D.; PITTA, F. Pulmonary rehabilitation after COVID-19. **J Bras Pneumol**, v. 47, n. 1, p. e20210034, 2021. ISSN 1806-3713.
- 100 BOUTOU, A. K. *et al.* Long COVID-19 Pulmonary Sequelae and Management Considerations. **J Pers Med**, v. 11, n. 9, 2021. ISSN 2075-4426.
- 101 HUANG, Y. *et al.* Impact of coronavirus disease 2019 on pulmonary function in early convalescence phase. **Respir Res**, v. 21, n. 1, p. 163, 2020. ISSN 1465-9921.
- 102 CHAN, K. S. *et al.* SARS: prognosis, outcome and sequelae. **Respirology**, v. 8 Suppl, n. Suppl 1, p. S36-40, 2003. ISSN 1323-7799.
- 103 PEREIRA, M. C. B. *et al.* TrueForce: a new digital manometer to measure maximal respiratory pressures at functional residual capacity. **Res Biomed Eng**, v. 37, n. 2, p. 181-91, 2021. ISSN 2446-4740.

ANEXO A

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MEDIDA DE UM NOVO MANOVACUÔMETRO DIGITAL PARA MEDIDAS DE PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS E APLICABILIDADE CLÍNICA EM PACIENTES COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SAÚDE

Pesquisador: Verônica Franco Parreira

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 80257617.0.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.422.863

Apresentação do Projeto:

Trata-se de estudo do tipo metodológico que será realizado no Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da UFMG. O estudo tem como objetivo avaliar a confiabilidade teste-reteste, confiabilidade interexaminador e a validade concorrente de um novo manovacuômetro digital desenvolvido na UFMG para medidas de Pressões Respiratórias Máximas em indivíduos saudáveis (Estudo 1) e sua aplicabilidade clínica em pacientes com Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica, Asma, Insuficiência Cardíaca e doenças de origem neurológica (Estudo 2). Serão selecionados para o estudo indivíduos saudáveis para a primeira parte do estudo e em um segundo momento, indivíduos com diferentes condições de saúde. A amostra será composta por 100 indivíduos, tamanho amostral considerado adequado para estudos metodológicos pelo checklist COSMIN. Os participantes serão avaliados após a assinatura do TCLE e comparecerão ao laboratório por dois dias e medidas de Pressões Respiratórias Máximas serão realizadas. Serão utilizados dois manovacuômetros digitais: UFMG e MicroRPM®, que estão disponíveis no LabCare. Variáveis a serem analisadas: Pressão média máxima (PMedMÁX) da manobra inspiratória e expiratória, pressão de pico (PPico) da manobra inspiratória e expiratória e Pressão platô (PPlatô) da

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 2.422.863

manobra inspiratória e expiratória. Análise Estatística: Os dados serão descritos como medidas de tendência central e dispersão. A normalidade dos dados será avaliada pelo teste Shapiro-Wilk. As confiabilidades teste -reteste e interexaminador, assim como a validade concorrente serão analisadas utilizando a Análise de Concordância entre métodos de Bland-Altman. Outras análises serão avaliadas posteriormente.

Objetivo da Pesquisa:

Foram descritos:

Objetivo Primário:

- Avaliar as propriedades de medida de um novo manovacuômetro digital desenvolvido na UFMG para medidas de Pressões Respiratórias Máximas (Estudo 1).
- Avaliar a aplicabilidade clínica do novo instrumento em indivíduos com diferentes condições de saúde (Estudo 2).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os pesquisadores descrevem:

Riscos: O estudo não oferece riscos significativos, já que não há nenhum procedimento invasivo ou muito desgastante para os participantes. Os voluntários não estarão expostos a substâncias nocivas a sua saúde. O manovacuômetro, por não conter partes elétricas aplicadas, não apresenta riscos ao participantes não relacionados ao contato com o aparelho. A contaminação por contato é evitada utilizando-se bocais esterilizáveis e filtros descartáveis de uso único, disponibilizados junto ao aparelho. Durante a realização dos testes podem ocorrer alterações na respiração e um cansaço mínimo. Se for percebido qualquer sintoma diferente do habitual, o procedimento será imediatamente interrompido. Além disso, o participante pode se recusar a responder os questionários caso se sinta constrangido.

Benefícios: Os resultados encontrados com o estudo poderão ser utilizados para orientação de profissionais na prática e na pesquisa, já que instrumentos apenas têm aplicabilidade clínica e oferecem dados de qualidade se tiverem sua confiabilidade e validade testados.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Projeto bem estruturado do ponto de vista metodológico, exequível, com financiamento próprio e cronograma compatível. Foram anexados todos os documentos necessários. O TCLE apresenta-se bem elaborado, com linguagem clara e acessível.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad. SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 2.422.863

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram apresentados:

- Folha de rosto preenchida e assinada.
- Parecer aprovado da Câmara do Departamento de Fisioterapia em 31/10/2017.
- Projeto no formato da Plataforma Brasil e detalhado
- Anuência do Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare), localizado na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, para a realização da pesquisa em suas dependências
- TCLE para os estudos 1 e 2 apresentados como carta convite, assegurando o anonimato, e a desistência a qualquer momento do projeto, sem qualquer prejuízo.

Recomendações:

De acordo com a Resolução 466/2012, faz-se necessário as seguintes adequações nos TCLEs (Estudos 1 e 2):

- Esclarecer que o COEP deverá ser contactado em caso de dúvidas éticas.
- Inserir endereço eletrônico dos pesquisadores, bem como do Comitê de Ética.
- Informar que o participante de pesquisa receberá uma via do TCLE assinada e rubricada em todas as páginas (item IV.3.f da Resolução CNS N° 466/2012).

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Confiando que as adequações necessárias serão realizadas nos TCLEs, sou, SMJ deste Comitê, pela aprovação do projeto.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o COEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1003630.pdf	22/11/2017 16:49:34		Aceito

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad. SI 2005
 Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
 UF: MG Município: BELO HORIZONTE
 Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 2.422.863

Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	22/11/2017 16:48:41	Verônica Franco Parreira	Aceito
Outros	DECLARACAO_CAMARA_DEPARTAM ENTAL.pdf	22/11/2017 11:32:58	Verônica Franco Parreira	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	ANUENCIA_Labcare.pdf	22/11/2017 11:31:24	Verônica Franco Parreira	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Estudo_2.pdf	22/11/2017 11:31:05	Verônica Franco Parreira	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Estudo_1.pdf	22/11/2017 11:30:23	Verônica Franco Parreira	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_Pesquisa.pdf	22/11/2017 11:29:15	Verônica Franco Parreira	Aceito
Outros	80257617parece.pdf	07/12/2017 15:59:51	Vivian Resende	Aceito
Outros	80257617aprovacao.pdf	07/12/2017 16:00:09	Vivian Resende	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 07 de Dezembro de 2017

Assinado por:
Vivian Resende
(Coordenador)

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

ANEXO B

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MEDIDA DE UM NOVO MANOVACUÔMETRO DIGITAL PARA MEDIDAS DE PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS E APLICABILIDADE CLÍNICA EM PACIENTES COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SAÚDE

Pesquisador: Verônica Franco Parreira

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 80257617.0.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.004.018

Apresentação do Projeto:

Trata-se de uma solicitação de emenda ao projeto CAAE: 80257617.0.0000.5149 intitulado: "AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MEDIDA DE UM NOVO MANOVACUÔMETRO DIGITAL PARA MEDIDAS DE PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS E APLICABILIDADE CLÍNICA EM PACIENTES COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE SAÚDE".

A pesquisadora responsável esclarece que a emenda possibilitará a inclusão de pacientes com outras condições pulmonares crônicas, que também apresentam a potencialidade de fraqueza muscular respiratória.

Justifica também, que o projeto estava relacionado a um projeto de mestrado, com duração de dois anos e que a aluna envolvida no projeto realizou mudança de nível para o doutorado, com duração de 4 anos.

Assim, as seguintes alterações foram realizadas:

- o número total de indivíduos foi alterado (de 160 para 190);
- os critérios de inclusão foram modificados (com inclusão de dois novos grupos);
- o cronograma e o orçamento do projeto foram adequados para contemplar o novo tamanho da amostra e a nova duração do projeto.

Portanto, houve alteração no projeto, mas não no Termo de Compromisso Livre e Esclarecido.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S/ 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.004.018

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo da Emenda:

- Possibilitar a inclusão de pacientes com outras condições pulmonares crônicas que também apresentam a potencialidade de fraqueza muscular respiratória.
- Alterar o número total de indivíduos participantes da pesquisa;
- Alterar critérios de inclusão (introdução de dois novos grupos);
- Adequar o cronograma e o orçamento do projeto para contemplar o novo tamanho da amostra e a nova duração do projeto.

Objetivo Original:

- Estudo 1: Avaliar a confiabilidade teste-reteste, confiabilidade interexaminador e a validade concorrente de um novo manovacuômetro digital desenvolvido na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) para medidas de Pressões Respiratórias Máximas em indivíduos saudáveis
- Estudo 2: Avaliar a aplicabilidade clínica do novo instrumento em indivíduos com diferentes condições de saúde (Estudo 2).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Não haverá alterações aos riscos já anteriormente, previstos.

Riscos e Benefícios previamente descritos:

De acordo com os pesquisadores, o estudo não oferece riscos significativos, já que não há nenhum procedimento invasivo ou muito desgastante para os participantes. Os voluntários não estarão expostos a substâncias nocivas a sua saúde. O manovacuômetro, por não conter partes elétricas aplicadas, não apresenta riscos ao participantes não relacionados ao contato com o aparelho. A contaminação por contato é evitada utilizando-se bocais esterilizáveis e filtros descartáveis de uso único, disponibilizados junto ao aparelho. Durante a realização dos testes podem ocorrer alterações na respiração e um cansaço mínimo. Se for percebido qualquer sintoma diferente do habitual, o procedimento será imediatamente interrompido. Além disso, o participante pode se recusar a responder os questionários caso se sinta constrangido.

Benefícios: Os resultados encontrados com o estudo poderão ser utilizados para orientação de profissionais na prática e na pesquisa, já que instrumentos apenas têm aplicabilidade clínica e oferecem dados de qualidade se tiverem sua confiabilidade e validade testados.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos,6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.004.018

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

As alterações propostas são apresentadas na solicitação, a saber:

Novos Objetivos:

- O número total de indivíduos foi alterado (de 160 para 190);
 - Para o estudo 2, serão recrutados 15 pacientes com cada condição de saúde (perfazendo 75 indivíduos com diferentes condições de saúde) e 15 indivíduos saudáveis pareados por sexo e idade.
 - os critérios de inclusão foram modificados (com inclusão de dois novos grupos
- Pacientes com Insuficiência Cardíaca, asma, doenças pulmonares crônicas diferentes de Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica e asma e doenças de origem neurológica, além de um grupo de indivíduos saudáveis pareados por sexo e idade a indivíduos com diferentes condições de saúde.
- Não houve alteração com relação aos Riscos e Benefícios e nem no TCLE.
- O cronograma e o orçamento do projeto foram adequados para contemplar o novo tamanho da amostra e a nova duração do projeto.

Todas as modificações realizadas no projeto estão destacadas em amarelo no projeto ora apresentado (arquivo: Projeto_de_pesquisa_Emenda).

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos estão adequados na sua apresentação.

Na solicitação desta emenda foram anexados os seguintes documentos:

- Carta de Encaminhamento ao CEP contendo a justificativa da Emenda;
- Projeto de Pesquisa com as alterações realizadas em destaque;
- Informações Básicas do Projeto;

Anexados nas versões anteriores:

- Informações Básicas do projeto, projeto completo, TCLE, Cartas de aprovação Departamentais; Folha de rosto; Anuência dos setores nos quais serão realizadas a pesquisa.

Recomendações:

Não há recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Sou, SMJ, favorável a aprovação da Emenda ao projeto "AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE MEDIDA DE UM NOVO MANOVACUÔMETRO DIGITAL PARA MEDIDAS DE PRESSÕES RESPIRATÓRIAS MÁXIMAS EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS E APLICABILIDADE CLÍNICA EM PACIENTES COM

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos,6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.004.018

CONDIÇÕES DE SAÚDE"

Pesquisador Responsável: Verônica Franco Parreira

Considerações Finais a critério do CEP:

De acordo com a Norma Operacional 01/2013, de 30 de setembro de 2013, o CEP aguarda a resposta até 30 (trinta) dias a partir da entrega deste parecer via Plataforma Brasil, para que o pesquisador atenda às pendências. Ao final deste prazo o projeto será arquivado. Solicita-se, ainda, que uma carta resposta seja enviada, via Plataforma Brasil, de forma ordenada, conforme os itens das considerações deste parecer, indicando-se também a localização das possíveis alterações no protocolo, inclusive no TCLE.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_1432774_E1.pdf	15/01/2020 22:40:29		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_Pesquisa_Emenda.docx	15/01/2020 22:36:17	Verônica Franco Parreira	Aceito
Outros	Carta_de_encaminhamento_emenda.pdf	15/01/2020 21:38:25	Verônica Franco Parreira	Aceito
Outros	80257617aprovacao.pdf	07/12/2017 16:00:09	Vivian Resende	Aceito
Outros	80257617aprovacao.pdf	07/12/2017 16:00:09	Vivian Resende	Aceito
Outros	80257617parece.pdf	07/12/2017 15:59:51	Vivian Resende	Aceito
Outros	80257617parece.pdf	07/12/2017 15:59:51	Vivian Resende	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	22/11/2017 16:48:41	Verônica Franco Parreira	Aceito
Outros	DECLARACAO_CAMARA_DEPARTAMENTAL.pdf	22/11/2017 11:32:58	Verônica Franco Parreira	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	ANUENCIA_Labcare.pdf	22/11/2017 11:31:24	Verônica Franco Parreira	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Estudo_2.pdf	22/11/2017 11:31:05	Verônica Franco Parreira	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento /	TCLE_Estudo_1.pdf	22/11/2017 11:30:23	Verônica Franco Parreira	Aceito

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
 Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
 UF: MG Município: BELO HORIZONTE
 Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.004.018

Justificativa de Ausência	TCLE_Estudo_1.pdf	22/11/2017 11:30:23	Verônica Franco Parreira	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_de_Pesquisa.pdf	22/11/2017 11:29:15	Verônica Franco Parreira	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 03 de Maio de 2020

Assinado por:
Corinne Davis Rodrigues
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

ANEXO C

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Medidas de pressões respiratórias máximas: perspectivas de fisioterapeutas das áreas de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva

Pesquisador: Verônica Franco Parreira

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 34735720.8.0000.5149

Instituição Proponente: Escola de Educação Física da Universidade Federal de Minas Gerais

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 4.245.453

Apresentação do Projeto:

Trata-se de um estudo do tipo transversal descritivo (quantitativo/ qualitativo), com foco em fisioterapeutas atuantes nas áreas cardiorrespiratória e terapia intensiva registrados na Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva - ASSOBRAFIR, atuantes nos diferentes níveis de atenção à saúde: Unidade Básica de Saúde, atendimento domiciliar, clínica especializada, ambulatório, hospital (enfermaria ou UTI). O estudo é do tipo qualitativo com aplicação de questionário, por isso não há definição de hipóteses.

Os critérios de Inclusão são: Os voluntários serem Fisioterapeutas associados à ASSOBRAFIR que atuem nas áreas de Fisioterapia cardiorrespiratória e Fisioterapia em terapia intensiva, de qualquer idade e sexo, tempo de formação ou atuação e que assinem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os critérios de exclusão não foram definidos, pois todos os questionários recebidos serão analisados, não se aplicando esse quesito. A amostra será composta de 332 fisioterapeutas das áreas de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva associados à ASSOBRAFIR atualmente. A metodologia proposta foi a aplicação de questionário elaborado com base em evidências científicas relacionadas à medida das pressões respiratórias máximas e experiência clínica e científica das autoras. O questionário é constituído por questões quantitativas de múltipla escolha e questões abertas com característica qualitativa. O contato com os participantes será realizado via e-mail, com envio online do questionário por meio da plataforma Google forms, em que os resultados são enviados automaticamente para os autores. O

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S/ 2005

Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901

UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.245.453

consentimento será feito de forma eletrônica após seleção do aceite em campo designado antes do início das respostas.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo desse estudo é documentar a perspectiva dos fisioterapeutas brasileiros atuantes nas áreas de Fisioterapia cardiopulmonar e de Fisioterapia em terapia intensiva sobre os aspectos técnicos e clínicos do uso da manovacuometria para avaliar a força dos músculos inspiratórios e expiratórios, assim como a percepção sobre a aplicabilidade desse teste na prática clínica.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

O estudo não oferece riscos significativos, já que será apenas o preenchimento de um questionário. Devem ser considerados os riscos de constrangimento, estresse ou cansaço ao responder o questionário, além da possibilidade de quebra de sigilo e de anonimato. No entanto, os pesquisadores envolvidos asseguraram que as respostas serão confidenciais e que o participante poderá se recusar a responder os questionários caso se sinta constrangido. Benefícios: Caso o participante aceite, o benefício será a colaboração no levantamento de dados relacionados ao uso das medidas de pressões respiratórias como instrumento de avaliação na prática clínica de fisioterapeutas das áreas cardiopulmonar e fisioterapeutas da terapia intensiva, possibilitando a identificação dos principais aspectos técnicos utilizados durante a medida e as principais indicações relatadas por profissionais que utilizam essa medida.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto será conduzido por um único centro. A equipe do projeto conta com duas alunas da graduação em Fisioterapia, uma aluna de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação pela UFMG e a pesquisadora principal é Docente do Departamento de Fisioterapia da UFMG. Por se tratar de questionário enviado on line o orçamento é bastante reduzido. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido é adequado, com termos apropriados à população candidata. Trata-se de uma pesquisa relevante pois investiga a forma de utilização de um equipamento e técnica de medida fundamentada na prática clínica, no entanto não totalmente padronizada. Por isso, a pesquisa se fundamenta na investigação das várias formas e métodos de utilização de uma técnica clássica de medida de fisioterapia cardiopulmonar e em UTI, direcionada a profissionais especializados nessa área, incluídos na mesma entidade de classe. O parecer da Câmara de Graduação ressalta que o projeto é relevante, do ponto de vista clínico e a pesquisadora responsável possui expertise na área.

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II **CEP:** 31.270-901
UF: MG **Município:** BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 **E-mail:** coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.245.453

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos do projeto estão adequados, existe a anuência formal da entidade de classe envolvida na pesquisa. O roteiro do questionário é de fácil interpretação e pode ser rapidamente respondido pelo participante. O TCLE é apresentado como convite, resguarda a confidencialidade dos dados, sendo que todas as informações obtidas na pesquisa têm um caráter estritamente científico e, portanto, são confidenciais. Garante que o nome não será identificado em nenhum momento, sendo reconhecido por meio de um código, garantindo assim, total confidencialidade dos dados e serão utilizados apenas para fins científicos. Resguarda o direito à recusa e desistência em qualquer momento, sem prejuízo. Por se tratar de aceite digital, não prevê rubrica nas páginas e nem assinatura física. Fica resguardado que o participante tem o direito de receber informações acerca da pesquisa e dos procedimentos que serão realizados em qualquer momento do estudo e, em caso de dúvidas, poderá entrar em contato com qualquer uma das pesquisadoras e com o comitê de ética em pesquisa (CEP). Os contatos estão presentes ao final do termo de consentimento. Prevê também que não haverá remuneração pela participação na pesquisa e não prevê gasto por parte do pesquisador pelo caráter on line de sua participação na pesquisa.

Recomendações:

Recomendo que a pesquisadora responsável acrescente endereço de e-mail no campo de Endereços e informações para contato. Informe por quanto tempo os dados coletados ficarão armazenados e expresse que em caso de nova utilização em pesquisas futuras, haja nova consulta com anuência de novo TCLE.

O pesquisador deve inserir o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido no Formulário Google e campo para preenchimento quanto à declaração do participante quanto ao consentimento.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Na condição de se atender as recomendações solicitadas, sou, S.M.J. favorável à aprovação do projeto.

- 1- Acrescentar endereço de e-mail ao final do TCLE
- 2 - Informar que os dados ficarão disponíveis e armazenados durante cinco anos e caso haja necessidade de utilização dos mesmos, que fica garantida a emissão de um novo TCLE e consulta futura do participante.

Considerações Finais a critério do CEP:

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o CEP-UFMG recomenda aos

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
 Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
 UF: MG Município: BELO HORIZONTE
 Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
MINAS GERAIS



Continuação do Parecer: 4.245.453

Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1572849.pdf	30/06/2020 15:52:56		Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	30/06/2020 15:51:54	Verônica Franco Parreira	Aceito
Outros	Parecer_camara.pdf	30/06/2020 15:17:40	Verônica Franco Parreira	Aceito
Declaração de concordância	Carta_de_anuencia.pdf	30/06/2020 15:16:50	Verônica Franco Parreira	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_questionario.pdf	30/06/2020 15:16:03	Verônica Franco Parreira	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_PRM.pdf	30/06/2020 15:15:17	Verônica Franco Parreira	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BELO HORIZONTE, 28 de Agosto de 2020

Assinado por:
Crissia Carem Paiva Fontainha
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005
Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901
UF: MG Município: BELO HORIZONTE
Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O (A) Sr. (a) está sendo convidado a participar de um projeto de pesquisa a ser desenvolvido no Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), intitulado: **“Avaliação das propriedades de medida de um novo manovacuômetro digital para medidas de Pressões Respiratórias Máximas em indivíduos saudáveis e aplicabilidade clínica em pacientes com diferentes condições de saúde.”**

Justificativa e objetivo

O objetivo desse projeto de pesquisa é avaliar se as medidas realizadas por um novo manovacuômetro digital são adequadas. Esse instrumento é usado para avaliar a força dos músculos respiratórios e é considerado um método simples, rápido, não invasivo e bem tolerado pelas pessoas.

A avaliação da força dos músculos respiratórios é de grande importância na prática clínica, pois a fraqueza dos músculos responsáveis pela ventilação está associada a diversas doenças e influencia em várias decisões clínicas. Sendo assim, acredita-se que os resultados desse estudo poderão contribuir para que os pesquisadores e profissionais da reabilitação realizem medidas mais precisas e possam realizar avaliações mais adequadas de seus pacientes.

Responsáveis:

- 1) Prof^a. Dr^a. Verônica Franco Parreira do Departamento de Fisioterapia/ UFMG;
- 2) Prof. Dr. Henrique Resende Martins do Departamento de Engenharia Elétrica/UFMG;
- 3) Bruna Mara Franco Silveira, aluna do Programa de Pós- Graduação em Ciências da Reabilitação pela UFMG, nível– mestrado;
- 4) Manoel Carlos Barbosa Pereira, aluno do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica pela UFMG, nível– mestrado.

Caso o (a) Sr. (a) aceite participar desta pesquisa, abaixo estão algumas informações:

Descrição dos procedimentos:

O (a) Sr. (a) deverá comparecer duas vezes ao Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) situado no primeiro andar, sala 1104, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) .

Os procedimentos serão divididos em dois dias diferentes com um intervalo de, no máximo, 15 dias entre eles. No primeiro dia de avaliação, será realizada uma entrevista sobre seus dados pessoais, onde o (a) Sr. (a) responderá sobre seus hábitos de vida (prática de exercício físico, uso de medicação, etc.), sua idade, história de saúde, e será medido a sua altura e o seu peso para possibilitar realizar o cálculo de Índice de Massa Corporal (IMC). Também serão aferidos os seus dados vitais, como pressão arterial sistêmica, frequência cardíaca e saturação periférica de oxigênio. O próximo passo será a avaliação da função pulmonar, medindo a quantidade de ar que entra e sai dos pulmões por meio do sopro, em um aparelho específico (espirometria). Após um período de descanso de no mínimo 10 minutos, será feita a avaliação da força dos músculos respiratórios, onde o (a) Sr.(a) permanecerá sentado e realizará um teste que se assemelha ao anterior, respirando de forma profunda e rápida, de acordo com as instruções do avaliador. Posteriormente, o (a) Sr. (a) responderá a um questionário sobre sua atividade física. Após outro período de descanso, o (a) Sr.(a) realizará o mesmo teste que avalia a força muscular respiratórias que foi feito antes, por outro examinador. No segundo dia, serão realizadas medidas parecidas com as realizadas no primeiro dia, mas agora serão utilizados dois aparelhos diferentes para as mesmas medidas. Todos os instrumentos utilizados são esterilizados e os acessórios são descartáveis.

Possíveis Riscos ou Desconfortos:

O estudo não oferece riscos significativos, já que não há nenhum procedimento invasivo ou muito desgastante para os participantes. O(A) Sr. (a) não estará exposto (a) a substâncias nocivas a sua saúde. Durante a realização dos testes podem ocorrer alterações na respiração e um cansaço mínimo. Se for percebido qualquer sintoma diferente do habitual, o procedimento será

imediatamente interrompido. Além disso, o(a) Sr. (a) pode se recusar a responder os questionários caso se sinta constrangido.

Benefícios esperados:

Os resultados encontrados com o estudo contribuirão para melhorar a avaliação da força muscular respiratória utilizando o novo manovacuômetro digital produzido pela UFMG, tanto de indivíduos saudáveis como daqueles com doenças respiratórias. Ao se verificar a precisão das medidas fornecidas por um novo instrumento, ele se torna acessível para ser utilizado na prática clínica e em pesquisas. Além disso, o (a) Sr.(a)receberá uma avaliação do sistema respiratório (espirometria).

Garantia de esclarecimento:

O(A) Sr. (a) tem o direito de receber informações acerca da pesquisa e dos procedimentos que serão realizados em qualquer momento do estudo e, em caso de dúvidas, poderá entrar em contato com os pesquisadores e com o comitê de ética em pesquisa (CEP). Os contatos estão ao final desse termo de consentimento.

Garantia de sigilo:

Esta pesquisa tem um caráter estritamente científico e, portanto, confidencial. Você receberá um código e não será reconhecido por seu nome, mas pelo código, o que garante a confidencialidade dos seus dados.

Direito de recusa:

A sua participação é voluntária, portanto, pode recusar a participar ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa sem qualquer penalização ou prejuízo.

Ressarcimento e indenização:

O(A) Sr. (a) não terá qualquer tipo de despesa para participar da pesquisa e não receberá remuneração por sua participação na pesquisa.

CONSENTIMENTO: Declaro que li e entendi as informações acima e que todas as dúvidas referentes à minha participação neste estudo foram esclarecidas. Desta

forma, eu _____ concordo em participar desse estudo.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

Belo Horizonte, ____/____/____.

Telefones e endereços para contato:

- Professora Verônica Franco Parreira e Bruna Mara Franco Silveira

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Telefone: (031) 3409- 4777

- Professor Henrique Resende Martins e Manoel Carlos Barbosa Pereira

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte. Escola de Engenharia.

Telefone: (031) 3409-3406

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP)

Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II – 2º andar. Sala 2005. Campus Pampulha. Belo Horizonte.

Telefone: (031) 3409-4592

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O (A) Sr. (a) está sendo convidado a participar de um projeto de pesquisa a ser desenvolvido no Departamento de Fisioterapia da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), intitulado: **“Avaliação das propriedades de medida de um novo manovacuômetro digital para medidas de Pressões Respiratórias Máximas em indivíduos saudáveis e aplicabilidade clínica em pacientes com diferentes condições de saúde.”**

Justificativa e objetivo

O objetivo desse projeto de pesquisa é verificar a aplicabilidade clínica de um novo equipamento, chamado manovacuômetro digital em diferentes condições de saúde. Este instrumento foi desenvolvido pelo Núcleo de Estudos e Pesquisa em Engenharia Biomédica (NEPEB) em parceria com o Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) da UFMG e é usado para mensurar a força dos músculos respiratórios. É considerado um método simples, rápido, não invasivo e bem tolerado pelos pacientes.

A avaliação da força dos músculos respiratórios é de grande importância na prática clínica, pois a fraqueza dos músculos responsáveis pela ventilação está associada a diversas doenças e influencia em várias decisões clínicas. Sendo assim, acredita-se que os resultados desse estudo poderão contribuir para que o uso desse novo instrumento seja melhor entendido em pacientes com diversas condições de saúde e pesquisadores e profissionais da reabilitação possam realizar avaliações mais adequadas de seus pacientes.

Responsáveis:

- 1) Prof^a. Dr^a. Verônica Franco Parreira do Departamento de Fisioterapia/ UFMG;
- 2) Prof. Dr. Henrique Resende Martins do Departamento de Engenharia Elétrica/UFMG;
- 3) Bruna Mara Franco Silveira, aluna do Programa de Pós- Graduação em Ciências da Reabilitação pela UFMG, nível– mestrado;
- 4) Manoel Carlos Barbosa Pereira, aluno do Programa de Pós- Graduação em

Engenharia Elétrica pela UFMG, nível– mestrado.

Caso o (a) Sr. (a) aceite participar desta pesquisa, abaixo estão alguma informações:

Descrição dos procedimentos:

Caso o (a) Sr. (a) aceite participar deste estudo, deverá comparecer uma vez ao Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório (LabCare) situado no primeiro andar, sala 1104, da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Primeiramente, será realizada uma entrevista sobre seus dados pessoais, onde o (a) Sr. (a) responderá sobre seus hábitos de vida (prática de exercício físico, uso de medicação, etc.), sua idade, história de saúde, e será medido a sua altura e o seu peso para possibilitar realizar o cálculo de Índice de Massa Corporal (IMC). Também serão aferidos os seus dados vitais, como pressão arterial sistêmica, frequência cardíaca e saturação periférica de oxigênio. O próximo passo será a avaliação da função pulmonar, medindo a quantidade de ar que entra e sai dos pulmões por meio do sopro, em um aparelho específico (espirometria). Posteriormente, o (a) Sr. (a) responderá a um questionário sobre atividade física. Após um período de descanso de no mínimo 10 minutos, será feita a avaliação da força dos músculos respiratórios, onde (a) Sr. (a) permanecerá sentado e realizará um teste que avalia a força dos músculos respiratórios e se assemelha ao anterior, respirando de forma profunda e rápida, de acordo com as instruções do avaliador. Todos os instrumentos utilizados são esterilizados e os acessórios são descartáveis.

Possíveis Riscos ou Desconfortos:

O estudo não oferece riscos significativos, já que não há nenhum procedimento invasivo ou muito desgastante para os participantes. O (A) Sr. (a) não estará exposto (a) a substâncias nocivas a sua saúde. Durante a realização dos testes podem ocorrer alterações na respiração e um cansaço mínimo. Se for percebido qualquer sintoma diferente do habitual, o procedimento será imediatamente interrompido. Além disso, o (a) Sr. (a) pode se recusar a responder os questionários caso se sinta constrangido.

Benefícios esperados:

Os resultados encontrados com o estudo contribuirão para melhor entendimento do uso de um novo aparelho desenvolvido na UFMG usado para medir a força muscular respiratória de indivíduos com diversas doenças. Além disso, o (a) Sr. (a) receberá uma avaliação do sistema respiratório (espirometria).

Garantia de esclarecimento:

O(A) Sr. (a) tem o direito de receber informações acerca da pesquisa e dos procedimentos que serão realizados em qualquer momento do estudo e, em caso de dúvidas, poderá entrar em contato com os pesquisadores e com o comitê de ética em pesquisa (CEP). Os contatos estão ao final desse termo de consentimento.

Garantia de sigilo:

Esta pesquisa tem um caráter estritamente científico e, portanto, confidencial. Você receberá um código e não será reconhecido por seu nome, mas pelo código, o que garante a confidencialidade dos seus dados. Além disso, de maneira alguma, seus dados serão analisados e divulgados individualmente, mas em conjunto com os dados dos demais participantes desta pesquisa.

Direito de recusa:

A sua participação é voluntária, portanto, pode recusar a participar ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa sem qualquer penalização ou prejuízo.

Ressarcimento e indenização:

O (A) Sr. (a) não terá qualquer tipo de despesa para participar da pesquisa e não receberá remuneração por sua participação na pesquisa.

CONSENTIMENTO: Declaro que li e entendi as informações acima e que todas as dúvidas referentes à minha participação neste estudo foram esclarecidas. Desta forma, eu _____ concordo em participar

desse estudo.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

Belo Horizonte, _____/_____/_____.

Telefones e endereços para contato:

- Professora Verônica Franco Parreira e Bruna Mara Franco Silveira

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Telefone: (031) 3409- 4777

- Professor Henrique Resende Martins e Manoel Carlos Barbosa Pereira

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte. Escola de Engenharia.

Telefone: (031) 3409-3406

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP)

Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II – 2º andar. Sala 2005. Campus Pampulha. Belo Horizonte.

Telefone: (031) 3409-4592

APÊNDICE C

Avaliação do Participante – Estudo 1

Data: ____/____/____ Horário: _____ ID: _____

I. Dados de identificação

Nome: _____

Tel.: _____

Endereço: _____

Cidade: _____

E-mail: _____

II. Características antropométricas

Idade: _____ anos Sexo: ___M ___F Data de nascimento: ____/____/____

Altura: _____m Peso: _____kg IMC: _____kg/m²

III. Histórico das condições de saúde

Medicamentos em uso: _____

Apresenta alguma das condições de saúde a seguir:

- () Glaucoma ou descolamento de retina;
- () Hérnia abdominal;
- () Infarto agudo do miocárdio recente ou angina instável;
- () Hipertensão arterial sistêmica (grave e sem controle);
- () Aneurisma de aorta;
- () Doenças neurológicas;
- () Problemas no ouvido médio;
- () Cirurgia torácica ou abdominal;

Outras condições de saúde associadas:

Apresenta história de tabagismo atual ou pregressa, assim como exposição em ambiente de risco? ___ Sim ___ Não

Pratica exercício físico? _____

Realizou alguma atividade extenuante nas últimas 48 horas? ___ Sim ___ Não

Apresentou febre, gripe ou resfriado nas últimas três semanas? ___ Sim ___ Não

IV. Espirometria

	Valores encontrados	Valores previstos	% previsto
CVF (L)			
VEF₁ (L)			
VEF₁ / CVF			
PFE (L/s)			
FEF_{25-75%} (L/s)			

___ Manovacuômetro UFMG CRF

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média máx	Pressão pico	Pressão platô	Tempo (s)	Vol. lim./ Vol. real.
PI__					
PE__					

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

___ Manovacuômetro MicroRPM CPT/VR

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média	MRPD (cmH ₂ O)	MRR	TAU
PI__				
PE__				

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

___ Manovacuômetro UFMG CRF Bruna

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média máx	Pressão pico	Pressão platô	Tempo (s)	Vol. lim./ Vol. real.

PI__					
PE__					

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

_____ Manovacuômetro UFMG CRF Daniella

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média máx	Pressão pico	Pressão platô	Tempo (s)	Vol. lim./ Vol. real.
PI__					
PE__					

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

_____ Manovacuômetro UFMG CPT/VR

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média máx	Pressão pico	Pressão platô	Tempo (s)
PI__				
PE__				

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

APÊNDICE D

Avaliação do Participante – Estudo 2

Data: ____/____/____ Horário: _____ ID: _____

I. Dados de identificação

Nome: _____

Tel.: _____

Endereço: _____

Cidade: _____

E-mail: _____

II. Características antropométricas

Idade: _____ anos Sexo: ___M ___F Data de nascimento: ____/____/____

Altura: _____m Peso: _____kg IMC: _____kg/m²

III. Histórico das condições de saúde

Medicamentos em uso: _____

Apresenta alguma das condições de saúde a seguir:

- () Glaucoma ou descolamento de retina;
- () Hérnia abdominal;
- () Infarto agudo do miocárdio recente ou angina instável;
- () Hipertensão arterial sistêmica (grave e sem controle);
- () Aneurisma de aorta;
- () Doenças neurológicas;
- () Problemas no ouvido médio;
- () Cirurgia torácica ou abdominal;

Outras condições de saúde associadas:

Apresenta história de tabagismo atual ou pregressa, assim como exposição em ambiente de risco? ___Sim ___Não

Pratica exercício físico? _____

Realizou alguma atividade extenuante nas últimas 48 horas? ___Sim ___Não

Apresentou febre, gripe ou resfriado nas últimas três semanas? ___Sim ___Não

FEVE: _____ CF NYHA: _____

IV. Espirometria

	Valores encontrados	Valores previstos	% previsto
CVF (L)			
VEF₁ (L)			
VEF₁ / CVF			
PFE (L/s)			
FEF_{25-75%} (L/s)			

___ Manovacuometria CRF

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média máx	Pressão pico	Pressão platô	Tempo (s)	Vol. lim./ Vol. real.
PI__					
PE__					

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

___ Manovacuometria VR/CPT

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

Medida	Pressão média máx	Pressão pico	Pressão platô	Tempo (s)
PI__				
PE__				

Dados Vitais: PA: _____ FC: _____ SpO₂: _____ Borg: _____

APÊNDICE E

Questionário - O uso das medidas de pressões respiratórias máximas por fisioterapeutas das áreas de FisioterapiaCardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva

1ª seção

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

O (A) Sr. (a) é nosso convidado para participar de um projeto de pesquisa intitulado: “Medidas de pressões respiratórias máximas: perspectivas de fisioterapeutas das áreas de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva.” Caso aceite participar desse estudo, o (a) senhor (a) irá responder a um questionário que inclui questões abertas e fechadas em relação a sua prática profissional e experiência com essa medida.

Justificativa e objetivo

Essa é uma pesquisa que tem como objetivo documentar a percepção dos fisioterapeutas brasileiros atuantes nas áreas Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva sobre os aspectos técnicos e clínicos do uso da manovacuometria para avaliar a força dos músculos inspiratórios e expiratórios e sobre a aplicabilidade desse teste na prática clínica.

Responsáveis:

- 1) Prof^a. Dr^a. Verônica Franco Parreira, Departamento de Fisioterapia/ UFMG;
- 2) Prof^a. Dr^a. Marcella Guimarães Assis, Departamento de Terapia Ocupacional/ UFMG;
- 3) Bruna Mara Franco Silveira, aluna do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação pela UFMG, nível doutorado;
- 4) Daniella Rocha Cardoso, aluna de Graduação em Fisioterapia/UFMG;
- 5) Maria Luiza Rodrigues Santos, aluna de Graduação em Fisioterapia/UFMG.

Caso o(a) Sr. (a) aceite participar desta pesquisa, abaixo estão algumas informações: Descrição dos procedimentos:

O (a) Sr. (a) irá responder ao questionário online via computador, celular ou tablet. As perguntas iniciais correspondem a aspectos pessoais, como idade e sexo e profissionais, como tempo de formação e área de atuação. As perguntas relacionadas ao objeto de estudo - pressões respiratórias máximas – incluem questões abertas e fechadas, em que mais de uma opção pode ser marcada, caso considere pertinente. O questionário deverá ser completamente preenchido em uma única sessão após iniciado, uma vez que não há possibilidade de armazenamento das respostas de maneira parcial. O tempo estimado para preenchimento do questionário é 5 a 10 minutos. Após o preenchimento do formulário, você irá enviá-lo e as respostas serão automaticamente armazenadas para posterior análise.

Possíveis Riscos ou Desconfortos:

O estudo não oferece riscos significativos, já que será apenas o preenchimento de um questionário. Devem ser considerados os riscos de constrangimento, estresse ou cansaço ao responder o questionário, além da possibilidade de quebra de sigilo e de anonimato. No entanto, os pesquisadores envolvidos asseguram que as respostas serão confidenciais e que o (a) Sr. (a) pode se recusar a responder os questionários caso se sinta constrangido.

Benefícios esperados:

Caso o (a) Sr. (a) aceite participar desse estudo, estará colaborando para o levantamento de dados relacionados ao uso das medidas de pressões respiratórias como instrumento de avaliação na prática clínica de fisioterapeutas das áreas Cardiorrespiratória e Terapia Intensiva, possibilitando a identificação dos principais aspectos técnicos utilizados durante a medida e as principais indicações relatadas por profissionais que utilizam essa medida.

Garantia de esclarecimento:

O (A) Sr. (a) tem o direito de receber informações acerca da pesquisa e dos procedimentos que serão realizados em qualquer momento do estudo e, em caso de dúvidas, poderá entrar em contato com qualquer uma das pesquisadoras e com o comitê de ética em pesquisa (CEP). Os contatos estão ao final deste termo de consentimento.

Garantia de sigilo:

Todas as informações obtidas nesta pesquisa têm um caráter estritamente científico e, portanto, são confidenciais. Seu nome não será identificado em nenhum momento, sendo reconhecido por meio de um código, garantindo assim, total confidencialidade dos seus dados. Seus dados serão utilizados apenas para fins científicos.

Direito de recusa:

A sua participação é voluntária, o que significa que você poderá recusar a participar ou retirar seu consentimento em qualquer momento do preenchimento do questionário, sem qualquer penalização ou prejuízo.

Ressarcimento e indenização:

O (A) Sr. (a) não terá qualquer tipo de despesa para participar da pesquisa e não receberá remuneração por sua participação na pesquisa.

Telefones e endereços para contato:

- Professora Verônica Franco Parreira; Marcella Assis; Bruna Mara Franco Silveira; Daniella Rocha Cardoso; Maria Luiza Rodrigues Santos.

Endereço: Laboratório de Avaliação e Pesquisa em Desempenho Cardiorrespiratório Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/ Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Presidente Antônio Carlos, 6627. Pampulha - Belo Horizonte/ MG.

Telefone: (031) 3409- 4777 / Email: brunamarafrancosilveira@hotmail.com

- Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG (COEP).

Endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627. Unidade Administrativa II – 2º andar. Sala 2005. Campus Pampulha. Belo Horizonte. Telefone: (031) 3409-4592

Os dados ficarão disponíveis e armazenados durante cinco anos e caso haja necessidade de utilização dos mesmos, fica garantida a emissão de um novo termo de consentimento livre e esclarecido e consulta futura.

1. Declaro que li e entendi as informações acima e que todas as dúvidas referentes à minha participação neste estudo foram esclarecidas. Desta forma, eu estou ciente e informado (a) sobre os procedimentos, conforme explicitados e concordo em participar voluntariamente.

**Marque todas que se aplicam.*

- Sim
 Não

2ª seção

2. Idade *

3. Sexo *

Marcar apenas uma oval.

- Feminino
 Masculino
 Prefiro não declarar
 Outro:

4. Ano de conclusão do curso de graduação em Fisioterapia: *

5. Instituição em que se formou em Fisioterapia *

Marcar apenas uma oval.

- Pública
 Privada

6. Você fez pós-graduação? Marque o último título. *

Marcar apenas uma oval.

- Especialização
 Residência Mestrado
 Doutorado
 Não fiz pós-graduação
 Outro:

7. Em que área da Fisioterapia você atua? *

Marcar apenas uma oval.

- Fisioterapia Cardíaca
- Fisioterapia Cardiorrespiratória
- Fisioterapia em Terapia Intensiva
- Fisioterapia Respiratória
- Outro:

8. Há quanto tempo atua na área? *

9. Você trabalha em que serviço de Fisioterapia atualmente? *

Marcar apenas uma oval.

- Unidade Básica de Saúde
- Atendimento domiciliar
- Clínica
- Ambulatório
- Hospital (Enfermaria)
- Hospital (UTI)
- Outro:

10. A instituição em que trabalha é: *

Marcar apenas uma oval.

- Pública
- Privada
- Outro:

11. A maior parte dos pacientes que você atende pertence a qual faixa etária? *

Marcar apenas uma oval.

- Crianças / adolescentes
- Adultos
- Idosos
- Outro:

12. Em que Estado você trabalha? *

3ª seção

13. Você usa medidas de pressões respiratórias máximas para avaliar a força dos

músculos respiratórios dos seus pacientes durante sua prática clínica? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

Se a resposta da questão 1 for sim, responda as questões 3 a 11; se a resposta da questão 1 for não, responda as questões 2, 12 e 13.

14. Se você atualmente não usa as medidas de pressões respiratórias máximas, você já usou essas medidas durante sua prática clínica? Se a sua resposta for sim, use o campo outros para justificar o motivo de não utilizar as medidas atualmente.

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- Outro:

15. Onde você aprendeu a realizar as medidas de pressões respiratórias máximas?

Marcar apenas uma oval.

- Graduação
- Pós-graduação
- Curso específico
- Aprendi com colegas
- Outro:

16. Qual aparelho você usa para medir as pressões respiratórias máximas?

Marcar apenas uma oval.

- Manovacuômetro digital
- Manovacuômetro analógico
- Manovacuômetro digital e manovacuômetro analógico
- Outro:

17. Você usa valores ou equações de referência para comparar os resultados obtidos? Se sim, qual? *Marcar apenas uma oval.*

- Para crianças/ adolescentes: Heinzmann-Filho JP, Vasconcellos Vidal PC, Jones MH, Donadio MV. Normal values for respiratory muscle strength in healthy preschoolers and school children. *Respir Med.* 2012 Dec;106(12):1639-46.

- Para crianças/ adolescentes: Rosa GJ, Morcillo AM, Assumpção MS, and Schivinskia CIS. Predictive equations for maximal respiratory pressures of children aged 7–10. *Braz J Phys Ther.* 2017 Jan-Feb; 21(1): 30–36
- Para crianças/ adolescentes: Lanza FC, de Moraes Santos ML, Selman JPR, Silva JC, Marcolin N, et al. (2015) Correction: Reference Equation for Respiratory Pressures in Pediatric Population: A Multicenter Study. *PLoS One.* 2015 Aug 20;10(8):e0135662
- Para adultos: 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): 719-727.
- Para adultos: Costa D, Gonçalves HA, Lima LP, Ike D, Cancelliero KM, Montebelo MI. New reference values for maximal respiratory pressures in the Brazilian population. *J Bras Pneumol.* 2010 May-Jun;36(3):306-12.
- Para adultos: Simões RP, Deus APL, Auadl MA, Dionísio J, Mazzone M, Borghi-Silva A. Maximal respiratory pressure in healthy 20 to 89 year-old sedentary individuals of central São Paulo State. *Rev Bras Fisioter* 2010; 14 (1).
- Para adultos: Pessoa IM, Houry Neto M, Montemezzo D, Silva LA, Andrade AD, Parreira VF. Predictive equations for respiratory muscle strength according to international and Brazilian guidelines. *Braz J Phys Ther.* 2014 Sep-Oct;18(5):410-8.
- Para adultos: Sanchez FF, Araújo da Silva CD, de Souza Pereira Gama Maciel MC, Rebouças Demóstenes Marques J, Brosina de Leon E, Lins Gonçalves R. Predictive equations for respiratory muscle strength by anthropometric variables. *Clin Respir J.* 2018 Jul;12(7):2292-2299.
- Não me lembro.
- Outro:

18. Qual parâmetro você utiliza ao escolher os valores de pressões respiratórias máximas? Marcar apenas uma oval.

- Pressão média máxima
- Pressão pico
- Pressão platô
- Pressão sustentada
- Outro:

19. A medida de pressões respiratórias máximas pode ser realizada em diferentes volumes pulmonares. Na sua prática clínica, em quais volumes pulmonares você normalmente realiza a medida?

Marcar apenas uma oval.

- Pressão inspiratória em nível de volume residual
- Pressão expiratória em nível de capacidade pulmonar total
- Pressão inspiratória em nível de capacidade residual funcional
- Pressão expiratória em nível de capacidade residual funcional
- Pressões inspiratória e expiratória inspiratória em níveis de capacidade residual funcional
- Outro:

20. Por favor, classifique os itens a seguir de acordo com o nível de dificuldade na operacionalização das medidas de pressões respiratórias máximas (dificuldade baixa, dificuldade média ou dificuldade alta):

Marcar apenas uma oval por linha.

	Dificuldade baixa	Dificuldade média	Dificuldade alta	Não se aplica
Identificar as indicações e contra-indicações da medida?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instruir os pacientes para a realização da medida?				

	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Entendimento dos critérios de aceitabilidade e reprodutibilidade das medidas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Interpretação dos resultados das medidas?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Higienização do material?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Montagem do aparelho?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

21. Na sua prática clínica, descreva em quais situações você utiliza as medidas de pressões respiratórias máximas.
22. Na sua prática clínica, descreva em quais condições você considera que a realização das medidas das pressões respiratórias máximas seria contraindicada.
23. Caso se interesse, comente abaixo sobre o questionário respondido ou sobre outros aspectos das medidas de pressões respiratórias máximas e sua aplicabilidade clínica:
Responda as próximas questões apenas se a resposta da questão 1 foi não.
24. Quais motivos o levaram a não utilizar a medida? Caso você entenda como pertinente, discorra sobre a(s) sua(s) resposta(s) no campo outros.

Marcar apenas uma oval.

- Não tive pacientes com indicações para a medida
- Não conheço a medida
- Conheço a medida, mas não sei como utilizá-la
- Não tenho acesso ao instrumento
- O tempo necessário para a realização da medida não é viável
-

Outro:

25. Caso se interesse, comente abaixo sobre o questionário respondido ou sobre outros aspectos das medidas de pressões respiratórias máximas e sua aplicabilidade clínica.

Obrigada pela participação!

APÊNDICE F

Passo-a-passo para a utilização do manovacuômetro para medidas de PRM em CRF

1. Certifique-se que o manovacuômetro está pareado ao computador em que o teste será realizado (via bluetooth) e que está devidamente carregado. Caso a bateria do instrumento esteja descarregando, os três sinalizadores luminosos (vermelho, amarelo e verde) irão piscar, então conecte-o ao carregador.
2. Ligue o instrumento utilizando o botão de liga/desliga (figura 1A).

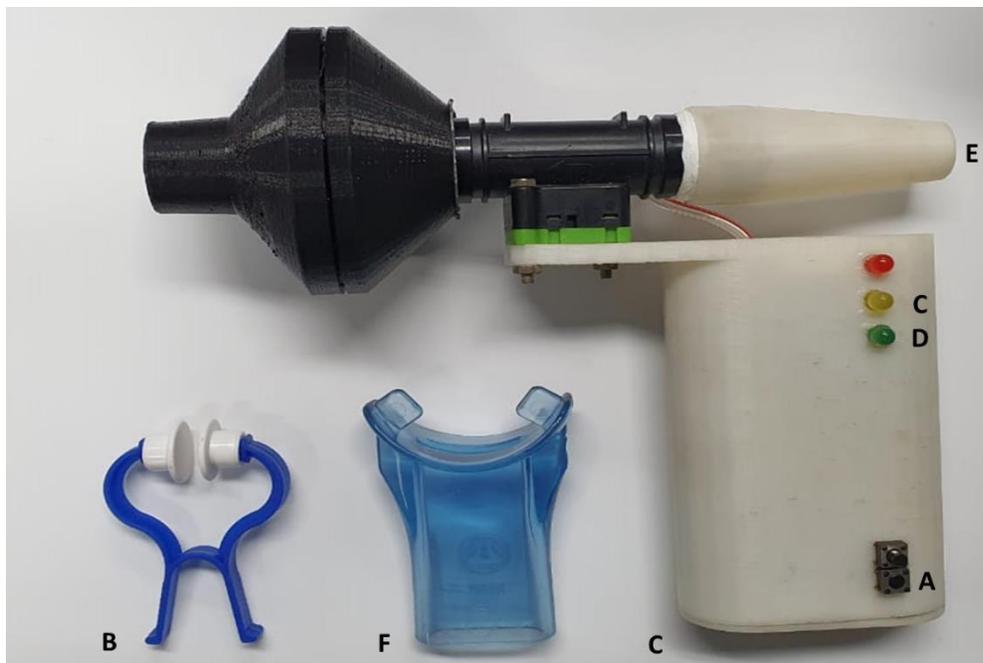
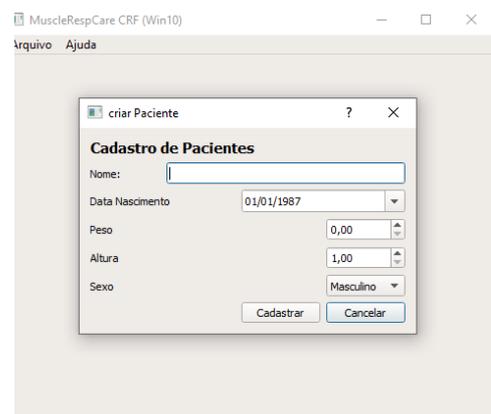
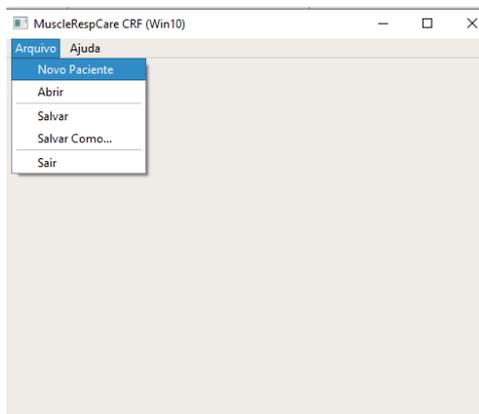


Figura 1

3. Abra a interface do programa MuscleRespCare CRF, clique em: Arquivo - Novo Paciente e cadastre o indivíduo preenchendo com os dados solicitados.



4. Instrua o indivíduo quanto à manobra.
 - 4.1. O indivíduo deve permanecer sentado em uma cadeira, com os pés e o tronco apoiados, mantendo 90° de flexão em relação ao quadril.
 - 4.2. O clipe nasal deve ser utilizado durante todo o teste (figura 1B, acima).
 - 4.3. O indivíduo é orientado a respirar seguindo um padrão similar a um suspiro: “puxe o ar um pouco acima do normal e solte como se estivesse relaxando o peito”. Esse padrão é repetido até que o sistema identifique que os ciclos estão similares, indicado pelo sinal luminoso amarelo (figura 1C, acima).
 - 4.4. Se próximo ciclo continuar constante, o sinal luminoso verde (figura 1D, acima) indicará, ao final da expiração desse ciclo, o momento para o avaliador solicitar o esforço inspiratório máximo (para a P_{Imáx}) ou expiratório máximo (para a P_{Emáx}) enquanto oclui o orifício de oclusão (figura 1E, acima). O avaliador precisa pressionar as bochechas dos indivíduos durante as manobras de esforço expiratório.
 - 4.5. Para a coleta de dados utilizada na presente tese, os indivíduos deveriam realizar no mínimo cinco manobras com um intervalo de um minuto entre elas. A última manobra não poderia ser a de maior valor. Pelo menos três das cinco manobras deveriam seguir os critérios de aceitabilidade: sem vazamento de ar, pressão mantida por pelo menos 1,5 segundos e volume da manobra dentro dos limites padronizados para a CRF (Vol. manobra < Vol. limite CRF, como mostrado na figura 2 abaixo). O método utilizado para a detecção do volume próximo a CRF foi descrito anteriormente (PEREIRA, M. C. B., SILVEIRA, B. M. F.; PEREIRA, H. L. A. et al. TrueForce: a new digital manometer to measure maximal respiratory pressures at functional residual capacity. *Research on Biomedical Engineering*, v. 37, n. 2, p. 181-191, 2021). As manobras seriam reproduzíveis se a variação fosse <10%. Um bocal do tipo mergulhador foi utilizado (figura 1F, acima).

Notas:

- O manovacuômetro é auto-calibrável, ou seja, não necessita do processo de calibração após a primeira utilização.
- A manobra é realizada em circuito fechado, portanto, o indivíduo avaliado realiza os ciclos respiratórios anteriores aos esforços já com o instrumento acoplado à boca.
- O elemento filtrante utilizado durante os testes é posicionado em uma peça com encaixe no instrumento, o que viabiliza a troca do elemento filtrante apenas.

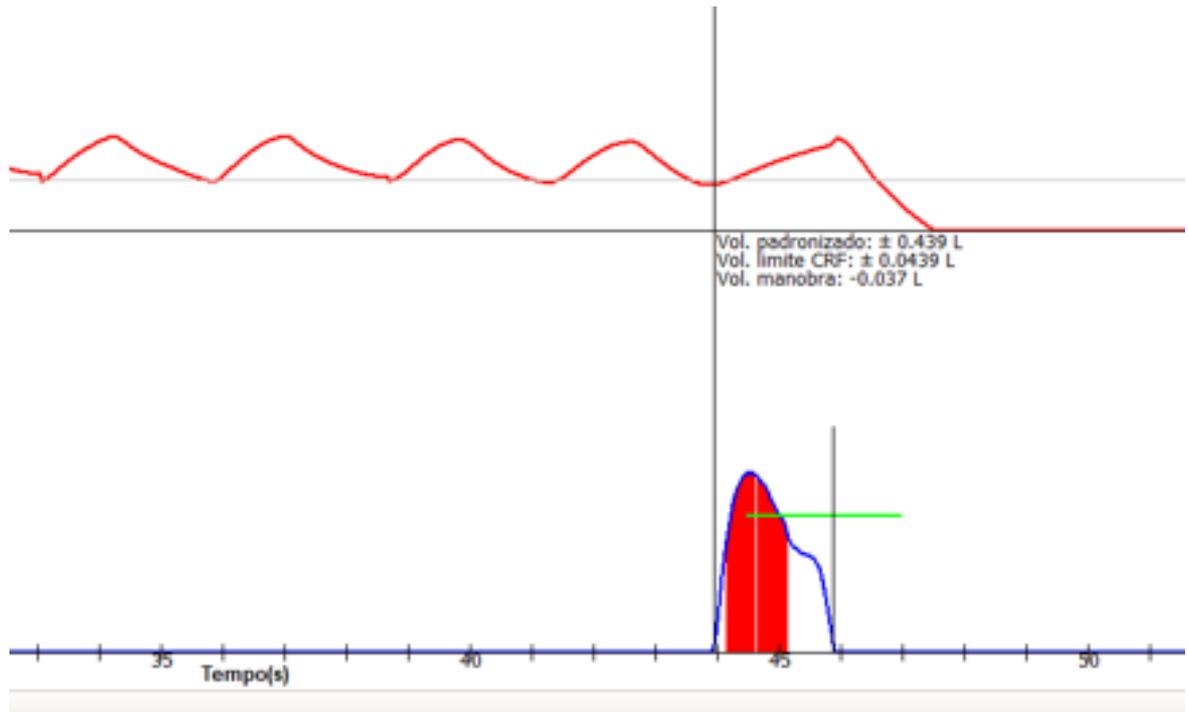


Figura 2

MINICURRÍCULO

Nome: Bruna Mara Franco Silveira.

Endereço eletrônico: brunamarafsilveira@hotmail.com

Link para o currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3974189855832954>

Formação acadêmica/titulação

2017 - Atual: Doutorado em andamento no Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Orientadora: Prof. Dra. Verônica Franco Parreira. Financiamento: FAPEMIG.

2011 - 2016: Graduação em Fisioterapia, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, com período sanduíche na Slippery Rock University of Pennsylvania/ EUA.

Produção bibliográfica durante o período de doutoramento

Artigos completos publicados em periódicos

1. Hoffman, M.; Vieira, D.; Silveira, B.; Augusto, V.; Parreira, V. Effects of inspiratory muscle training on resting breathing pattern in patients with advanced lung disease. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, v. 283, p. 103560, 2021.
2. Lage, S.; Pereira, D.; Corradi, Nepomuceno, A.L.; Gonçalves, A.C.; Hoffman, M.; Silveira, B.; Parreira, V. Efficacy of inspiratory muscle training on inspiratory muscle function, functional capacity, and quality of life in patients with asthma: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, v. 35, p. 026921552098404, 2021.
3. Pereira, M.; Silveira, B.; Pereira, H.; Parreira, V.; Martins, H. TrueForce: a new digital manometer to measure maximal respiratory pressures at functional residual capacity. *Research On Biomedical Engineering*, v. 37, p. 181-191, 2021.
4. Vieira, D.; Mendes, L.; Alencar, M.; Hoffman, M.; Albuquerque, A.; Silveira, B.; Aguiar, S.; Parreira, V. Rib cage distortion and dynamic hyperinflation during two exercise intensities in people with COPD. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, v. 293, p. 103724, 2021.
5. Hoffman, M.; Augusto, V.; Eduardo, D.; Silveira, B.; Lemos, M.; Parreira, V. Inspiratory muscle training reduces dyspnea during activities of daily living and improves inspiratory muscle function and quality of life in patients with advanced lung disease. *Physiotherapy Theory and Practice*, v. 20, p. 1-11, 2019.
6. Pereira, M.; Lana, F.; Latorre, F.; Silveira, B.; Torres, F.; Martins, H. Development of a computational system for monitoring respiratory airflow, pressure, and volume estimation. *Revista Argentina de Bioingeniería*, v. 22, p. 28, 2018.
7. Hoffman, M.; Assis, M.; Augusto, V.; Silveira, B.; Parreira, V. The effects of inspiratory muscle training based on the perceptions of patients with advanced lung disease: a qualitative study. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, v. 22, p. 1-7, 2017.

Resumos publicados em anais de congressos

1. Brito, J.; Costa, S.; Lacerda, P; Rocha, B.; Martins, T.; Silveira, B.; Mendes, L.; Augusto, V.; Velloso, M. Efeitos do telemonitoramento no controle dos sintomas de indivíduos com doenças respiratórias crônicas durante a pandemia da COVID-19.

XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020, Belo Horizonte. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

2. Cardoso, D.; Silveira, B.; Pereira, M.; Martins, H.; Rocha, B.; Parreira, V. F. Avaliação das pressões respiratórias máximas em níveis de capacidade residual funcional, capacidade pulmonar total e volume residual em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica. XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020, Belo Horizonte. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

3. Candido, L.; Rocha, B.; Machado, F.; Martins, T.; Silveira, B.; Mendes, L.; Velloso, M. Adesão de indivíduos inseridos em um programa de reabilitação pulmonar ao telemonitoramento durante o isolamento social. XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020, Belo Horizonte. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

4. Gomes, M.; Reis, S.; Costa, S.; Rocha, B.; Silveira, B.; Martins, T.; Mendes, L.; Velloso, M. Telemonitoramento de indivíduos com doenças respiratórias crônicas: ansiedade, depressão e qualidade de vida. XXIX Semana de Iniciação Científica, Belo Horizonte, 2020. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

5. Silva, F.; Mendes, L.; Pataro, A.; Rodrigues, M.; Silveira, B.; Velloso, M. Respostas fisiológicas e sintomas induzidos por diferentes testes de campo para avaliação de indivíduos com doenças respiratórias crônicas. XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020, Belo Horizonte. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

6. Rodrigues, M.; Pataro, A.; Silva, F.; Silveira, B.; Mendes, L.; Velloso, M. Dessaturação de oxigênio durante o teste de caminhada de seis minutos em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica e doença pulmonar intersticial encaminhados a um programa de reabilitação pulmonar. XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020, Belo Horizonte. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

7. Cota, A.; Mendes, L.; Silveira, B.; Silva, G.; Rezende, M. Correlação entre testes de capacidade funcional e o questionário do hospital Saint George na doença respiratória antes e após um programa de reabilitação pulmonar de baixo custo. XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020, Belo Horizonte. Anais XXIX Semana de Iniciação Científica, 2020.

8. Estrella, D.; Pereira, H.; Mancuzo, E.; Samora, G.; Silveira, B.; Pataro, A.; Parreira, V. Concurrent validity among three field tests and the cardiopulmonary exercise testing in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. 2020 ERS International Congress, 2020. European Respiratory Journal.

9. Silveira, B.; Hoffman, M.; Augusto, V.; Eduardo, D.; Pereira, D.; Lemos, M.; Parreira, V. F. Efeitos do treinamento muscular inspiratório sobre a função pulmonar, padrão respiratório e movimento toracoabdominal em pacientes com doença pulmonar avançada. XIX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2018, Manaus. Assobrafir Ciência, 2018. v. 9. p. 174-175.

10. Silveira, B.; Lage, S.; Pereira, D.; Samora, G.; Araujo, A.; Parreira, V. Eficácia do treinamento muscular inspiratório na função muscular inspiratória em adultos com asma. Um ensaio clínico aleatorizado. XIX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2018, Manaus. Assobrafir Ciência, 2018. v. 9. p. 176-177.

11. Silveira, B.; Hoffman, M.; Augusto, V.; Eduardo, D.; Lemos, M.; Parreira. Treinamento muscular inspiratório melhora a capacidade funcional, qualidade de vida e função muscular inspiratória em pacientes com doença pulmonar avançada. XIX Simpósio Internacional de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Terapia Intensiva, 2018, Manaus. Assobrafir Ciência, 2018. v. 9. p. 250-250.
12. Hoffman, M.; Silveira, B.; Lemos, M.; Augusto, V.; Parreira, V. The effects of inspiratory muscle training in patients with advanced lung disease. ERS International Congress, 2017, Milão. European Respiratory Journal, 2017. v. 50. p. 1565.
13. Hoffman, M.; Assis, M.; Augusto, V.; Silveira, B.; Parreira, V. The effects of inspiratory muscle training on the perceptions of advanced lung disease patients: A qualitative study. ERS International Congress, 2017, Milão. European Respiratory Journal, 2017. v. 50. p. 2044.
14. Evangelista, J.; Parreira, V.; Pereira, D.; Silveira, B.; Oliveira, A.; Jacome, C; Lage, S. Validação do componente fatores ambientais do core set da CIF para as doenças pulmonares obstrutivas de acordo com a perspectiva de pacientes com asma. XXVI Semana de Iniciação Científica, 2017, Belo Horizonte. Anais da XXVI Semana de Iniciação Científica, 2017.

Prêmios e títulos

2020: Relevância Acadêmica: Efeitos do telemonitoramento no controle dos sintomas de indivíduos com doenças respiratórias crônicas durante a pandemia da COVID-19 apresentado na XXIX Semana de Iniciação Científica da UFMG, Belo Horizonte.

2020: Relevância Acadêmica: Avaliação das pressões respiratórias máximas em níveis de capacidade residual funcional, capacidade pulmonar total e volume residual em indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica, apresentado na XXIX Semana de Iniciação Científica da UFMG, Belo Horizonte.

Orientações durante o período de doutorado

1. Trabalho de Conclusão de Curso: Daniella Cardoso e Mariana Felipe. Medidas de pressões respiratórias máximas: perspectivas de fisioterapeutas das áreas de Fisioterapia cardiorrespiratória e Fisioterapia em terapia intensiva. Orientadora. Graduação em Fisioterapia. UFMG, 2021.
2. Trabalho de Conclusão de Curso: Ana Viégas e Guilherme Telles. Correlação entre o domínio atividade do questionário do Hospital Saint George na doença respiratória e testes de capacidade funcional antes e após um programa de reabilitação pulmonar. Orientadora. Graduação em Fisioterapia. UFMG, 2021.
3. Trabalho de Conclusão de Curso: Ana Pataro e Marina Rodrigues. Respostas fisiológicas e sintomas induzidos por diferentes testes de campo para avaliação de indivíduos com doenças respiratórias crônicas. Coorientadora. Graduação em Fisioterapia. UFMG, 2021.