



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS EM
SAÚDE

CONFIABILIDADE, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DE ROTINA DE ANÁLISE
DE VOLUMES DA CAIXA TORÁCICA EM SISTEMA DE ANÁLISE DE
MOVIMENTO EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS

TATIANA ZACARIAS RONDINEL

BRASÍLIA
JULHO 2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

RR771c Rondinel, Tatiana Zacarias
CONFIABILIDADE, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DE ROTINA DE ANÁLISE DE VOLUMES DA CAIXA TORÁCICA EM SISTEMA DE ANÁLISE DE MOVIMENTO EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS / Tatiana Zacarias Rondinel; orientador Graziella França Bernardelli Cipriano. - Brasília, 2021.
113 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Ciências e Tecnologias em Saúde) -- Universidade de Brasília, 2021.

1. Reprodutibilidade dos Testes. 2. Caixa Torácica. 3. Medidas de Volume Pulmonar. 4. Pressões Respiratórias Máximas. 5. Testes de Função Respiratória. I. Cipriano, Graziella França Bernardelli, orient. II. Título.

**CONFIABILIDADE, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DE ROTINA DE ANÁLISE DE
VOLUMES DA CAIXA TORÁCICA EM SISTEMA DE ANÁLISE DE MOVIMENTO
EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS**

TATIANA ZACARIAS RONDINEL

Tese apresentada ao Programa Ciências e Tecnologias em Saúde da Universidade de Brasília para a obtenção do título de Doutor em Ciências e Tecnologias em Saúde.

Área de Concentração: Promoção, prevenção e intervenção em saúde.

Linha de Pesquisa: Saúde, Funcionalidade, Ocupação e Cuidado.

Orientador: Prof. Dra. Graziella França Bernardelli Cipriano.

BRASÍLIA

JULHO 2021

CONFIABILIDADE, VALIDAÇÃO E APLICAÇÃO DE ROTINA DE ANÁLISE DE VOLUMES DA CAIXA TORÁCICA EM SISTEMA DE ANÁLISE DE MOVIMENTO EM INDIVÍDUOS SAUDÁVEIS

Tatiana Zacarias Rondinel

Tese de Doutorado apresentada a Faculdade de Ceilândia da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Ciências e Tecnologias em Saúde.

30 de julho de 2021

MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Graziella França Bernardelli Cipriano
(Presidente)

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia em Saúde. Universidade de Brasília
(UnB)

Prof. Dr. Marcelo Velloso
(Titular-Externo)

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

Prof. Dr. Magno Markus Ferreira Formiga Gonçalves de Oliveira
(Titular-Externo)

Departamento de Fisioterapia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof. Dr. Leonardo Petrus Paz
(Titular-Interno)

Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia em Saúde. Universidade de Brasília
(UnB)

Prof. Dr. Gaspar Rogério da Silva Chiappa
(Suplente-Externo)

Programa de Pós-Graduação em Movimento Humano e Reabilitação. UniEvangélica.

**BRASÍLIA
JULHO 2021**

*“Gracias a la vida, que me ha dado tanto
Me dio el corazón, que agita su marco.”*

Violeta Parra

*“Caminante, son tus huellas el camino y nada más;
Caminante, no hay caminho, se hace caminho al andar.
Al andar se hace el caminho, y al volver la vista atrás
Se ve la senda que nunca se ha de volver a pisar.”*

Antonio Machado

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, a meus pais, a meu marido e a todos aqueles que me apoiaram e contribuíram positivamente durante meu caminho e evolução.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente e imensamente à Deus, que é meu guia e meu refúgio em todos os momentos e que, por meio da fé, me trouxe à conclusão de mais uma etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, meus guias e minha base, professores universitários que são minha primeira fonte de inspiração acadêmica; que se doaram para que eu pudesse ter uma educação de qualidade, por me formar como um ser humano íntegro, por valorizarem e apoiarem meu crescimento pessoal e profissional por meio do estudo a longo prazo, por todo o amor e compreensão pela distância.

Agradeço ao meu marido, por me acompanhar nesse nosso sonho do doutorado que nos trouxe à Brasília, por ser meu companheiro e meu apoio em todos os momentos, por ser meu parceiro nessa jornada, jornada que me trás muita felicidade, por saber que estás ao meu lado.

Agradeço à minha irmã e minha sobrinha, pelo apoio e amor incondicional, por torcerem pela minha felicidade, e pela compreensão por estar distante fisicamente.

Agradeço à minha orientadora Graziella, por me acolher em Brasília e na sua família, por todos os ensinamentos acadêmicos e de vida durante todo o período do doutorado, por acreditar no meu potencial, por confiar no meu trabalho, por me incentivar a ser uma melhor pesquisadora, com mais assertividade e confiança.

Agradeço à professora Clarissa, por todos os ensinamentos acadêmicos e técnicos; porém, mais além disso, pela gentileza e pelo altruísmo, pela confiança no meu trabalho e no meu potencial na execução desse projeto, pelas incontáveis reuniões e visitas ao laboratório, que foram essenciais para chegar a esse resultado.

Agradeço aos professores Gerson Cipriano, Sérgio Mateus e Eduardo Nakano, por serem partes importantes na construção do meu conhecimento durante esse período, e todos os docentes que de alguma forma colaboraram nesse processo.

Agradeço aos meus colegas e aos meus amigos do grupo de pesquisa GPRC, principalmente Natália, Amanda, Gabriela, Lilian, Alexandra, Marianne e Jéssica, por serem meu apoio e minha família em Brasília, por compartilhar de seus conhecimentos acadêmicos, mas também pela amizade e por me ajudarem a crescer na vida pessoal.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde, em especial à professora Silvana, na condição de coordenadora, por estar presente e me auxiliar na condução desse processo.

Agradeço à Universidade de Brasília por me receber como discente e por oferecer um ensino de qualidade por meio de um excelente corpo docente, disciplinas, laboratórios e infraestrutura.

Agradeço aos voluntários da minha pesquisa por torná-la viável e possível.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento dos meus estudos e viabilizar minha permanência em Brasília.

APRESENTAÇÃO

O estudo da caixa torácica envolve a compreensão funcional dos músculos respiratórios, bem como a mobilidade das estruturas do arcabouço torácico (1–4). Por meio da análise cinemática tridimensional é possível, através da recriação de imagens de marcadores posicionados na caixa torácica e abdômen, captados por câmeras, avaliar de forma indireta as estimativas de volume da caixa torácica (5,6).

Nesse contexto, é de grande relevância, para a fisioterapia cardiopulmonar, contar com mais uma ferramenta de avaliação do sistema respiratório e da caixa torácica. Outros sistemas que realizam essa avaliação já foram utilizados e validados para seu uso (7–10). Porém, essa metodologia de avaliação, ainda não foi estudada no sistema de análise de movimento Qualysis Tracker Manager adquirido pela Universidade de Brasília.

Com o intuito de ampliar os estudos da caixa torácica no grupo de pesquisa, esse projeto foi elaborado e desenvolvido, de forma original, para preencher essa lacuna, e para propiciar uma nova metodologia de avaliação no sistema Qualysis, que poderá ser utilizada futuramente para o desenvolvimento de diversas pesquisas, gerando um valor agregado ao equipamento disponível na Universidade de Brasília, bem como ao sistema educacional. Para isso, foi realizada uma busca na literatura científica dos estudos relacionados à análise da mobilidade toracoabdominal; a partir dela, selecionamos uma metodologia aplicada em outro sistema (11), baseado em câmeras, para ser aplicada no nosso sistema Qualysis, por meio de uma rotina de análise criada em Matlab.

A partir disso, desenvolvemos toda a metodologia do projeto, para análise dos volumes da caixa torácica. Associada à essa análise, realizamos testes respiratórios concomitantemente (espirometria, P_{Imáx}, S-Index), para avaliar o comportamento da caixa torácica durante a execução desses testes, que são amplamente utilizados na prática clínica dos fisioterapeutas respiratórios, e que não haviam sido avaliados com essa metodologia.

Por se tratar de uma metodologia de avaliação inovadora para esse sistema, avaliamos, primeiramente, voluntários saudáveis, para verificar a viabilidade e o tempo de execução de todas as etapas do projeto: montagem do set com as câmeras, calibração do sistema, colocação dos marcadores, execução dos testes respiratórios e tempo de repouso. Como uma forma de agregar conhecimento, com o intuito social, selecionamos como voluntários os acadêmicos de fisioterapia da Universidade de Brasília que, além de colaborarem com a pesquisa, aprenderam sobre a análise da caixa torácica, manejo dos equipamentos que realizam os testes de força muscular respiratória e espirometria, bem como os procedimentos para avaliação dos testes respiratórios.

Além disso, como parte de uma análise inicial dos dados, foi desenvolvido um trabalho de conclusão de curso de uma aluna de graduação da fisioterapia. Além de colaborar com a pesquisa, também desenvolveu esse trabalho, posteriormente apresentado na semana universitária como projeto de bolsa de PIBIC contemplado pela aluna.

Como a metodologia de avaliação desenvolvida é inovadora para o sistema Qualysis, registramos a rotina de análise em Matlab no Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI), via Universidade de Brasília, como Certificado de Registro de Programa de Computador, Processo Nº: BR512021000715-8, com o Título “Rotina de Matlab para Volume.m”. Além disso, oriundos desse trabalho, um manuscrito foi submetido a revista científica *Respiratory Care*, e o segundo manuscrito está em processo de finalização.

Além de apresentar relevância para o desenvolvimento científico, por se tratar de uma rotina de análise que poderá ser utilizada futuramente em outros estudos desenvolvidos na Universidade de Brasília, há uma relevância tecnológica, por se tratar de um equipamento que envolve uma tecnologia complexa para seu funcionamento. Essa rotina poderá ser disponibilizada para outras universidades a fim de avaliar a mobilidade toracoabdominal na prática clínica, e adicionalmente incorporá-la em pesquisas científicas relacionados a cinemática da caixa torácica.

Sendo assim, por meio deste trabalho, houve a produção de novos conhecimentos científicos, gerando contribuição na formação de discentes de graduação, iniciação científica e pós-graduação. Os resultados do presente trabalho serão divulgados no meio acadêmico, por meio desta defesa pública, e no meio científico, por meio de artigos que serão submetidos a revistas científicas. Ainda, cabe destacar, que toda pesquisa foi apoiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio de financiamento de bolsa de estudos de doutorado, permitindo dedicação exclusiva para execução desse projeto.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 Hipótese.....	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Anatomia e mecânica dos músculos respiratórios.....	21
2.2 Testes para avaliação respiratória.....	27
2.2.1 Espirometria.....	27
2.2.2 Teste de pressão inspiratória máxima estática	28
2.2.3 Teste de pressão inspiratória máxima dinâmica.....	30
2.3 Metodologias para estudo do movimento da caixa torácica.....	31
2.3.1 Tipos de sistemas de avaliação de volumes da caixa torácica.....	32
3. OBJETIVO GERAL	36
3.1 Objetivos específicos	36
4. METODOLOGIA	37
4.1. Delineamento de pesquisa.....	37
4.2. Amostra do estudo.....	37
4.3. Local da pesquisa	37
4.4. Considerações éticas.....	38
4.5. Protocolo do estudo	38
4.6. Variáveis analisadas.....	40
4.6.1. Avaliação antropométrica.....	40
4.6.2. Avaliação dos volumes da caixa torácica	41
4.6.3. Processamento de dados dos volumes da caixa torácica.....	47
4.6.3. Avaliação dos testes respiratórios	48
4.7. Procedimentos de avaliação.....	50
4.7.1. Confiabilidade teste-reteste e concordância.....	50
4.7.2. Validação convergente	50
4.7.3. Comparação entre os testes respiratórios.....	50
4.7.4. Associação entre testes respiratórios e sistema de análise de movimento.....	51
4.8. Análise estatística e cálculo amostral.....	51
4.8.1 Testes estatísticos	51
5. RESULTADOS.....	52
5.1. Confiabilidade teste-reteste e concordância.....	53
5.2. Validação convergente	55

5.3. Comparação entre os testes respiratórios	56
5.4. Associação entre testes respiratórios e sistema de análise de movimento	58
6. DISCUSSÃO	60
6.1 Limitações	64
7. CONCLUSÃO	65
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	75
<i>Anexo I. Processo de registro de patente no NUPITEC via INPI</i>	<i>75</i>
<i>Anexo II. Manuscrito</i>	<i>76</i>
<i>Anexo III. Normas da revista</i>	<i>96</i>
<i>Anexo IV. Aprovação do comitê de ética em pesquisa</i>	<i>107</i>
<i>Anexo V. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido</i>	<i>112</i>

RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1. Dados demográficos, de força muscular inspiratória e de espirometria de adultos saudáveis.....	53
Tabela 2. Dados relacionados à confiabilidade teste-reteste dos valores volumétricos da caixa torácica durante execução da PImáx e S-Index em adultos saudáveis.....	54
Tabela 3. Dados relativos aos volumes correntes da caixa torácica total e compartimentos nos testes respiratórios em adultos saudáveis.....	57

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1 - Representação do posicionamento dos marcadores no tórax e abdômen na parte anterior e posterior para análise da caixa torácica por meio do sistema de análise de movimento Qualysis.	38
Figura 2 - Representação do posicionamento do indivíduo e das câmeras para análise da caixa torácica por meio do sistema de análise de movimento Qualysis.	39
Figura 3. Fluxograma do estudo.....	40
Figura 4. Representação dos marcadores no tórax e abdômen, com a divisão proposta para os 4 compartimentos. ST, tórax superior; IT, tórax inferior; SA, abdômen superior; IA, abdômen inferior.45	45
Figura 5. Diagrama de Bland-Altman da medida de concordância entre os valores de PImáx-Vt-cw (A), PImáx-VIFcw (B), S-Index-Vt-cw (C) e S-Index-VIFcw (D), obtidos durante captura de sistema de análise de movimento. PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica.	55
Figura 6. Correlação entre VIFcw e os valores dos testes de PImáx e S-Index. VIFcw, volume inspiratório final da caixa torácica. PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica. Correlação de Pearson.	56
Figura 7. Comparação entre os volumes correntes dos compartimentos entre os testes respiratórios. Vt-cw, volume corrente da caixa torácica; TS, tórax superior; TI, tórax inferior; AS, abdômen superior; AI, abdômen inferior; PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica. *, diferença com o Basal; †, diferença entre Vt-sa e os outros compartimentos.	58
Figura 8. Correlação entre VIFcw e valores de CVF e VEF ₁ . VIFcw, volume inspiratório final da caixa torácica; CVF, capacidade vital forçada; VEF ₁ , volume expiratório forçado no primeiro segundo. Correlação de Pearson.	59
Figura 9. Correlação entre o VIFcw da espirometria com o VIFcw do PImáx e do S-Index. VIFcw, volume inspiratório final da caixa torácica. PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica. Correlação de Pearson.	59

RELAÇÃO DE IMAGENS

Imagem 1. Representação da musculatura do pescoço, acessória à respiração. A, trapézio e esternocleidomastoideo; B, escalenos.	23
Imagem 2. Representação dos músculos do tórax, acessórios à respiração. A, intercostais internos e transversos do tórax; B, intercostais internos e externos e serrátil anterior.	24
Imagem 3. Representação anatômica do músculo diafragma.	25
Imagem 4. Representação anatômica dos músculos abdominais acessórios à respiração.	26
Imagem 5. Set de coleta de dados demonstrando posicionamento das câmeras e disposição dos bancos.	41
Imagem 6. Resultado da calibração da área de coleta toracoabdominal demonstrado no software de biomecânica Visual 3D conectado ao sistema de análise de movimento Qualysis.	42
Imagem 7. Resultado da calibração da área de coleta toracoabdominal, em relação aos eixos X, Y e Z e input encontrado, demonstrado no software de biomecânica Visual 3D conectado ao sistema de análise de movimento Qualysis.	43
Imagem 8. Representação em 3D, de visão lateral dos marcadores retro-refletidos, posicionados no tórax e abdômen. Ao lado, identificação com 100% de visibilidade dos 30 marcadores.	44
Imagem 9. Retrato da aquisição do teste de PImáx, com o equipamento POWERBreathe® KH2, durante aquisição de imagens do sistema de análise de movimento Qualysis.	47

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS

TFMI	Testes de força muscular inspiratória
PI _{máx}	Pressão inspiratória máxima estática
S-Index	Pressão inspiratória máxima dinâmica
CW	Caixa torácica
V _t	Volume corrente
VEF	Volume expiratório final
VIF	Volume inspiratório final
ICC	Coefficientes de correlação intraclasse
CVF	Capacidade vital forçada
VEF ₁	Volume expiratório forçado no 1º segundo
CV	Capacidade Vital
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TS	Tórax Superior
TI	Tórax Inferior
AS	Abdômen Superior
AI	Abdômen Inferior
ATS	American Thoracic Society
ERS	European Respiratory Society
DP	Desvio padrão
SEM	Erro padrão de medida

RESUMO

Introdução: A mobilidade toracoabdominal está associada às mudanças dos volumes pulmonares e a função dos músculos respiratórios. As medidas do movimento da superfície da caixa torácica são comumente utilizadas para estimativa indireta de volumes pulmonares. Entretanto, as propriedades psicométricas do sistema de análise de movimento, bem como as mudanças que os testes respiratórios causam na mobilidade da caixa torácica necessitam de maiores esclarecimentos.

Objetivo: (1) Avaliar a confiabilidade teste-reteste, a concordância e a validade convergente das medidas de análise do movimento da parede torácica para estimar o volume pulmonar em indivíduos saudáveis durante a realização dos testes de força muscular inspiratória (TFMI); (2) comparar as alterações de volume total e compartimental entre os testes respiratórios (TFMI e espirometria).

Métodos: Foram avaliados 21 voluntários adultos saudáveis (idade = $21 \pm 2,5$ anos), durante a medição do sistema de análise de movimento no repouso e durante manobras dos TFMI, que resultou nas medidas de pressão inspiratória máxima estática (P_{Imáx}) e pressão inspiratória máxima dinâmica (S-Index). O movimento da caixa torácica (CW) e a medida estimada dos volumes da caixa torácica durante os esforços dos músculos respiratórios foram obtidos duas vezes no mesmo dia pelo mesmo avaliador para análise da confiabilidade teste-reteste e concordância. A validade convergente foi avaliada para examinar o grau em que os volumes pulmonares estimados estavam associados ao desempenho dos músculos inspiratórios. Além disso, o teste de espirometria foi realizado e sua medida estimada de volume foi comparada ao TFMI. O sistema de análise de movimento da parede torácica forneceu estimativas das medidas de volume corrente (V_t), volume expiratório final (VEF) e volume inspiratório final (VIF), resultantes da caixa torácica total e compartimental. A análise estatística incluiu correlação de Pearson, coeficientes de correlação intraclassa (ICC), gráficos de Bland-Altman e Anova de uma via.

Resultados: Todas as medidas estimadas de volume pulmonar foram consideradas de alta confiabilidade. O S-Index demonstrou uma forte confiabilidade teste-reteste com o V_t-cw com um coeficiente de correlação intraclassa (ICC) de 0,95 [95% CI=0,824;0,980]), enquanto P_{Imáx} - V_t-cw obteve um ICC de 0,73 ([95% CI=0,247;0,898]). Os valores de ICC variaram de 0,61-1,00 e 0,81-0,95 para estimativa de volumes pulmonares obtidas durante P_{Imáx} e S-Index. As medidas repetidas de V_t-cw e VIF_{cw} via sistema de análise de movimento durante os TFMI apresentaram boa concordância. Além disso, VIF_{cw} obteve correlação significativa com a P_{Imáx} ($r=0,52$; $P=,02$), S-Index ($r=0,79$; $P<,001$) e com as medidas da espirometria: capacidade vital forçada - CVF ($r=0,85$; $P<,001$), e volume expiratório forçado no 1º segundo - VEF₁ ($r=0,76$; $P=,0001$). Em relação aos testes respiratórios, o S-Index e a espirometria alcançaram maiores V_t-cw quando comparado com P_{Imáx} ($P=,000$), e o abdômen superior foi o compartimento com maior contribuição durante os testes ($P=,000$).

Conclusões: As estimativas dos volumes da caixa torácica durante análise de movimento da parede torácica apresentaram confiabilidade teste-reteste de moderada a excelente, com boa concordância, em adultos saudáveis submetidos ao teste de P_{Imáx} e S-Index. As medidas indiretas dos volumes pulmonares apresentaram associação com as diferentes manobras de força muscular respiratória, demonstrando evidências de validade convergente. Os volumes foram maiores durante S-Index e espirometria, e o abdômen superior contribuiu com a maior parte da mobilidade da parede torácica.

Palavras-chave: Reprodutibilidade dos Testes, Parede Torácica, Caixa Torácica, Medidas de Volume Pulmonar, Músculos Respiratórios, Pressões Respiratórias Máximas, Testes de Função Respiratória.

ABSTRACT

Background: Thoracoabdominal mobility is greatly associated with changes in lung volumes and respiratory muscle function. Chest wall surface motion measurements are commonly used for indirect estimation of lung volume. However, the psychometric properties of a motion analysis system, as well as the changes that breathing tests cause in chest wall mobility, when assessed using a motion analysis system, remain unclear.

Objective: (1) Evaluate the test-retest reliability, agreement, and convergent validity of measures of chest wall movement analysis to estimate lung volume in healthy individuals performing during respiratory muscle strength tests (TFMI); (2) compare total and compartment volume changes between breath tests (TFMI and spirometry).

Methods: Twenty-one healthy adult volunteers (age = 21 ± 2.5 years) were evaluated during the measurement of the movement analysis system at rest and during maneuvers of the inspiratory muscle strength tests, which resulted in measures of static maximum inspiratory pressure (MIP) and inspiratory muscle strength index (S-Index). Chest wall (CW) motion and lung volume estimation measurements during respiratory muscle efforts were obtained twice on the same day by a single evaluator to analyze the test-rest reliability and agreement analyses. Convergent validity was assessed to examine the degree to which estimated lung volumes were associated with inspiratory muscle performance. In addition, the spirometry test was performed for comparison with MIP and S-Index. The chest wall motion analysis system provided estimates of the tidal volume (V_t), end-expiratory volume (V_{ee}) and end-inspiratory volume (V_{ei}) measurements resulting from the total and compartmental rib cage. Statistical analysis included Pearson's correlation, intraclass correlation coefficients (ICC), Bland-Altman plots and One-way Anova.

Results: All estimated lung volume measurements were considered highly reliable. The S-Index demonstrated strong test-retest reliability with V_t -cw with an intraclass correlation coefficient (ICC) of 0.95 [95% CI=0.824;0.980]), while $P_{Imax} - V_t$ -cw obtained an ICC of 0.73 ([95% CI=0.247;0.898]). The ICC values ranged from 0.61-1.00 and 0.81-0.95 for estimating lung volumes obtained during MIP and S-Index. The repeated measurements of V_t -cw and V_{ei} -cw via the movement analysis system during different inspiratory efforts showed good agreement. In addition, V_{ei} -cw was significantly correlated with MIP ($r=0.52$; $P=.02$), S-Index ($r=0.79$; $P<.001$) and spirometry measurements - FVC ($r=0.85$; $P<.001$) and FEV_1 ($r=0.76$; $P=.0001$). Regarding breathing tests, the S-Index and spirometry achieved higher V_t -cw compared to MIP ($P=.000$), and the upper abdomen was the compartment with the greatest contribution during the tests ($P=.000$).

Conclusions: Chest wall volume estimates during motion analysis showed moderate to excellent test-retest reliability, with good agreement, in healthy adults undergoing MIP and S-Index tests. Indirect measurements of chest wall volumes were associated with different respiratory muscle strength maneuvers, demonstrating evidence of convergent validity. Volumes were higher during S-Index and spirometry, and the upper abdomen contributed most of the chest wall mobility.

Keywords: Reproducibility of Results, Thoracic Wall, Rib Cage, Lung Volume Measurements, Respiratory Muscles, Maximal Respiratory Pressures, Respiratory Function Tests

1. INTRODUÇÃO

Compreender a função dos músculos respiratórios é de extrema importância para uma respiração adequada (1), cuja mecânica é determinada pela sua anatomia e pelas estruturas que desloca ao se contrair (2). Além disso, é necessário que as propriedades físicas da caixa torácica sejam preservadas, associadas a uma ação combinada da musculatura respiratória, que levam a alterações no tamanho da caixa torácica e dos pulmões (3,4,12). Sabe-se que os músculos do pescoço (12–15) e do tórax (2,16,17), são recrutados para a inspiração profunda, embora o diafragma seja o principal músculo da inspiração (3,18,19). Além disso, durante a expiração, alguns músculos torácicos (4,20) e abdominais (4,21) são recrutados.

As alterações do volume pulmonar estão associadas à mobilidade toracoabdominal, ao desempenho dos músculos respiratórios (por exemplo, à capacidade do músculo diafragma de gerar forças) e à função pulmonar (6,22). Dessa forma, é importante compreender a relação entre os elementos estruturais e musculares do sistema respiratório e suas alterações de volume pulmonar sob estímulo respiratório (7).

Como uma ferramenta para avaliar a caixa torácica, a análise cinemática tridimensional é um método não invasivo para aferir os volumes da parede torácica, por meio de marcadores passivos colocados no tórax e abdômen. Esses marcadores são capturados por câmeras específicas, criando modelos geométricos da caixa torácica. Essa informação é convertida em uma variedade de estimativas de volume pulmonar (5–7,22). Dentre os equipamentos atuais com abordagens de avaliação de análise cinemática tridimensional estão os softwares e sistemas como o ELITE (7,23), *Dvideow* (8), e BTS (10,22). O sistema BTS demonstrou boa confiabilidade (9) e validade (10,24) na estimativa dos volumes da parede torácica (5,10). Porém, a confiabilidade, concordância e validade de mensurar os volumes da caixa torácica em um sistema de análise de movimento ainda não foram avaliados.

Os testes respiratórios são amplamente utilizados, tanto na prática clínica quanto em pesquisas, como a espirometria, que avalia os volumes pulmonares (25) e os testes de força muscular respiratória (1), entre eles a avaliação da pressão inspiratória máxima estática (PImáx) (26) e atualmente a pressão inspiratória máxima dinâmica (S-Index) (27,28). Sabe-se que a espirometria se correlaciona com os volumes da caixa torácica (10,11); a PImáx varia de acordo com o volume pulmonar (1); e o S-Index e a PImáx têm boa reprodutibilidade e correlação (29), porém, utilizam metodologias de avaliação diferentes (30). Tais testes são amplamente usados (31,32), têm boa repetibilidade, orientações rígidas de como realizá-los e podem ser implementados com dispositivos fáceis de encontrar e de menor custo (1).

A literatura demonstra uma associação entre os achados de análise cinemática tridimensional e os dados de espirometria (7,10,23,24), entretanto as alterações na mobilidade da parede torácica durante o teste de força muscular inspiratória, avaliada por um sistema de análise de movimento, permanecem incertas. A influência dos testes de força muscular respiratória nos volumes da caixa torácica, e a diferença entre eles, ainda são desconhecidas.

1.1 Hipótese

Já sabemos que há associação entre a pletismografia optoeletrônica e aos volumes da espirometria (7,10,23,24). Porém, ainda não se sabe como se comportam esses volumes durante os testes de força muscular inspiratório. Esses testes têm sido amplamente utilizados atualmente (31,32), e apresentam equipamentos de fácil manuseio, facilidade na manobra, repetibilidade e recomendações rígidas (1).

Entretanto, nenhum trabalho anterior analisou a confiabilidade e a aplicação de uma rotina de análise de volumes da caixa torácica em um sistema de análise de movimento. A hipótese foi de que um sistema de análise de movimento poderia ser um novo e alternativo

sistema para avaliação de volumes e movimentos da caixa torácica, considerando a qualidade metodológica em outros segmentos corporais.

Sendo assim, considerando a anatomia e biomecânica da caixa torácica; os testes validados para avaliação respiratória; e, as metodologias já conhecidas e estudadas previamente, a hipótese do presente estudo é de que o sistema de análise de movimento Qualysis é um novo instrumento para medida indireta dos volumes da caixa torácica, por meio de software específico projetado para essa finalidade em Matlab.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Anatomia e mecânica dos músculos respiratórios

O sistema respiratório é o meio pelo qual acontece a troca gasosa nos pulmões, dessa maneira o oxigênio é ofertado às hemácias e o dióxido de carbono é expelido para o meio ambiente, sendo vital para os seres humanos. Os pulmões estão localizados dentro da caixa torácica, cujo movimento é realizado pelos músculos respiratórios (33). Dessa forma, para uma adequada respiração é de extrema importância a função dos músculos respiratórios.

A mecânica da musculatura é determinada pela sua anatomia e pelas estruturas que se deslocam quando os músculos se contraem (2). Para uma inspiração ideal é necessário ter propriedades físicas preservadas da caixa torácica, como o tônus da parede abdominal para propiciar uma adequada descida do diafragma, e, uma ação combinada da musculatura inspiratória, principalmente do diafragma e dos intercostais (3,4). Os músculos respiratórios têm duas funções distintas: a) força, devido mudanças de pressão; e b) encurtamento das fibras musculares, devido alterações do volume pulmonar (1). Essas funções podem acarretar mudanças no tamanho da caixa torácica e pulmões, principalmente devido balanço entre as pressões do tórax e abdômen (4).

No corpo humano, os músculos que têm um papel na respiração representam cerca de 20% do total dos músculos esqueléticos; incluem músculos das regiões do nariz, cabeça e pescoço, língua, supra e infra-hióides, faringe, laringe, tórax, abdômen e costas (4). Porém, levando em consideração a sua função, pode-se dividir os músculos respiratórios em três grupos (músculos da caixa torácica, diafragma e músculos abdominais), no qual cada grupo atua principalmente no compartimento onde está inserido. Cada grupo muscular deve atuar de forma coordenada para uma adequada respiração (12). Para essa revisão, exploraremos os músculos do pescoço, tórax e abdômen, por terem maior influência em alteração da caixa torácica e, principalmente, por serem ativados durante respiração profunda.

- Músculos do pescoço: atuam principalmente na caixa torácica superior, principalmente na inspiração (12).
 - a) *Músculo trapézio superior*: tem a função de girar a clavícula e elevá-la, aumentando a capacidade de inspiração; além disso, a sua contração poderia mover a coluna vertebral, podendo influenciar as dimensões da caixa torácica e da respiração (4). Tem papel acessório quando o diafragma não está funcionando de maneira ideal (34). Sua ativação foi associada ao movimento da caixa torácica em inspirações profundas (13). Pode também ter uma ação durante a expiração profunda, pois contribui para a compressão da caixa torácica superior (35).
 - b) *Esternocleidomastoideo*: tem a função de musculatura acessória durante a inspiração, e são acionados na inspiração profunda e durante uma inspiração resistida, principalmente quando não há funcionamento adequado do diafragma (14)
 - c) *Escalenos*: Eleva a primeira e segunda costelas, contribuindo para expansão anteroposterior da caixa torácica (4), principalmente durante a inspiração profunda e forçada (15).

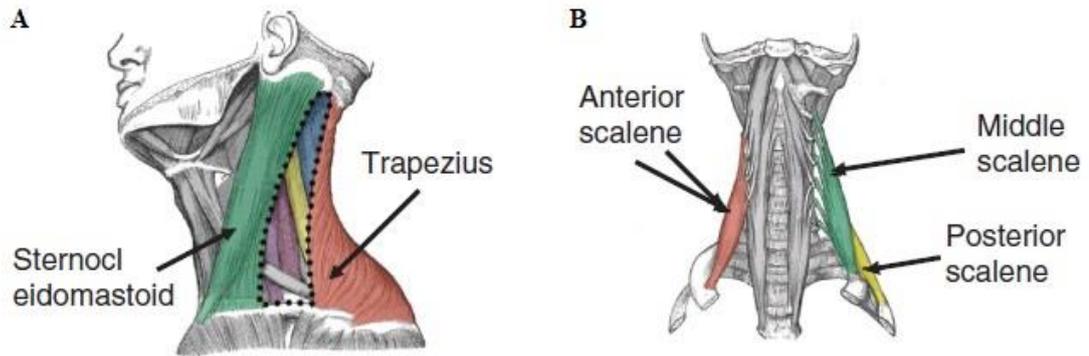


Imagem 1. Representação da musculatura do pescoço, acessória à respiração. A, trapézio e esternocleidomastoideo; B, escalenos.

Fonte: Adaptação de imagem de Pilarski, Leiter e Fregosi (2019) (4).

- Músculos do tórax: os músculos da caixa torácica atuam na caixa torácica superior e inferior e podem ser inspiratórios ou expiratórios (12). A movimentação da caixa torácica durante a respiração estão essencialmente relacionados à musculatura que movimenta as costelas (2).

a) *Intercostais*: conecta costelas adjacentes

- os intercostais externos são ativados na inspiração (respiração normal), elevando e girando anteriormente as costelas, expandindo as dimensões transversais da caixa torácica (36); são um dos primeiro músculos a serem ativados em respiração profunda (16).
- os intercostais internos são ativados durante a expiração, deprimindo e girando posteriormente as costelas, diminuindo as dimensões transversais da caixa torácica (4,20).

b) *Transverso do tórax*: conecta as costelas ao externo; tem a função de deprimir as costelas e estreitar o tórax na expiração ativa (4).

- c) *Serrátil anterior*: conecta as costelas à escápula e às vertebrae torácicas; sua ativação ocorre durante a inspiração forçada, principalmente quando há fixação da cintura escapular (17,37).

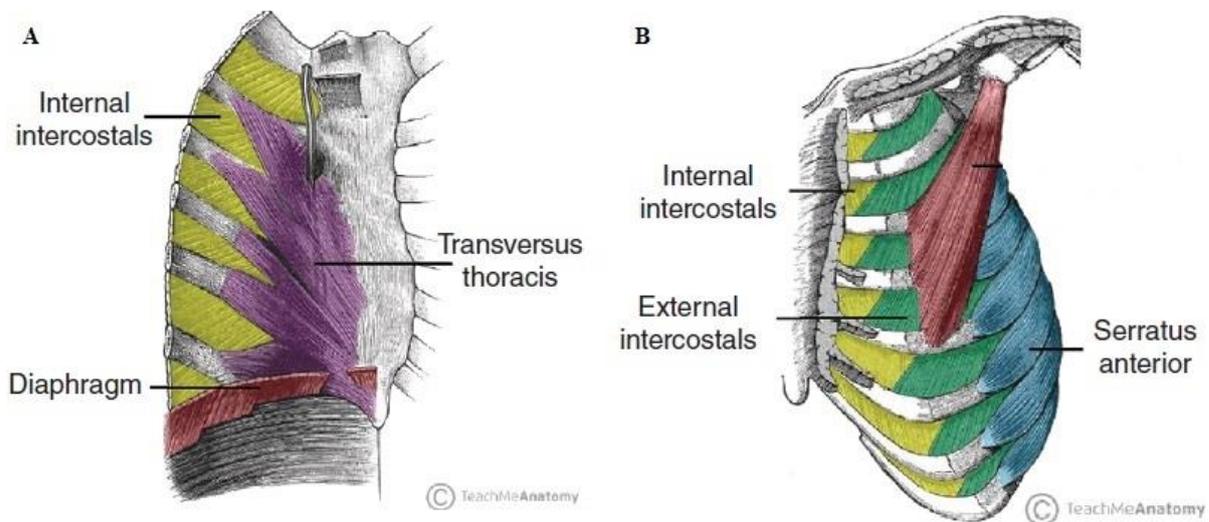


Imagem 2. Representação dos músculos do tórax, acessórios à respiração. A, intercostais internos e transverso do tórax; B, intercostais internos e externos e serrátil anterior.

Fonte: Adaptação de imagem de Pilarski, Leiter e Fregosi (2019) (4).

- Músculos do abdômen: com exceção do diafragma e quadrado lombar, os músculos abdominais são predominantemente ativados durante expiração ativa e forçada, promovendo uma maior saída de ar e redução das dimensões da caixa torácica (4,12). A contração dessa musculatura pode aumentar a eficiência mecânica do diafragma pelo alongamento das fibras musculares, favorecendo a relação comprimento-tensão (38). Atuam principalmente nos compartimentos da caixa torácica baixa e abdômen (12). O deslocamento do compartimento abdominal é mais direto que o da caixa torácica pois é limitado principalmente por partes moles (parede abdominal e diafragma) (2).

a) *Diafragma*: exclusivo dos mamíferos, este músculo em formato de cúpula constitui o principal músculo da respiração, e é ativado durante a inspiração (3,18). Sua estrutura consiste de um tendão central rodeado por um anel de músculo estriado orientado radialmente, separando o abdômen das cavidades pleurais (3). É composto de duas partes funcionais: diafragma costal, que forma a zona de aposição entre o músculo e as costelas e que produz o movimento da caixa torácica; e o diafragma crural, formado pelo tendão central (19,39), que participa do aumento da pressão e dimensão abdominal, mas não expande a caixa torácica (19) e parece estar dedicado também às funções digestivas (40).

A contração do diafragma, na inspiração, produzida por uma diferença de pressão da cavidade abdominal (queda na pressão pleural sincronizada com um aumento na pressão abdominal), leva a um movimento caudal do músculo e das vísceras, que expande a parte inferior da caixa torácica e leva a um movimento para fora da parede abdominal (3,12,18). Ainda, a contração do diafragma depende das características mecânicas da caixa torácica e pulmonares; quanto maior o volume pulmonar, maior o encurtamento do diafragma, menor a zona de aposição e menor a capacidade de inspiração (41).

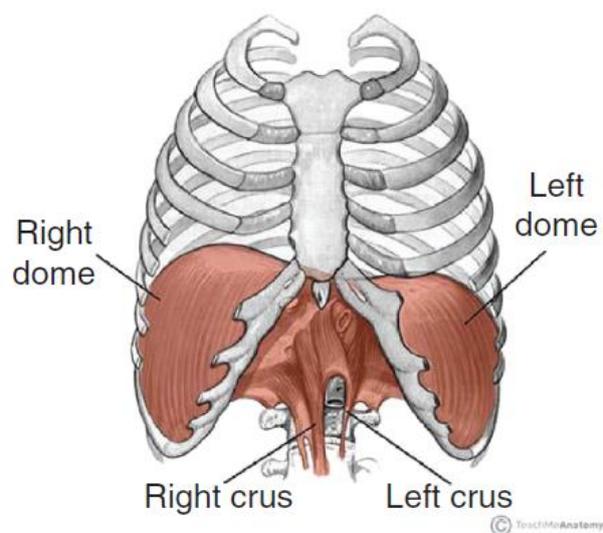


Imagem 3. Representação anatômica do músculo diafragma.

Fonte: Adaptação de imagem de Pilarski, Leiter e Fregosi (2019) (4).

- b) *Quadrado lombar*: esse músculo profundo da região abdominal posterior tem a função de fixar a última costela e estabilizar as vértebras lombares; como o diafragma também se insere nas vértebras lombares, isso permite que o diafragma se contraia com mais força, sendo então, um músculo acessório da inspiração (4,42) .
- c) *Transverso do abdômen*: a contração desse músculo comprime o abdômen e puxa as costelas inferiores medialmente, o que o torna um potente músculo expiratório (4). Dentro os músculos expiratórios, parece ser o de maior função respiratória (21).
- d) *Oblíquos interno e externo*: a contração desses músculos, durante a expiração forçada, aumenta a pressão intra-abdominal e desloca o tórax em direção caudal; além disso, são responsáveis pelo movimento de flexão e rotação do tronco (4). Durante esforço intenso, o oblíquo externo é recrutado antes que o reto abdominal, que só é exigido com cargas mais altas (3-ver)
- e) *Reto abdominal*: suas fibras musculares se originam no esterno e costelas e se inserem no púbis; dessa forma, a contração desse músculo aumenta a pressão intra-abdominal, o que ajuda a acelerar o fluxo de ar na expiração forçada (4).

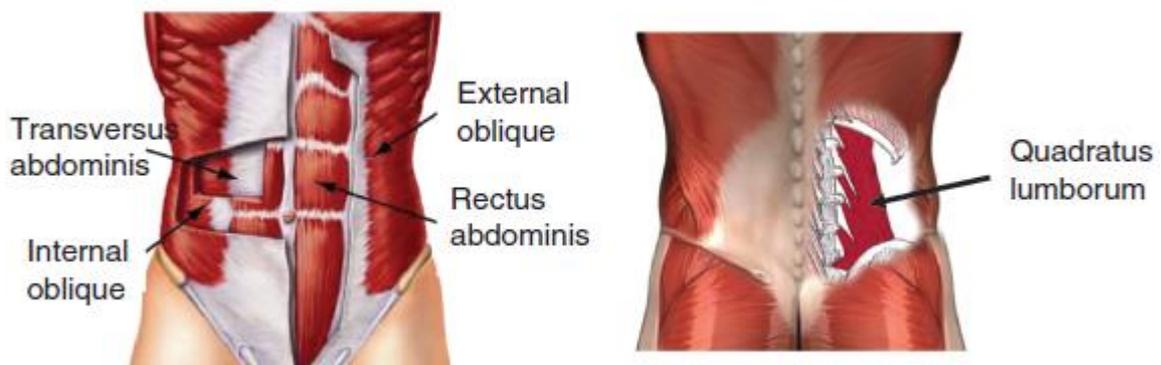


Imagem 4. Representação anatômica dos músculos abdominais acessórios à respiração.
Fonte: Adaptação de imagem de Pilarski, Leiter e Fregosi (2019) (4).

2.2 Testes para avaliação respiratória

Como visto anteriormente, a mudança de volumes da caixa torácica e de seus compartimentos depende do movimento das costelas, dos músculos respiratórios (como o diafragma), abdômen, e pulmões (6,22). Há estreita relação entre os elementos estruturais e musculares do sistema respiratório e as mudanças de volumes pulmonares sob um estímulo ou condição específica (7,26), inclusive durante testes respiratórios como espirometria e testes de força muscular inspiratória. A avaliação da mecânica respiratória e função dos músculos respiratórios caracterizam componentes essenciais da pesquisa (1).

2.2.1 Espirometria

A espirometria é o método para avaliação dos volumes de ar pulmonares mais utilizado e que visam o conhecimento da função pulmonar dos indivíduos (25,43). Trata-se de um teste fisiológico, que avalia as propriedades mecânicas do sistema respiratório, e mede o volume máximo de ar que um indivíduo pode inspirar e expirar com esforço máximo (25) e possui fórmulas específicas para cálculo de valores previstos para a população brasileira (44) e regras bem estabelecidas mundialmente para sua aplicação (25). Para realização da técnica de Capacidade Vital (CV), é necessária a ativação da musculatura inspiratória e expiratória. Sendo assim, a espirometria pode contribuir para a avaliação da função da musculatura respiratória, principalmente do diafragma (1).

A principal variável medida é o volume e fluxo gerados durante o ciclo respiratório em relação ao tempo. As principais medidas da espirometria são a Capacidade Vital Forçada (CVF), que é o volume de ar expirado de forma vigorosa e completa a partir de uma inspiração completa, e o Volume Expiratório Final no primeiro segundo (VEF_1), que é o volume expirado durante o primeiro segundo de uma manobra de CVF (25). São necessárias no mínimo três

manobras aceitáveis e reprodutíveis de CVF e VEF₁, com variação de menos de 100ml entre as manobras, conforme critérios estabelecidos. Além disso, são permitidas apenas a realização de no máximo oito manobras (25).

Com a avaliação da espirometria, é possível avaliar a responsividade das vias aéreas (por meio do uso de broncodilatadores), medir o efeito de uma doença na função pulmonar e monitorar a evolução de uma doença, bem como o resultado de intervenções terapêuticas (25,45).

Cabe salientar que a espirometria, apesar de medir com precisão o volume de ar que entra e que sai dos pulmões, não é capaz de mensurar o volume de ar que permanecem após uma expiração máxima. Além disso, a partir desse teste não é possível determinar quais regiões do tronco e pulmões do indivíduo são responsáveis pelo volume total gerado durante o teste (11).

2.2.2 Teste de pressão inspiratória máxima estática

A avaliação da função da musculatura respiratória é essencial para a prática clínica e para a pesquisa (1). A força da musculatura inspiratória pode ser avaliada por meio da mensuração da pressão inspiratória máxima estática (P_{Imáx}), que é a maior pressão subatmosférica gerada durante a inspiração máxima contra uma via ocluída (manobra de Müller) (1,26). Os valores encontrados de P_{Imáx} dependem: da força dos músculos inspiratórios; do volume pulmonar; do recolhimento elástico do sistema respiratório, e da cooperação e compreensão do indivíduo em realizar esforço máximo (26,46). Dessa forma, valores baixos de P_{Imáx} podem refletir tanto um declínio da musculatura respiratória, como também à baixa performance do teste (32). Além disso, a P_{Imáx} varia de acordo com o volume pulmonar, devido à relação força-comprimento da musculatura e ao recuo elástico passivo do sistema respiratório (1).

Para a realização do teste de P_{Imáx}, é necessário um bocal cilíndrico e rígido, acoplado a um manovacuômetro (equipamento capaz de medir pressões negativas e positivas). A P_{Imáx} é a medida da inspiração máxima a partir de uma expiração máxima, na posição sentada, com oclusão do nariz por uma pinça nasal. São realizadas cinco manobras, com duração de até três segundos (idealmente 1,5 segundos), e a mais alta é considerada para análise (1,47). É uma medida simples e de baixo custo, que tem um papel importante no diagnóstico e prognóstico de distúrbios neuromusculares e pulmonares (26).

A determinação dos valores de pressão respiratória máxima e a proposição de equações de referência, juntamente à descrição do método de avaliação da força muscular respiratória, foi proposto em 1969 (48). Após esse estudo, muitos outros estudos se propuseram a avaliar valores de referência e equações preditivas para diversas populações e faixas etárias (48,49). Para a população brasileira, o primeiro relato foi em 1985 (50). Porém, o primeiro estudo que desenvolveu equações preditivas para P_{Imáx} foi o de Neder *et al.*(26), seguidos de outros estudos comparando as equações encontradas por Neder com novas equações propostas (46,51).

Uma revisão sistemática observou uma grande variação entre os estudos que propuseram valores de normalidade para a P_{Imáx}, demonstrando que a P_{Imáx} diminuiu com a idade em ambos sexos e, os homens tiveram a tendência de ter maiores valores que as mulheres (32). Inclusive, a *American Thoracic Society (ATS)/European Respiratory Society (ERS)* (ATS/ERS) afirma que os intervalos de normalidade são amplos e que valores acima de 80cmH₂O geralmente excluem a presença de fraqueza muscular respiratória, sem considerar idade e sexo (fatores que influenciam diretamente do valor preditivo) (31). Porém, fraqueza pode ser definida com base no limite inferior de normalidade para a P_{Imáx} dependendo da equação preditiva a ser utilizada (1). Ainda não há um consenso e, segundo a conclusão dos estudos apresentados, o valor depende principalmente do sexo, idade e etnia.

2.2.3 *Teste de pressão inspiratória máxima dinâmica*

Além da bem estabelecida medida da P_{Imáx} por meio de manovacuômetro, um novo equipamento, classificado como carga resistiva de fluxo cônico, tem sido estudado para avaliação e treinamento da musculatura respiratória (27,52). Além da possibilidade de avaliação da P_{Imáx}, apresentando forte correlação e um bom nível de concordância com o manovacuômetro para essa medida (27), esse equipamento (POWERbreathe®) é capaz de avaliar a força muscular de forma dinâmica, fornecendo um índice de pressão muscular inspiratória dinâmica, denominado S-Index (30).

O S-Index é adquirido por meio de uma manobra com válvula a fluxo não ocluída, quase sem resistência, no qual há detecção do fluxo inspiratório e, com um algoritmo matemático, é feito o cálculo do índice (27,28,30,53). Durante a manobra, há a visualização gráfica de cada momento da inspiração, criando uma linha ao longo do tempo, e, o ponto mais alto dessa linha é o S-Index (53).

Como todo teste, essa medida apresenta um efeito de aprendizado (53). Dessa forma, preconiza-se que em média, sejam realizadas 8 manobras para alcançar um S-Index máximo e confiável (28,29). A medida do S-Index já foi avaliada, obtendo bons índices de confiabilidade entre diferentes testes e entre diferentes dias (29,30). Apesar do S-Index e da P_{Imáx} apresentarem boa reprodutibilidade e correlação (29), para avaliação do S-Index é utilizada uma metodologia diferente da utilizada para avaliação da P_{Imáx} (30), devido principalmente à diferença entre a qualidade da função muscular respiratória testada durante a manobra de Mueller (P_{Imáx}) comparada com a contração dinâmica do músculo respiratório utilizando o POWERbreathe® (54).

2.3 Metodologias para estudo do movimento da caixa torácica

A mensuração dos volumes da caixa torácica por meio da análise cinemática tridimensional é um método não invasivo utilizado nos últimos anos (5,7,22,55). O deslocamento e o posicionamento de marcadores passivos colocados no tórax e abdômen são obtidos por câmeras específicas, criando modelos geométricos e convertidos em uma estimativa de volume da caixa torácica e de seus compartimentos (5,6).

A pletismografia optoeletrônica é uma técnica estabelecida que permite a avaliação de mudanças dos volumes da caixa torácica e seus compartimentos (1,22). Essa mudança dos volumes depende diretamente da ação da musculatura respiratória. A avaliação das alterações dos volumes toracoabdominais, juntamente com as medidas de pressão muscular respiratória, fornece a ação e controle dos grupos de músculos respiratórios (55). Por exemplo, a contração do diafragma expande os compartimentos da caixa torácica baixa e abdominais. Já a musculatura da caixa torácica, incluindo intercostais, paraesternais e escalenos, atuam principalmente no compartimento da caixa torácica superior (1,4). Por isso, se faz necessário que essa medida dos volumes toracoabdominais seja realizada com precisão (55).

Diversos métodos já foram usados para mensuração dos movimentos da caixa torácica. Em estudos prévios sobre o movimento toracoabdominal utilizando dispositivos que monitoram a respiração, Wade et al (1954) acessou os movimentos respiratórios, por meio de um transdutor de mercúrio em borracha situado ao redor da circunferência na região do diafragma, por meio da medida de deslocamento vertical, que aumenta durante a inspiração profunda dos indivíduos (18). Já em um modelo que dividiu a caixa torácica em dois compartimentos, Konno e Mead (1967) avaliaram as mudanças do diâmetro anteroposterior da caixa torácica e abdômen, por meio de magnômetro (instrumento capaz de medir duas regiões do corpo simultaneamente), e encontraram um alto grau de independência entre os volumes de ambos os compartimentos (56). Avaliando a necessidade de dividir a caixa torácica em dois compartimentos (um próximo

ao pulmão e outro próximo ao diafragma), Ward *et al.* (1992) apresentaram um modelo com três compartimentos, onde encontraram, por meio de pletismografia por indutância e cateteres de pressão esofágicos e gástricos, uma diferença de pressão e de ação muscular entre os compartimentos (57).

A pletismografia por indutância (58,59) e magnetômetros (60,61) foram utilizados em vários estudos para estimar volumes pulmonares com base na variação da distância entre marcadores da caixa torácica (7,58). Ambos os sistemas tem como base a suposição de que a parede toracoabdominal tem apenas dois graus de liberdade e são influenciados pela postura do indivíduo (55).

Mais recentemente, metodologias baseadas em análise de imagens e pletismografia optoeletrônica, foram utilizadas. Esses sistemas são capazes de rastrear as coordenadas tridimensionais de uma série de marcadores refletivos colocados de forma não invasiva na pele dos indivíduos (22,55). Há variabilidade nos estudos desses sistemas entre o número de marcadores e da divisão dos compartimentos da caixa torácica. Considerando a complexidade dos movimentos toracoabdominais, deve-se levar em consideração a identificação dos pontos de referências anatômicos em número adequado para aplicação de modelo geométrico tridimensional para mensuração dos volumes toracoabdominais, minimizando falhas e facilitando a aplicação dos marcadores, garantindo uma boa reprodutibilidade (7).

2.3.1 Tipos de sistemas de avaliação de volumes da caixa torácica

Sistemas de análise por imagem foram criados com a intenção de ampliar as possibilidades de análise em sistemas em que não eram possíveis de serem analisados. São utilizados na pesquisa: sistema *ELITE* (7,23) e sistema *Dvideow* (8).

O sistema *ELITE* (ELaboratore di Immagini TELEvisive; Milan Polytechnic, Milan, Italy) é caracterizado como um sistema de análise de movimento de refletância óptica, e foi

desenvolvido a partir do processamento de imagem de televisão, que identifica os pontos na superfície do corpo e, a partir disso, é capaz de computar e monitorar suas trajetórias em 3D (23). Em estudos com o sistema *ELITE*, verificou-se que há flexibilidade na escolha de números e posições dos marcadores em relação à esse sistema e do software utilizado para computação dos volumes toracoabdominais (7).

Em um estudo com indivíduos saudáveis, foram utilizados 32 marcadores e a divisão do tórax em três compartimentos: tórax superior (ação dos músculos do pescoço e da pressão pleural), tórax inferior (ação do diafragma e da pressão abdominal e pleural), e abdômen (ação do diafragma e dos músculos abdominais). Este estudo foi capaz de estimar os volumes toracoabdominais a partir dos marcadores, porém não com tanta precisão devido ausência de calibração do sistema (7). Após esse estudo, foi realizado outro utilizando 86 marcadores, que encontrou que a estimativa de volume toracoabdominal encontrado com essa distribuição de marcadores se correlacionava com a estimativa de volume encontrada pela espirometria. Nesse estudo, os pesquisadores ampliaram a área dos marcadores, acrescentando uma porção do compartimento abdominal caudal ao umbigo, incluindo movimento da pelve, e outra próximo à região axilar, para aumentar os limites da análise da caixa torácica (23).

O sistema *Dvideow*, que tem também como base a videogametria, foi desenvolvido no Brasil (Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Unicamp) (62,63). A metodologia de avaliação proposta, adaptada de estudo anterior (7), tem a utilização de 30 marcadores e divisão da caixa torácica em quatro compartimentos, levando em consideração a influência dos movimentos do baixo ventre e da pelve. Esse método demonstrou ter correlação com a espirometria e boa reprodutibilidade para avaliação dos volumes totais e compartimentais em indivíduos saudáveis (11). Ainda, foi encontrado uma alta correlação entre a variação dos volumes da caixa torácica e a movimentação da costela em atletas de natação (64) e que esses atletas tem uma mudança nos padrões de ativação dos compartimentos toracoabdominais diferentes dos indivíduos saudáveis (8).

O sistema de pletismografia optoeletrônica, como o da BTS (*BTS Bioengineering, Milan, Italy*) desenvolvido na década de 80, é um sistema para medição movimentos e volumes toracoabdominais de forma mais precisa (7,10,22,23,55,65). Esse sistema demonstra alta confiabilidade (9) e validade do método (10,24) para medir os volumes da caixa (5,10). São utilizados 89 marcadores na parede toracoabdominal, em um set de câmeras com luz infravermelha, que reconstroem as coordenadas X-Y-Z de cada marcador (cada marcador necessita de do mínimo 2 imagens para ter o ponto reconstruído), com uma frequência de aquisição de 100Hz e acurácia de 0,2mm (55). Os volumes de cada compartimento (caixa torácica superior, caixa torácica inferior e abdômen) e do volume total são calculados utilizando-se o teorema de Gauss, no qual a partir de triangulações é realizado o cálculo dos volumes (23).

Estudos utilizando pletismografia optoeletrônica em indivíduos saudáveis encontraram relação do movimento diafragmático ao movimento da caixa torácica; a variação do diafragma se deve principalmente à variação do compartimento abdominal (66). Ainda, a contração do diafragma pode auxiliar, em conjunto com a contração da musculatura abdominal, na função circulatória, produzindo um aumento do débito circulatório e aumento da pressão diastólica (67).

Durante o exercício, há coordenação do diafragma, caixa torácica e músculos abdominais, de forma que o relaxamento dos músculos abdominais durante a inspiração promove uma maior distribuição da ventilação, que poderia ser direcionada mais para a parte superior se fosse mantida a contração abdominal (65,68). Ainda, quando se compara exercícios de membros superiores aos exercícios de membros inferiores, há uma menor contribuição dos músculos inspiratórios da caixa torácica e maior contribuição do diafragma e músculos abdominais (69), devido ao não aumento do volume da caixa torácica superior (por não ter alteração significativa nesse compartimento), o que contribuiu para diminuição no volume expiratório final da caixa torácica (70). Além disso, outro estudo encontrou que, após uma hora

de exercício respiratório com carga (em torno de 80% da $PI_{máx}$), metade dos indivíduos diminuiu o valor de $PI_{máx}$, o que fez com que houvesse diminuição do volume expiratório final da caixa torácica (volume no qual a inspiração é iniciada), sugerindo fadiga da musculatura respiratória (71). Sendo assim, há importância na avaliação da musculatura da caixa torácica, já que é imprescindível para geração de força inspiratória.

Assim como a pletismografia optoeletrônica, sistemas de análise de movimento, podem permitir a coleta e processamento de posicionamento de marcadores passivos para visualizar e reconstruir um movimento por meio de um software específico. Apesar do uso extenso de sistemas de análise de movimento para avaliação de performance de marcha (72), coluna (73), e tronco (74), o seu uso para avaliar os volumes e movimentos da caixa torácica ainda não é estabelecido.

Para medida dos volumes da caixa torácica são necessários equipamentos específicos e com sistemas de análises já integrados, dessa forma, se faz necessária a aquisição e/ou desenvolvimento de uma rotina de análise volumétrica. O sistema de análise de movimento *Qualysis*, disponível na Universidade de Brasília, se apresenta como uma alternativa a esses sistemas, porém esse sistema não conta com um software específico para análise de volumes toracoabdominais. Dessa forma, justifica-se a realização desse estudo, com a contribuição do desenvolvimento e aplicação de análises de volumes da caixa torácica, com base em metodologia proposta em estudo prévio (11).

3. OBJETIVO GERAL

Avaliar a medida de volumes totais e compartimentais da caixa torácica, por meio de metodologia de rotina criada em Matlab, em um sistema de análise de movimento em adultos saudáveis durante a realização de testes respiratórios (medida de espirometria, P_{Imáx} e S-Index).

3.1 Objetivos específicos

- Avaliar a confiabilidade, concordância e validade de rotina de Matlab na medida de volumes totais e compartimentais da caixa torácica em adultos saudáveis;
- Aplicar a metodologia proposta para mensurar a variação da caixa torácica durante a execução dos testes respiratórios em adultos saudáveis;
- Comparar os volumes da caixa torácica total e compartimental entre os testes respiratórios em adultos saudáveis;
- Analisar a correlação da metodologia proposta para medidas de volumes da caixa torácica com os testes respiratórios em adultos saudáveis.

4. METODOLOGIA

4.1. Delineamento de pesquisa

Para essa pesquisa foram realizados dois estudos: 1) estudo metodológico, onde foi testada a confiabilidade, concordância e validade, de rotina de Matlab elaborada para o estudo, para análise de volumes da caixa torácica (75–77); 2) estudo transversal onde foram comparados os volumes da caixa torácica durante a execução de testes respiratórios (78).

4.2. Amostra do estudo

A amostra foi composta por 21 adultos saudáveis, recrutados de novembro de 2017 à maio de 2019, utilizando de um método de amostragem de conveniência. Foram incluídos sujeitos de ambos os sexos, idade entre 18 a 35 anos, sem histórico de tabagismo, sem doença respiratória, cardíaca ou neuromuscular prévia. O critério de exclusão foi a incapacidade de completar uma das avaliações respiratórias, gravidez e alterações da coluna vertebral. Todos os participantes selecionados foram incluídos.

4.3. Local da pesquisa

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Análise do Movimento Humano e Processamento de Sinais, localizado no Centro de Ensino Médio 4 (QNN 14, Área Especial – Ceilândia Sul) e no Laboratório de Fisiologia e Biofísica da Faculdade de Ceilândia – Universidade de Brasília, situado no Centro Metropolitano, conjunto A, lote 01, Brasília – DF.

4.4. Considerações éticas

Este estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CAAE:67204717.7.0000.8093) (ANEXO IV) em conformidade com as recomendações do Conselho Nacional de Saúde, atendendo às Diretrizes e Normas Regulamentadoras de Pesquisas Envolvendo Seres Humanos (Resolução CNS 466/2012). Os participantes foram incluídos na pesquisa após explicação e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO V).

4.5. Protocolo do estudo

As avaliações antropométricas foram coletadas previamente para caracterização da amostra. Os 30 marcadores retrorrefletivos foram posicionados no tórax e abdômen (Figura 1).

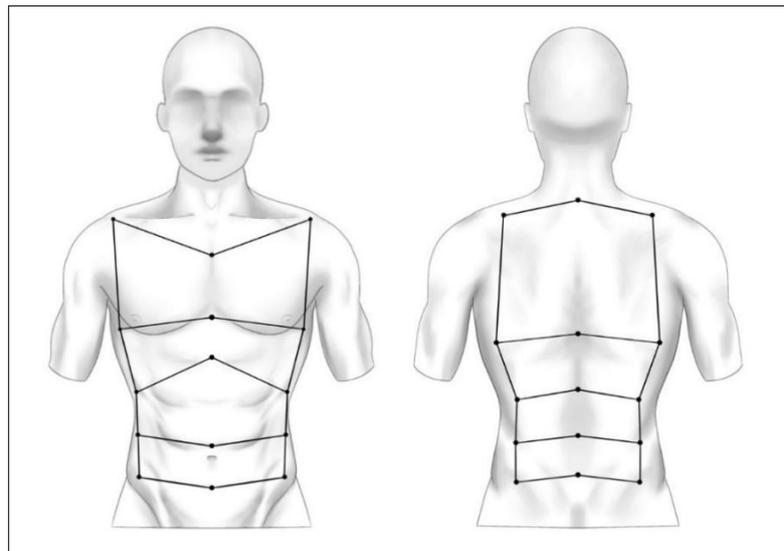


Figura 1 - Representação do posicionamento dos marcadores no tórax e abdômen na parte anterior e posterior para análise da caixa torácica por meio do sistema de análise de movimento Qualysis.

Fonte: autoria da ilustradora Lais Sampaio.

Os indivíduos foram instruídos a sentarem em um banco sem encosto e apoiarem os braços em um banco lateral (Figura 2). O paciente permanecia 10 minutos em repouso, para iniciar o protocolo que consistia na aquisição de 1 minuto de respiração basal, seguida pelos testes respiratórios, ambos monitorizados concomitantemente pelo sistema de análise de movimento. A ordem de realização dos testes foi aleatorizada. O fluxograma do estudo (Figura 3) apresenta a seleção, avaliações e testes utilizados.

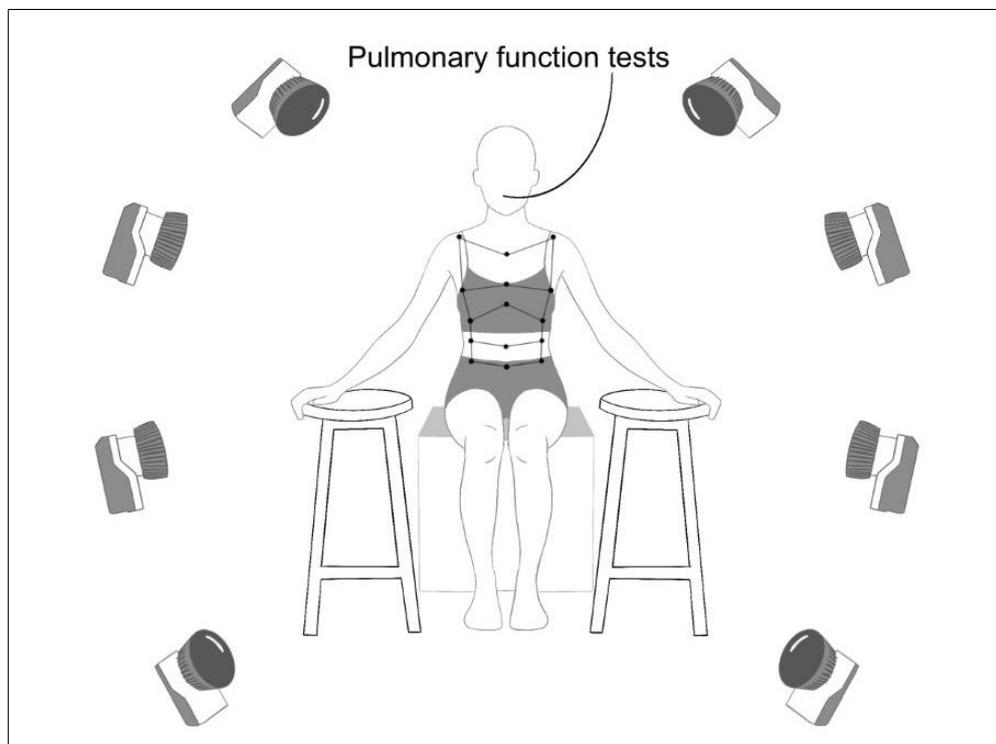


Figura 2 - Representação do posicionamento do indivíduo e das câmeras para análise da caixa torácica por meio do sistema de análise de movimento Qualysis.

Fonte: autoria da ilustradora Lais Sampaio.

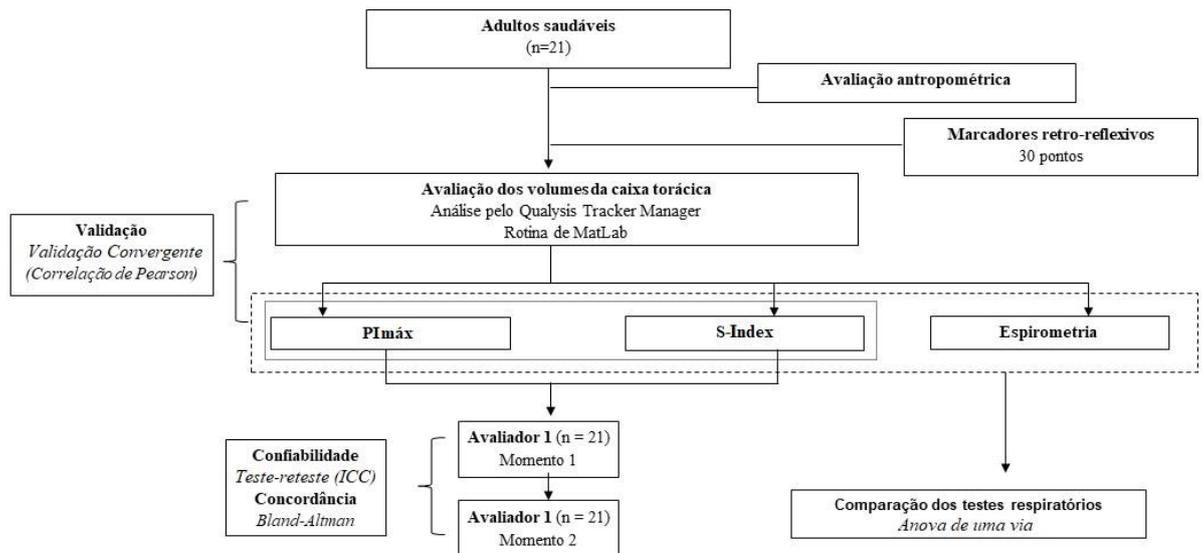


Figura 3. Fluxograma do estudo.

Fonte: autoria própria.

4.6. Variáveis analisadas

4.6.1. Avaliação antropométrica

Para avaliação antropométrica, foi aferido o peso e a altura por meio de uma balança mecânica tipo plataforma convencional (Welmy W200/5[®], Santa Barbara d’Oeste, SP, Brasil), com capacidade máxima de 200 kg. Foi solicitado aos participantes que retirem os sapatos e que permanecem com a menor quantidade de roupa possível, mantendo-se no centro da balança em posição ortostática com os braços ao longo do corpo. Para o diagnóstico do estado nutricional dos indivíduos foi utilizado o Índice de Massa Corpórea [Peso (kg)/Altura (m)²].

4.6.2. Avaliação dos volumes da caixa torácica

Para a avaliação dos volumes da caixa torácica foi utilizado o sistema de análise de movimento Qualisys (QTM – Qualisys Track Manager, Gothenburg, SWEDEN), integrado com o software de biomecânica Visual 3D da C-Motion com 8 câmeras Qualisys Oqus 300 (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) (Imagem 5). Este sistema permitiu analisar as mudanças do volume total da parede torácica e seus diferentes compartimentos para os volumes gerados durante a respiração, na posição sentada (59).



Imagem 5. Set de coleta de dados demonstrando posicionamento das câmeras e disposição dos bancos.
Fonte: autoria própria.

Este sistema de análise de movimento é composto por câmeras, que captam a luz emitida de marcadores retrorreflexivos posicionados, conforme protocolo pré-estabelecido (11), no tórax e abdômen. Por meio de um sistema computadorizado específico (o software de

biomecânica Visual 3D), a imagem tridimensional formada pela reflexão destes marcadores foi gerada para ser analisada em tempo real.

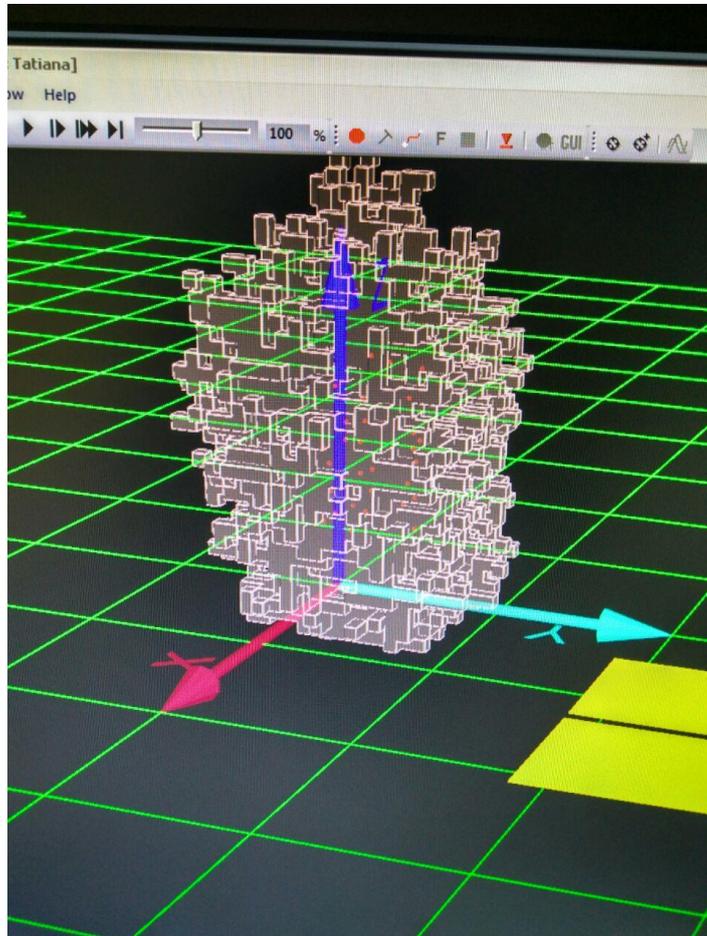


Imagem 6. Resultado da calibração da área de coleta toracoabdominal demonstrado no software de biomecânica Visual 3D conectado ao sistema de análise de movimento Qualysis.

Fonte: autoria própria.

As calibrações estática e dinâmica do sistema de análise de movimento foram realizadas previamente as avaliações. Para a realização das calibrações, as oito câmeras foram posicionadas de acordo com a altura do indivíduo e ajustadas para proporcionar melhor foco, zoom e clareza da imagem, à 2 metros de distância do posicionamento do banco. Os eixos X, Y e Z foram colocados na área onde a coleta foi realizada para que o sistema processe o registro da área de trabalho. Posteriormente, foi realizada a calibração nos planos sagital, frontal e

transversal de modo que toda a área de trabalho fosse englobada, durante 120 segundos (Imagem 6). A calibração foi realizada anteriormente à cada sessão, com 1000 frames como input de calibração e com resíduo médio em torno de 0.4 mm (Imagem 7).

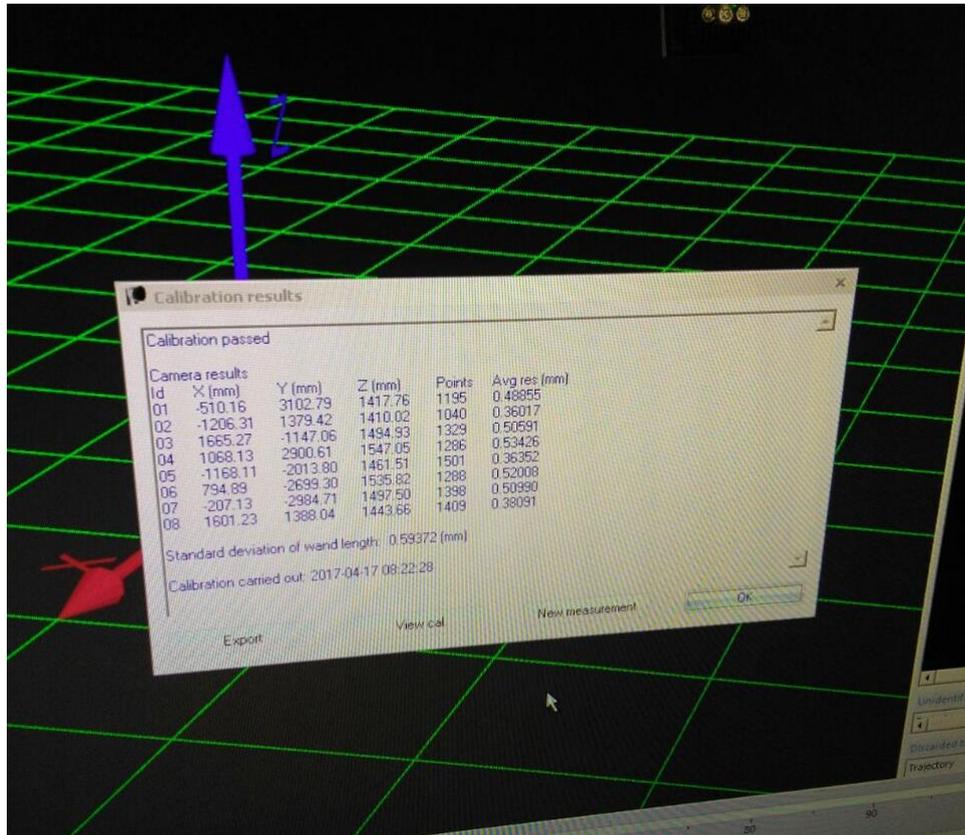


Imagem 7. Resultado da calibração da área de coleta toracoabdominal, em relação aos eixos X, Y e Z e input encontrado, demonstrado no software de biomecânica Visual 3D conectado ao sistema de análise de movimento Qualysis.

Fonte: autoria própria.

As coordenadas tridimensionais dos marcadores colocados nos pontos de referência foram captadas por um sistema de 8 câmeras especiais, que permitiram a visualização, em tempo real, das cenas a serem analisadas, sincronizadas com luz infravermelha, sendo que cada uma das câmeras deveria visualizar pelo menos dois pontos reflexivos. O feixe de luz infravermelha emitido pelo flash da câmera foi refletido para cada marcador e captado pelas câmaras. O sinal foi enviado para um processador que executa algoritmos de reconhecimento

de padrão para identificar a posição bidimensional (X e Y) de cada marcador em cada câmera (Imagem 8).

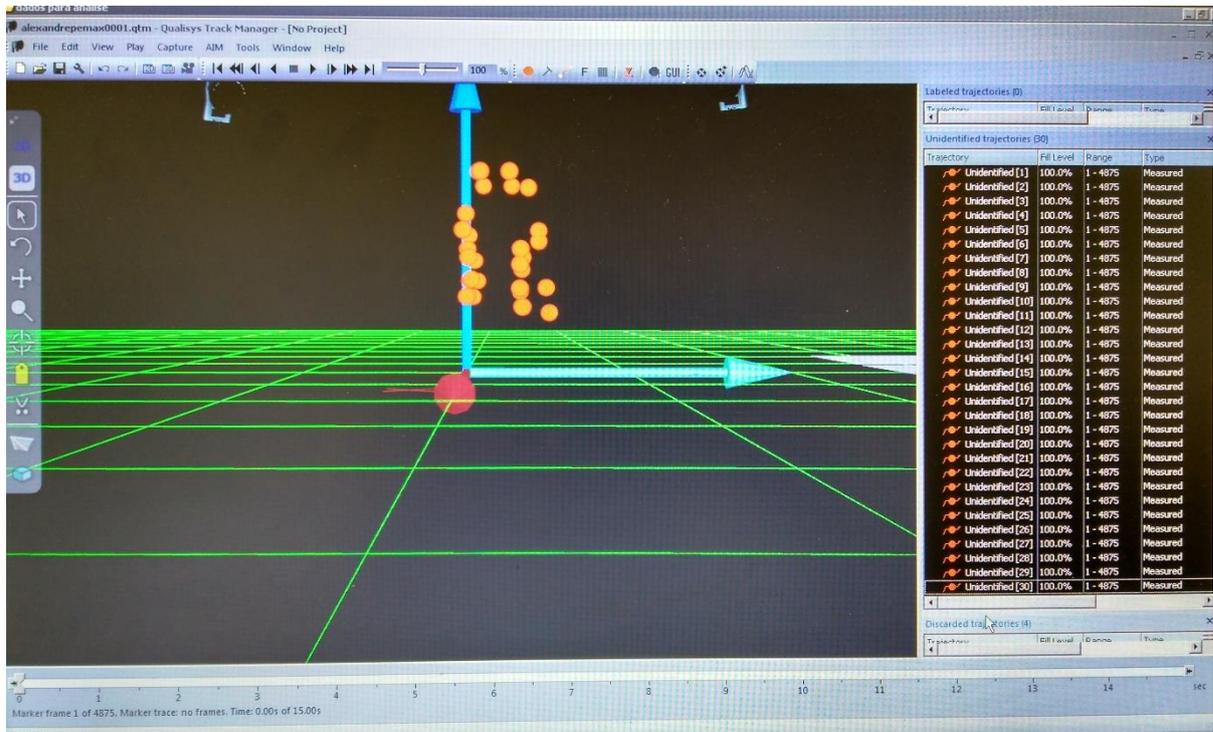


Imagem 8. Representação em 3D, de visão lateral dos marcadores retrorreflexivos, posicionados no tórax e abdômen. Ao lado, identificação com 100% de visibilidade dos 30 marcadores.

Fonte: autoria própria.

Para a coleta de dados, foi utilizada uma frequência de amostragem de 200 Hertz. Para a análise dos volumes da caixa torácica durante os testes respiratórios foram utilizados 30 marcadores passivos compostos de semiesferas plásticas de 5 milímetros revestidas por papel reflexivos, conforme estudo prévio (11). Para análise dos dados foram considerados os volumes descritos anteriormente em 4 compartimentos: Tórax Superior (TS), Tórax Inferior (TI), Abdômen Superior (AS) e Abdômen Inferior (AI) (Figura 4). O detalhamento das posições anatômicas dos marcadores está descrito no Quadro 1.

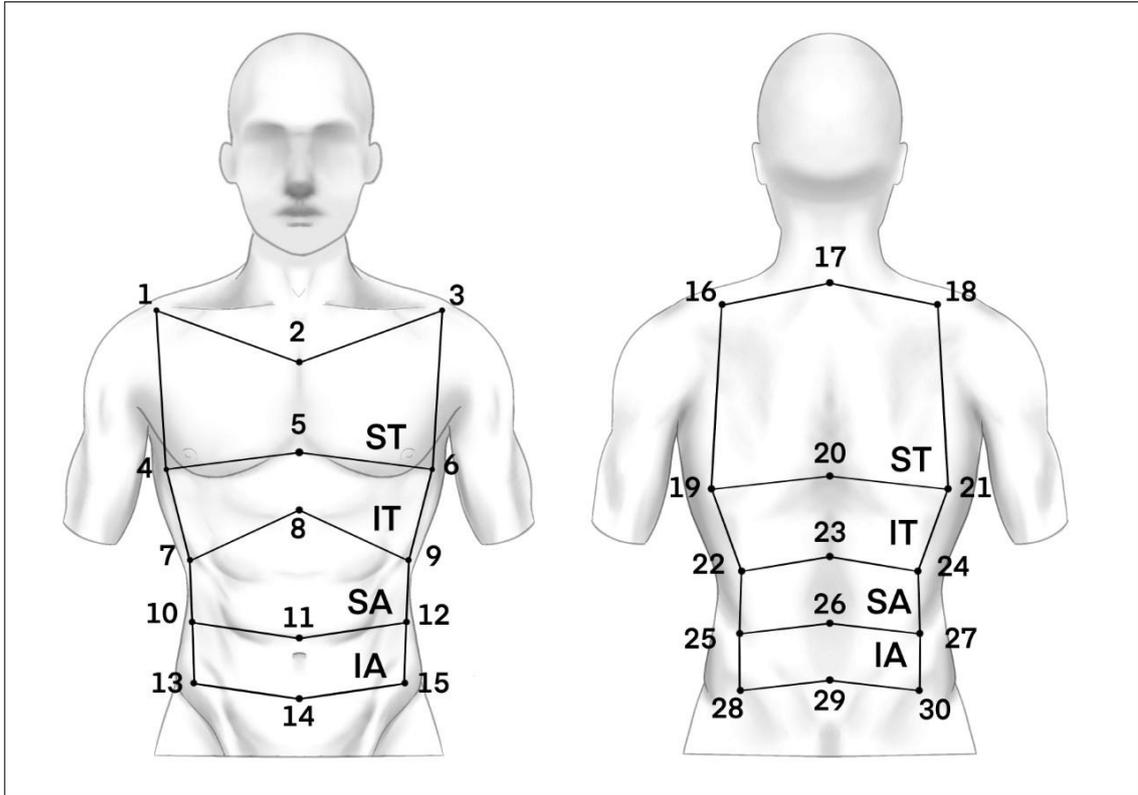


Figura 4. Representação dos marcadores no tórax e abdômen, com a divisão proposta para os 4 compartimentos. ST, tórax superior; IT, tórax inferior; SA, abdômen superior; IA, abdômen inferior.
Fonte: autoria da ilustradora Lais Sampaio.

Quadro 1. Referências anatômicas para os marcadores da caixa torácica e abdômen

- 1) Extremidade acromial da clavícula direita
- 2) Manúbrio do esterno
- 3) Extremidade acromial da clavícula esquerda
- 4) Região lateral da 7ª costela direita
- 5) Região do esterno correspondente a 5ª costela
- 6) Região lateral da 7ª costela esquerda
- 7) Região lateral da 10ª costela direita
- 8) Região do esterno correspondente a 6ª costela
- 9) Região lateral da 10ª costela esquerda
- 10) Intersecção do plano que passa por L3 com a linha axilar anterior direita
- 11) Intersecção da linha média do abdômen com o plano horizontal que passa pelos pontos 10 e 12
- 12) Intersecção do plano que passa por L3 com a linha axilar anterior esquerda
- 13) Intersecção do plano que passa por L5 com a linha axilar anterior direita
- 14) Ponto médio entre as espinhas ilíacas Antero superiores
- 15) Intersecção do plano que passa por L5 com a linha axilar anterior esquerda
- 16) Ângulo superior da escápula esquerda
- 17) Processo espinhoso de T1
- 18) Ângulo superior da escápula direita
- 19) Ângulo inferior da escápula esquerda
- 20) Processo espinhoso de T5
- 21) Ângulo inferior da escápula direita
- 22) Ponto mais lateral ao processo espinhoso de T11 à esquerda
- 23) Processo espinhoso de T10
- 24) Ponto mais lateral ao processo espinhoso de T11 à direita
- 25) Intersecção entre o ponto 22 e o processo espinhoso de L3
- 26) Processo espinhoso de L3
- 27) Intersecção entre o ponto 24 e o processo espinhoso de L3
- 28) Intersecção entre o ponto 25 e o processo espinhoso de L5
- 29) Processo espinhoso de L5
- 30) Intersecção entre o ponto 27 e o processo espinhoso de L5

Fonte: autoria própria com base em artigos científicos (11,64)

O indivíduo foi posicionado sentado em um banco, sem apoio nas costas, com os membros superiores abduzidos e apoiados em um banco durante toda a aquisição. A aquisição pelo sistema de análise de movimento foi feita simultaneamente aos testes respiratórios, de forma que o posicionamento do pesquisador não interferisse na captação das imagens pelas câmeras (Imagem 9).



Imagem 9. Retrato da aquisição do teste de PImáx, com o equipamento POWERbreathe® KH2, durante aquisição de imagens do sistema de análise de movimento Qualysis.

Fonte: autoria própria.

4.6.3. Processamento de dados dos volumes da caixa torácica

Para o processamento dos dados, foi utilizada uma rotina de Matlab (The Mathworks, Natick, MA, USA) confeccionada para o estudo, com base em estudo prévio (11). Essa rotina foi registrada no Instituto Nacional da Propriedade Intelectual, certificada como Registro de Programa de Computador nº BR512021000715-8, com o título de “Rotina de Matlab para Volume.m” (ANEXO I).

O sistema identificou instantaneamente e computou com alta acurácia as coordenadas 3D dos diferentes marcadores (Imagem 4). Os dados brutos foram salvos em arquivos em

formato “.mat” e exportados para serem analisados em Matlab. A rotina analisou os arquivos e calculou o volume total e o volume dos 4 compartimentos formados pelos 30 pontos, os quais continham a posição no espaço (x, y e z), no tórax e abdômen, por meio do cálculo do volume dos tetraedros (7,8,11).

Cada compartimento foi fechado por 12 marcadores, definindo a partir disso 6 tetraedros. Uma vez que se tinham as coordenadas em 3D dos pontos pertencentes à superfície do tórax e abdômen, os volumes de cada triângulo foram computados por uma fórmula geométrica simples, com base no teorema de Gauss (79), que evidencia que a integral da superfície é convertida na integral do volume. O volume de cada compartimento foi calculado pela soma dos volumes dos tetraedros, enquanto que o volume da caixa torácica total foi calculado pela soma dos volumes dos compartimentos (64). Considerando este modelo geométrico da parede torácica, foi então possível obter variações totais de volume da parede torácica, assim como a contribuição dos diferentes compartimentos para mudanças no volume total. Trata-se de um método não invasivo e acurado para mensurar as mudanças de volume dos diferentes compartimentos respiratórios e em diferentes situações e posições (79).

O resultado final foi o volume máximo e mínimo da caixa torácica total e de cada compartimento. A partir disso, foi possível analisar diferentes variáveis de volume: volume corrente (V_t), volume inspiratório final (VIF) e volume expiratório final (VEF) da caixa torácica e dos seus compartimentos.

4.6.3. Avaliação dos testes respiratórios

Todos os testes respiratórios foram realizados concomitantemente à aquisição de imagens pelo sistema de análise de movimento *Qualisys* (Imagem 6). Os testes realizados foram: espirometria, teste de força muscular respiratória estática (PI_{máx}) e testes de força muscular respiratória dinâmica (S-Index). Os indivíduos repousaram 10 minutos antes da

realização dos testes, sentados em um banco, com as pernas flexionadas a 90 graus e os pés apoiados no solo, com a coluna ereta, cabeça em posição neutra. Durante a realização do teste foi colocado um clip nasal a fim de evitar escapes (1,25).

Para realização da espirometria, foi utilizado o equipamento MicroLab MK8 ML3500[®] (CareFusion, Yorba Linda, United States). Os indivíduos realizaram pelo menos três manobras de expiração forçada, conforme os procedimentos técnicos e critérios de aceitabilidade e reprodutibilidade de acordo com a ATS/ERS (25). As variáveis analisadas foram: capacidade vital forçada (CVF); L, volume expiratório forçado no primeiro (VEF₁); L, razão entre VEF₁/CVF (%) e o percentual do previsto dos respectivos parâmetros.

Para realização dos testes de força muscular inspiratória, foi utilizado o equipamento POWERBreathe[®] KH2 (POWERBreathe International Ltd., Warwickshire, United Kingdom). Nesse equipamento foram mensuradas a P_{Imáx} e o S-Index (o qual consiste no ponto mais alto da medida de pressão inspiratória dinâmica. Para ambos os testes foi utilizado um bocal de plástico liso conectado ao equipamento. Foram instruídos a realizar um esforço inspiratório máximo a partir do volume residual, de acordo com critérios da ATS/ERS (1). Para avaliação da P_{Imáx}, os indivíduos realizaram pelo menos três manobras, sustentadas por pelo menos 1 segundo, com menos de 10% de divergência entre elas (1). Para avaliação do S-Index, oito manobras foram realizadas (29). Os maiores valores de P_{Imáx} e S-Index foram utilizados para análise. Foi estabelecido um descanso de 1 minuto entre as manobras inspiratórias. Para P_{Imáx}, foram utilizados valores de referência para a população brasileira (26).

4.7. Procedimentos de avaliação

4.7.1. Confiabilidade teste-reteste e concordância

O teste-reteste foi usado para avaliar a confiabilidade dos volumes da caixa torácica durante os testes de PImáx e S-Index em adultos saudáveis. Um pesquisador treinado posicionou todos os marcadores do tórax e abdômen e foi responsável pelo manejo do sistema de análise de movimento; enquanto um segundo pesquisador foi responsável pela execução dos testes. As medidas de PImáx e de S-Index foram obtidas no mesmo dia, com intervalo de cinco a dez minutos para repouso entre os testes. Ambas as medidas foram utilizadas para análise.

4.7.2. Validação convergente

A avaliação da validade convergente foi realizada para examinar o grau em que as medidas de PImáx e S-Index foram associadas ao VIF, medido pelo sistema de análise de movimento Qualysis.

4.7.3. Comparação entre os testes respiratórios

Os volumes da caixa torácica total dos testes respiratórios foram comparados com a respiração em repouso e foram comparados entre eles. Além disso, os volumes dos quatro compartimentos foram comparados entre eles, em cada teste isoladamente; os volumes compartimentais também foram comparados entre os testes.

4.7.4. Associação entre testes respiratórios e sistema de análise de movimento

A associação entre o VIF e os valores de CVF e VEF₁ da espirometria foi avaliada. Além disso, foi avaliada a associação entre o VIF da espirometria com o VIF da PImáx e com o VIF da S-Index, todos medidos pelo sistema de análise de movimento Qualysis.

4.8. Análise estatística e cálculo amostral

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software GraphPad Prism (Versão 8.0, San Diego, CA) e pelo software SPSS, (Versão 22.0, Statistical Package for Social Sciences). A análise descritiva foi utilizada para caracterizar os indivíduos. Para avaliação da normalidade, foi realizado o teste de Shapiro-Wilk. Os resultados foram descritos em média e desvio padrão (DP). Todos os testes realizados consideraram hipóteses bilaterais e nível de significância de 5%. O tamanho da amostra foi realizado, com base em estudo prévio (80), à posteriori, utilizando o software Gpower 3.1.9.2 (Universitat Dusseldorf, Alemanha) considerando um tamanho de efeito médio de 3,4 para Vt-cw, com significância de 5% e poder de 95%, um mínimo de 6 sujeitos eram necessários.

4.8.1 Testes estatísticos

A confiabilidade foi verificada por meio do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) com dois modelos de efeito aleatórios e definição de concordância absoluta para todas as medidas do sistema de análise de movimento coletadas durante o PImáx e S-Index. A análise foi baseada na medida média; valores de ICC iguais ou maiores que 0,6 indicam que o instrumento possui um bom nível de confiabilidade, e acima de 0,74 indica uma reprodutibilidade excelente. (81). O erro padrão de medida (SEM) foi calculado como: DP x

$\sqrt{(1 - ICC)}$ (82). Diagramas de Bland-Altman foram usados para determinar diferenças sistemáticas entre a faixa de valores de duas medidas (83), avaliando a concordância.

A correlação de Pearson foi realizada para analisar a hipótese de que os testes respiratórios demonstram uma relação com os volumes da caixa torácica, mais precisamente, o VIF. O teste de Anova de uma via foi realizada para comparar os volumes da caixa torácica, total e compartimentar, mensurados durante os testes respiratórios, seguido de um pós-teste de Bonferroni. Além disso, foi calculado o tamanho do efeito d de Cohen para obter a diferença entre o valor da respiração basal com os testes respiratórios para amostras pareadas.

5. RESULTADOS

Os dados demográficos, antropométricos e dos testes respiratórios basais dos indivíduos saudáveis estão apresentados na Tabela 1. Os indivíduos apresentaram média de idade de 21,71 (2,5) anos, valores normais de Índice de Massa Corporal e valores preditivos para os testes de força muscular inspiratória e espirometria dentro da normalidade.

Tabela 1. Dados demográficos, de força muscular inspiratória e de espirometria de adultos saudáveis.

Variáveis	Medidas descritivas (n=21)
<i>Dados demográficos</i>	
Idade (anos)	21,71 (2,5)
Sexo (masculino)	12
Peso (kg)	64,04 (13,6)
Altura (m)	1,68 (0,1)
IMC (Kg/m ²)	22,21 (2,9)
<i>Testes de força muscular inspiratória</i>	
PImáx (cmH ₂ O)	90,95 (24,7)
PImáx (% predito)	75,59 (20,4)
S-Index (cmH ₂ O)	107,8 (24,9)
<i>Espirometria</i>	
CVF (L)	3,92 (0,7)
CVF (% predito)	96,59 (23,9)
VEF ₁ (L)	3,36 (0,5)
VEF ₁ (% predito)	94,18 (19,1)
VEF ₁ /CVF (%)	86,59 (6,5)

Dados apresentados em média (DP). kg, quilogramas; m, metros; PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica; CVF, capacidade vital forçada; VEF₁, volume expiratório forçado no primeiro segundo.

Fonte: autoria própria.

5.1. Confiabilidade teste-reteste e concordância

A confiabilidade teste-reteste foi avaliada a partir dos resultados de duas medidas da análise dos volumes da caixa torácica, por meio do sistema de análise de movimento, durante os testes de PImáx e S-Index. Os resultados referentes aos volumes da caixa torácica totais e compartimentais, para análise do teste-reteste, estão demonstrados na Tabela 2. Não houve diferença entre as duas medidas para ambas as variáveis. Todas as variáveis demonstraram uma boa confiabilidade em adultos saudáveis. O diagrama de Bland-Altman de Vt-cw e VIFcw demonstra a concordância entre as duas medidas de PImáx e S-Index (Figura 5).

Tabela 2. Dados relacionados à confiabilidade teste-reteste dos valores volumétricos da caixa torácica durante execução da PImáx e S-Index em adultos saudáveis.

Variável	Teste 1	Teste 2	Dif. (T1-T2)	ICC (95% CI)	SEM
<i>PImáx</i>					
Vt-cw (L)	1,79 (0,74)	1,78 (0,58)	0,01 (0,63)	0,726 (0,247;0,898)	0,303
VEFcw (L)	13,78 (3,33)	13,76 (3,32)	0,02 (0,12)	1,000 (0,999;1,000)	0,000
VIFcw (L)	15,57 (3,88)	15,54 (3,76)	0,03 (0,50)	0,994 (0,985;0,998)	0,291
Vt-ts (L)	0,45 (0,15)	0,47 (0,12)	-0,02 (0,15)	0,621 (-0,036;0,860)	0,073
Vt-ti (L)	0,42 (0,16)	0,40 (0,09)	0,02 (0,14)	0,609 (-0,064;0,855)	0,056
Vt-as (L)	0,60 (0,25)	0,61 (0,24)	-0,01 (0,16)	0,892 (0,710;0,960)	0,078
Vt-ai (L)	0,47 (0,33)	0,42 (0,30)	0,04 (0,17)	0,923 (0,800;0,971)	0,083
<i>S-Index</i>					
Vt-cw (L)	2,64 (0,72)	2,80 (0,63)	-0,16 (0,27)	0,946 (0,824;0,980)	0,146
VEFcw (L)	14,06 (3,37)	13,68 (2,83)	0,38 (2,53)	0,806 (0,523;0,921)	1,246
VIFcw (L)	16,70 (3,87)	16,47 (3,30)	0,22 (2,58)	0,857 (0,646;0,942)	1,247
Vt-ts (L)	0,60 (0,18)	0,68 (0,17)	-0,08 (0,11)	0,854 (0,460;0,949)	0,064
Vt-ti (L)	0,73 (0,16)	0,75 (0,12)	-0,03 (0,10)	0,857 (0,654;0,941)	0,045
Vt-as (L)	0,91 (0,35)	0,98 (0,30)	-0,06 (0,17)	0,924 (0,812;0,969)	0,082
Vt-ai (L)	0,53 (0,34)	0,50 (0,27)	0,03 (0,16)	0,923 (0,812;0,969)	0,074

Dados apresentados em média (DP). ICC, coeficiente de correlação interclasse; SEM, Erro Padrão de Medida; Vt-cw, volume corrente da caixa torácica; VEFcw, volume expiratório final da caixa torácica; VIFcw, volume inspiratório final da caixa torácica; Vt-ts, volume corrente do tórax superior; Vt-ti, volume corrente do tórax inferior; Vt-as, volume corrente do abdômen superior; Vt-ai, volume corrente do abdômen inferior.

Fonte: autoria própria.

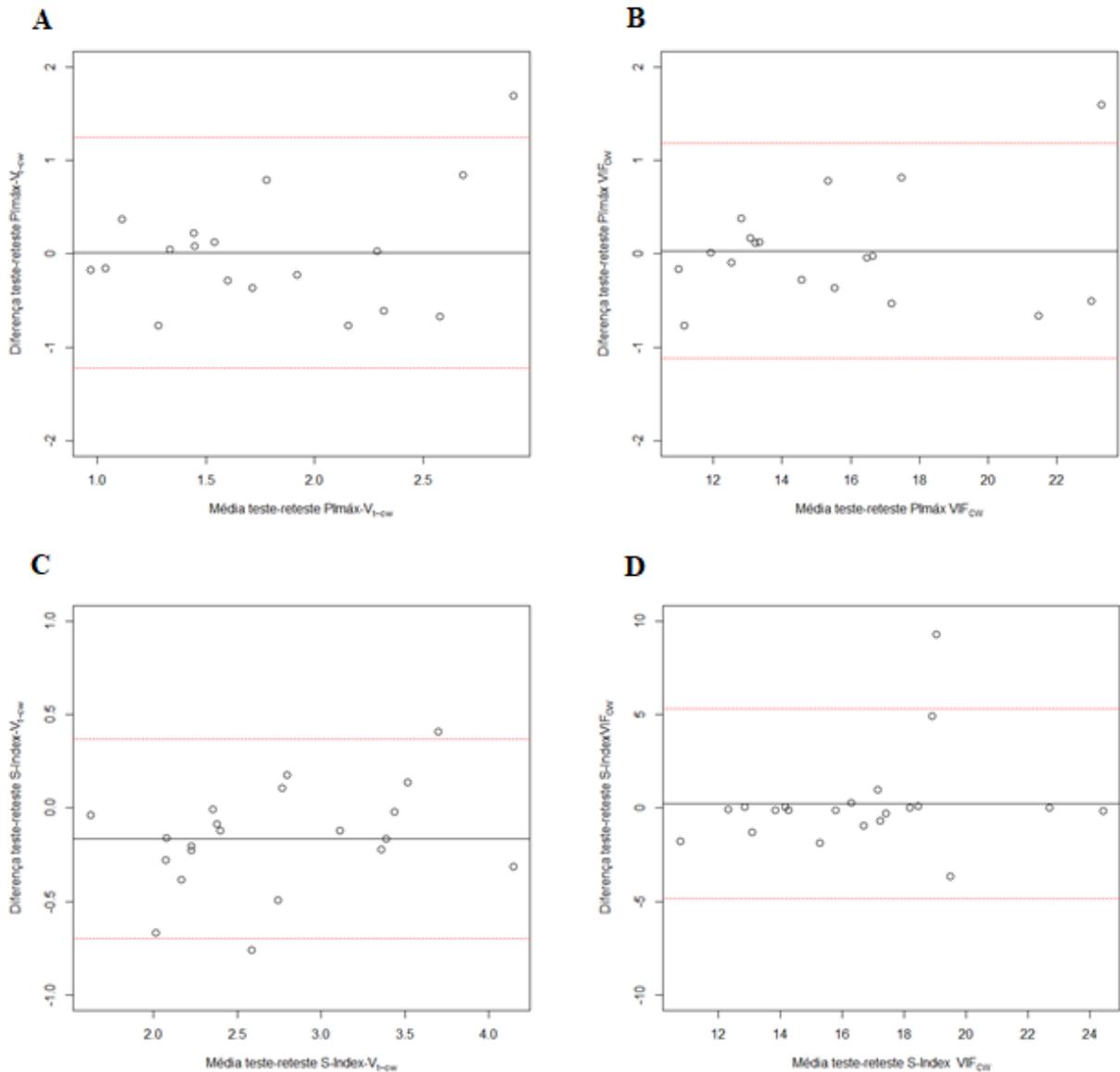


Figura 5. Diagrama de Bland-Altman da medida de concordância entre os valores de PImáx-Vt-cw (A), PImáx-VIFcw (B), S-Index-Vt-cw (C) e S-Index-VIFcw (D), obtidos durante captura de sistema de análise de movimento. PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica.

Fonte: autoria própria.

5.2. Validação convergente

O VIFcw foi positivamente correlacionado com valor de PImáx ($P=0,02$; $VIFcw = 0,08350 \times PImáx + 8.299$; $r^2=0,273$) e ao valor de S-Index ($P<0,001$; $VIFcw = 0,1235 \times S-Index + 3.389$; $r^2=0,636$). Os dados estão demonstrados na Figura 6.

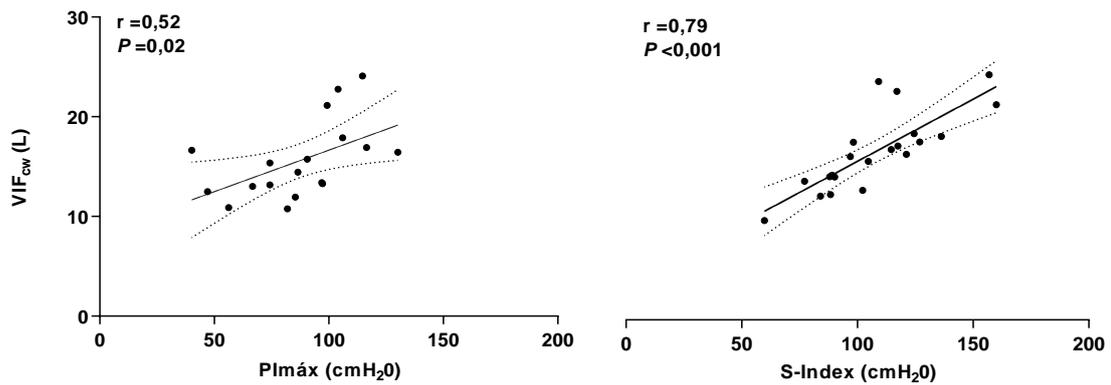


Figura 6. Correlação entre VIF_{cw} e os valores dos testes de PImáx e S-Index. VIF_{cw}, volume inspiratório final da caixa torácica. PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica. Correlação de Pearson.

Fonte: autoria própria.

5.3. Comparação entre os testes respiratórios

Em relação ao Vt-cw, todos os testes respiratórios atingiram um maior volume corrente em comparação ao basal ($P < 0,000$). Ainda, Vt-cw do S-Index e espirometria foram maiores que o Vt-cw da PImáx, sem diferença entre eles (Tabela 3).

Já em relação aos volumes compartimentais, todos os volumes de todos os compartimentos foram maiores em todos os testes respiratórios quando comparados ao respectivo volume no basal ($P < 0,000$). Quando comparamos os compartimentos, verificamos que o Vt-as atingiu maiores valores de volume corrente em todos os testes respiratórios. Porém, para execução do S-Index e espirometria, Vt-as não apresentou diferença quando comparado com o Vt-ti. Os dados podem ser observados na Tabela 3 e Figura 7.

Tabela 3. Dados relativos aos volumes correntes da caixa torácica total e compartimentos nos testes respiratórios em adultos saudáveis.

Variável	Basal Média (DP)	Espirometria Média (DP) (d)	PI_{máx} Média (DP) (d)	S-Index Média (DP) (d)	P¹
Vt-cw (L)	0,64(0,29) ^A	2,79(0,84) ^B (2,765)	1,79(0,74) ^C (1,563)	2,64(0,72) ^B (2,850)	0,000
Vt-ts (L)	0,14(0,09) ^{A:a}	0,56(0,26) ^{B:C:a;b;d} (1,380)	0,45(0,15) ^{B:a} (2,171)	0,60(0,18) ^{C:a} (2,980)	0,000
Vt-ti (L)	0,15(0,08) ^{A:a}	0,77(0,25) ^{B;b:c} (2,573)	0,42(0,16) ^{C:a} (1,805)	0,73(0,16) ^{B:a;b} (4,581)	0,000
Vt-as (L)	0,23(0,09) ^{A:b}	0,98(0,39) ^{B;c} (2,118)	0,60(0,25) ^{C;b} (1,488)	0,91(0,35) ^{B;b} (2,065)	0,000
Vt-ai (L)	0,15(0,07) ^{A:a}	0,52(0,26) ^{B;d} (1,621)	0,47(0,33) ^{B:a} (0,960)	0,53(0,34) ^{B:a} (1,226)	0,000
P²	0,000	0,000	0,011	0,000	

Vt-cw, volume corrente da caixa torácica; Vt-ts, volume corrente do tórax superior; Vt-ti, volume corrente do tórax inferior; Vt-as, volume corrente do abdômen superior; Vt-ai, volume corrente do abdômen inferior.; d, Tamanho do efeito de Cohen (Basal= valor de referência); PI_{máx}, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica.

P¹: Anova de uma via com medidas repetidas comparando linhas (Basal x Espirometria x PI_{máx} x S-Index); P²: Anova de uma via com medidas repetidas comparando colunas (Vt-ts x Vt-ti x Vt-as x Vt-ai).

Linhas com as mesmas letras maiúsculas não diferem significativamente; Colunas com as mesmas letras minúsculas não diferem significativamente.

Fonte: autoria própria.

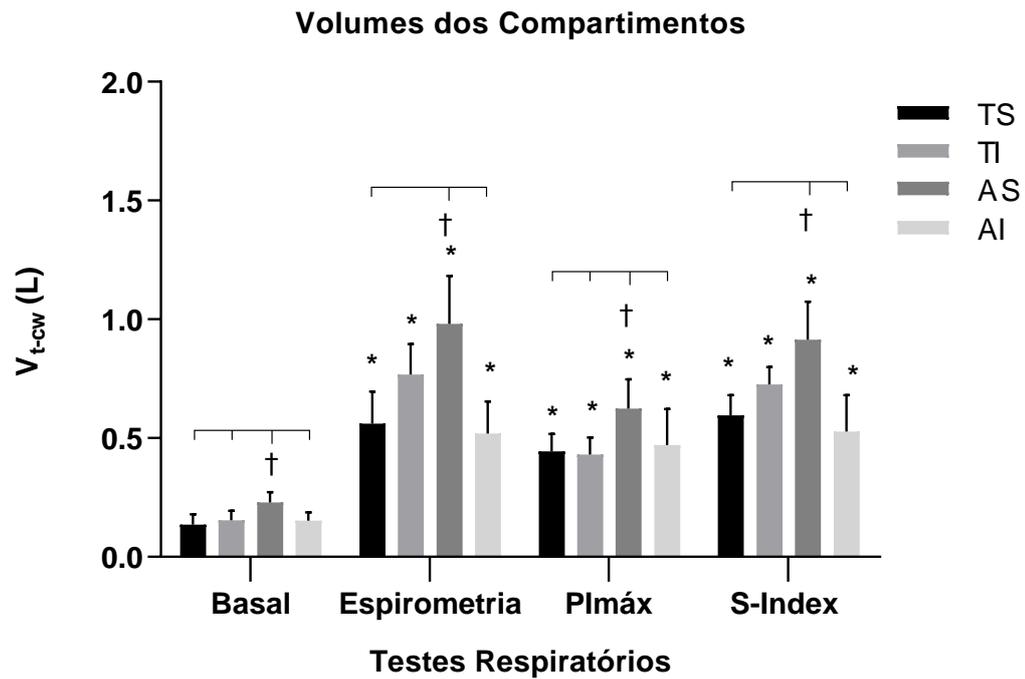


Figura 7. Comparação entre os volumes correntes dos compartimentos entre os testes respiratórios. V_{t-cw} , volume corrente da caixa torácica; TS, tórax superior; TI, tórax inferior; AS, abdômen superior; AI, abdômen inferior; $P_{lmáx}$, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica. *, diferença com o Basal; †, diferença entre V_{t-as} e os outros compartimentos.

Fonte: autoria própria.

5.4. Associação entre testes respiratórios e sistema de análise de movimento

Encontramos uma forte correlação entre o VIF_{cw} com as medidas de CVF ($VIF_{cw} = 3.187 \times CVF + 3.367$; $r^2=0.731$) e VEF_1 ($VIF_{cw} = 3.823 \times VEF_1 + 3.062$; $r^2=0.582$) (Figura 8).

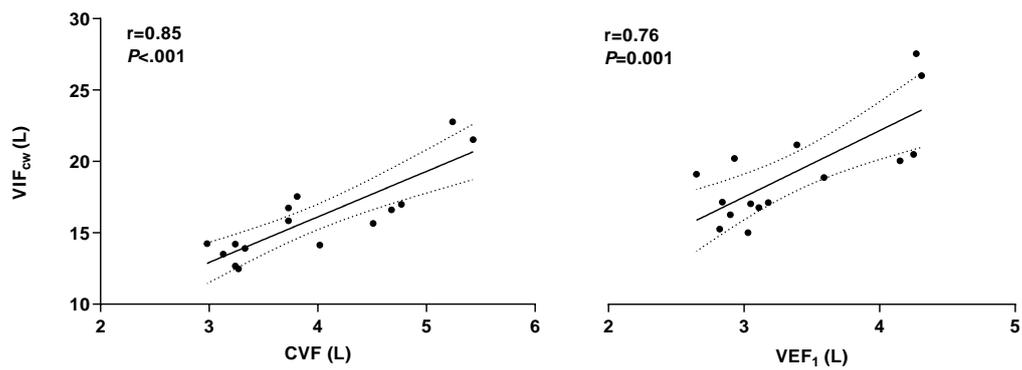


Figura 8. Correlação entre VIF_{cw} e valores de CVF e VEF₁. VIF_{cw}, volume inspiratório final da caixa torácica; CVF, capacidade vital forçada; VEF₁, volume expiratório forçado no primeiro segundo. Correlação de Pearson.

Fonte: autoria própria.

Ainda, o VIF_{cw} da espirometria foi positivamente correlacionado com o VIF_{cw} da PImáx ($VIF_{cw} PImáx = 0.8393x VIF_{cw} Espirometria + 3.524$; $r^2=0.831$), e com o VIF_{cw} do S-Index ($VIF_{cw} S-Index = 0.7402x VIF_{cw} Espirometria + 4.309$), demonstrados na Figura 9.

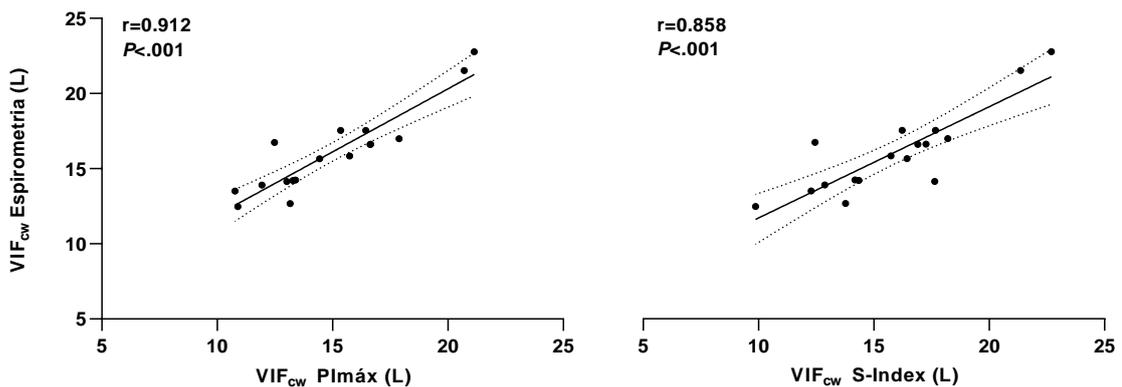


Figura 9. Correlação entre o VIF_{cw} da espirometria com o VIF_{cw} do PImáx e do S-Index. VIF_{cw}, volume inspiratório final da caixa torácica. PImáx, pressão inspiratória máxima estática; S-Index, pressão inspiratória máxima dinâmica. Correlação de Pearson.

Fonte: autoria própria.

6. DISCUSSÃO

O presente estudo demonstrou uma boa confiabilidade e concordância do sistema de análise de movimento Qualysis para as medidas de volumes da caixa torácica em adultos saudáveis, analisados por meio de uma rotina Matlab. Além disso, os valores encontrados no sistema de análise de movimento para os volumes da caixa torácica se correlacionaram com os valores dos testes respiratórios. Ainda, demonstrou que há diferenças entre os volumes da caixa torácica total e compartimental entre os testes respiratórios avaliados (espirometria, teste de força muscular estática e dinâmica).

Sendo assim, conforme as metodologias empregadas para este estudo, os principais achados foram: (1) boa confiabilidade teste-reteste e boa concordância do sistema de análise de movimento; e moderada à forte correlação do sistema de análise de movimento aos testes respiratórios, comprovando a validação convergente do instrumento; e (2) maior volume da caixa torácica quando realizados os testes de espirometria e S-Index, comparados ao teste de P_{Imáx}; maior contribuição do V_t em todos os testes respiratórios; e, forte correlação entre os volumes da caixa torácica encontrados durante a espirometria com os volumes encontrados durante a realização da P_{Imáx} e S-Index.

Encontramos boa confiabilidade e concordância na medida de volumes de caixa torácica durante os testes de força muscular inspiratória em adultos saudáveis. Este resultado também foi encontrado em outros estudos com equipamentos diferentes (7,18,22), o qual demonstra que o sistema de análise de movimento é um sistema novo e alternativo para mensuração de volumes da caixa torácica, por meio de software específico. Dessa maneira, nós implementamos um novo uso para o sistema de análise de movimento, projetado primariamente para aquisição e reconstrução de imagens tridimensionais por meio de marcadores retrorrefletivos (74).

Nesse estudo, dividimos a caixa torácica em quatro compartimento, diferentemente do descritos em outros estudos (7), pois consideramos importante a inclusão dos movimentos do abdômen inferior e da pélvis como movimentos acessórios à ventilação (64). Já foi descrito que duas regiões formam o abdômen: o abdômen superior, que está mecanicamente conectado à caixa torácica inferior; e o abdômen inferior (5). Ainda, a mensuração dos volumes da caixa torácica em um modelo reduzido em número de marcadores, como o proposto no presente estudo, foi validado para identificação e análise da caixa torácica, e poderia ser de maior praticidade para a avaliação dos indivíduos (84), principalmente nos indivíduos acometidos por alguma doença de base.

Os movimentos da caixa torácica são transmitidos aos pulmões, e vice-versa; sendo assim, as variações volumétricas dos pulmões podem ser estimadas pelas medidas das variações de movimento da superfície da caixa torácica (5). Deste modo, considerando os testes respiratórios realizados no presente estudo, e, o ineditismo da proposta de validação do método por meio dos testes de força muscular inspiratória, encontramos que quanto maior os valores absolutos obtidos dos testes, maiores os volumes deslocados da caixa torácica. Nosso estudo contribui com achados anteriores de mobilidade da caixa torácica, medidos por meio da cirtometria axilar e torácica, que encontrou associação entre as medidas de cirtometria com os valores de força muscular respiratória em indivíduos saudáveis (85). Esse achado confirma que há ação de diferentes músculos inspiratórios sobre a movimentação da caixa torácica que são limitadas, ao final da inspiração, pelo volume pulmonar e da expansibilidade da caixa torácica máximos (55).

Além da correlação com os testes de força muscular respiratória, encontramos correlação dos valores da espirometria com os volumes da caixa torácica medidos pelo sistema de análise de movimento. Estudos prévios também encontraram que os marcadores da caixa torácica podem estimar e podem ser comparados aos volumes encontrados na espirometria e, também, poderiam ser utilizados para calcular o movimento da caixa torácica (7,23), até mesmo

durante exercício intenso (10). Podemos supor, a partir disso, que valores de espirometria dentro da normalidade podem significar um maior movimento da caixa torácica.

Comparado à respiração basal, encontramos que os volumes da caixa torácica foram maiores em todos os testes respiratórios. Sabe-se que o diafragma tem uma coordenação ligada aos movimentos de expansão da caixa torácica e que, durante a inspiração profunda, a caixa torácica se move horizontalmente e verticalmente (18), gerando assim um maior volume comparado a uma respiração em repouso. Isso se explica pois, com o aumento da demanda ventilatória, há aumento do impulso neural e potência para os músculos respiratórios. Como a força da musculatura depende da velocidade de encurtamento de fibras e de pressão, depende da ação coordenada dos músculos que geram fluxo (diafragma, principalmente) e que geram pressão (caixa torácica e abdominais) (12).

Além disso, encontramos diferenças entre os testes respiratórios em relação ao volume corrente da caixa torácica (V_{t-cw}). Durante o exercício, tanto o VIF pode ser aumentado, pelo incremento da expansibilidade da caixa torácica, quanto o VEF pode ser diminuído, pela maior contração muscular na expiração ativa, gerando um maior V_{t-cw} (12). O V_{t-cw} encontrado durante execução da espirometria e do S-Index foi maior do que o encontrado durante a P_{Imáx}.

Na espirometria o V_{t-cw} foi maior, pois trata-se de um teste padrão ouro para medida de volumes pulmonares (25). Os testes de força muscular inspiratória, S-Index e P_{Imáx} apresentam uma forte correlação e concordância entre eles (86), entretanto apresentam metodologias diferentes (30), o que corrobora com os nossos achados. A diferença entre o V_{t-cw} entre os dois testes pode ser explicada pela manutenção da válvula aberta, gerando um fluxo livre, durante a execução do S-Index (27,30).

Em relação aos volumes dos quatro compartimentos analisados da caixa torácica, observamos que o compartimento do abdômen superior teve maior contribuição durante a execução dos testes quando comparados aos outros compartimentos. O compartimento do abdômen superior abrange a região do diafragma; mudanças no movimento diafragmático e a

distribuição do peso visceral reflete nas mudanças do volume pulmonar (18). Além disso, há diferenças nas forças que atuam na caixa torácica superior do que aquelas que atuam na caixa torácica inferior (5). A musculatura abdominal contribui na respiração forçada do indivíduo saudável, levando a um melhor movimento diafragmático (55), o que poderia explicar a maior contribuição do compartimento do abdômen superior durante os testes respiratórios analisados.

No entanto, durante a execução da espirometria e S-index, não encontramos diferença entre o V_t -as e o volume do compartimento do tórax inferior (V_t -ti). Isto pode ser explicado pelo mecanismo da ventilação durante manobra de capacidade vital total, a qual 25% se deve à expansão da caixa torácica e 75% ao movimento diafragmático, com movimentos complementares (18). Ainda, é somente ao final de uma inspiração completa que ocorre a elevação da caixa torácica (5), o que poderia explicar o aumento do V_t -ti durante a espirometria e o S-Index, os quais exigem um maior volume de ar para realização dos testes. Um estudo comparando exercícios respiratórios encontrou que esses exercícios, exceto o de respiração diafragmática, tem uma maior contribuição do compartimento referente ao tórax inferior (80), o que corrobora com os nossos achados.

Em relação ao S-Index, observamos que os volumes da caixa torácica foram maiores do que os encontrados durante o $PI_{máx}$, ambos os testes foram fortemente correlacionados aos volumes da caixa torácica obtidos durante a espirometria, quando analisados o VIFcw. Sendo assim, quanto maior o VIFcw alcançado durante a medida de espirometria, maior o VIFcw alcançado durante a medida dos testes de força inspiratórios. Essa correlação demonstra que, assim como a espirometria, os testes de força muscular inspiratória também podem ser testes capazes de inferir na capacidade de volume e de movimento que pode ser gerado pela caixa torácica (1).

O presente estudo associou os testes de força muscular inspiratória à um sistema de análise de movimento para medir volumes da caixa torácica e comparou os testes respiratórios. Há outros estudos utilizando exercícios respiratórios, mensurados por meio da análise de

volumes da caixa torácica, cujos resultados encontrados foram: espirômetros de incentivo orientados à volume e à fluxo foram capazes de produzir maiores volumes da caixa torácica quando comparados com dispositivos somente à volume ou fluxo (87); espirômetros de incentivo à fluxo e volume, e exercícios de inspiração máxima sustentada, são capazes de aumentar o volume da caixa torácica, sem diferença entre eles (88); manobras tixotrópicas (inspiração até capacidade pulmonar total e expiração até volume residual) foram capazes de alterar os volumes da caixa torácica quando comparados à respiração basal (89); exercícios de respiração inspiratória aumentaram o V_t -cw comparado à respiração basal (80).

6.1 Limitações

Como nosso estudo testou uma nova forma de avaliação do volume da parede torácica por um sistema de análise de movimento, não incluímos voluntários com doença pulmonar, o que pode reduzir a validade externa do resultado. No entanto, a inclusão de indivíduos saudáveis pode ter fornecido um padrão de avaliação em um ambiente mais seguro e bem controlado.

Apesar da implementação de períodos de descanso entre as medidas, todas as medidas foram coletadas no mesmo dia devido a requisitos técnicos de calibração e preparação do conjunto de equipamentos, tornando toda a sessão de teste possivelmente cansativa para os sujeitos; por outro lado, os voluntários estavam saudáveis e relataram cansaço devido ao tempo da sessão de avaliação - preparação e execução dos testes. Paradoxalmente, um procedimento de um dia também garantiu a participação dos sujeitos e a confiabilidade das medidas relacionadas à calibração. Apesar das limitações, o presente estudo contribuiu para a compreensão das alterações do volume pulmonar durante os esforços da musculatura inspiratória em indivíduos saudáveis, sendo necessárias investigações adicionais em indivíduos com doenças pulmonares.

7. CONCLUSÃO

O sistema de análise de movimento apresentou confiabilidade e concordância substanciais para medida de volumes da caixa torácica em adultos saudáveis, e, a validação do método se confirmou por meio da associação dos testes de força muscular inspiratório e espirometria com os volumes da caixa torácica. Além disso, demonstrou-se diferença entre os volumes da caixa torácica entre os testes respiratórios, pois o S-Index e espirometria atingiram maiores volumes da caixa torácica comparadas à PImáx, e o compartimento do abdômen superior foi o que mais contribuiu para a execução dos testes. Ainda, os volumes da caixa torácica durante a espirometria se associaram aos volumes da caixa torácica durante os testes de força muscular respiratória.

Este estudo foi capaz de demonstrar uma nova utilização a um sistema de análise de movimento, por meio de uma rotina Matlab desenvolvida para analisar os volumes da caixa torácica, a qual pode ser aplicada em qualquer tipo de população. O objetivo dessa análise é de complementar a avaliação da função pulmonar, e entender, de forma específica, a contribuição de cada compartimento toracoabdominal, com o intuito de promover uma terapêutica individualizada para as compensações do movimento torácico.

Esta é uma contribuição importante para o melhor entendimento do comportamento da caixa torácica durante a realização de testes respiratórios, com perspectivas futuras de investigação em indivíduos com disfunção cardiopulmonar. Sendo assim, novas investigações são recomendadas para a avaliação de indivíduos com patologias que possam ter repercussões na caixa torácica, como doenças osteomioarticulares, pulmonares, cardiovasculares e neurológicas.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

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.
2. De Troyer A, Boriek AM. Mechanics of the respiratory muscles. *Compr Physiol*. 2011;1(3):1273–300.
3. Perry SF, Similowski T, Klein W, Codd JR. The evolutionary origin of the mammalian diaphragm. *Respir Physiol Neurobiol*. 2010 Apr;171(1):1–16.
4. Pilarski JQ, Leiter JC, Fregosi RF. Muscles of Breathing: Development, Function, and Patterns of Activation. *Compr Physiol*. 2019;9(3):1025–80.
5. Aliverti A, Pedotti A. Opto-electronic Plethysmography. In: *Mechanics of Breathing*. Springer Milan; 2002. p. 47–59.
6. Massaroni C, Carraro E, Vianello A, Miccinilli S, Morrone M, Levai IK, et al. Optoelectronic Plethysmography in Clinical Practice and Research: A Review. *Respiration*. 2017;93(5):339–54.
7. Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, Molteni F, Beulcke G, Pedotti A. Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. *J Appl Physiol*. 1994 Sep 1;77(3):1224–31.
8. Silvatti AP, Sarro KJ, Cerveri P, Baroni G, Barros RML. A 3D kinematic analysis of breathing patterns in competitive swimmers. *J Sports Sci*. 2012 Oct 17;30(14):1551–60.
9. Vieira DSR, Hoffman M, Pereira DAG, Britto RR, Parreira VF. Optoelectronic plethysmography: Intra-rater and inter-rater reliability in healthy subjects. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013 Dec;189(3):473–6.
10. Layton AM, Moran SL, Garber CE, Armstrong HF, Basner RC, Thomashow BM, et al. Optoelectronic plethysmography compared to spirometry during maximal exercise. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013 Jan;185(2):362–8.
11. Loula, C. M. A., Pachêco, A. L., Sarro, K. J. and Barros RML. Análise de volumes parciais do tronco durante a respiração por videogrametria. *Brazilian J Biomech*.

- 2005;9(5):21–7.
12. Aliverti A. The respiratory muscles during exercise. *Breathe*. 2016;12(2):165–8.
 13. Daimon S, Yamaguchi K. Changes in respiratory activity induced by mastication during oral breathing in humans. *J Appl Physiol*. 2014;116(11):1365–70.
 14. Breslin EH, Garoutte BC, Kohlman-CARRIERI V, Celli BR. Correlations between Dyspnea, Diaphragm and Sternomastoid Recruitment during Inspiratory Resistance Breathing in Normal Subjects. *Chest*. 1990 Aug;98(2):298–302.
 15. Chiti L, Biondi G, Morelot-Panzini C, Raux M, Similowski T, Hug F. Scalene muscle activity during progressive inspiratory loading under pressure support ventilation in normal humans. *Respir Physiol Neurobiol*. 2008;164(3):441–8.
 16. Reilly CC, Jolley CJ, Ward K, MacBean V, Moxham J, Rafferty GF. Neural respiratory drive measured during inspiratory threshold loading and acute hypercapnia in healthy individuals. *Exp Physiol*. 2013 Jul;98(7):1190–8.
 17. Cerqueira E, Garbellini D. Electromyographic study of the pectoralis major, serratus anterior and external oblique muscles during respiratory activity in humans - PubMed. *Electromyogr Clin Neurophysiol* . 1999;39(3):131–7.
 18. Wade OL. Movements of the thoracic cage and diaphragm in respiration*. *J Physiol*. 1954 May 28;124(2):193–212.
 19. De Troyer A, Sampson M, Sigrist S, Macklem P. The diaphragm: two muscles. *Science* (80-). 1981 Jul 10;213(4504):237–8.
 20. Rimmer KP, Ford GT, Whitelaw WA. Interaction between postural and respiratory control of human intercostal muscles. *J Appl Physiol*. 1995;79(5):1556–61.
 21. De Troyer A, Estenne M, Ninane V, Van Gansbeke D, Gorini M. Transversus abdominis muscle function in humans. *J Appl Physiol*. 1990 Mar 1;68(3):1010–6.
 22. Parreira VF, Vieira DSR, Myrrha MAC, Pessoa IMBS, Lage SM, Britto RR. Pletismografia optoeletrônica: uma revisão da literatura. *Brazilian J Phys Ther*. 2012 Dec;16(6):439–53.
 23. Cala SJ, Kenyon CM, Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, Pedotti A, et al. Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. *J Appl Physiol*.

- 1996 Dec 1;81(6):2680–9.
24. Vogiatzis I. Patterns of dynamic hyperinflation during exercise and recovery in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*. 2005 Sep 1;60(9):723–9.
 25. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019 Oct 15;200(8):e70–88.
 26. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Brazilian J Med Biol Res*. 1999;32(6):719–27.
 27. Langer D, Jacome C, Charususin N, Scheers H, McConnell A, Decramer M, et al. Measurement validity of an electronic inspiratory loading device during a loaded breathing task in patients with COPD. *Respir Med*. 2013 Apr;107(4):633–5.
 28. Silva PE, de Carvalho KL, Frazão M, Maldaner V, Daniel CR, Gomes-Neto M. Assessment of Maximum Dynamic Inspiratory Pressure. *Respir Care*. 2018 Oct;63(10):1231–8.
 29. da Silva FMF, Cipriano G, Lima ACGB, Andrade JML, Nakano EY, Chiappa GR, et al. Maximal Dynamic Inspiratory Pressure Evaluation in Heart Failure: A Comprehensive Reliability and Agreement Study. *Phys Ther*. 2020 Sep 17;100(12):2246–53.
 30. Minahan C, Sheehan B, Doutreband R, Kirkwood T, Reeves D, Cross T. Repeated-sprint cycling does not induce respiratory muscle fatigue in active adults: measurements from the powerbreathe® inspiratory muscle trainer. *J Sports Sci Med*. 2015 Mar;14(1):233–8.
 31. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518–624.
 32. Pessoa IMS, Parreira VF, Fregonezi GAF, Sheel AW, Chung F, Reid WD. Reference Values for Maximal Inspiratory Pressure: A Systematic Review. *Can Respir J*. 2014;21(1):43–50.
 33. Ratnovsky A, Elad D, Halpern P. Mechanics of respiratory muscles. *Respir Physiol*

- Neurobiol. 2008;163(1–3):82–9.
34. Corrêa ECR, Bérzin F. Mouth Breathing Syndrome: Cervical muscles recruitment during nasal inspiration before and after respiratory and postural exercises on Swiss Ball. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2008;72(9):1335–43.
 35. Pettersen V, Bjørkøy K, Torp H, Westgaard RH. Neck and Shoulder Muscle Activity and Thorax Movement in Singing and Speaking Tasks with Variation in Vocal Loudness and Pitch. *J Voice.* 2005;19(4):623–34.
 36. Troyer A, Gorman RB, Gandevia SC. Distribution of inspiratory drive to the external intercostal muscles in humans. *J Physiol.* 2003;546(3):943–54.
 37. Reid DC, Bowden J, Lynne Davies P. Role of selected muscles of respiration as influenced by posture and tidal volume. *Chest.* 1976 Nov 1;70(5):636–40.
 38. Reid MB, Loring SH, Banzett RB, Mead J. Passive mechanics of upright human chest wall during immersion from hips to neck. *J Appl Physiol.* 1986 May 1;60(5):1561–70.
 39. Loring SH, Mead J. Action of the diaphragm on the rib cage inferred from a force-balance analysis. *J Appl Physiol.* 1982 Sep 1;53(3):756–60.
 40. Pickering M, Jones JFX. The diaphragm: two physiological muscles in one. *J Anat.* 2002;201(4):305–12.
 41. Gauthier AP, Verbanck S, Estenne M, Segebarth C, Macklem PT, Paiva M. Three-dimensional reconstruction of the in vivo human diaphragm shape at different lung volumes. *J Appl Physiol.* 1994 Feb 1;76(2):495–506.
 42. Boyd W, Blincoe H, Hayner JC. Sequence of action of the diaphragm and quadratus lumborum during quiet breathing. *Anat Rec.* 1965;151(4):579–81.
 43. Pereira CA de C, Sato T, Rodrigues SC. Novos valores de referência para espirometria forçada em brasileiros adultos de raça branca. *J Bras Pneumol.* 2007 Aug;33(4):397–406.
 44. Duarte AADO, Pereira CADC, Rodrigues SCS. Validação de novos valores previstos brasileiros para a espirometria forçada na raça branca e comparação com os valores previstos obtidos por outras equações de referência. *J Bras Pneumol.* 2007;33(5):527–35.

45. Crapo O, Hankinson JL, Irvin C, MacIntyre NR, Voter KZ, Wise RA, et al. Standardization of Spirometry, 1994 Update. American Thoracic Society. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995 Sep;152(3):1107–36.
46. Parreira V, França D, Zampa C, Fonseca M, Tomich G, Britto R. Pressões respiratórias máximas: valores encontrados e preditos em indivíduos saudáveis. *Rev Bras Fisioter*. 2007;11(5):361–8.
47. Souza RB de. Pressões respiratórias estáticas máximas. *J Bras Pneumol*. 2002;28(Supl 3):155–65.
48. Hyatt R, Black L. Maximal Respiratory Pressures: Normal Values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis*. 1969;99:696–702.
49. Enright PL, Kronmal RA, Manolio TA, Schenker MB, Hyatt RE. Respiratory muscle strength in the elderly. Correlates and reference values. Cardiovascular Health Study Research Group. *Am J Respir Crit Care Med*. 1994;149(2):430–8.
50. Camelo Jr J, Terra J, Manço J. Pressões respiratórias máximas em adultos normais. *J Pneumol*. 1985;11(4):181–4.
51. Costa D, Gonçalves HA, Lima LP de, Ike D, Cancelliero KM, Montebelo MI de L. Novos valores de referência para pressões respiratórias máximas na população brasileira. *J Bras Pneumol*. 2010;36(3):306–12.
52. Langer D, Charususin N, Jácome C, Hoffman M, McConnell A, Decramer M, et al. Efficacy of a Novel Method for Inspiratory Muscle Training in People With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Phys Ther*. 2015 Sep 1;95(9):1264–73.
53. Eugênio Silva P, Luiz Quaglioti Durigan J, Cipriano G. Maximal Inspiratory Pressure: A Lost Point Trying to Explain a S-Index Function Line Index. *J Sport Sci Med*. 2015;14:883–4.
54. Baker D, Wilson G, Carlyon B. Generality versus specificity: a comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed-strength. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994;68(4):350–5.
55. Romagnoli I, Lanini B, Binazzi B, Bianchi R, Coli C, Stendardi L, et al. Optoelectronic Plethysmography has Improved our Knowledge of Respiratory Physiology and Pathophysiology. *Sensors*. 2008 Dec 5;8(12):7951–72.

56. Konno K, Mead J. Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *J Appl Physiol*. 1967 Mar 1;22(3):407–22.
57. Ward ME, Ward JW, Macklem PT. Analysis of human chest wall motion using a two-compartment rib cage model. *J Appl Physiol*. 1992 Apr 1;72(4):1338–47.
58. Gonzalez H, Haller B, Watson HL, Sackner MA. Accuracy of Respiratory Inductive Plethysmograph over Wide Range of Rib Cage and Abdominal Compartmental Contributions to Tidal Volume in Normal Subjects and in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am Rev Respir Dis*. 1984 Aug;130(2):171–4.
59. Verschakelen JA, Demedts MG. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995 Feb;151(2):399–405.
60. Griffiths CJ, Gilmartin JJ, Gibson GJ, Murray A. Measurement of chest wall movement; design, performance and clinical use of a four-channel magnetometer instrument. *Clin Phys Physiol Meas*. 1983 Nov;4(4):363–71.
61. Stagg D, Goldman M, Davis JN. Computer-aided measurement of breath volume and time components using magnetometers. *J Appl Physiol*. 1978 Apr 1;44(4):623–33.
62. Figueroa PJ, Leite NJ, Barros RML. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Comput Methods Programs Biomed*. 2003;72(2):155–65.
63. Barros, R.M.L.; Brenzikofer, R.; Leite, N.J.; Figueroa PJ, Brenzikofer R, Leite NJ, Figueroa PJ, Barros RML, Brenzikofer R, et al. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise cinemática tridimensional de movimentos humanos. *Res Biomed Eng*. 2011;15(1–2):79–86.
64. Sarro KJ, Silvatti AP, Barros RML. Coordination between ribs motion and thoracoabdominal volumes in swimmers during respiratory maneuvers. *J Sport Sci Med*. 2008;7(2):195–200.
65. Aliverti A, Cala SJ, Duranti R, Ferrigno G, Kenyon CM, Pedotti A, et al. Human respiratory muscle actions and control during exercise. *J Appl Physiol*. 1997;83(4):1256–69.
66. Aliverti A, Ghidoli G, Dellacà RL, Pedotti A, Macklem PT. Chest wall kinematic determinants of diaphragm length by optoelectronic plethysmography and ultrasonography. *J Appl Physiol*. 2003;94(2):621–30.

67. Aliverti A, Uva B, Laviola M, Bovio D, Lo Mauro A, Tarperi C, et al. Concomitant ventilatory and circulatory functions of the diaphragm and abdominal muscles. *J Appl Physiol*. 2010;109:1432–40.
68. Kenyon CM, Cala SJ, Yan S, Aliverti A, Scano G, Duranti R, et al. Rib cage mechanics during quiet breathing and exercise in humans. *J Appl Physiol*. 1997 Oct 1;83(4):1242–55.
69. Celli B, Criner G, Rassulo J. Ventilatory muscle recruitment during unsupported arm exercise in normal subjects. *J Appl Physiol*. 1988 May 1;64(5):1936–41.
70. Romagnoli I, Gorini M, Gigliotti F, Bianchi R, Lanini B, Grazzini M, et al. Chest wall kinematics, respiratory muscle action and dyspnoea during arm vs. leg exercise in humans. *Acta Physiol*. 2006;188(1):63–73.
71. Hostettler S, Illi SK, Mohler E, Aliverti A, Spengler CM. Chest wall volume changes during inspiratory loaded breathing. *Respir Physiol Neurobiol*. 2011;175(1):130–9.
72. McCandless PJ, Evans BJ, Janssen J, Selfe J, Churchill A, Richards J. Effect of three cueing devices for people with Parkinson's disease with gait initiation difficulties. *Gait Posture*. 2016 Feb;44:7–11.
73. Williams JM, Theobald PS, Jones MD. Does the presence of a vertical barrier influence sagittal spinal curvature or range of motion in young females? *J Back Musculoskeletal Rehabil*. 2014 Jan 28;27(1):71–5.
74. Al-Eisa E, Egan D, Deluzio K, Wassersug R. Effects of Pelvic Skeletal Asymmetry on Trunk Movement. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006 Feb;31(3):71–9.
75. 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*. 2010 Jul;63(7):737–45.
76. Kottner J, Audigé L, Brorson S, Donner A, Gajewski BJ, Hróbjartsson A, et al. Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. *J Clin Epidemiol*. 2011 Jan;64(1):96–106.
77. Hernaez R. Reliability and agreement studies: a guide for clinical investigators. *Gut*. 2015 Jul;64(7):1018–27.

78. Malta M, Cardoso LO, Bastos FI, Magnanini MMF, Silva CMFP da. Iniciativa STROBE: subsídios para a comunicação de estudos observacionais. *Rev Saude Publica*. 2010 Jun;44(3):559–65.
79. Brennan NJ, Morris AJR, Green M. Thoracoabdominal mechanics during tidal breathing in normal subjects and in emphysema and fibrosing alveolitis. *Thorax*. 1983 Jan 1;38(1):62–6.
80. Vieira DSR, Mendes LPS, Elmiro NS, Velloso M, Britto RR, Parreira VF. Breathing exercises: influence on breathing patterns and thoracoabdominal motion in healthy subjects. *Brazilian J Phys Ther*. 2014 Dec;18(6):544–52.
81. Cicchetti D V. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychol Assess*. 1994 Dec;6(4):284–90.
82. Stratford PW, Goldsmith CH. Use of the Standard Error as a Reliability Index of Interest: An Applied Example Using Elbow Flexor Strength Data. *Phys Ther*. 1997 Jul 1;77(7):745–50.
83. Martin Bland J, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986 Feb;327(8476):307–10.
84. Massaroni C, Piaia Silvatti A, Levai IK, Dickinson J, Winter S, Schena E, et al. Comparison of marker models for the analysis of the volume variation and thoracoabdominal motion pattern in untrained and trained participants. *J Biomech*. 2018 Jul;76:247–52.
85. Lanza F de C, de Camargo AA, Archija LRF, Selman JPR, Malaguti C, Dal Corso S. Chest Wall Mobility Is Related to Respiratory Muscle Strength and Lung Volumes in Healthy Subjects. *Respir Care*. 2013;58(12):2107–12.
86. Areias G de S, Santiago LR, Teixeira DS, Reis MS. Concurrent Validity of the Static and Dynamic Measures of Inspiratory Muscle Strength: Comparison between Maximal Inspiratory Pressure and S-Index. *Brazilian J Cardiovasc Surg*. 2020;35(4):459–64.
87. Florêncio RB, Aliverti A, Fagundes MLLC, Batista IP dos S, da Nóbrega AJS, Resqueti VR, et al. Acute effects of three pulmonary reexpansion modalities on thoracoabdominal motion of healthy subjects: Randomized crossover study. Patman S, editor. *PLoS One*. 2019 Mar 19;14(3).

88. Mendes LPS, Teixeira LS, da Cruz LJ, Vieira DSR, Parreira VF. Sustained maximal inspiration has similar effects compared to incentive spirometers. *Respir Physiol Neurobiol.* 2019 Mar;261:67–74.
89. Lima INDF, Sarmiento A, Goes MC, Mazzuca E, Lomauro A, Reid WD, et al. After-Effects of Thixotropic Maneuvers on Chest Wall and Compartmental Operational Volumes of Healthy Subjects Using Optoelectronic Plethysmography. *Front Physiol.* 2019 Nov 1;10.

ANEXOS

Anexo I. Processo de registro de patente no NUPITEC via INPI

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

MINISTÉRIO DA ECONOMIA

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

DIRETORIA DE PATENTES, PROGRAMAS DE COMPUTADOR E TOPOGRAFIAS DE CIRCUITOS INTEGRADOS

Certificado de Registro de Programa de Computador

Processo Nº: **BR512021000715-8**

O Instituto Nacional da Propriedade Industrial expede o presente certificado de registro de programa de computador, válido por 50 anos a partir de 1º de janeiro subsequente à data de 29/12/2017, em conformidade com o §2º, art. 2º da Lei 9.609, de 19 de Fevereiro de 1998.

Título: Rotina de Matlab para Volume.m

Data de criação: 29/12/2017

Titular(es): FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASILIA

Autor(es): CLARISSA CARDOSO DOS SANTOS COUTO PAZ; GRAZIELLA FRANÇA BERNARDELLI CIPRIANO; TATIANA ZACARIAS RONDINEL; SERGIO RICARDO MENEZES MATEUS; PAULO MIRANDA MOREIRA

Linguagem: MATLAB

Campo de aplicação: SD-06

Tipo de programa: SO-02

Algoritmo hash: SHA-512

Resumo digital hash:

7959247185D464E44C4B16E827411B3BEE6083810627B5326AB6A2C9553A0476286FA2B1D2C8EAFCA01D283D0AFDBFE4B3FC593270B4A54B3BD13E67C3FCD86

Expedido em: 20/04/2021



Aprovado por:

Carlos Alexandre Fernandes Silva
Chefe da DIPTO

Anexo II. Manuscrito

RESPIRATORY CARE

Home Author Review

Corresponding Author Dashboard

Corresponding Author Dashboard

- 1 Submitted Manuscripts >
- 1 Manuscripts with Decisions >
- [Start New Submission](#) >
- [Legacy Instructions](#) >
- 5 Most Recent E-mails >

Submitted Manuscripts

STATUS	ID	TITLE	CREATED	SUBMITTED
EIC: Not Assigned SE: Not Assigned ME: Not Assigned DE: Not Assigned EO: Not Assigned	RC-09431	Reliability, agreement and validity of a chest wall motion analysis system for estimating lung volume during respiratory muscle testing View Submission	26-Jun-2021	27-Jun-2021

• Awaiting EO Processing

Forms Completion Task submitted (27-Jun-2021) - [view](#)

Title

Reliability, agreement, and validity of a chest wall motion analysis system for estimating lung volume during respiratory muscle testing.

Abstract

Background: Lung volume changes are greatly associated with thoracoabdominal mobility. Changes inspiratory muscle strength testing would cause on chest wall mobility as assessed by a motion analysis system remain unclear. This study aimed at evaluating reliability, agreement, and validity of chest wall motion analysis measurements in healthy subjects performing inspiratory muscle efforts.

Methods: Twenty-one healthy adult volunteers (median age = 21 years) were evaluated both at rest and during maximal inspiratory pressure (MIP) and inspiratory muscle strength index (S-Index). Chest wall (CW) motion and volume estimation measurements during inspiratory muscle efforts were obtained twice on the same day by a single examiner for test-rest reliability and agreement analyses. Convergent validity was assessed to examine the degree to which the estimated lung volumes were associated with inspiratory muscle performance.

Chest wall motion analysis system provided estimates of tidal volume (V_t), end-expiratory (V_{ee}) and end-inspiratory (V_{ei}) volumes. Statistical analysis included Pearson's correlation, intraclass correlation coefficients (ICC), and Bland-Altman plots.

Results: All estimate measures of lung volume were found to be highly reliable, with V_t -cw on S-Index demonstrating the strongest test-retest reliability with ICC of 0.95 [95% CI=0.824;0.980]), while V_t -cw on MIP had an ICC of 0.73 ([95% CI=0.247;0.898]). ICC values ranged from 0.61-1.00 and 0.81-0.95 for estimates of lung volume obtained during MIP and S-Index maneuvers, respectively. Bland-Altman plots also demonstrated good agreement between the repeated measurements of V_t -cw and V_{ei} -cw via the motion analysis system during the different inspiratory efforts. Additionally, V_{ei} -cw was significantly correlated with MIP ($r=0.52$; $P=.02$) and S-Index ($r=0.79$; $P<.001$).

Conclusions: The chest wall motion analysis of lung volumes had moderate to excellent test-retest reliability in healthy adults undergoing MIP and S-Index testing. The indirect measures of lung volumes were also significantly associated with different respiratory muscle strength maneuvers, demonstrating evidence of convergent validity.

Keywords: Reproducibility of Results, Thoracic Wall, Rib Cage, Lung Volume Measurements, Respiratory Muscles, Maximal Respiratory Pressures, Respiratory Function Tests

Introduction

Three-dimensional kinematic analysis (i.e., optoelectronic plethysmography - OEP) has been used for years as a non-invasive method to assess chest wall volumes¹⁻³. Displacement and positions of passive markers placed on the chest and abdomen are captured by specific

cameras, creating geometric models of the rib cage. This information is then converted to a variety of lung volume estimates^{1,4}.

Lung volume changes are greatly associated with one's thoracoabdominal mobility, respiratory muscle performance (e.g., diaphragm muscle's ability to generate forces) and lung function^{3,4}. Understanding the relationship between the respiratory system's structural and muscular elements and its pulmonary volume changes under a particular respiratory stimulus such as spirometry and inspiratory muscle testing is of special importance². Whereas several studies have reported on the association between OEP findings and spirometry data^{2,5-7}, the changes inspiratory muscle strength testing would cause on chest wall mobility as assessed by a motion analysis system remain unclear, even though such tests are widely used^{8,9}, have great repeatability, strict guidelines on how to perform them and can be implemented with easy to find, lower-cost devices¹⁰.

A number of techniques exist to assess vertical and horizontal chest wall movements, including mercury-in-rubber transducers¹¹. Inductive plethysmography^{12,13} and magnetometers/strain gauge sensors^{14,15} have also been used to estimate lung volumes based upon differences in the movement of markers placed on the chest wall^{2,12}. Among the most recent OEP-assessment approaches are software and systems such as the ELITE^{2,5}, Dvideow¹⁶, and BTS^{3,6}, all of which showing great reliability¹⁷ and validity^{6,7} in the estimation of chest wall volumes^{1,6}.

Like OEP, two- and three-dimensional kinematic motion capturing systems allow for analysis of changes in passive markers position during movement to quantify displacement via specific software. Despite the extensive use of such systems to evaluate gait¹⁸, spine¹⁹, and trunk mobility²⁰, their usefulness in assessing chest wall movements and estimating lung volumes is still unknown.

Given the value motion analysis systems have in the assessment of different body movements, this study aimed at evaluating the test-retest reliability, agreement, and convergent validity of

chest wall motion analysis measurements to estimate lung volume in healthy subjects performing inspiratory muscle efforts during respiratory muscle strength testing. We hypothesized that lung volume estimates obtained from this kinematic analysis of the chest wall would be both valid and reliable.

Methods

Design and Participants

This cross-sectional study was conducted at the Analysis of Human Movement and Signal Processing Laboratory at the University of Brasilia (Federal District, Brazil) from November 2017 to May 2019, using a convenience sampling method. This work followed current available guidelines for the development and reporting of reliability and agreement studies^{21–23}.

Twenty-one self-reported healthy subjects of both genders were included (12 males and 9 females) based upon the following inclusion criteria: aged between 18 to 25 years; non-smoking history; no previous respiratory, heart, or neuromuscular diseases. The exclusion criteria were the inability to complete the required respiratory maneuvers. All recruited participants were found to be eligible and included in the study. The Faculty of Ceilandia Ethics Committee approved this study (Number 67204717.7.0000.8093). All subjects signed a written informed consent prior to study participation.

Study Protocol

All subjects underwent spirometry testing after their demographic data were obtained using a standardized form.

Pulmonary function testing

To ensure participants presented with no obstructive or restrictive ventilatory patterns, baseline pulmonary function data were obtained using the MicroLab MK8 ML3500® spirometer (CareFusion, Yorba Linda, United States), providing measures of forced vital capacity (FVC) and forced expiratory volume in the first second. Three forced expiratory maneuvers were performed for validity purposes according to ATS/ERS²⁴ criteria, with subjects sitting in a room with controlled temperature and humidity.

Total and compartmental chest wall assessment and data processing

Volunteers were instructed to sit on a stool without a backrest. Lateral arm support was provided. Thirty retroreflective markers were positioned on the thorax and abdomen of the participants (Figure 1A). Subjects rested for 10 minutes before measurements were taken. The protocol consisted of a 1-minute quiet breathing data assessment using the motion analysis system, followed by two distinct inspiratory muscle strength testing (IMST) techniques which were also monitored via the system and used to obtain measures of maximal inspiratory pressure (MIP) and inspiratory muscle strength index (S-Index) (Figure 1B). The IMST order was randomly assigned using an opaque sealed envelope, and team members carrying out the motion analysis were blinded to which test was being used. Figure 2 shows a flowchart depicting our protocol scheme.

A computerized 3-dimensional (3-D) motion analysis system (Qualisys Track Manager (QTM), Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) was used to assess total and compartmental chest wall volumes. Eight Qualisys cameras (Oqus 300, Qualisys AB, Gothenburg, Sweden), operating at a 200 Hz frequency, were positioned around the subjects at an average distance of 2 m from the stool. Calibration of the motion capture system was performed before every testing session with a maximum number of 1000 frames used as calibration input and an average residual below 0.4 mm.

Thirty 5 mm retroreflective markers were placed both anteriorly and posteriorly on the thorax of the participants and their abdomen, resulting in four compartments: superior thorax (ST), inferior thorax (IT), superior abdomen (SA), and inferior abdomen (IA), according to a previous study¹⁶ (Figure 1A). Each defined compartment was surrounded by a total of 12 markers, which defined six tetrahedrons whose volumes were computed by simple geometric formulas. The compartmental volume was calculated by the sum of the tetrahedron volumes, while the total chest wall volume was calculated by the sum of all individual compartmental volumes²⁵.

Data were exported and processed using a Matlab routine (The Mathworks, Natick, MA, USA), in such manner that tidal (V_t), end-expiratory (V_{ee}), and end-inspiratory (V_{ei}) volumes of the chest wall and its compartments were analyzed.

Inspiratory muscle strength testing

IMST was implemented utilizing the POWERBreathe® KH2 device (POWERBreathe International Ltd., Warwickshire, United Kingdom), which provided measures of both MIP and S-Index, the former obtained by an effort performed against an occluded airway, and the later against a non-occluded flow-dependent valve with a sensor capable of capturing both flow and pressure signals. For both tests, subjects were seated and were instructed to perform a maximal voluntary exhalation to residual volume (RV). Then, according to the American Thoracic Society/European Respiratory Society (ATS/ERS)¹⁰ criteria, a standardized verbal command was given to stimulate a maximal inspiratory effort. A nose clip and a smooth plastic mouthpiece connected to the device were used to avoid air leaks.

After learning maneuvers (<3), the highest negative pressure, from at least three sustained maneuvers (>1 second) out of ten, with less than 10% deviation, was performed to obtain a reliable MIP measure¹⁰. Similarly, after some learning maneuvers (<3), eight maneuvers were performed to obtain a reliable S-index measure²⁶. The greatest MIP and S-Index were used to

identify the best of their respective repeated trials within the session. These trials were then considered for study purposes. We established a 60-second rest interval between the inspiratory efforts. Brazilian reference values for inspiratory muscle strength were used to benchmark the observed MIP data ²⁷.

Test-retest reliability and agreement procedures

Test-retest was used to assess the reliability of repeated chest wall volume measurements obtained via a motion analysis system during both MIP and S-Index maneuvers in healthy adults. A trained researcher positioned all chest wall markers, while a second researcher was responsible for instructing subjects on how to perform the inspiratory muscle strength tests. MIP and S-Index measures were obtained twice in two different established time points, with an at least 10-minute rest interval between the tests. Both measurements were used for analysis.

Validity procedures

Convergent validity examined the degree to which MIP and S-Index were associated with the V_{ei-cw} estimated by the motion analysis system.

Statistical analyses

Statistical analyses were performed using the GraphPad Prism statistical software (Version 8.0, San Diego, CA) and SPSS (Version 22, Statistical Package for Social Sciences).

- Sample Characteristics

Descriptive statistics were used to characterize the study sample. The Shapiro–Wilk test was used to check the normality of the data distribution ($n < 50$). Results were summarized as mean

and standard deviation (SD) or absolute (n) and relative frequencies (%). Two-tailed tests were used throughout, and the statistical significance level was set at 5%.

An a priori power analysis was conducted using G*Power 3.1.9.2 (Universitat Dusseldorf, Germany). With a desired level of power set at 95%, an alpha level at 5% and an average effect size of 3.4 for Vt-cw, it was determined that a minimum of 6 subjects was required to ensure adequate power.

- Test-retest reliability and agreement

Using random-effect models and absolute agreement, intraclass correlation coefficients (ICC) were calculated with 95% CIs for all chest wall volume estimates obtained during MIP and S-Index maneuvers. ICC values equal to or greater than 0.6 are considered to indicate good reliability, while values above 0.74 indicate excellent reliability²⁸. The standard error of measurement (SEM) was calculated as $SD \times \sqrt{(1 - ICC)}$ ²⁹. Bland-Altman plots were used to determine systematic differences across the range of values between the testing sessions³⁰.

- Convergent validity

Pearson's correlation analyses were used to determine whether any relationship existed between pulmonary function and estimates of chest wall volumes, mainly the Vei-cw. A significant ($P < 0.05$) correlation coefficient (r) of 0.40-0.59 suggested a moderate correlation, while an r of 0.6-0.79 indicated a strong correlation.

Results

Demographic, anthropometric, spirometry, and inspiratory muscle strength data are shown in Table 1. Twenty-one healthy volunteers aged 21.71 (2.5) were assessed, 57.14% of whom were males. They had normal average body mass index values. Observed pulmonary function and inspiratory muscle performance findings were within predicted normal ranges.

Test-retest reliability and agreement

Table 2 shows test-retest findings for total and compartmental chest wall volumes estimated via the motion capture system. ICCs between the first and second measures exhibited excellent agreement (>0.74) in 4 out of 7 evaluated volume measures and chest wall compartments during the MIP maneuver. Conversely, all 7 volume measures and chest-wall compartments exhibited excellent agreement during the MIP maneuver. Bland-Altman plots of V_t -cw and V_{ei} -cw demonstrated a good agreement between the two sessions of MIP and S-Index as nearly all measures were plotted inside the limits of agreement (Figure 3).

Convergent validity

V_{ei} -cw was positively associated with both MIP and S-Index ($r = 0.52$, $p < 0.05$ and $r = 0.79$, $p < 0.05$, respectively) (Figure 4).

Discussion

The present study demonstrated overall good reliability and agreement properties of a motion analysis system to estimate chest wall volumes during inspiratory muscle strength testing maneuvers in healthy adults. Furthermore, moderate to strong relationships were observed between chest wall volume estimates (V_{ei} -cw) and measures of inspiratory muscle strength, demonstrating evidence of convergent validity.

Strong reliability and agreement of motion analysis systems to measure chest wall volumes were also described in other previous studies utilizing different devices^{2,3,11}. Our study provides new functionality to a motion analysis system primarily designed to record and reconstruct three-dimensional images through reflective markers²⁰, to assess chest wall mobility without volume analysis, expanding the number of parameters that can be simultaneously assessed during an exam.

In our study, chest wall was divided into four instead of three compartments, allowing for the inclusion and assessment of the lower abdomen and pelvis movements during the analysis, based upon a previous study²⁵. It has been described that two regions comprise the abdomen: the superior abdomen, which is mechanically connected to the lower rib cage, and the lower abdomen¹. Moreover, differently from previous studies which used a considerably greater number of markers (e.g. 89 markers)³¹, our study estimated chest wall volumes using only 30 markers, highlighting the feasibility of this methodological approach.

Chest wall and lung movements are transmitted to each other; thus, lung volume variations can be estimated by measurements of chest wall surface movement variations¹. However, lung volume changes associated with inspiratory muscle strength maneuvers have not been studied so far. We found that the higher the MIP and S-index values were, the higher were the chest wall volume changes, which confirms the action of different inspiratory muscles in chest wall changes due to pulmonary volume and thoracic expansion limitation at the end of inspiration³².

Previous studies have reported on the relationship between several breathing exercises and pulmonary volumes. A study examining the use of volume and pressure incentive spirometers found that subjects achieved higher chest wall volumes during the maneuvers³³; likewise, flow and volume incentive spirometers and sustained maximal inspiratory exercises were able to mobilize greater chest wall volumes in subjects, with no difference among the techniques³⁴. Similarly, thixotropic maneuvers (inspiration from TLC and expiration from RV) were able to change chest wall volumes compared to quiet breathing³⁵; and inspiratory breathing exercises compared to baseline, increasing the $V_t\text{-cw}$ ³⁶.

In the present study, we demonstrated a new application to a motion analysis system through a new routine, which was specifically designed to estimate chest wall volumes using four different compartments. Further investigation is warranted to assess subjects with cardiovascular and pulmonary diseases.

Limitations

As our study examined a new chest wall volume estimation modality using a motion analyses system, we did not include volunteers with pulmonary disease, which may limit the generalization of the results. However, the inclusion of healthy subjects may have provided standard reference values in a safer and well-controlled environment.

Despite the implementation of rest periods between measures, all measurements were collected on the same day due to technical calibration requirements and equipment set preparation, making the entire testing session possibly tiring for the subjects; on the other side, volunteers were healthy and did report (tiredness due to the time of the assessment session - preparation and execution of tests. Paradoxically, a one-day procedure had also assured subjects' participation and calibration-related measure reliability. Despite the above limitations, the current study adds to the understanding of lung volume changes during inspiratory muscle efforts in healthy individuals. Further investigation is required in subjects with pulmonary diseases.

Conclusion

The motion analysis system used in our study to estimate total and compartmental chest wall volumes in healthy adults performing inspiratory muscle efforts demonstrated substantial test-retest reliability and agreement properties. Furthermore, estimated chest wall volumes were significantly associated with measures of inspiratory muscle strength, demonstrating evidence of convergent validity.

References

1. Aliverti A, Pedotti A. Opto-electronic Plethysmography. In: *Mechanics of Breathing*. Milano: Springer Milan; 2002:47-59.

2. Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, Molteni F, Beulcke G, Pedotti A. Three-dimensional optical analysis of chest wall motion. *J Appl Physiol*. 1994;77(3):1224-1231.
3. Parreira VF, Vieira DSR, Myrrha MAC, Pessoa IMBS, Lage SM, Britto RR. Pletismografia optoeletrônica: uma revisão da literatura. *Brazilian J Phys Ther*. 2012;16(6):439-453.
4. Massaroni C, Carraro E, Vianello A, Miccinilli S, Morrone M, Levai I, et al. Optoelectronic Plethysmography in Clinical Practice and Research: A Review. *Respiration*. 2017;93(5):339-354.
5. Cala SJ, Kenyon CM, Ferrigno G, Carnevali P, Aliverti A, Pedotti A, et al. Chest wall and lung volume estimation by optical reflectance motion analysis. *J Appl Physiol*. 1996;81(6):2680-2689.
6. Layton AM, Moran SL, Garber CE, Armstrong HF, Basner RC, Thomashow BM, et al. Optoelectronic plethysmography compared to spirometry during maximal exercise. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013;185(2):362-368.
7. Vogiatzis I. Patterns of dynamic hyperinflation during exercise and recovery in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*. 2005;60(9):723-729.
8. ATS/ERS Statement on Respiratory Muscle Testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(4):518-624.
9. Pessoa IMS, Parreira VF, Fregonezi GAF, Sheel AW, Chung F, Reid WD. Reference Values for Maximal Inspiratory Pressure: A Systematic Review. *Can Respir J*. 2014;21(1):43-50.
10. 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.
11. Wade OL. Movements of the thoracic cage and diaphragm in respiration*. *J Physiol*. 1954;124(2):193-212.
 12. Gonzalez H, Haller B, Watson HL, Sackner MA. Accuracy of Respiratory Inductive Plethysmograph over Wide Range of Rib Cage and Abdominal Compartmental Contributions to Tidal Volume in Normal Subjects and in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am Rev Respir Dis*. 1984;130(2):171-174.
 13. Verschakelen JA, Demedts MG. Normal thoracoabdominal motions. Influence of sex, age, posture, and breath size. *Am J Respir Crit Care Med*. 1995;151(2):399-405.
 14. Griffiths CJ, Gilmartin JJ, Gibson GJ, Murray A. Measurement of chest wall movement; design, performance and clinical use of a four-channel magnetometer instrument. *Clin Phys Physiol Meas*. 1983;4(4):363-371.
 15. Stagg D, Goldman M, Davis JN. Computer-aided measurement of breath volume and time components using magnetometers. *J Appl Physiol*. 1978;44(4):623-633.
 16. Silvatti AP, Sarro KJ, Cerveri P, Baroni G, Barros RML. A 3D kinematic analysis of breathing patterns in competitive swimmers. *J Sports Sci*. 2012;30(14):1551-1560.
 17. Vieira DSR, Hoffman M, Pereira DAG, Britto RR, Parreira VF. Optoelectronic plethysmography: Intra-rater and inter-rater reliability in healthy subjects. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013;189(3):473-476.
 18. McCandless PJ, Evans BJ, Janssen J, Selfe J, Churchill A, Richards J. Effect of three cueing devices for people with Parkinson's disease with gait initiation difficulties. *Gait Posture*. 2016;44:7-11.

19. Williams JM, Theobald PS, Jones MD. Does the presence of a vertical barrier influence sagittal spinal curvature or range of motion in young females? *J Back Musculoskeletal Rehabil.* 2014;27(1):71-75.
20. Al-Eisa E, Egan D, Deluzio K, Wassersug R. Effects of Pelvic Skeletal Asymmetry on Trunk Movement. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31(3):71-79.
21. 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.* 2010;63(7):737-745.
22. Kottner J, Audigé L, Brorson S, Donner A, Gajewski B, Hróbjartsson A, et al. Guidelines for Reporting Reliability and Agreement Studies (GRRAS) were proposed. *J Clin Epidemiol.* 2011;64(1):96-106.
23. Hernaez R. Reliability and agreement studies: a guide for clinical investigators. *Gut.* 2015;64(7):1018-1027.
24. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med.* 2019;200(8):e70-e88.
25. Sarro KJ, Silvatti AP, Barros RML. Coordination between ribs motion and thoracoabdominal volumes in swimmers during respiratory maneuvers. *J Sport Sci Med.* 2008;7(2):195-200.
26. da Silva FMF, Cipriano G, Lima ACGB, Andrade JM, Nakano EY, Chiappa GR, et al. Maximal Dynamic Inspiratory Pressure Evaluation in Heart Failure: A Comprehensive Reliability and Agreement Study. *Phys Ther.* 2020;100(12):2246-2253.

27. Neder JA, Andreoni S, Lerario MC, Nery LE. Reference values for lung function tests: II. Maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. *Brazilian J Med Biol Res.* 1999;32(6):719-727.
28. Cicchetti D V. Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychol Assess.* 1994;6(4):284-290.
29. Stratford PW, Goldsmith CH. Use of the Standard Error as a Reliability Index of Interest: An Applied Example Using Elbow Flexor Strength Data. *Phys Ther.* 1997;77(7):745-750.
30. Martin Bland J, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986;327(8476):307-310.
31. Massaroni C, Piaia Silvatti A, Levai IK, Dickinson J, Winter S, Schena E, et al. Comparison of marker models for the analysis of the volume variation and thoracoabdominal motion pattern in untrained and trained participants. *J Biomech.* 2018;76:247-252.
32. Romagnoli I, Lanini B, Binazzi B, Bianchi R, Coli C, Stendardi L, et al. Optoelectronic Plethysmography has Improved our Knowledge of Respiratory Physiology and Pathophysiology. *Sensors.* 2008;8(12):7951-7972.
33. Florêncio RB, Aliverti A, Fagundes MLLC, Batista IPS, da Nóbrega AJS, Resqueti VR, Fregonezi GF. Acute effects of three pulmonary reexpansion modalities on thoracoabdominal motion of healthy subjects: Randomized crossover study. Patman S, ed. *PLoS One.* 2019;14(3).
34. Mendes LPS, Teixeira LS, da Cruz LJ, Vieira DSR, Parreira VF. Sustained maximal inspiration has similar effects compared to incentive spirometers. *Respir Physiol*

Neurobiol. 2019;261:67-74.

35. Lima INDF, Sarmiento A, Goes MC, Goes MC, Mazzuca E, Lomauro A, et al. After-Effects of Thixotropic Maneuvers on Chest Wall and Compartmental Operational Volumes of Healthy Subjects Using Optoelectronic Plethysmography. *Front Physiol.* 2019;10.
36. Vieira DSR, Mendes LPS, Elmiro NS, Velloso M, Britto RR, Parreira VF. Breathing exercises: influence on breathing patterns and thoracoabdominal motion in healthy subjects. *Brazilian J Phys Ther.* 2014;18(6):544-552.

Figure Legends

Figure 1. Representation of chest wall analysis by motion analyses system. A, marker position on thorax and abdomen of front and back; B, camera positions during acquisition of inspiratory muscle strength tests

Figure 2. Flowchart of the study.

Figure 3. Bland-Altman plot of test-retest agreement in MIP-Vt-cw (A), MIP-Vei-cw (B), S-Index-Vt-cw (C), S-Index-Vei-cw (D) values obtained during motion analyses system. MIP, maximal inspiratory pressure; S-Index, inspiratory muscle strength index

Figure 4. Correlation of motion analyses system volume and inspiratory muscle strength tests. Vei-cw, chest wall end-inspiratory volume. Pearson's correlation.

Quick Look

Current knowledge

Lung volume changes are greatly associated with thoracoabdominal mobility and respiratory muscle function. Chest wall surface motion measurements are commonly used for lung volume estimation. There are different types of system to analyze chest wall volumes, but none in motion analysis system.

What this paper contributes to our knowledge

In the present study, we were able to demonstrate a new application to motion analyses system through a routine design to analyze chest wall volumes, which can be applied to any respiratory disorders. This analysis demonstrated a good reliability, agreement, and validity.

Table 1. Demographic, inspiratory muscle strength tests and spirometry data of adults

Variables	Descriptive Measures (n=21)
<i>Demographic data</i>	
Age (y)	21.71 (2.5)
Gender (male)	12 (57.14%)
Body Mass (kg)	64.04 (13.6)
Height (cm)	1.68 (0.1)
BMI (Kg/m ²)	22.21 (2.9)
<i>Spirometry</i>	
FVC (L)	3.92 (0.7)
FVC (% predicted)	96.59 (23.9)
FEV ₁ (L)	3.36 (0.5)
FEV ₁ (% predicted)	94.18 (19.1)
FEV ₁ /FVC (%)	86.59 (6.5)
<i>Inspiratory muscle strength tests</i>	
MIP (cmH ₂ O)	90.95 (24.7)
MIP (% predicted)	75.59 (20.4)
S-Index (cmH ₂ O)	107.8 (24.9)

Data are presented as mean (SD), absolute (n) and relative (%) frequencies. y, years; kg, kilograms, cm, centimeters; m, meters; FVC, forced vital capacity; FEV₁, forced inspiratory volume in the first second; MIP, maximal inspiratory pressure; S-Index, maximal dynamic inspiratory pressure.

Table 2. Data concerning test-retest reliability at MIP and S-Index execution in chest wall and compartmental volumes in adults.

Variable	Test 1	Test 2	Diff. (T1-T2)	ICC (95% CI)	SEM
MIP					
Vt-cw (L)	1.79 (0.74)	1.78 (0.58)	0.01 (0.63)	0.726 (0.247;0.898)	0.303
Veecw (L)	13.78 (3.33)	13.76 (3.32)	0.02 (0.12)	1.000 (0.999;1.000)	0.000
Veicw (L)	15.57 (3.88)	15.54 (3.76)	0.03 (0.5)	0.994 (0.985;0.998)	0.291
Vt-st (L)	0.45 (0.15)	0.47 (0.12)	-0.02 (0.15)	0.621 (-0.036;0.860)	0.073
Vt-it (L)	0.42 (0.16)	0.40 (0.09)	0.02 (0.14)	0.609 (-0.064;0.855)	0.056
Vt-sa (L)	0.60 (0.25)	0.61 (0.24)	-0.01 (0.16)	0.892 (0.710;0.960)	0.078
Vt-ia (L)	0.47 (0.33)	0.42 (0.30)	0.04 (0.17)	0.923 (0.800;0.971)	0.083
S-Index					
Vt-cw (L)	2.64 (0.72)	2.80 (0.63)	-0.16 (0.27)	0.946 (0.824;0.980)	0.146
Veecw (L)	14.06 (3.37)	13.68 (2.83)	0.38 (2.53)	0.806 (0.523;0.921)	1.246
Veicw (L)	16.70 (3.87)	16.47 (3.30)	0.22 (2.58)	0.857 (0.646;0.942)	1.247
Vt-st (L)	0.60 (0.18)	0.68 (0.17)	-0.08 (0.11)	0.854 (0.460;0.949)	0.064
Vt-it (L)	0.73 (0.16)	0.75 (0.12)	-0.03 (0.10)	0.857 (0.654;0.941)	0.045
Vt-sa (L)	0.91 (0.35)	0.98 (0.30)	-0.06 (0.17)	0.924 (0.812;0.969)	0.082
Vt-ia (L)	0.53 (0.34)	0.50 (0.27)	0.03 (0.16)	0.923 (0.812;0.969)	0.074

Data are mean (SD). ICC, interclass correlation coefficient; SEM, Standard Error of Measurement; Vt-cw, chest wall tidal volume; Veecw, chest wall end-expiratory volume; Veicw, chest wall end-inspiratory volume; Vt-st, superior thorax tidal volume; Vt-it, inferior thorax tidal volume; Vt-sa, superior abdomen tidal volume; Vt-ia, inferior thorax tidal volume.

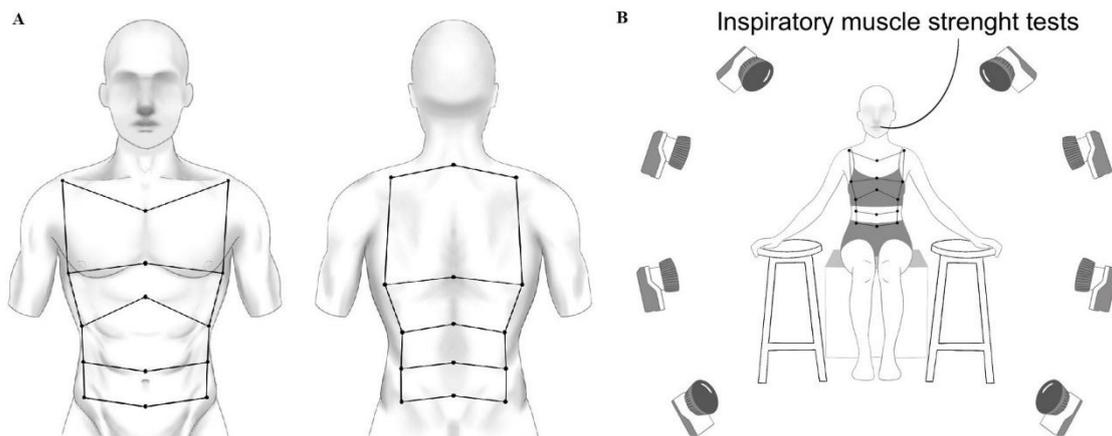


Figure 1. Representation of chest wall analysis by motion analyses system. A, marker position on thorax and abdomen of front and back; B, camera positions during acquisition of inspiratory muscle strength tests

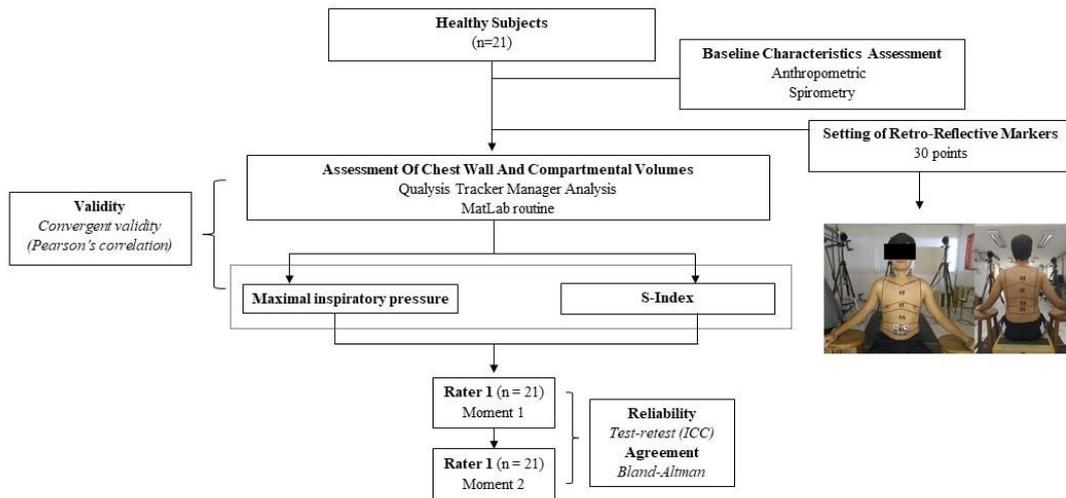


Figure 2. Flowchart of the study.

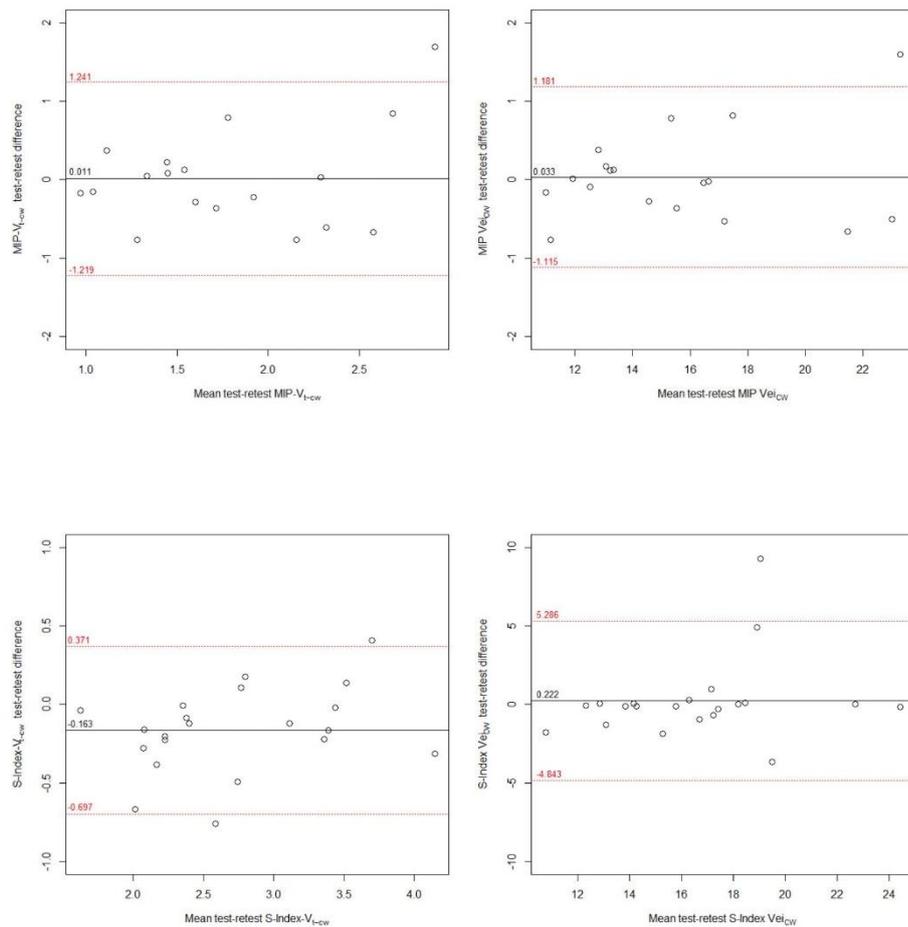


Figure 3. Bland-Altman plot of test-retest agreement in MIP-Vt-cw (A), MIP-Vei-cw (B), S-Index-Vt-cw (C), S-Index-Vei-cw (D) values obtained during motion analyses system. MIP, maximal inspiratory pressure; S-Index, inspiratory muscle strength index

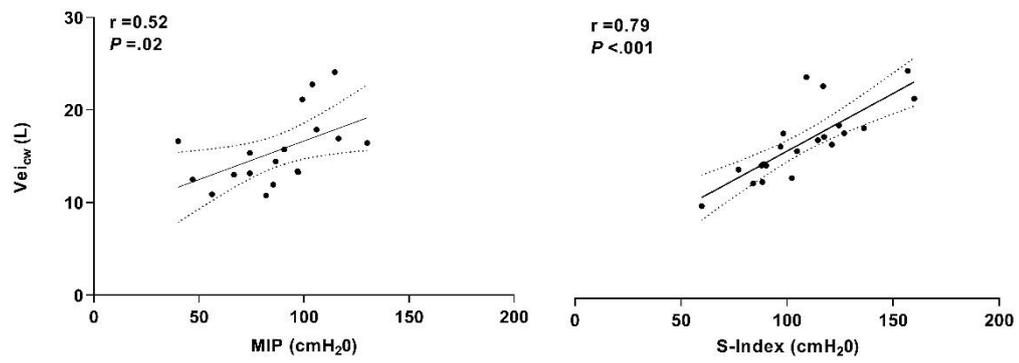


Figure 4. Correlation of motion analyses system volume and inspiratory muscle strength tests. Vei-cw, chest wall end-inspiratory volume. Pearson's correlation.

Anexo III. Normas da revista

RESPIRATORY CARE

RESPIRATORY CARE welcomes original manuscripts related to the science of respiratory care. The Journal is published in both print and electronic formats. RESPIRATORY CARE does not currently charge authors any submission or publication fees.

Manuscripts must be submitted electronically using [Manuscript Central](#). Prepare your manuscript according to these instructions. For consultation regarding manuscript style or queries about the submission process, contact the Editorial Office at rcjournal@aacrc.org.

GENERAL GUIDELINES

Ethics of Publication

Manuscripts must conform to the International Committee for Medical Journal Editors' (ICMJE) [Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly Work in Medical Journals](#) and to these instructions.

All authors must:

- Give consent to submission and publication of the work
- Have participated in the research and in the shaping of the manuscript
- Have read and approved the manuscript
- Be able to publicly discuss and defend the manuscript's content

Authorship is not based on obtaining funding, offering advice, or similar. Persons who contribute such may be mentioned in the Acknowledgments. Authors must take responsibility for at least one component of the work, be able to identify who is responsible for each other component, and be confident in their co-authors' integrity.

The contributions of each author must be listed on the Title Page (literature search, data collection, study design, data analysis, manuscript preparation, manuscript review).

Any editorial contributions made by outside organizations, persons, funding bodies, or persons employed by funding sources must be acknowledged on the Title Page.

Duplicate Publication and Plagiarism

The manuscript must not have been previously published elsewhere and must not be currently under consideration for publication elsewhere, including online. If any part of the material (other than a brief abstract submitted to a national or international meeting) has been published or is currently under consideration for publication elsewhere, you must provide copies of all related material at the time of submission.

Conflict of Interest

The conflict of interest policy of Respiratory Care is consistent with that of JAMA,¹ ICMJE,² CSE,³ and WAME.⁴ Disclosures must be made at the time of submission and must be indicated on the title page. The Editor will decide whether the presence of conflicts of interest affects the suitability of the manuscript for publication.

The Journal's conflict of interest policy is as follows:

- A conflict of interest may exist whenever an author (or the author's institution, employer, or immediate family member) has financial or personal relationships or affiliations that could influence or bias the author's decisions, work, or manuscript.
- All authors are required to disclose all potential conflicts of interest, including specific financial interests and relationships and affiliations
- Disclosures of potential conflicts of interest should be for the previous 2-year period. Authors must fully disclose of all potential conflicts of interest, whether or not related to the content of the paper. The type of relationship (eg, consultant, speaker, employee) and monetary amount need not be specified. If no financial or other potential conflicts of interest exist, a statement to this effect must be included on the Title Page.

The following examples are considered conflicts of interest and require disclosure:

- Being an employee of a company that designs, manufactures, or sells respiratory care equipment
- Serving on an advisory board or as a consultant to such a company
- Having received a research grant or other grant-in-aid from such a company
- Having received honoraria for lectures, writing, or other educational activities from such a company
- Holding a patent or having other financial interest in a respiratory care product
- Material support for research, including grants, donation of equipment and supplies, and other paid contributions

These examples are intended to illustrate the types of relationships that constitute conflicts of interest in the field of respiratory care, and are not meant to be all-inclusive.

The conflict of interest policy also applies to the Journal's Editors, Editorial Board members, and all manuscript reviewers.

Disclosure of relationships will not necessarily affect the decision to publish a manuscript. Having such relationships is not considered unethical. However, not disclosing such relationships is unethical.

1. Flanagan A, Fontanarosa PB, DeAngelis CD. Update on JAMA's conflict of interest policy. *JAMA* 2006;296(2):220-221. doi: [10.1001/jama.296.2.220](https://doi.org/10.1001/jama.296.2.220)
2. International Committee of Medical Journal editors. [Recommendations for the conduct, reporting, editing, and publication of scholarly work in medical journals](#). Updated December 2014. Accessed January 27, 2015
3. Council of Science Editors. Editorial policy statements approved by the CSE Board of Directors. <http://www.councilscienceeditors.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3332> Accessed January 27, 2015
4. World Association of Medical Editors. Recommendations on publication ethics policies for medical journals. <http://www.wame.org/about/recommendations-on-publication-ethics-policy> Accessed January 27, 2015

Industry Relationships

Respiratory Care requires authors to indicate the role of funding organizations or sponsors in the design of the study, data collection, data analysis, and interpretation of the data. Authors must also disclose the role of funding organizations in the preparation, review, and approval of the manuscript. The setting where the study was conducted must be indicated. Full disclosure of the role of funding sources must be included at the beginning of the Methods section.

Individuals who provided paid contributions to the paper (including writers, statisticians, epidemiologists, and any others involved with data management and analyses) may meet the criteria for authorship. If they do not, they should be listed in the Acknowledgment section.

Respiratory Care will not consider submissions that are ghost written by industry employees or hired writers. Nor will the Journal consider submissions of industry-sponsored studies in which the data were collected and analyzed solely by employees of the company. Such studies are considered only if there is independent analysis of the methods and data by someone at an academic institution, who has research and publishing experience (eg, medical school, academic medical center, or government research institute).

For additional information related to relationships between authors and industry, refer to: Fontanarosa PB, Flanagin A, DeAngelis CD. Reporting conflicts of interest, financial aspects of research, and role of sponsors in funded studies. *JAMA* 2005;294(1):110-111 doi: [10.1001/jama.294.1.110](https://doi.org/10.1001/jama.294.1.110).

Registration of Clinical Studies

Respiratory Care will only consider clinical trials that are registered, as appropriate, at [ClinicalTrials.gov](https://clinicaltrials.gov) or equivalent.

Ethics of Investigation

All studies that include human subjects must indicate in the Methods section that approval was received from the appropriate local institutional review board (IRB) or Ethics Committee. This requirement applies to retrospective studies, prospective studies, quality improvement projects, and surveys. Human research subjects may be hospital patients, healthy volunteers, clinicians, or students. It is important to note that the IRB, not the investigator, determines whether a study is exempt from full review.

Authors must comply with the [Health Insurance Portability and Accountability Act \(HIPAA\)](#). This applies to any information (eg, text, photo, or radiograph) that could potentially identify a patient or subject. Authors must provide written consent from the individual, next of kin, or guardian. All studies involving animals must indicate in the Methods section that approval was received from the local IACUC (Institutional Animal Care and Use Committee) or that the research was conducted in accordance with a national guideline (eg, [Public Health Service Policy on Humane Care and Use of Laboratory Animals](#)).

MANUSCRIPT TYPES

Original Research

Original research is a report of an original investigation. It must include: Title Page, Structured Abstract, Key Words, Introduction, Methods, Results, Discussion, Conclusions, References, and Quick Look. It may also include Tables, Figures, and Acknowledgments. Supplementary Material, such as a survey instrument or details related to the methods, may be provided for online publication only. Authors of randomized clinical trials must follow the [CONSORT guidelines](#). One of the figures must be a [CONSORT flow diagram](#).

Quality Improvement Projects

A well-done quality improvement project might be suitable for publication as original research. This type of research is commonly performed in the healthcare setting to understand and improve practice. Several considerations are important for a quality improvement project to be suitable for publication. It must have generalizable interest among the readers of the Journal and it must follow the scientific method. This means that the study must have an identified question or hypothesis, approval from the Institutional Review Committee, and statistical analysis of the data is necessary. Quality improvement projects are submitted in the category "Original Research."

Reviews

Narrative Reviews

A narrative review is a comprehensive review of the literature that does not follow the rigor of a systematic review. It must include: Title Page, Outline, Unstructured Narrative Abstract, Key Words, Introduction, Review of the Literature, Summary, and References. The review of literature is typically divided into headings and sub-heading specific to the subject matter. The Outline consists of the headings and subheading of the paper. The review may also include Tables, Figures, Acknowledgments, and Supplementary Material for online publication only. Narrative reviews are usually written by persons with established expertise in the subject area.

A newer form of review is the scoping review. This has aspects of both narrative and systematic reviews. A scoping review will typically include a detailed search for relevant studies, and will include reports of various evidence levels (eg, randomized clinical studies, observational studies, bench studies, case series). In a scoping review, there is no critique of the individual studies included. The span of a scoping review tends to be much broader than systematic reviews. A scoping review is submitted in the category "Narrative Review."

Systematic Reviews

Because of their methodological rigor, systematic reviews have become the standard for synthesizing evidence in health care. A systematic review organizes relevant evidence that fits pre-specified eligibility criteria to answer a specific research question. It uses explicit, systematic methods to minimize bias in the identification, selection, synthesis, and summary of studies. Some, but not all, systematic reviews contain a meta-analysis. A meta-analysis uses statistical techniques to combine and summarize the results of multiple studies. The systematic review must follow the [PRISMA guidelines](#). A systematic review must include: Structured Abstract, Key Words, Introduction, Methods, Results, Discussion, Conclusions, and References. It may also include Tables, Figures, Acknowledgments, and Supplementary Material for online publication only. One of the Figures must be a PRISMA flow diagram. Other figures might be the results of a meta-analysis (forest plots). Systematic reviews are generally written by persons with established expertise in the subject area.

Editorial

An invited manuscript related to another paper published in the same issue. Must include: Title Page, Text, and References. May also include Tables and Figures.

Correspondence

A brief communication responding to previously published material in Respiratory Care. Must include: Title Page, Text, and References. May include Tables and Figures. Correspondence is published online only.

PREPARING THE MANUSCRIPT

Title Page

For each author include:

- First name, middle initial, last name
- Academic degrees (eg, MSc, PhD, EdD)
- Credentials (eg, RRT, MD, RN)
- FAARC (Fellow of the American Association for Respiratory Care). The Journal does not publish any other honorary titles
- Institutional affiliation and location (division, department, hospital, university, city, state/province, country)

Indicate the specific contributions of each author to the paper:

- Literature search
- Data collection
- Study design
- Analysis of data
- Manuscript preparation
- Review of manuscript

Title Page must also include:

- Name and location of the institution where the study was performed
- Name, date, and location of any meeting or forum where research data were previously presented, and who presented
- Sources of financial support
- Conflict of interest statement. If no potential conflicts of interest exist, a statement to this effect must be included

Identify corresponding author and provide contact information

Abstract

A structured abstract for an original research study and a systematic review includes these sections: Background, Methods, Results, and Conclusions. Abstracts must not contain any facts or conclusions that do not also appear in the text.

An unstructured Abstract for a Narrative Review is written as a paragraph of fewer than 300 words that provides a general overview of the paper.

Include the Abstract in the main manuscript text file.

Key Words

List 6–10 key words or phrases that reflect the content of your manuscript. Key words may be selected from the [Medical Subject Headings](#) (MeSH terms) used by MEDLINE.

Text

Double-space all text (including Tables and References). Number the pages. Center and bold 1st level headings; flush-left and bold 2nd level headings; indent and bold 3rd level headings.

References

References must be listed and numbered in the sequence in which they are first cited in the text. Citations *must* conform to Journal style; see examples below. Authors are responsible for accuracy of their references.

EndNote contains the style for Respiratory

Care: <http://endnote.com/downloads/style/respiratory-care>

Journal Article

Article. List the first 6 authors, then “et al”. Exception – in a paper with 7 total authors, list all 7: Wallet F, Delannoy B, Haquin A, Debord S, Leray V, Bourdin G, et al. Evaluation of recruited lung volume at inspiratory plateau pressure with PEEP using bedside digital chest x-ray in patients with acute lung injury/ARDS. *Respir Care* 2013;58(3):416-423.

Corporate authors:

Chang SY, Dabbagh O, Gajic O, Patrawalla A, Elie MC, Talmor DS, et al; on behalf of the United States Critical Illness and Injury Trials Group: Lung Injury Prevention Study Investigators (USCIITG-LIPS). Contemporary ventilator management in patients with and at risk of ALI/ARDS. *Respir Care* 2013;58(4):578-588.

Article in a supplement:

del Giudice MM, Leonardi S, Ciprandi G, Galdo F, Gubitosi A, La Rosa M, et al. Probiotics in childhood: allergic illness and respiratory infections. *J Clin Gastroenterol* 2012;46(Suppl):S69-S72.

Corrected article:

Mireles-Cabodevila E, Hatipoğlu U, Chatburn RL. A rational framework for selecting modes of ventilation. *Respir Care* 2013;58(2):348-366. Erratum in: *Respir Care* 2013;58(4):e51.

Articles e-published online ahead of print:

Nozoe M, Mase K, Murakami S, Okada M, Ogino T, Matsushita K, et al. [The relationship between spontaneous expiratory flow-volume curve configuration and airflow obstruction in elderly COPD patients](#). *Respir Care* 2013 [Epub ahead of print] doi: 10.4187/respcare.02296

Abstract. Citing abstracts is highly discouraged; those more than 3 years old should not be used: Blakeman TC, Rodriguez D, Branson RD. Evaluation of five chemical oxygen generators (abstract). *Respir Care* 2012;57(10):1751.

Editorial:

Rouby JJ, Arbelot C, Brisson H, Lu Q, Bouhemad B. Measurement of alveolar recruitment at the bedside: the beginning of a new era in respiratory monitoring? (editorial). *Respir Care* 2013;58(3):539-542.

Editorial, no author given:

Asthma: not just for kids (editorial). *Johns Hopkins Med Lett Health After 50* 2012;24(8):6.

Letter:

Haynes JM. Expiratory reserve volume maneuver may be the preferred method for some patients during spirometry testing (letter). *Respir Care* 2013;58(2):e14-e15. author response: e15.

Books

Book. Corresponding pages should be cited whenever reference is made to specific statements or content:

Wilkins RL, Stoller JK, Kacmarek RM. Egan's fundamentals of respiratory care, 9th edition. St Louis: Mosby/Elsevier; 2009:400-404, 917.

Corporate authors:

Panel on Understanding Cross-National Health Differences Among High-Income Countries; Committee on Population Division of Behavioral and Social Sciences and Education; Board on Population Health and Public Health Practice; National Research Council; Institute of Medicine of the National Academies. U.S. health in international perspective: shorter lives, poorer health. Washington, DC: National Academies Press; 2013.

Chapter:

Heffner JE. Chronic obstructive pulmonary disease. In: Hess DR, MacIntyre NR, Mishoe SC, Galvin WF, Adams AB. Respiratory care principles and practice, 2nd edition. Sudbury, MA: Jones & Bartlett; 2012:735-764.

Online Material

Static material must be listed in the References and include the digital object identifier (DOI). Use a DOI for content published online only. Because these items are static, there is no need to include an access date:

Ng S, King CS, Hang J, Clifford R, Lesho EP, Kuschner RA, et al. Severe cavitary pneumonia caused by a non-equi *Rhodococcus* species in an immunocompetent patient. *Respir Care* 2013;58(4):e47-e50. doi:10.4187/respcare.02017

Frequently changing material, such as an organization's homepage, should be cited within the article text using the URL and access date. Do not include in the References:

"...as recommended by the American Association for Respiratory Care (<http://www.aarc.org>, Accessed January 27, 2015) ..."

News sources:

Productivity at work improved for sleep apnea patients using CPAP. *Medical News Today*: April 15, 2013. <http://www.medicalnewstoday.com/releases/259016.php> Accessed January 27, 2015.

Unpublished Work

Manuscript accepted but not yet published. A copy of cited unpublished manuscripts should be provided upon request:

Strickland SL. Year in review: airway clearance. *Respir Care* 2015 (in press).

Research not yet accepted for publication should be cited in the text as personal communication. You must obtain written permission from the authors to cite unpublished data.

"Recently, Smith et al found this treatment effective in 45 of 83 patients (Smith R, personal communication, 2015)."

Your own unpublished work that has not been accepted for publication should be mentioned in the text: "We found this type of aerosol is no more effective than placebo (unpublished data)."

Quick Look

The Quick Look boxes in *Respiratory Care* provide readers with the concise take-home message of the study. Only Original Research articles have Quick Look boxes. Quick Look boxes have 2 headings, the first is *Current Knowledge* and the second is *What This Paper Contributes To Our Knowledge*.

Include your Quick Look text at the end of your main manuscript text file (after the References and any Figure Legends) under the heading Quick Look. Double-space all text.

Current Knowledge

Write 2–4 declarative sentences summarizing current understanding of the topic being studied. Think of it as defining the state of the art or establishing equipoise.

DO – State the current evidence on the subject

DO – Provide clear declarative statements

DO NOT – Ask a question

DO NOT – State what is not known or that a topic “requires further study” or “remains to be elucidated”

What This Paper Contributes To Our Knowledge

Write 2–4 declarative sentences summarizing the take-home message of the study. Use past tense. Provide only information supported by the data. Do not overstate the importance of your results and do not suggest further research; this section is about the paper at hand.

DO – Describe the main take-home points and findings

DO – Describe the environment (eg, if a lung model was used)

DO – Write statements that can be understood without re-stating the data

DO NOT – Allude to further work that needs to be accomplished

DO NOT – Overstate the importance of the findings or speculate. (eg, The use of APRV improved oxygenation [data from the study]. Due to improved oxygenation, APRV might reduce mortality in ARDS [speculation]).

DO NOT – Include statistics or numerical data

The Editors reserve the right to edit Quick Look boxes for accuracy, style, and length.

Example Quick Look

Current knowledge

The endotracheal tube cuff allows positive pressure ventilation and protects the airway from aspiration. Standard cuff pressures of 20–30 cm H₂O are typically used to prevent leakage of fluid around the cuff and to prevent mucosal injury. In recent years, laboratory evaluations of cuffs in glass models have demonstrated reduced fluid leakage, but clinical studies have not confirmed these findings in vitro.

What this paper contributes to our knowledge

In a realistic viscoelastic model of the trachea, endotracheal tube cuffs of different designs provided an adequate seal at a pressure of 12 cm H₂O. With increased PEEP, higher cuff pressures were required. Tubes with a subglottic suction channel performed best in the lateral position.

Figures

Use of Figures is encouraged. Include only Figures that clarify and augment the text. All Figures must be called-out in the text. Number consecutively as Figure 1, Figure 2, etc.

The first Figure in the report of a clinical trial must be a flow diagram showing phases of the trial (ie, enrollment, subject allocation, follow-up, and analysis). See [CONSORT](#).

Each Figure must be uploaded to Manuscript Central as a separate image file, NOT embedded in the text.

Minimum 1200 dpi required for line art (graphs or drawings), 600 dpi required for images with labeling, and 300 required dpi for images (color or black and white) without labeling.

Radiographs must clearly identify the relevant details and contain no patient identifiers.

Any identifiable image must be accompanied with written consent (see Ethics of Investigation).

Identify stains and magnifications for all photomicrographs.

Arrows, numbers, letters, lines and other markers used to identify parts of a Figure must be defined in the Figure Legend.

Figures are redrawn for stylistic consistency. Contact the Editorial Office if you would like assistance in creating an original Figure.

Figure Legends

Every Figure must have a legend explaining every component of the Figure. The legend should be self-sufficient and allow the reader to understand the figure without referring to the text.

Legends are placed at the very end of the manuscript text file. Do not include legends in the Figure image files.

Tables

Each Table must be uploaded to Manuscript Central as a separate Microsoft Word file, NOT embedded in the text. Tables must have a title. The title should be self-sufficient and allow readers to understand the Table without referring to the text.

Tables should be numbered and cited consecutively in the text, Table 1, Table 2, etc. Any abbreviations and symbols must be explained in footnotes at the bottom of the Table. For footnotes use the following symbols, superscripted, in the following order: *, †, ‡, §, ||, ¶, **, ††.

Borrowed Figures and Tables

To include previously published Figures and Tables, you must obtain permission from the original copyright holder. Provide the reference citation in the Table footer so that appropriate credit can be acknowledged in accordance with copyright law.

Copyright is most often held by the publisher of the journal or book in which the Figure or Table originally appeared. It is the author's responsibility to secure permission. Payment of any fees required for borrowed material is the responsibility of the author.

Upload permissions documentation with your manuscript files.

Acknowledgements

Names of persons not eligible for authorship, and their contribution and institutional affiliation, should be listed in the Acknowledgments. You must obtain written permission from all individuals named in the Acknowledgments because inclusion can be taken as the individuals' approval of the paper's contents.

Equations

Write equations as normal text. Do not use the equation function in Microsoft Word or other mathematics software.

Statistical Analysis

For original research papers, the Editor recommends working with a biostatistician to assure appropriate analysis. The Editor may request a letter from your biostatistician assuring that the analysis is correct.

In the Methods section, identify the statistical tests used to analyze the data. Indicate the *P*-value that was taken to indicate significance. State whether tests were one-tailed or two-tailed; justify the use of one-tailed tests. Identify post-hoc analyses. Cite references to support your choice of tests and identify any statistical analysis software used. Indicate how the power analysis was conducted to determine appropriate sample size.

Report measurements with an appropriate degree of precision. Report both numerators and denominators for percentages.

For continuous data, description statistics should be expressed as mean and standard deviation (not standard error). For ordinal data, median and interquartile range should be reported.

For ratios (odds ratio, relative risk, etc.), provide 95% confidence interval.

Report actual *P* values rather than thresholds. Example: write “*P* = .18”, not “*P* > .05” or “*P* = NS.” Note that *P* cannot equal 0 or 1.

P values should be expressed to 2 digits for $P \geq .01$. $P < .001$, rather than $P < .0001$ or $P = .00001$. If $P > .99$, $P = .999$ for example, it should be expressed as $P > .99$.

An exception is *P* values between .07 and .03, which the Journal expresses to 3 digits. This is to preserve potential meaning of values near .05.

Authors are encouraged to enlist the expertise of a local statistician. If questions arise during the peer review process regarding the statistical analysis, the Editor may ask for proof of input from a statistician when the revised manuscript is submitted.

Units of Measurement

Always report the units of measurement according to current scientific usage. Standard units of measurement and scientific terms may be abbreviated without explanation (eg, L/min, mm Hg, pH, O₂). The Journal uses most values in Systeme Internationale (SI) units. For blood gas values, we prefer mm Hg to kPa. For airway pressure, we prefer cm H₂O rather than mbars.

Pulmonary Terms and Symbols

Use the Preferred Pulmonary Terms and Symbols (Appendix 1). Use abbreviations sparingly. Do NOT invent new abbreviations for terms with long-held standard abbreviations. Use an abbreviation only if the term occurs 4 or more times in the manuscript.

The following commonly used abbreviations do not need to be defined: ARDS, CI, COPD, CPAP, DNA, FDA, FEV₁, F₁₀₂, FVC, ICU, P_{aO2}, P_{aCO2}, P_{O2}, P_{CO2}, PEEP, SD, S_{pO2}. We also do not define units (eg, mL, cm, μm, μL).

Drugs and Commercial Products

Precisely identify all drugs and chemicals, doses, and methods of administration.

Use generic names instead of trade (proprietary) names for both drugs and equipment.

At first mention, trade names may be given parenthetically after generic names, including the name and location of the manufacturer. For equipment, provide model numbers if available.

Subjects versus Patients

Individuals enrolled in research are referred to as subjects, not patients. This applies to both retrospective and prospective studies.

Ventilator Modes

Use the Preferred Ventilator Mode Nomenclature (Appendix 2).

Language Editing Services

Poorly written papers will not be accepted. Particularly for authors whose native language is not English, it is strongly recommended to work with someone fluent in English science writing. If the quality of the English is not acceptable, the Editor may ask the author to submit evidence of help by someone fluent in English science writing when the revised manuscript is submitted. If you need assistance, below are some companies that provide language and copyediting services. Use of such a service is at the discretion and cost of the authors, and does not guarantee acceptance. Inclusion on this list does not represent endorsement by the Journal.

[American Journal Experts](#)

[Bio Science Writers](#)

[Boston BioEdit](#)

[Cambridge Proofreading](#)

[Editage](#)

[Enago](#)

[JournalEdit](#)

[ManuscriptEdit](#)

[ScienceDocs](#)
[SPI Publisher Services](#)
[Text Check](#)

SUBMITTING THE MANUSCRIPT

Submit your manuscript to Respiratory Care via Manuscript Central (<http://mc.manuscriptcentral.com/rcare>). Carefully follow the Instructions to Authors and Preparing the Manuscript instructions above.

Access Manuscript Central

Log in, or if you are a first-time user, create an account by selecting “Register Here”. You should have only one account.

Check that your account is up to date using the dropdown menu from your name at the top of the page. Make desired edits to your account, and click “Finish” to save your changes.

You may complete the submission process in one sitting, or save and return later. You can skip from step to step. Make sure you save before logging off. For security reasons, Manuscript Central will log you out if no activity takes place after 75 min.

Submission Process

1. Type, Title, Running Head, & Abstract: Information may be pasted into the fields from a text file.
2. Attributes: Choose 3 categories to aid in the selection of reviewers.
3. Authors & Institutions: Add coauthor names and affiliations. **Be certain that their email address is correct.**
4. Reviewers & Editors: Authors may suggest names reviewers who are not affiliated with the same institution(s). Authors may also indicate who they would prefer not review their manuscript.
5. Cover Letter: Include a cover letter to the Editor. This letter should include any noteworthy information of which you would like him to be aware.
6. File Upload and Submission Checklist: Upload manuscript text file, Figure image files, and Tables files individually.
7. Complete the Manuscript Submission Checklist by indicating the appropriate selections. Failure to complete the Submission Checklist in a manner consistent with the submitted manuscript could lead to rejection.
8. Review & Submit: Carefully review your manuscript and submit.
9. Submission Form: Authors will each be emailed a personalized link to complete the Submission Form. Manuscripts are not considered until **ALL** authors have completed this step. On the form, authors must indicate whether they have any potential conflicts of interest (and if so, list them) and digitally sign the form by typing their name. When finished, click Submit to send the form to the Editorial Office.

Peer Review

Manuscripts undergo peer review on the basis of clarity, scientific accuracy, breadth of appeal, and timeliness. Manuscript reviewers are professionals with expertise in the subject and are selected by the Editor.

You can log into Manuscript Central at any time to check the status of your manuscript. The Editor will inform you via e-mail once a decision has been made; his decision letter may include reviewer comments.

Submission of Revision

Select “Manuscripts with Decision” in your Author Center. You will be prompted to create a revision. Submit your revision retaining the original manuscript ID.

Respond to the Editor's decision letter and reviewer comments. You must respond *point by point* to the specific comments and suggestions, indicating in each instance whether or how the manuscript has been changed.

You should have ready:

A revised manuscript text file with changes indicated via Microsoft Word's Track Changes function AND a clean text file where all changes are included (no red text).

Tables or Figures with changes indicated, and clean versions where changes are included.

Any file that you do not revise may remain as is in the list of files. Before uploading a revised file, *delete* the original file.

If there has been any change in authors, author contact information, or other aspect of the research or manuscript about which the Editor should be informed, please highlight these changes in your response.

If there has been a change in conflict of interest status for any of the authors, this must be noted in your response and indicated on the Title Page of the revision.

The Editor may send the revision for peer review and further revision may be requested.

If revision of a submission is not received within 6 months, the Journal will assume the authors have withdrawn the manuscript from further consideration.

Papers in Press

After acceptance, a version of the manuscript will be e-published ahead of print and available online in PubMed and the Respiratory Care website.

Copy Editing

Accepted manuscripts are copy edited for clarity, syntax, grammar, consistency, and conformity with Journal style.

Page Proof

Online page proof will be sent by e-mail to the corresponding author. Authors should pay careful attention to the proof. Authors are responsible for the published manuscript, including any changes made during copy editing. The proof should be corrected by annotations to the online PDF and returned promptly.

Copyright

With the proof, a statement transferring copyright to Daedalus Enterprises will be sent to the Corresponding Author for signature.

An author who is an employee of the federal government and whose publication is part of his or her official duties cannot transfer copyright ownership. Any author who is a federal employee should note this on the title page.

No material published in Respiratory Care may be reprinted without written permission. Permission is obtained through the Copyright Clearance Center by following the links on our website.

Anexo IV. Aprovação do comitê de ética em pesquisa

UNB - FACULDADE DE
CEILÂNDIA DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE TREINAMENTO RESPIRATÓRIO NA EFICIÊNCIA TORACOABDOMINAL E ATIVAÇÃO DA MUSCULATURA RESPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA: UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO

Pesquisador: TATIANA ZACARIAS RONDINEL

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 67204717.7.0000.8093

Instituição Proponente: FUNDACAO UNIVERSIDADE DE BRASILIA

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.109.821

Apresentação do Projeto:

“A Insuficiência Cardíaca (IC) tem como principais sintomas dispneia e fadiga, que podem ser uma consequência da fraqueza da musculatura, mais especificamente dos músculos respiratórios, podendo gerar uma desvantagem na mecânica respiratória. Sendo assim, a mobilidade da caixa torácica tem sido estudada para melhor compreensão da atividade da musculatura respiratória em diferentes situações e populações, com diferentes métodos de avaliação. O sistema de análise de movimento Qualisys, por meio da pletismografia optoeletrônica, vem sendo utilizado para avaliação da cinemática de diferentes componentes corporais para diferentes desfechos. Porém, ainda não há estudos sobre esse tipo análise do movimento e eficiência toracoabdominal em pacientes com IC. Objetivo: Avaliar a influência de treinamento respiratório na cinemática e o padrão de ativação muscular respiratória em indivíduos com insuficiência cardíaca. Métodos: Os indivíduos com diagnóstico de IC e indivíduos saudáveis, serão avaliados, por meio da espirometria, manovacuometria, S-Index teste Sniff durante a análise da cinemática toracoabdominal pelo sistema de análise de movimento Qualisys, sensor inercial e análise eletromiográfica da musculatura respiratória. Serão avaliadas a percepção da qualidade de vida pelo questionário de Minnessota, a espessura do diafragma pela ultrassonografia e a composição

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/66
Bairro: CEILANDIA SUL (CEILANDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASILIA
Telefone: (61)3376-0437 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

UNB - FACULDADE DE
CEILÂNDIA DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA



Continuação do Parecer: 2.109.821

corporal pela densitometria por dupla emissão de raios-x (DEXA). Após, os indivíduos com IC serão randomizados em dois grupos: Grupo I, que realizará treinamento da musculatura inspiratória, e Grupo II, que realizará protocolo de exercícios de estabilização de tronco”.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo geral do estudo é: “avaliar a influência de treinamento respiratório na cinemática e no padrão de ativação muscular respiratória em indivíduos com insuficiência cardíaca.” Os objetivos específicos são: “identificar a cinemática linear toracoabdominal (deslocamento e velocidade) e sincronia entre os três componentes (caixa torácica pulmonar – CTP, caixa torácica abdominal – CTA e abdômen – AB) dos indivíduos com IC; descrever os padrões cinemáticos toracoabdominais e a influência de ajustes posturais sobre a execução de diferentes testes de função pulmonar em indivíduos com IC, descrever a ativação da musculatura respiratória pela eletromiografia durante execução de testes de função pulmonar em indivíduos com IC, descrever a cinemática toracoabdominal por meio do sensor inercial durante execução de testes de função pulmonar em indivíduos com IC, verificar a extração de oxigênio do esternocleidomastóideo e diafragma por meio da espectroscopia de infravermelho próximo durante execução de testes de função pulmonar em indivíduos com IC, analisar a relação entre os valores numéricos dos testes de função pulmonar com a cinemática toracoabdominal; avaliar o padrão cinemático toracoabdominal antes e após protocolos de intervenção em pacientes com IC; analisar a relação entre a cinemática toracoabdominal e a composição corporal do paciente com IC e verificar variação da espessura do diafragma antes e após protocolo de intervenção em pacientes com IC.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo os pesquisadores "os riscos decorrentes da participação na pesquisa são de sentir cansaço e/ou falta de ar devido aos exercícios respiratórios realizados. A participação na pesquisa não trás riscos psíquicos, morais, intelectuais, sociais, culturais ou espirituais. Será realizado constante controle da falta de ar, utilizando uma escala específica numérica, assim como controle da oximetria de pulso. Será realizada pausa para descanso conforme necessidade do indivíduo. Caso necessário, serão suspensas as avaliações e poderá ser solicitado serviço de emergências (SAMU) para qualquer tipo de agravo." Quanto aos benefícios, os autores apontam que "são de melhorar a força dos músculos respiratórios e da expansibilidade da caixa torácica, podendo levar à uma melhora na capacidade respiratória e diminuição do nível de cansaço nas atividades de vida diária."

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/66
Bairro: CEILÂNDIA SUL (CEILÂNDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASÍLIA
Telefone: (61)3376-0437 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

**UNB - FACULDADE DE
CEILÂNDIA DA UNIVERSIDADE
DE BRÁSÍLIA**



Continuação do Parecer: 2.109.821

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de um projeto de estudo para tese de doutorado, apresentado ao Programa de Pós- Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde da Faculdade de Ceilândia. A pesquisadora responsável é Tatiana Zacarias Rondinel, sob a orientação de Gerson Cipriano Júnior e co-orientação de Graziella F.B. Cipriano e Clarissa Cardoso dos Santos Couto Paz. O estudo compreende um ensaio clínico controlado randomizado cego do tipo cruzado. Segundo os autores, “a amostra será composta por indivíduos com insuficiência cardíaca (IC), de ambos os sexos, e por voluntários sem IC, pareados por idade, gênero, peso e altura. Os indivíduos com IC serão selecionados na comunidade de Brasília e regiões administrativas”. Os participantes do estudo serão divididos em dois grupos, denominados grupo exercício e grupo TMI – Treinamento da Musculatura Inspiratória. Cada grupo será composto por 25 participantes, totalizando 50 participantes de pesquisa.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os autores apresentam todos os termos necessários de forma adequada.

Recomendações:

Não há recomendações.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Não há pendências.

Considerações Finais a critério do CEP:

Protocolo de pesquisa em consonância com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde. Cabe ressaltar que compete ao pesquisador responsável: desenvolver o projeto conforme delineado; elaborar e apresentar os relatórios parciais e final; apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento; manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa; encaminhar os resultados da pesquisa para publicação, com os devidos créditos aos pesquisadores associados e ao pessoal técnico integrante do projeto; e justificar fundamentadamente, perante o CEP ou a CONEP, interrupção do projeto ou a não publicação dos resultados.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
----------------	---------	----------	-------	----------

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/66
Bairro: CEILANDIA SUL (CEILANDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASÍLIA
Telefone: (61)3376-0437 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

**UNB - FACULDADE DE
CEILÂNDIA DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA**



Continuação do Parecer: 2.109.821

Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_892428.pdf	31/05/2017 18:15:24		Aceito
Outros	carta_de_encaminhamento_pendencias.pdf	31/05/2017 18:02:38	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Orçamento	Planilha_de_Orçamento.docx	31/05/2017 18:00:11	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Tatianaprojetodoutorado.docx	31/05/2017 17:59:43	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	31/05/2017 17:59:19	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Cronograma	Cronograma.doc	12/04/2017 12:51:02	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Outros	p01.pdf	12/04/2017 12:25:26	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Outros	carta_encaminhamento_do_projeto.docx	12/04/2017 12:24:24	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Outros	Termo_de_Imagem_e_som.docx	12/04/2017 12:23:00	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Pesquisadores	005.jpg	12/04/2017 12:21:46	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_Responsabilidade_e_Compromisso_do_Pesquisador_Responsavel.docx	12/04/2017 12:19:46	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Pesquisadores	CurriculoLattes_Tatiana_Rondinel.pdf	12/04/2017 12:11:39	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Pesquisadores	CurriculoLattes_Graziella_Cipriano.pdf	12/04/2017 12:07:09	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Pesquisadores	CurriculoLattes_Gerson_Cipriano.pdf	12/04/2017 12:06:41	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Pesquisadores	CurriculoLattes_Clarissa_Cardoso.pdf	12/04/2017 12:06:11	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	TermodeConcordancia.docx	12/04/2017 12:01:24	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	p04.pdf	12/04/2017 11:59:34	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	p02.pdf	12/04/2017 11:58:58	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito
Folha de Rosto	p03.pdf	12/04/2017 08:32:42	TATIANA ZACARIAS RONDINEL	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/66
Bairro: CEILANDIA SUL (CEILANDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASÍLIA
Telefone: (61)3376-0437 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

UNB - FACULDADE DE
CEILÂNDIA DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA



Continuação do Parecer: 2.109.821

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

BRASILIA, 08 de Junho de 2017

Assinado por:
Dayani Galato
(Coordenador)

Endereço: UNB - Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED), Centro Metropolitano, conj. A, lote 01, Sala AT07/66
Bairro: CEILANDIA SUL (CEILANDIA) **CEP:** 72.220-900
UF: DF **Município:** BRASILIA
Telefone: (61)3376-0437 **E-mail:** cep.fce@gmail.com

Anexo V. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Convidamos o(a) Senhor(a) a participar do projeto de pesquisa “ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE TREINAMENTO RESPIRATÓRIO NA EFICIÊNCIA TORACOABDOMINAL E ATIVAÇÃO DA MUSCULATURA RESPIRATÓRIA EM INDIVÍDUOS COM INSUFICIÊNCIA CARDÍACA: UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO”, sob a responsabilidade da pesquisadora Tatiana Zacarias Rondinel. O projeto **irá fazer avaliações dos seus pulmões durante avaliação do movimento do seu tórax por meio de câmeras, para entender a movimentação do tórax para, depois, desenvolver e testar um tipo de treinamento da musculatura respiratória adequado para essa população.**

O objetivo desta pesquisa é **avaliar a influência do treinamento respiratório no movimento da caixa torácica e na ativação dos músculos respiratórios em indivíduos com insuficiência cardíaca, em comparação com indivíduos saudáveis; desenvolver um protocolo de treinamento da musculatura respiratória.**

O(a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá, sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

A sua participação se dará por meio da **realização de avaliações dos pulmões e do tórax no Laboratório de Biofísica e Fisiologia da Faculdade de Ceilândia e no Laboratório de Análise do Movimento Humano e Processamento de Sinais em 2 visitas** com um tempo estimado de **90 minutos por visita** para sua realização. As avaliações realizadas serão:

1. Visita 1: no laboratório de Biofísica e Fisiologia será realizada uma avaliação inicial, com anamnese e preenchimento de questionário de qualidade de vida. Além disso, será realizada uma avaliação do diafragma e a avaliação da composição corporal.
2. Visita 2: no laboratório de Análise do Movimento Humano e Processamento de Sinais será realizada uma avaliação dos pulmões durante avaliação do tórax, por meio de câmeras. Também será realizada uma avaliação da musculatura respiratória e uma avaliação da oxigenação do diafragma, por meio de um pequeno aparelho acoplado na pele. Após essa avaliação será feito um protocolo curto de treinamento da musculatura respiratória que consiste em 2 séries de 50 repetições, com intervalo de 45 segundos entre as duas séries. Após intervalo de 5 minutos, será repetida a mesma série para uma carga maior de exercício.

Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa são **de sentir cansaço e/ou falta de ar devido aos exercícios respiratórios realizados. A participação na pesquisa não trará riscos psíquicos, morais, intelectuais, sociais, culturais ou espirituais. Será feito constante controle da falta de ar, utilizando uma escala específica numérica, assim como controle do oxigênio do sangue. Será realizada pausa para descanso conforme necessidade do participante. Caso necessário, serão suspensas as avaliações e poderá ser solicitado serviço de emergências (SAMU) para qualquer tipo de agravo. O participante será orientado quanto às avaliações e os exames serão realizados por profissional experiente e com material descartável.**

Se você aceitar participar, estará contribuindo para **desenvolver um protocolo de treinamento da musculatura respiratória específico para a população com insuficiência cardíaca.**

O(a) Senhor(a) pode se recusar a responder (ou participar de qualquer procedimento) qualquer questão que lhe traga constrangimento, podendo desistir de participar da pesquisa em qualquer momento sem nenhum prejuízo para o(a) senhor(a). Sua participação é voluntária, isto é, não há pagamento por sua colaboração.

Todas as despesas que você tiver relacionadas diretamente ao projeto de pesquisa (tais como, passagem para o local da pesquisa, alimentação no local da pesquisa ou exames para realização da pesquisa) serão cobertas pelo pesquisador responsável.

Caso haja algum dano direto ou indireto decorrente de sua participação na pesquisa, você poderá ser indenizado, obedecendo-se as disposições legais vigentes no Brasil.

Os resultados da pesquisa serão divulgados na **Defesa de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias da Saúde da Faculdade da Ceilândia / Universidade de Brasília** podendo ser publicados posteriormente. Os dados e materiais serão utilizados somente para esta pesquisa e ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de cinco anos, após isso serão destruídos.

Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor telefone para **Tatiana Zacarias Rondinel (61-999481115)** ou **encaminhe um e-mail para tatirondinel@gmail.com**. Na **Faculdade de Ceilândia – Universidade de Brasília, pode ser feita ligação** no telefone **(61-983556484)**, disponível inclusive para ligação a cobrar.

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ceilândia (CEP/FCE) da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser esclarecidas pelo telefone (61) 3376-0437 ou do e-mail cep.fce@gmail.com, de segunda à sexta-feira, horário de atendimento das 14:00 às 18:00hs. O CEP/FCE se localiza na Faculdade de Ceilândia, Sala AT07/66 – Prédio da Unidade de Ensino e Docência (UED) – Universidade de Brasília - Centro Metropolitano, conjunto A, lote 01, Brasília - DF. CEP: 72220-900.

Caso concorde em participar, pedimos que assine este documento que foi elaborado em duas vias, uma ficará com o pesquisador responsável e a outra com o Senhor(a).

Nome / assinatura

Pesquisador Responsável

Nome e assinatura (deve ser a original)

Brasília, ____ de ____ de _____