

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

FACULDADE DE FISIOTERAPIA

MESTRADO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO E  
DESEMPENHO FÍSICO-FUNCIONAL

**Carolina Fernanda Almeida dos Anjos**

**VALIDADE INSTRUMENTAL E CONFIABILIDADE  
INTRA E INTER EXAMINADORES DE  
UM ALGÔMETRO DIGITAL DE BAIXO CUSTO**

**Juiz de Fora**

**2021**

Carolina Fernanda Almeida dos Anjos

**Validade instrumental e confiabilidade intra e inter examinadores  
de um algômetro digital de baixo custo**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação Mestrado em Ciências da  
Reabilitação e Desempenho Físico-Funcional  
da Universidade Federal de Juiz de Fora  
como requisito para obtenção do título de  
Mestre em Ciências da Reabilitação e  
Desempenho Físico-Funcional

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Wesley Carvalho Barbosa - UFJF

Coorientador: Prof. Dr. William Bezerra Leite

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Anjos, Carolina Fernanda Almeida dos .

Validade instrumental e confiabilidade intra e inter examinadores de um algômetro digital de baixo custo / Carolina Fernanda Almeida dos Anjos. -- 2021.

52 p. : il.

Orientador: Alexandre Wesley Carvalho Barbosa

Coorientador: William Bezerra Leite

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Faculdade de Fisioterapia. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação e Desempenho Físico-Funcional, 2021.

1. Dor. 2. Dor musculoesquelética. 3. Algômetro de pressão. 4. Reprodutibilidade dos testes. 5. Confiabilidade dos dados. I. Barbosa, Alexandre Wesley Carvalho, orient. II. Leite, William Bezerra, coorient. III. Título.

**Carolina Fernanda Almeida dos Anjos**

**Validade instrumental e confiabilidade intra e inter examinadores  
de um algômetro digital de baixo custo**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Mestrado em Ciências da Reabilitação e Desempenho Físico-Funcional da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Reabilitação e Desempenho Físico-Funcional

Aprovada em 03 de Fevereiro de 2021

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Alexandre Wesley de Carvalho Barbosa

Orientador

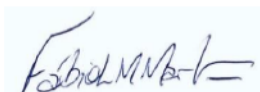
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

Profª. Drª. Vanessa Cardoso Silva

Universidade Federal de Juiz de Fora



---

Prof. Dr. Fábio Luiz Mendonça Martins

Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri

Dedico este trabalho à Ana Amélia, a minha motivação para seguir.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pelo amparo que me sustentou até aqui.

Ao meu esposo Samuel, por todo o investimento e cumplicidade, e pela paciência em todas as noites em que estive fora de casa.

À minha mãe Lourdes, por todo o apoio e por todas as vezes em que se sacrificou para estar comigo em GV.

À minha filhinha Ana Amélia, pela doce companhia durante a finalização do meu trabalho.

Ao meu orientador Alexandre, pela oportunidade, tolerância e generosidade.

Ao NIME, por todo o suporte para a construção de minha formação.

Aos alunos com os quais tive o privilégio de conviver, pela aceitação e pelo tanto que me ensinaram.

Aos colegas de mestrado, pela constante solidariedade que muito me ajudou.

À amiga Ariany, por todo o incentivo.

Às TAEs da Clínica Escola, especialmente à Rosemary, por sua gentileza.

E aos voluntários envolvidos neste estudo.

## RESUMO

**INTRODUÇÃO:** A quantificação da dor nas diferentes síndromes musculoesqueléticas com condições disfuncionais requer avaliação objetiva. Dentre os instrumentos avaliativos destacam-se os algômetros de pressão. O contexto econômico de diversos países torna estes equipamentos onerosos, o que pode vir a limitar o acesso aos mesmos na pesquisa e na prática clínica. Um algômetro de pressão adaptado válido e confiável, de baixo custo, poderia ser considerado como um equipamento padrão, e ampliaria o acesso à avaliação objetiva da dor por pressão para diversos profissionais da saúde. **OBJETIVOS:** Analisar a validade instrumental e a confiabilidade intra e inter examinadores de um algômetro de pressão digital de baixo custo adaptado de uma balança suspensa. **MÉTODOS:** 60 compressões aleatórias foram aplicadas em uma plataforma de força padrão-ouro, por um avaliador único. Limiares de dor por pressão - LDP de 20 voluntários foram coletados 02 vezes (intervalo de 03 dias) por 02 avaliadores. As principais medidas de desfecho foram o pico de força compressiva – em kPa (algômetro de pressão adaptado vs. plataforma de força) e o LDP. A consistência interna foi avaliada pelo teste  $\alpha$  de Chronbach. O erro padrão de medida forneceu estimativas de erro de medida, e o método de Bland-Altman estimou o viés de medida com limites inferior e superior de concordância. **RESULTADOS:** Não houve diferenças entre os resultados de força compressiva dos equipamentos (algômetro de pressão adaptado vs. plataforma de força). A validade e a confiabilidade intra examinador variaram de 0,84 a 0,99, e o erro padrão de medida de 0,005 a 0,04 kPa. Observou-se consistência interna moderada a excelente, com baixo erro padrão dos valores de medida e correlações muito fortes ( $r = 0,73-0,74$ ) a quase perfeitas ( $r = 0,99$ ), com baixo risco de viés para todas as medidas. Os resultados demonstraram a validade e a confiabilidade intra avaliador do algômetro de pressão adaptado. Os resultados da confiabilidade inter avaliadores foram moderados ( $r = 0,55-0,60$ ;  $\alpha$  de Cronbach =  $0,71-0,75$ ). **CONCLUSÃO:** O equipamento apresentou validade e confiabilidade suficientemente aceitáveis, ao replicar com precisão valores auferidos com um equipamento padrão-ouro. Ofereceu informações de força compressiva e avaliação da dor, podendo ser considerado como equipamento

padrão. As facilidades em seu acesso, como o custo, o sistema operacional de fácil utilização e a portabilidade favoreceriam a inclusão da avaliação sistemática da dor por pressão na pesquisa e na rotina clínica, traduzindo-se em possibilidades para sua quantificação, além da obtenção de parâmetros para diretrizes terapêuticas.

**Palavras-chave:** dor, dor musculoesquelética, algômetro de pressão, reprodutibilidade dos testes, confiabilidade dos dados.



## ABSTRACT

**BACKGROUND:** The quantification of pain in different musculoskeletal syndromes with dysfunctional conditions requires an objective assessment. Among the evaluation instruments, pressure algometers stand out. The economic context of several countries makes this equipment costly, which may limit its access in research and clinical practice. A valid and reliable adapted low-cost pressure algometer could be considered as a standard equipment, and it would increase access to objective pressure pain's assessment for several health professionals.

**OBJECTIVES:** Analyze the instrumental validity and intra and inter-rater reliability of a low-cost digital pressure algometer adapted from a suspended scale.

**METHODS:** 60 random compressions were applied on a gold standard force platform, by a single evaluator. Pressure pain thresholds - LDP of 20 volunteers were collected 02 times (interval of 03 days) by 02 evaluators. The main outcome measures were the compressive peak strength – in kPa (adapted pressure algometer vs. force platform) and the LDP. Internal consistency was assessed using the Chronbach  $\alpha$  test. The measurement's standard error provided estimation of measurement errors, and the Bland-Altman method estimated the measurement bias, with lower and upper limits of agreement. **RESULTS:** There were no differences between the results of compressive strength of the equipment's (adapted pressure algometer vs. force platform). Intra-examiner validity and reliability ranged from 0.84 to 0.99, and the standard measurement error was 0.005 to 0.04 kPa. Moderate to excellent internal consistency was observed, with low standard error of the measurement values and very strong correlations ( $r = 0.73$ – $0.74$ ) to almost perfect ( $r = 0.99$ ), with low risk of bias for all measures. The results demonstrated the validity and intra-rater reliability of the adapted pressure algometer. Inter-rater reliability results were moderate ( $r = 0.55$ – $0.60$ ; Cronbach's  $\alpha = 0.71$ – $0.75$ ). **CONCLUSION:** The equipment had sufficiently acceptable validity and reliability, when accurately replicating values obtained with gold standard equipment. It offered information on compressive strength and pain assessment, and it can be considered as standard equipment. The ease of access, such as cost, friendly operating system and portability would favor the inclusion of systematic

pressure pain assessment in research and clinical routine, resulting in possibilities for its quantification, in addition to obtaining parameters for therapeutic guidelines.

**Keywords:** pain, musculoskeletal pain, pressure algometer, reproducibility of results, data accuracy

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Plataforma de força.....	23
Figura 2 - Algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa .....	25
Figura 3 - Teste de pressão .....	25
Figura 4 - Equipamentos usados na coleta de dados compressivos de LDP .....	27
Figura 5 - Coleta do LDP no músculo deltoide .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 8

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico/digital
ANOVA	Análise de variância mista com medidas repetidas
IASP	Associação Internacional para Estudos da Dor
CCL	Célula de carga laboratorial
cm	Centímetro
cm <sup>2</sup>	Centímetro quadrado
r	Coeficiente de correlação
r <sup>2</sup>	Coeficiente de correlação ajustado/adaptado
ICC	Coeficiente de correlação intraclasse
dB	Decibel
SEM	Erro padrão de medida
EVA	Escala visual analógica
Hz	Hertz
IMC	Índice de massa corporal
IC	Intervalo de confiança
kg	Quilograma
kg/cm <sup>2</sup>	Quilograma por centímetro quadrado
kg/m <sup>2</sup>	Quilograma por metro quadrado
kg/s	Quilograma por segundo
kgf	Quilograma-força
kgf/cm <sup>2</sup>	Quilograma-força por centímetro quadrado
kHz	Quilohertz
kPa	Quilopascal
LDP	Limiar de dor por pressão
N	Newton
N/cm <sup>2</sup>	Newton por centímetro quadrado
s	Segundo
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
vs.	Versus
α	Alfa
μV	Microvolt

$\Omega$

Ohm

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>HIPÓTESE .....</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>21</b>
4.1	AMOSTRA.....	21
4.2	CRITÉRIOS DE INCLUSÃO.....	21
4.3	CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO .....	22
4.4	CÁLCULO AMOSTRAL.....	22
4.5	DESENHO DE ESTUDO.....	22
4.6	INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO .....	23
4.6.1	Plataforma de força .....	23
4.6.2	Algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa .....	24
4.6.3	Célula de carga .....	26
4.6.4	Algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa .....	27
4.7	RISCOS.....	29
4.8	BENEFÍCIOS.....	29
4.9	EXTRAÇÃO DE DADOS .....	29
4.10	METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS .....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>33</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>
	<b>ANEXO A – TCLE .....</b>	<b>377</b>
	<b>ANEXO B – Artigo Publicado .....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Associação Internacional para Estudos da Dor - IASP em 2020 definiu a dor como “uma experiência sensitiva e emocional desagradável associada, ou semelhante àquela associada, a uma lesão tecidual real ou potencial” (RAJA et al., 2020). Embora haja um crescente interesse sobre a ocorrência da dor crônica no Brasil, pouco ainda se conhece sobre a epidemiologia da dor no país, tendo em vista a heterogeneidade e regionalidade dos trabalhos atualmente desenvolvidos (VASCONCELOS; ARAÚJO, 2018).

Quadros musculoesqueléticos que envolvem dor local ou generalizada requerem avaliações periódicas para o acompanhamento, parte significativa dos estudos de intervenção para o tratamento destas condições, tem a dor como desfecho primário (WALTON et al., 2011). Dotada de uma qualidade aversiva que em geral acompanha um desconforto, a sensação desagradável proveniente da dor está intimamente ligada à intensidade, sendo que estes dois atributos – desagrado e intensidade, compartilham estreita associação em quase todas as suas variações (GIBSON; FARRELL, 2004). Descrita como um evento multidimensional, a dor contém um componente subjetivo que envolve cultura, experiências anteriores e atribuição de significado para o indivíduo (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2014). Não apenas as características fisiológicas e psicológicas de quem a sente, como também as características relacionadas ao problema de saúde, incluindo as comorbidades, compõem as configurações clínicas da dor.

Quantificar a dor representa um desafio para os profissionais da saúde e para os pesquisadores: suas configurações podem ser um fator de confusão para as suas mensurações. As variabilidades intragrupo e longitudinal nos indivíduos portadores de síndromes álgicas podem enviesar o raciocínio clínico, dificultando o processo terapêutico. Entretanto, exclusivamente a avaliação física possibilita a obtenção de dados objetivos, necessários para contrastar os efeitos prospectivos das intervenções (IMAMURA et al., 2016; INTELANGELO; BORDACHAR; BARBOSA, 2016).

A base teórica e prática da avaliação da dor é majoritariamente subjetiva e se baseia em métodos fisiológicos e comportamentais. A abordagem mais usual para medi-la em contextos clínicos é através do autorrelato do paciente. Dentre os testes

subjetivos utilizados para medir a dor estão a escala visual analógica - EVA, a escala de classificação numérica (NRS), e o questionário de dor de McGill (DURGA et al., 2016). A estimativa da intensidade da dor autorreferida é importante, porém como o seu relato reflete diferentes aspectos da condição de saúde, a quantificação da sua intensidade pode se tornar difícil (WALTON et al., 2011; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2014).

A autoavaliação frequentemente mais empregada na dor é a EVA. Suas principais vantagens são a facilidade de administração e conclusão pelos entrevistados. Entretanto, contém uma faixa estreita de pontuações, que origina potenciais desvantagens, dentre elas as limitações em precisar o grau, baixa sensibilidade para detectar pequenas alterações, e o chamado efeito teto - que impossibilita quantificar a piora em condições de dor extrema. A eliminação do efeito teto em uma ferramenta de medição da dor favorece a precisão em quantificá-la e aumenta a sensibilidade a alterações sutis em seus respectivos níveis (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2014).

Medidas de dor que não se baseiem exclusivamente no relato do avaliado podem trazer objetividade nas informações relativas à sua condição de saúde e possibilitar ao profissional responder com opções apropriadas para o tratamento do quadro algico (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2014). Medições imparciais da dor, obtidas através de estímulos padronizados, originam dados para direcionar o diagnóstico, estabelecer um panorama prospectivo para nortear o tratamento, elaborar prognósticos, comparar resultados da linha de base com resultados de avaliações subsequentes e verificar a eficácia de intervenções (WALTON et al., 2011; WALTON et al., 2013). Mensurações precisas refletem com maior clareza as evoluções do processo terapêutico e predizem o momento do final da reabilitação.

Atualmente existem diversos dispositivos e métodos para a avaliação objetiva da percepção da dor. Entre as modalidades testáveis estão os estímulos térmicos, elétricos, químicos e mecânicos. Dentre os estímulos mecânicos, destaca-se a avaliação do Limiar de Dor por Pressão – LDP. Considerando que o Limiar de dor funciona como um sistema de alerta em um organismo autoprotetor e adaptador, o LDP expressa a dor referente à hiperalgesia mecânica (RIBEIRO et al., 2016; MELIA et al., 2015). O mínimo ponto de transição, no qual a força aplicada é sentida como dor é denominado como LDP (CUNHA et al., 2014).



A avaliação do LDP se dá por algometria de pressão. A técnica mensura a responsividade do sistema nociceptivo à tensão aplicada sobre nociceptores periféricos. Em termos práticos, avalia a sensibilidade de tecidos (incluindo os ósseos, musculares e moles) à pressão (NUSSBAUM; DOWNES, 1998; RIBEIRO et al., 2016). Fundamenta-se em princípios físicos que regulam a dinâmica das forças aplicadas às superfícies: a pressão relaciona-se diretamente com o peso (kg), e indiretamente com a área estimulada elevada ao quadrado ( $\text{cm}^2$ ) (PIOVESAN et al., 2001). Os algômetros exibem leituras de força em Newtons ( $\text{N}/\text{cm}^2$ ) ou quilogramas de força ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ). As unidades podem ser convertidas em quilopascal (kPa), a métrica internacional para pressão ( $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 98,066 \text{ kPa}$ ). Em geral, estes dispositivos possuem  $1 \text{ cm}^2$  de superfície de aplicação de pressão com pontas arredondadas para reduzir as tensões de cisalhamento (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009; MELIA et al., 2015). O LDP correlaciona-se negativamente com dor e função - menor LDP produz maior dor e menor função (IMAMURA et al., 2016).

O método da algometria - ou dolirimetria de pressão, é considerado não invasivo, eficiente e confiável (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009). Embora sua representação seja uma medida quantitativa sobre a carga aplicada em determinado local, deve-se considerar o componente subjetivo que carrega, pois o que se mede - a dor, tem em sua composição fatores menos objetivos como humor, atenção, vigilância e sensibilidade proprioceptiva do sujeito, que interpreta o limiar (IMAMURA et al., 2016; MELIA et al., 2015). Deste modo, o algômetro de pressão permite ao avaliador, através de estímulos físicos, quantificar semiobjetivamente a sensibilidade mecânica à dor e a recuperação de problemas subjacentes, bem como a intensidade da dor (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009; RIBEIRO et al., 2016).

O desenvolvimento e a manutenção da dor podem ser influenciados por mecanismos de sensibilização periférica e de sensibilização central. Na avaliação de hiperalgesias, a algometria pode ser usada como método diagnóstico auxiliar (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009). Do mesmo modo, pode contribuir para a compreensão dos mecanismos que envolvem a dor primária - comumente associada à sensibilização periférica, e à dor crônica - sensibilização central (RIBEIRO et al., 2016). O seu uso é descrito em síndromes álgicas, como fibromialgia (CHEATHAM et al., 2018) e dores na região crânio-cervical, como pescoço, cabeça e articulação

têmporo-mandibular (WALTON et al., 2011; CUNHA et al., 2014; CASTIEN; VAN DER WOUDE; DE HERTOOGH, 2018). Sua funcionalidade diagnóstica também se aplica na localização de pontos dolorosos (PIOVESAN et al., 2001). Demais protocolos de avaliação da dor musculoesquelética, como a avaliação da sensibilização central (via somação temporal), também incluem a algometria de pressão (NIJS; VAN HOUDENHOVE; OOSTENDORP, 2010).

Atualmente, os algômetros de pressão disponíveis para comercialização não estão integralmente acessíveis aos profissionais de saúde por serem dispendiosos para o contexto econômico de países de baixa renda e em desenvolvimento. Segundo a Classificação Ocupacional Brasileira (<https://www.salario.com.br/profissao/fisioterapeuta-geral-cbo-223605/>), os fisioterapeutas brasileiros têm um salário médio mensal de quinhentos Dólares. O custo do equipamento digital padrão varia de seiscentos a mil Dólares. Deste modo, tem-se como limitações para o uso da algometria o custo e o acesso aos equipamentos, tanto na pesquisa quanto na prática clínica (DURGA et al., 2016). Ademais, dentre estes equipamentos, alguns contém um software para leitura dos resultados, que requer certa dedicação de tempo em treinamento, e que similarmente reflete em aumento dos custos.

Uma opção frente a algômetros onerosos, além das tradicionais escalas subjetivas de classificação de dor é um algômetro de pressão de baixo custo capaz de garantir precisão na avaliação dos LDPs (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009; O'CONNOR; BAWEJA; GOBLE, 2016). O algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa usado neste estudo teve um custo operacional de montagem de cerca de USD 10,00. Sua validação pode mediar o acesso a um equipamento que, além de baixo custo final, apresenta fácil leitura e portabilidade, e pode vir a ser uma alternativa na atenção primária para a avaliação e diagnóstico precoce de condições álgicas agudas ou crônicas, em regiões privadas de tecnologias caras. Além do entendimento de comportamentos álgicos, o uso do equipamento pode contribuir para a caracterização de grupos de pacientes. (PIOVESAN et al., 2001).

Classicamente, um algômetro de pressão usa, para funcionar, uma pequena bateria. Utiliza uma célula de carga composta por um elemento metálico resistente, mas com capacidade de leve deformação por carga, que gera uma diferença de potencial elétrico (princípio do transdutor). Estas deformações podem ocorrer em

consequência de forças de pressão ou de tração. A carga aplicada na célula gera então uma alteração na resistência elétrica que é lida por um medidor de tensão - o extensômetro (ou 'strain gauge'), conectado à célula de carga. A leitura é feita pela conversão da resistência elétrica em sinal digital, e o resultado é legível em um visor (HANAFEE; RADCLIFFE, 1967).

Para medir qualquer variável, é de suma importância que tanto as medidas intra e inter examinador quanto o instrumento sejam consistentes e válidos (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009). Para a integração da algometria de pressão à rotina do ambiente clínico, torna-se necessário estabelecer a confiabilidade intra e inter examinadores da ferramenta, e também propiciar a disponibilidade comercial da mesma a custos não proibitivos (WALTON et al., 2011).

Ao se determinar a validade instrumental de um equipamento, o nível de correlação entre a pontuação de um determinado instrumento e algum critério externo precisa ser confirmado. Esse critério deve ser uma medida amplamente aceita e considerada padrão-ouro, com a mesma medida característica da ferramenta de avaliação (SULLIVAN, 2011; SOUZA; ALEXANDRE; GUIRARDELLO, 2017). A plataforma de força é o padrão-ouro para medir forças de reação verticais e horizontais do solo, em resposta às compressões aplicadas na superfície, como salto vertical e equilíbrio postural. Sua alta precisão de medição garante a validade de dados coletados para forças de compressão (O'CONNOR; BAWEJA; GOBLE, 2016; CARLOS-VIVAS et al., 2018). Estudos anteriores encontraram altos níveis de correlação entre a plataforma de força e os algômetros de pressão através da aplicação de pressões de modo manual em uma plataforma de força, com o objetivo de testar a confiabilidade e validade de construto (validade instrumental) de algômetros de pressão (VAUGHAN; MCLAUGHLIN; GOSLING, 2007; (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009).

Considerando-se a utilidade em medir a capacidade de percepção e tolerância dolorosa em diferentes síndromes musculoesqueléticas que cursam com condições disfuncionais, tanto para fins de pesquisa, quanto para avaliações no ambiente clínico (ao longo do tratamento ou de forma pontual para rastrear recuperação ou cura), torna-se relevante o acesso a um instrumento de avaliação objetiva da dor (WALTON et al., 2011; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2014). O acesso a uma ferramenta objetiva, que presumidamente apresente validade e confiabilidade suficientemente

aceitáveis, além de facilidades para o seu acesso, como baixo custo, sistema de fácil operacionalização e portabilidade, poderia retornar resultados satisfatórios na quantificação da dor, e do mesmo modo repercutiria diretamente nos cuidados primários e ambulatoriais em países de baixa renda e em desenvolvimento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS PRIMÁRIOS**

Analisar a validade instrumental de um algômetro de pressão de baixo custo, adaptado de uma balança suspensa.

Analisar a confiabilidade intra e inter examinadores, referentes à um algômetro de pressão adaptado.

#### **2.1.1 Objetivos secundários**

Comparar diferenças entre ensaios de compressão (pico de força compressiva) aplicados em uma plataforma de força e em um algômetro de pressão adaptado.

### **3 HIPÓTESE**

Um algômetro de pressão adaptado que apresente validade e confiabilidade suficientemente aceitáveis pode ser considerado como um equipamento padrão para oferecer informações de força compressiva e avaliação do LDP.

## 4 MATERIAL E MÉTODO

### 4.1 AMOSTRA

Os voluntários foram recrutados na comunidade local, por chamada pública. Em maio de 2019, todos os dados foram coletados nas instalações da Clínica Escola de Fisioterapia da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, com ambiente privativo e adequado às regras sanitárias vigentes.

Os objetivos do estudo foram explicados aos potenciais participantes e estes foram notificados dos benefícios e riscos eventuais envolvidos, previamente à assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE (Anexo A). O Comitê de Ética em Investigação Humana da UFJF aprovou os procedimentos empregados no estudo (número de referência: 02599418.9.0000.5147).

Os investigadores responsáveis por este trabalho estavam comprometidos com a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

### 4.2 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

A amostra foi constituída por 20 adultos jovens de ambos os sexos, com até 30 anos, que apresentaram peso corporal eutrófico ( $18,50$  a  $24,99$  kg/m<sup>2</sup>) de acordo com o índice de massa corporal – IMC, o qual é considerado como preditor de obesidade (INTELANGELO; BORDACHAR; BARBOSA, 2016). O critério de peso corporal corrobora estudos anteriores que sugerem aumento nos limiares de dor a estímulos pressóricos em indivíduos obesos quando comparados a indivíduos não obesos, e que atribuem o efeito ao excesso de gordura subcutânea (PRICE et al., 2013).

### 4.3 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Os critérios de exclusão foram compostos por história de quaisquer doenças ou eventos que poderiam representar risco para os voluntários sob teste ou alterar os resultados das medições, incluindo consumo de álcool por 05 dias antes das avaliações, doenças psiquiátricas, neurológicas e crônicas, bem como distúrbios de movimento e coagulação (MELIA et al., 2015). Autorrelato de dor no ombro; cirurgia anterior do ombro ou qualquer comprometimento diagnosticado do ombro ou da coluna cervical (INTELANGELO; BORDACHAR; BARBOSA, 2016) também compuseram os critérios de exclusão.

### 4.4 CÁLCULO AMOSTRAL

O cálculo amostral foi realizado através do programa G-Power (versão 3.1.5, Franz Faul, Universität Kiel, Alemanha), utilizando como parâmetros os dados obtidos em estudo anterior (WALLER et al., 2015). Considerado o tamanho de efeito médio entre as variáveis estudadas de 0,78, nível alfa de 05%, intervalo de confiança de 95% e poder estimado do teste de 95% ( $1 - \beta = 0,95$ ), retornando um total de 15 indivíduos para um poder amostral de 0,96. Considerando-se 30% de margem amostral, foram incluídos 20 participantes no estudo.

### 4.5 DESENHO DE ESTUDO

Trata-se de um estudo de corte transversal, no qual se analisou a validação instrumental, e a confiabilidade intra e inter examinadores de um algômetro de pressão de baixo custo adaptado de uma balança suspensa.



## 4.6 INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO

Para a avaliação da validade instrumental, foram utilizados os equipamentos plataforma de força e algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa.

### 4.6.1 Plataforma de força

Para a obtenção de dados de força de compressão, a plataforma de força é aceita internacionalmente como padrão-ouro (O'CONNOR; BAWEJA; GOBLE, 2016; CARLOS-VIVAS et al., 2018). O estudo utilizou a plataforma de força de dois eixos (37 cm x 37 cm; PASCO, Passport PS-2142, Roseville, EUA): eixos Y e Z (eixo Z perpendicular ao solo, responsável pelas medidas de força de compressão), a uma taxa de amostragem de 1.000 Hz, usando cinco vigas de força: 04 vigas de canto para medir a força vertical normal (variação de -1.100 N a +4.400 N), e um quinto feixe para medir a força paralela (variando de -1.100 N a +1.100 N) (Figura 1). Os ensaios registrados foram convertidos em kPa, como  $01 \text{ kg/cm}^2 = 98.066 \text{ kPa}$ . Os dados foram coletados e armazenados através do software PASCO Capstone (Versão 1.13.4, PASCO Scientific, 2019).

Figura 1 - Plataforma de força



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.6.2 Algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa

Os algômetros de pressão convencionais disponíveis no mercado são aparatos formados sobretudo por um pistão que registra, via dispositivo eletrônico, a pressão aplicada sobre determinada superfície. Classicamente, 04 estruturas o constituem: superfície de estimulação; painel de controle eletrônico; corpo do aparelho; e cabo de interrupção (PIOVESAN et al., 2001).

O algômetro de pressão portátil adaptado trabalha através de uma balança suspensa, que é um dispositivo operado por bateria (e que, portanto, dispensa um cabo de interrupção), usado para pesar em suspensão. Utiliza para funcionamento uma célula de carga, elemento metálico resistente, mas elástico o suficiente para que uma carga o deforme. A célula de carga conecta-se a um medidor de tensão - o “strain-gauge”, que registra a alteração da resistência elétrica quando a carga de pressão ou tração é colocada sobre a célula de carga. Ou seja, o strain-gauge consegue medir a deformação superficial da célula de carga, e pode determinar as tensões e cargas atuantes em vários componentes. Em seu interior, o fio resistivo presente altera a sua “resistência” de acordo com o alongamento da superfície na qual está colocada, gerando sinais elétricos que são interpretados pela placa de aquisição, e transformando os valores em deformação. A mudança na resistência elétrica (analógica) é convertida em sinal digital pelo strain-gauge. O resultado é legível em uma tela (HANAFEE; RADCLIFFE, 1967). O algômetro de pressão adaptado usado neste estudo (MED.DOR Ltda., Brasil; compressão máxima = 50 kgf, precisão = 0,1 kgf, visor de 03 dígitos) possui um parafuso de 05 cm preso à extremidade distal, e uma superfície de aplicação de borracha redonda de 01 cm<sup>2</sup> acoplada, conforme padronização (Figura 2) (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009; MELIA et al., 2015). A sua calibração pode ser verificada colocando-se um peso conhecido (neste caso, 01 kg) em sua superfície de aplicação. A diferença máxima tolerada entre o peso usado e o valor no display é de 0,1 kgf. O procedimento de calibração foi efetuado 02 vezes antes de todas as medições.

Para a avaliação da validade instrumental do equipamento sob análise, um avaliador independente previamente treinado realizou 60 testes de pressão aleatórios de 03 s cada, com os equipamentos Plataforma de Força e Algômetro de pressão

portátil, adaptado de uma balança suspensa (Figura 3). O intervalo entre as pressões executadas foi de 03 s. As leituras coletadas no visor do algômetro de pressão adaptado de baixo custo foram gravadas por uma câmera externa.

Figura 2 - Algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Figura 3 - Teste de pressão



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

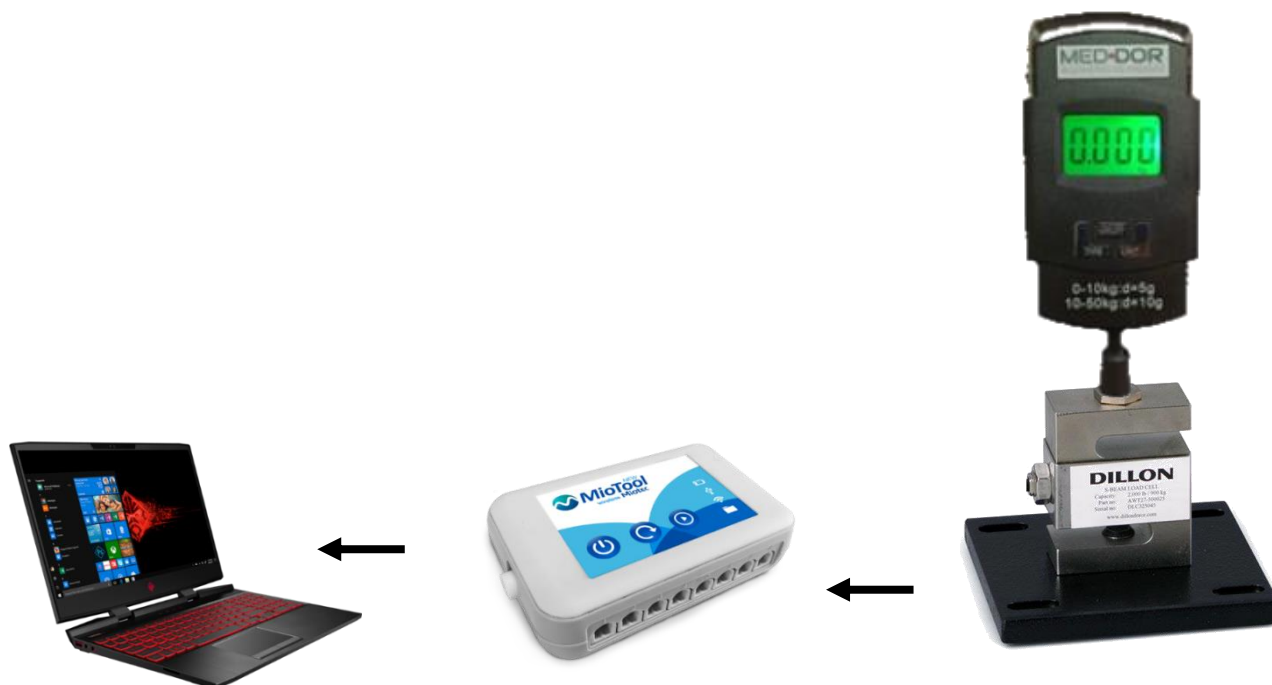
Antecedendo a avaliação da confiabilidade intra e inter examinadores, foi realizado um treinamento para a coleta de dados compressivos, no qual foram utilizados os equipamentos célula de carga de nível laboratorial - CCL e algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa. Para a avaliação da confiabilidade intra e inter examinadores, foi utilizado o algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa.

#### **4.6.3 Célula de carga**

Há evidências do alcance de excelentes medidas de confiabilidade de LDP entre avaliadores de diferentes formações, desde que submetidos a treinamento sistemático (WALLER et al., 2015). Com o objetivo de assegurar a padronização da velocidade de apresentação dos estímulos no decorrer da avaliação da confiabilidade intra e inter examinadores, 02 avaliadores independentes foram preliminarmente treinados. Dentre os equipamentos para o treinamento, foi utilizada a CCL Miotec™, Equipamentos Biomédicos, Porto Alegre, RS, Brasil (tensão-compressão máxima = 200 kgf, precisão = 0,1 kgf, erro máximo de medida = 0,33%).

O protocolo de treinamento de 04 dias consistiu na aplicação constante de pressão progressiva (01kg/s), por algômetro de pressão adaptado de baixo custo, adaptado à CCL, com o software Miotec Suite™ para feedback visual para os avaliadores em treinamento (MioTrainer™ Equipamentos Biomédicos, Porto Alegre, RS, Brasil) por 02 dias não consecutivos (03 horas não consecutivas por dia). A conversão dos sinais analógicos para digitais foi realizada por uma placa A/D (Miotec™, Equipamentos Biomédicos) com faixa de entrada de resolução de 16 bits, frequência de amostragem de 02 kHz, módulo de rejeição comum superior a 100 dB, razão sinal-ruído menor que 03  $\mu$ V Root Mean Square e impedância de 109  $\Omega$ . Todos os dados foram registrados e processados no referido software (Figura 4). Ao fim desta primeira etapa de treinamento, um terceiro avaliador monitorou a pressão (01 kg/s) por outros 02 dias consecutivos, através do mesmo software, sem que os avaliadores em treinamento recebessem feedback visual, para certificação da manutenção da pressão executada.

Figura 4 - Equipamentos usados na coleta de dados compressivos de LDP



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.6.4 Algômetro de pressão portátil adaptado de uma balança suspensa

Na coleta de dados compressivos de LDP foi utilizado o algômetro portátil adaptado de uma balança suspensa, descrito anteriormente no subitem 4.6.1.2.

Em geral, a pesquisa do LDP requer mensurações repetidas, o que torna crucial a manutenção da localização anatômica nas medidas (MELIA et al., 2015). Mapas topográficos de sensibilidade à dor por pressão apontam que regiões ósseas e músculo-tendíneas são menos sensíveis à pressão, quando comparadas a áreas musculares, especialmente as porções medianas. Isto pode ser atribuído a uma maior espessura e a diferenças no fluxo sanguíneo das áreas musculares, quando comparadas às outras duas áreas (ALBURQUERQUE-SENDÍN et al., 2018). No presente estudo, o meio do músculo deltoide foi determinado topograficamente por uma linha horizontal traçada entre a articulação acromioclavicular e a inserção muscular (RIBEIRO et al., 2016). Para assegurar a padronização de dados, um

mesmo examinador foi o responsável por palpar e marcar a pele do local no qual ocorreria a medição do LDP em cada voluntário, antes das medidas, tanto no dia 01 quanto no dia 02. No momento da coleta, cada voluntário permaneceu sentado com o tronco ereto, pés no chão e mãos apoiadas nas coxas.

Na estimativa do LDP, a realização de várias medições em um único local contribui para diminuir o erro decorrente da variação individual e para aumentar a repetibilidade (YLINEN et al., 2007). Para o estudo de confiabilidade intra e inter examinadores, foram realizadas em cada voluntário 03 medidas, com intervalos de 10 a 15 segundos cada (Figura 5) (CALIXTRE et al., 2016). A primeira medida foi excluída, corroborando outros autores que não consideraram o primeiro valor obtido para estimar a verdadeira medida do LDP (YLINEN et al., 2007). Foi utilizada a média das outras 02 medidas para análise (NUSSBAUM; DOWNES, 1998). Em cada medida, o deltoide médio sofreu pressão progressiva de 01 kg/s, até que o voluntário sentisse dor (ANN M. KINSER; WILLIAM A. SANDS, 2009). O participante foi previamente instruído a levantar a mão oposta assim que a sensação de pressão evocasse dor (MELIA et al., 2015), momento no qual o examinador pressionava o botão “tara” para bloquear a leitura, e retirava imediatamente o equipamento, suspendendo a compressão. Em seguida, a leitura do LDP (exibida no visor do equipamento) era registrada pelo examinador, de modo manual (WYTRĄŻEK et al., 2015).

Os 02 avaliadores treinados coletaram 02 vezes (dias 01 e 02) o LDP do deltoide de 20 voluntários (10 mulheres:  $22 \pm 2$  anos;  $63 \pm 13$ kg;  $160 \pm 10$ cm;  $23 \pm 04$ kg/ cm<sup>2</sup>), com intervalo de 03 dias entre as 02 coletas (Figura 5).

Figura 5 - Coleta do LDP no músculo deltoide



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.7 RISCOS

Havia o risco de contaminação cruzada pelo uso do algômetro de pressão. Antes de cada medição, o equipamento utilizado era higienizado com álcool a 70%.

As aferições de LDP, mesmo as usuais que cursam sem incidências, apresentam risco de ferimentos leves. Sob altos níveis de LDP e tentativas repetidas de medida, alguns indivíduos podem apresentar diminuição na coloração da pele na região sob investigação. Para minimizar eventuais riscos, foi realizado treinamento prévio dos avaliadores para assegurar controle na pressão aplicada com o dispositivo, conforme anteriormente descrito (MELIA et al., 2015). Ao longo do estudo, não houve a ocorrência de ferimentos ou alterações na coloração da pele dos voluntários.

#### 4.8 BENEFÍCIOS

Os indivíduos, ao participarem da amostra, obtiveram a medida do LDP do seu músculo deltóide médio, fornecidas por meio de um relatório.

#### 4.9 EXTRAÇÃO DE DADOS

Os picos registrados no presente estudo foram extraídos. Na análise de validade (plataforma de força versus algômetro de pressão adaptado), a principal

medida de desfecho foi o pico de força compressiva (em kPa). Todos os ensaios foram utilizados, compreendendo um total de 60 medidas.

Na análise de confiabilidade, a principal medida de desfecho foi o LDP (algômetro de pressão vs. algômetro de pressão adaptado). A primeira medida foi excluída, corroborando outros autores que não consideraram o valor inicialmente obtido para estimar a verdadeira medida do LDP (YLINEN et al., 2007). Foi utilizada a média das outras 02 medidas subsequentes para análise (NUSSBAUM; DOWNES, 1998), o que compreendeu um total de 80 medidas (20 participantes, 02 medidas por participante, 02 dias).

#### 4.10 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS

O teste de Shapiro-Wilk confirmou a normalidade dos dados. Dados descritivos foram apresentados por meio de médias e desvios-padrão. Algumas medidas foram utilizadas tanto para a avaliação da validade, quanto para a avaliação da confiabilidade. Outras medidas foram aplicáveis apenas a uma das propriedades.

Na análise metodológica de validade, o teste t de Student independente foi aplicado para comparar diferenças entre as medidas obtidas com a plataforma de força e o algômetro de pressão adaptado de baixo custo. O teste  $\alpha$  de Cronbach foi utilizado para avaliar a coerência esperada de ambos equipamentos, medindo o mesmo constructo (no caso, a pressão). O coeficiente de correlação intraclass - ICC [ICC(2,1)] foi calculado para avaliar a concordância entre os equipamentos. A magnitude do ICC foi classificada da seguinte forma: <0,1, trivial; 0,1 a 0,3, pequeno; 0,3 a 0,5, moderado; 0,5 a 0,7, grande; 0,7 a 0,9, muito grande; e >0,9, quase perfeito (HOPKINS et al., 2009). O erro padrão de medida - SEM também foi calculado para fornecer uma medida estimada de erro. Para se estimar o coeficiente de correlação - r e o coeficiente de correlação ajustado/adaptado -  $r^2$  foi utilizada a técnica de regressão linear. O método de Bland-Altman estimou os vieses de medida, com limites inferiores e superiores de aceitação entre os resultados.

Para avaliar as diferenças entre os resultados obtidos intra e inter examinadores, inicialmente foi feita a análise de variância mista com medidas



repetidas (ANOVA), que analisou diferenças entre momentos (momento e momento vs. avaliador), e entre avaliadores (avaliador 01 vs. avaliador 02). Para evitar o uso de múltiplos testes, todos os dados foram retrabalhados, através do teste post hoc de Holm. Considerando-se como constructo o LDP, o teste  $\alpha$  de Cronbach foi utilizado. O intervalo de confiança - IC foi calculado para confirmar o valor de p. O ICC avaliou a concordância entre os resultados referentes aos avaliadores. Baixa confiabilidade foi indicada por valores menores que 0,5, confiabilidade moderada entre 0,5 a 0,75, confiabilidade boa entre 0,75 e 0,9 e confiabilidade excelente maior que 0,90 (KOO; LI, 2016). O SEM também foi calculado. Foi utilizada a técnica de regressão linear e o método de Bland-Altman, compondo deste modo a análise metodológica de confiabilidade intra e inter examinadores.

Todas as análises foram feitas através do software JAMOV (projeto JAMOV, versão 0.9, 2018).

## 5 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados em forma de artigo, publicado online em 12/10/2020 na revista Peer J, DOI: 10.7717/peerj.10162.eCollection 2020 (Anexo B).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento sob investigação apresentou validade e confiabilidade suficientemente aceitáveis. Replicou com precisão os valores que foram obtidos com uma plataforma de força laboratorial, com resultados muito satisfatórios para a correlação entre os equipamentos, e desvios-padrão que permaneceram em valores demasiadamente baixos. Não se encontraram diferenças significativas para a confiabilidade intra e inter examinadores do equipamento. Com estes resultados, inferimos que o LDP de locais do corpo que não o músculo deltoide também deva retornar resultados adequados para a avaliação direta por um algômetro de pressão adaptado. Neste sentido, trabalhos futuros são desejáveis, para maiores contribuições.

O procedimento de validação permitirá o uso do algômetro de pressão adaptado em avaliações do LDP. A perspectiva futura com relação ao equipamento é a de que seu uso rotineiro provavelmente poderá repercutir diretamente nos cuidados primários e especializados em países de baixa renda e em desenvolvimento.

Concluimos que as facilidades no acesso ao dispositivo, como o baixo custo, o sistema operacional de fácil operacionalização e a sua portabilidade o tornam uma ferramenta objetiva e barata para quantificação da dor. Sua aplicabilidade se dá em ambientes de pesquisa e ambulatoriais, podendo ser usado por fisioterapeutas como também pelos diversos profissionais que lidam com quadros álgicos. Por fim, o dispositivo também apresentou potencial para ser reconhecido como uma alternativa viável para equipamentos caros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUERQUE-SENDÍN, F. et al. Spotlight on topographical pressure pain sensitivity maps: A review. **Journal of Pain Research**, v. 11, p. 215–225, 2018.

ANN M. KINSER, 1; WILLIAM A. SANDS, 1 AND MICHAEL H. STONE 2. RELIABILITY AND VALIDITY OF A PRESSURE ALGOMETER. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 23, n. 1, p. 2–4, 2009.

CALIXTRE, L. B. et al. Effects of cervical mobilization and exercise on pain, movement and function in subjects with temporomandibular disorders: A single group pre-post test. **Journal of Applied Oral Science**, v. 24, n. 3, p. 188–197, 2016.

CARLOS-VIVAS, J. et al. Validation of the iPhone app using the force platform to estimate vertical jump height. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 58, n. 3, p. 227–232, 2018.

CASTIEN, R. F.; VAN DER WOUDE, J. C.; DE HERTOGH, W. Pressure pain thresholds over the cranio-cervical region in headache: a systematic review and meta-analysis. **Journal of Headache and Pain**, v. 19, n. 1, 2018.

CHEATHAM, S. W. et al. Concurrent validation of a pressure pain threshold scale for individuals with myofascial pain syndrome and fibromyalgia. **Journal of Manual and Manipulative Therapy**, v. 26, n. 1, p. 25–35, 2018.

CUNHA, C. O. et al. Determination of a pressure pain threshold cut-off value for the diagnosis of temporomandibular joint arthralgia. **Journal of Oral Rehabilitation**, v. 41, n. 5, p. 323–329, 2014.

DURGA, P. et al. Validation of simple and inexpensive algometry using sphygmomanometer cuff and neuromuscular junction monitor with standardized laboratory algometer. **Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology**, v. 32, n. 1, p. 74–79, 2016.

GIBSON, S. J.; FARRELL, M. A review of age differences in the neurophysiology of nociception and the perceptual experience of pain. **Clinical Journal of Pain**, v. 20, n. 4, p. 227–239, 2004.

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, M. et al. Moving beyond the limitations of the visual analog scale for measuring pain: Novel use of the general labeled magnitude scale in a clinical setting. **American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation**, v. 93, n. 1, p. 75–81, 2014.

HANAFEE, J. E.; RADCLIFFE, S. V. Effect of high pressure on a strain gauge load cell. **Review of Scientific Instruments**, v. 38, n. 3, p. 328–331, 1967.

HOPKINS, W. G. et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, n. 1, p. 3–12, 2009.

IMAMURA, M. et al. Pressure pain thresholds in patients with chronic nonspecific low back pain. **Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation**, v. 29, n. 2, p. 327–336, 2016.

INTELANGELO, L.; BORDACHAR, D.; BARBOSA, A. W. C. Effects of scapular taping in young adults with shoulder pain and scapular dyskinesis. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, v. 20, n. 3, p. 525–532, 2016.

KOO, T. K.; LI, M. Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. **Journal of Chiropractic Medicine**, v. 15, n. 2, p. 155–163, 2016.

MELIA, M. et al. Measuring mechanical pain: The refinement and standardization of pressure pain threshold measurements. **Behavior Research Methods**, v. 47, n. 1, p. 216–227, 2015.

NIJS, J.; VAN HOUDENHOVE, B.; OOSTENDORP, R. A. B. Recognition of central sensitization in patients with musculoskeletal pain: Application of pain neurophysiology in manual therapy practice. **Manual Therapy**, v. 15, n. 2, p. 135–141, 2010.

NUSSBAUM, E. L.; DOWNES, L. Reliability of clinical pressure-pain algometric measurements obtained on consecutive days. **Physical Therapy**, v. 78, n. 2, p. 160–169, 1998.

O'CONNOR, S. M.; BAWEJA, H. S.; GOBLE, D. J. Validating the BTrackS Balance Plate as a low cost alternative for the measurement of sway-induced center of pressure. **Journal of Biomechanics**, v. 49, n. 16, p. 4142–4145, 2016.

PIOVESAN, E. J. et al. Utilização da algometria de pressão na determinação dos limiares de percepção dolorosa trigeminal em voluntários sadios: Um novo protocolo de estudos. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 59, n. 1, p. 92–96, 2001.

PRICE, R. C. et al. The role of excess subcutaneous fat in pain and sensory sensitivity in obesity. **European Journal of Pain (United Kingdom)**, v. 17, n. 9, p. 1316–1326, 2013.

RAJA, S. N. et al. The revised International Association for the Study of Pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. **Pain**, v. 161, n. 9, p. 1976–1982, 2020.

RIBEIRO, I. L. et al. Topographical pressure pain sensitivity maps of the shoulder region in individuals with subacromial pain syndrome. **Manual Therapy**, v. 21, p. 134–143, 2016.

SOUZA, A. C. DE; ALEXANDRE, N. M. C.; GUIRARDELLO, E. DE B. Propriedades psicométricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. **Epidemiologia e serviços de saúde : revista do Sistema Único de**

**Saude do Brasil**, v. 26, n. 3, p. 649–659, 2017.

SULLIVAN, G. M. A Primer on the Validity of Assessment Instruments. **Journal of Graduate Medical Education**, v. 3, n. 2, p. 119–120, 2011.

VASCONCELOS, F. H.; ARAÚJO, G. C. DE. Prevalence of chronic pain in Brazil: a descriptive study. **Brazilian Journal Of Pain**, v. 1, n. 2, p. 176–179, 2018.

VAUGHAN, B.; MCLAUGHLIN, P.; GOSLING, C. Validity of an electronic pressure algometer. **International Journal of Osteopathic Medicine**, v. 10, n. 1, p. 24–28, 2007.

WALLER, R. et al. Reliability of pressure pain threshold testing in healthy pain free young adults. **Scandinavian Journal of Pain**, v. 9, p. 38–41, 2015.

WALTON, D. et al. Reliability, standard error, and minimum detectable change of clinical pressure pain threshold testing in people with and without acute neck pain. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 41, n. 9, p. 644–650, 2011.

WALTON, D. M. et al. Risk factors for persistent problems following acute whiplash injury: Update of a systematic review and meta-analysis. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, v. 43, n. 2, p. 31–43, 2013.

WYTRĄŻEK, M. et al. Evaluation of palpation, pressure algometry, and electromyography for monitoring trigger points in young participants. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics**, v. 38, n. 3, p. 232–243, 2015.

YLINEN, J. et al. Evaluation of repeatability of pressure algometry on the neck muscles for clinical use. **Manual Therapy**, v. 12, n. 2, p. 192–197, 2007.

## ANEXO A – TCLE



### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa “**CONFIABILIDADE INTRA E INTER-EXAMINADOR DE ALGOMETRO DE PRESSÃO**”. O motivo que nos leva a realizar esta pesquisa é avaliar a confiabilidade de um equipamento para medição da dor percebida pelo paciente. Nesta pesquisa pretendemos avaliar se as medidas de dor feitas em um dia são semelhantes às medidas realizadas três dias depois. Caso você concorde em participar, vamos fazer as seguintes atividades com você em duas sessões separadas por três dias: iremos pressionar o equipamento em seu braço e anotar o valor que você suporta de pressão até que sintamos sensação inicial de dor. Esta pesquisa tem um risco, que é: alguma lesão devido à pressão exercida. Mas, para diminuir a chance desse risco acontecer, os examinadores serão devidamente treinados para retirar a pressão assim que você afirmar ter sentido alguma dor à pressão. A pesquisa pode ajudar a entender melhor se o equipamento é viável e preciso para medição da sensação dolorosa à pressão, bem como fornecer a você um relatório sobre as medições realizadas. Para participar deste estudo você não vai ter nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Apesar disso, se você tiver algum dano por causa das atividades que fizermos com você nesta pesquisa, você tem direito a buscar indenização. Você terá todas as informações que quiser sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Mesmo que você queira participar agora, você pode voltar atrás ou parar de participar a qualquer momento. A sua participação é voluntária e o fato de não querer participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que você é atendido (a). O pesquisador não vai divulgar seu nome. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado (a) em nenhuma publicação que possa resultar. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais de sigilo, atendendo a legislação brasileira (Resolução Nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos. Declaro que concordo em participar da pesquisa e que me foi dada a oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Juiz de Fora, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Participante

\_\_\_\_\_  
Assinatura do (a) Pesquisador (a)

**Nome do Pesquisador Responsável:** ALEXANDRE C. BARBOSA Campus Universitário da UFJF-GV  
**Faculdade/Departamento/Instituto:** DEPARTAMENTO DE FISIOTERAPIA / INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA VIDA  
**CEP:** 36036-900  
**Fone:** 33 991541851  
**E-mail:** alexwbarbosa@hotmail.com

Rubrica do Participante de pesquisa ou responsável: \_\_\_\_\_

Rubrica do pesquisador: \_\_\_\_\_

**Em caso de dúvidas, com respeito aos aspectos éticos desta pesquisa, você poderá consultar:**

CEP - Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos - UFJF

Campus Universitário da UFJF

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa

CEP: 36036-900

Fone: (32) 2102- 3788 / E-mail: cep.propesq@ufjf.edu.br

## ANEXO B – Artigo Publicado

Fonte: Peer J, DOI: 10.7717/peerj.10162.eCollection 2020



## Instrumental validity and intra/inter-rater reliability of a novel low-cost digital pressure algometer

Daniel Jerez-Mayorga<sup>1</sup>, Carolina Fernanda dos Anjos<sup>2</sup>,  
Maria de Cássia Macedo<sup>2</sup>, Ilha Gonçalves Fernandes<sup>2</sup>,  
Esteban Aedo-Muñoz<sup>3</sup>, Leonardo Intelangelo<sup>4</sup> and  
Alexandre Carvalho Barbosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Rehabilitación, Universidad Andrés Bello, Santiago, Santiago, Chile

<sup>2</sup> Department of Physical Therapy, Federal University of Juiz de Fora, Governador Valadares, Minas Gerais, Brazil

<sup>3</sup> Department of Physical Education, Federal University of Juiz de Fora, Governador Valadares, Minas Gerais, Brazil

<sup>4</sup> Department of Physical Therapy, Universidad del Gran Rosario, Rosario, Santa Fe, Argentina

### ABSTRACT

**Background:** Pain assessment is a key measure that accompanies treatments in a wide range of clinical settings. A low-cost valid and reliable pressure algometer would allow objective assessment of pressure pain to assist a variety of health professionals. However, the pressure algometer is often expensive, which limits its daily use in both clinical and research settings.

**Objectives:** This study aimed to assess the instrumental validity, and the intra- and inter-rater reliability of an inexpensive digital adapted pressure algometer.

**Methods:** A single rater applied 60 random compressions on a force platform. The pressure pain thresholds of 20 volunteers were collected twice (3 days apart) by two raters. The main outcome measurements were as follows: the maximal peak force (in kPa) and the pressure pain threshold (adapted pressure algometer vs. force platform). Cronbach's  $\alpha$  test was used to assess internal consistency. The standard error of measurement provided estimates of measurement error, and the measurement bias was estimated with the Bland-Altman method, with lower and upper limits of agreement.

**Results:** No differences were observed when comparing the compression results ( $P = 0.51$ ). The validity and internal intra-rater consistencies ranged from 0.84 to 0.99, and the standard error of measurement from 0.005 to 0.04 kPa. Very strong ( $r = 0.73$ – $0.74$ ) to near-perfect ( $r = 0.99$ ) correlations were found, with a low risk of bias for all measurements. The results demonstrated the validity and intra-rater reliability of the digitally adapted pressure algometer. Inter-rater reliability results were moderate ( $r = 0.55$ – $0.60$ ; Cronbach's  $\alpha = 0.71$ – $0.75$ ).

**Conclusion:** The adapted pressure algometer provide valid and reliable measurements of pressure pain threshold. The results support more widespread use of the pressure pain threshold method among clinicians.

Submitted 5 March 2020  
Accepted 21 September 2020  
Published 12 October 2020

Corresponding author  
Alexandre Carvalho Barbosa,  
alexandre.barbosa@ufjf.edu.br

Academic editor  
Denis Marcellin-Little

Additional Information and  
Declarations can be found on  
page 11

DOI 10.7717/peerj.10162

© Copyright  
2020 Jerez-Mayorga et al.

Distributed under  
Creative Commons CC-BY 4.0

### OPEN ACCESS

**How to cite this article** Jerez-Mayorga D, dos Anjos CF, Macedo MdC, Fernandes IG, Aedo-Muñoz E, Intelangelo L, Barbosa AC. 2020. Instrumental validity and intra/inter-rater reliability of a novel low-cost digital pressure algometer. *PeerJ* 8:e10162 DOI 10.7717/peerj.10162



**Subjects** Anesthesiology and Pain Management, Drugs and Devices, Evidence Based Medicine, Kinesiology

**Keywords** Pain assessment, Validity, Reliability, Pressure algometry, Pressure pain threshold, Inexpensive

## INTRODUCTION

Pain has been described as a multidimensional construct involving psychological and physical domains with different patterns depending on the emotional state (*Melia et al., 2015*). These characteristics may impair conclusions and lead to biased clinical reasoning regarding the patterns of group pain due to intra-group and longitudinal variability in subjects' co-morbidities and momentaneous emotional state. Nevertheless, physical assessment is essential to provide objective data to compare the prospective effects of interventions for pain management (*Imamura et al., 2013; Calixtre et al., 2016; Intelangelo, Bordachar & Barbosa, 2016*).

Pain is mostly assessed by patient self-reports using the visual analog scale (*Walton et al., 2011*). Self-reported pain intensity is important and reflects physiological and psychological features. However, it can be difficult to interpret because of its subjectivity and overestimation of pain level (*González-Fernández et al., 2014*). Objective pain assessment is essential to establish a prospective evaluation, compare baseline results to other timeline assessments, or even as a prognostic measure to predict future outcomes (*Walton et al., 2011, 2013*). Thus, pressure algometry is a diagnostic aid used to assess some musculoskeletal problems. The pressure pain threshold has been used to aid the diagnosis of pain by providing a quantified force value of tissue tenderness and occurs at the minimum transition point when the applied pressure is sensed as pain (*Kinser, Sands & Stone, 2009; Cunha et al., 2014*). The pressure algometer is an instrument used to assess the pressure pain threshold for both regional and widespread musculoskeletal pain (*Durga et al., 2016*). This equipment includes a system to convert the force applied through a 1 cm<sup>2</sup> pressure application surface to Newtons (N/cm<sup>2</sup>) or kilograms of force (kgf/cm<sup>2</sup>), and a display. The units can be easily converted to kilopascal (kPa), the international metric for pressure (1 kg/cm<sup>2</sup> = 98.066 kPa). The pressure algometer enables the rater to semi-objectively quantify the mechanical sensitivity to pain level and the recovery of underlying problems or soreness levels (*Kinser, Sands & Stone, 2009; Albuquerque-Sendín et al., 2018*).

The instrumental validity of commercial pressure algometers has already been assessed in previous studies. *Kinser, Sands & Stone (2009)* and *Vaughan, McLaughlin & Gosling (2007)* manually applied pressure on a force platform to test the reliability and construct validity of pressure algometers. Both studies found high levels of correlation between the force platform and pressure algometers. Other studies have assessed the responsiveness of a pressure algometer to diagnose dysfunctional conditions. *Ko et al. (2016)* assessed the correlation between a modified pressure algometer and a commercial algometer to assess the pressure pain threshold of the epigastric region. Unfortunately, commercially available pressure algometers are expensive and may require specific software for reporting and viewing the results, resulting in more time and training required to assess the

pressure pain threshold. The validation of an easy-to-read, low-cost, digitally adaptable pressure algometer would enable widespread quantitative measurements of pressure pain thresholds in clinical practice routine, benefiting early assessment of pain conditions in low-income and developing countries, mainly in primary care (Kinser, Sands & Stone, 2009; O'Connor, Baweja & Goble, 2016). A portable pressure algometer adapted from a hanging scale may be a cost-effective alternative to ensure accurate algometry assessments.

The hanging scale is a battery-operated instrument used to weigh objects suspended from an attachment. The equipment uses a load cell, which is a metallic sturdy element, yet elastic enough for a load to deform it. The load cell is attached to a strain gauge, which reads the change in electrical resistance when a pressure or traction load is placed in the load cell. The change in electrical resistance is converted to a digital signal by the strain gauge, and the result appears on a display (Hanafee & Radcliffe, 1967). Among other measures, the correlation level between the result of a certain instrument and some external criterion must be confirmed to determine the instrumental validity of an equipment. The criterion has to be a widely accepted measure and considered as the gold-standard method, with the same measurement characteristics of the assessment tool (De Souza, Alexandre & De Guirardello, 2017; Sullivan, 2011).

The purpose of this study was to examine the instrumental validity as well as the intra- and inter-rater reliability of a low-cost pressure algometer adapted from a hanging scale. Validity was assessed by comparing differences in the measurements of a series of random peak forces applied on a laboratory-grade force platform. Force platforms measure vertical ground reaction forces in response to compressions applied on the surface. They are considered as the gold-standard devices for ground reaction forces owing to their high measurement precision (O'Connor, Baweja & Goble, 2016; Carlos-Vivas et al., 2018). The hypothesis is that a low-cost adapted pressure algometer is valid and reliable to be considered an acceptable method to assess the pressure pain threshold.

## MATERIALS AND METHODS

### Equipment

All data were collected at the facilities of the Clinic-School of Physical Therapy, Federal University of Juiz de Fora, in May 2019. The low-cost adapted pressure algometer (MED.DOR Ltd., Brazil; maximum compression = 50 kgf, precision = 0.1 kgf, 3-digit display) had a 5-cm screw attached to the distal extremity. A 1-cm<sup>2</sup> round rubber application surface was attached to follow the standardization for pressure algometry (Fig. 1). The low-cost adapted pressure algometer calibration is checked by placing a known weight (1 kg) on the application surface. The maximal tolerated difference between the weight and the value on the display is 0.1 kgf. The adapted algometer used in the present study was brand new, and the calibration was checked twice before any measurement.



**Figure 1** Adapted pressure algometer—PA. (1) Display; (2) On-Off button; (3) Tare button; (4) Unit selection button; (5) Adapted terminal.

Full-size [DOI: 10.7717/peerj.10162/fig-1](https://doi.org/10.7717/peerj.10162/fig-1)

A two-axis force platform (37 cm × 37 cm; Pasport PS-2142; PASCO, Roseville, CA, USA) collected data using five force beams (sample rate = 1,000 Hz). Four beams in the corner were used to measure the vertical force (range: −1,100 N to +4,400 N) and a 5th beam measured the force in a parallel axis (range: −1,100 N to +1,100 N). The recorded trials were converted to kPa ( $1 \text{ kg/cm}^2 = 98.066 \text{ kPa}$ ).

## Procedures

### *Instrumental validity*

An independent rater performed 60 random 3-s pressure trials using the adapted pressure algometer on the force platform with an interval of 3 s. Data were collected and stored using the PASCO Capstone Software (Version 1.13.4; PASCO Scientific, 2019), and the low-cost adapted pressure algometer display readings were recorded using an off-board USB synchronized camera.

### *Intra-and inter-rater reliability*

Before the assessment of any participant, two independent raters performed a 4-day training protocol. The protocol consisted of applying constant-progressive pressure with a low-cost adapted pressure algometer on a laboratory-grade load cell (Miotec™ Biomedical Equipment, Porto Alegre, RS, Brazil; maximum tension-compression = 200 kgf, precision = 0.1 kgf, maximum error = measurement = 0.33%) with Miotec™ software for visual feedback (MioTrainer™ Biomedical Equipment, Porto Alegre, RS, Brazil) for two nonconsecutive days (3 nonconsecutive hours per day). The conversion from analog to digital signals was performed by an A/D board (Miotec™ Biomedical Equipment, Porto Alegre, RS, Brazil) with a 16-bit resolution input range, a sampling frequency of 2 kHz, a common rejection module greater than 100 dB, a signal-noise ratio less than 03  $\mu$ V, root mean square, and impedance of 109  $\Omega$ . All data were recorded and processed using the Miotec Suite™ software (Miotec™ Biomedical Equipment, Porto Alegre, RS, Brazil). An assessor monitored the pressure applied by the raters for two consecutive days using the same software, but the raters did not receive any visual feedback. The training was aimed at ensuring the velocity to apply pressure using a low-cost adapted algometer (1 kg/s).

The independently trained raters collected the middle deltoid muscle's pressure pain threshold of 20 participants (10 women;  $22 \pm 2$  years;  $63 \pm 13$  kg;  $160 \pm 10$  cm;  $23 \pm 4$  kg/cm<sup>2</sup>). The exclusion criteria for participants included: body mass index  $>28$  kg/cm<sup>2</sup>, any self-reported health issues, alcohol consumption within 5 days prior to the assessments, shoulder pain, previous shoulder surgery, or any diagnosed shoulder or cervical impairment. The objectives of the study were explained to the subjects, who were notified of the benefits and potential risks involved before signing an informed consent form prior to participation. The Federal University of Juiz de Fora ethics committee for human investigation approved the procedures employed in the study (reference number: 02599418.9.0000.5147).

The pressure pain threshold was collected twice (3 days apart: days 1 and 2). To evaluate the intra- and inter-rater reliability, the following positioning was adopted: (1) the participant remained seated with the feet on the floor, (2) the hands rested on the thighs, and (3) the trunk was erect. The middle deltoid's site received progressive 1 kg/s pressure controlled by a metronome until the participant experienced pain (Kinser, Sands & Stone, 2009). An effort was made to standardize the anatomic locations of each session. The same rater was responsible for palpating and marking the pressure pain threshold site on each subject before any measurements, both on days 1 and 2. The middle



deltoid's site was topographically determined in the middle of a horizontal line drawn between the acromioclavicular joint and the deltoid muscle insertion (Ribeiro *et al.*, 2016). Three measurements were performed for each site, with 10–15 s apart. The first measurement was discarded (Ylinen *et al.*, 2007; Nussbaum & Downes, 1998).

The participant lifted the opposite hand when the pressure pain threshold was achieved, that is, when the applied pressure evoked pain. The examiner pressured the “tare” button to lock the reading, immediately retracting the adapted pressure algometer. Then, the pressure pain threshold reading was registered (Wytrząsek *et al.*, 2015).

### Statistical analysis

The recorded peaks were then extracted. All trials were used for analysis, consisting of the following: a total of (1) 60 measurements (validity analysis, force platform vs. adapted pressure algometer) and (2) 80 measurements (reliability analysis). Data are presented as mean values and standard deviations. The independent Student's *t*-test was used to compare differences between measurements in the validation process. The intra- and inter-rater differences were compared using the mixed between- (rater 1 vs. rater 2) and within-subject analysis (moment and moment\*rater) of variance with repeated measures. All data were reworked using Holm's post hoc test to avoid multiple testing. Significance was set at  $p < 0.05$ . Intraclass correlation coefficients ( $ICC_{(2,1)}$ ) were calculated to compare the results between both types of equipment and raters. Poor reliability was indicated by values less than 0.5, moderate reliability between 0.5 to 0.75, good reliability between 0.75 and 0.9, and excellent reliability greater than 0.90 (Koo & Li, 2016). Chronbach's  $\alpha$  test was used to assess the expected correlation of both types of equipment measuring the same construct. The standard error of measurement (SEM) was also calculated to provide an estimate of measurement error. A linear regression was used to estimate the coefficient of correlation ( $r$ ) and the adjusted coefficient of determination ( $r^2$ ). The magnitude of the correlation was qualitatively interpreted using the following thresholds:  $<0.1$ , trivial; 0.1–0.3, small; 0.3–0.5, moderate; 0.5–0.7, large; 0.7–0.9, very large; and  $>0.9$ , nearly perfect (Hopkins *et al.*, 2009). The Bland–Altman method estimated the measurement bias, with lower and upper limits of agreement between results. Statistical analyses were performed using Jamovi software (Jamovi project, version 0.9, 2018).

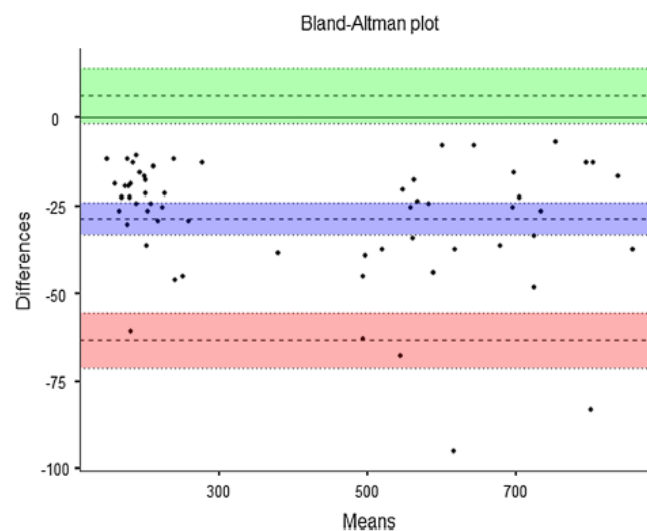
## RESULTS

### Validity: Force platform vs. PA

No significant differences were observed in pressure trials (Table 1) between the adapted pressure algometer ( $405.63 \pm 235.34$  kPa) and the force platform ( $434.15 \pm 239.18$  kPa;  $p = 0.25$ ). The  $ICC_{(2,1)}$  and Cronbach's  $\alpha$  returned values of 0.98 and 0.99, respectively. The SEM returned a value of 0.005 kgf, and the linear regression showed statistically significant results ( $r = 0.99$ ; adjusted  $r^2 = 0.99$ ;  $p = 0.001$ ). The Bland–Altman results showed high levels of agreement (Fig. 2).

**Table 1** Validity, intra-and inter-rater reliability pairwise comparisons.

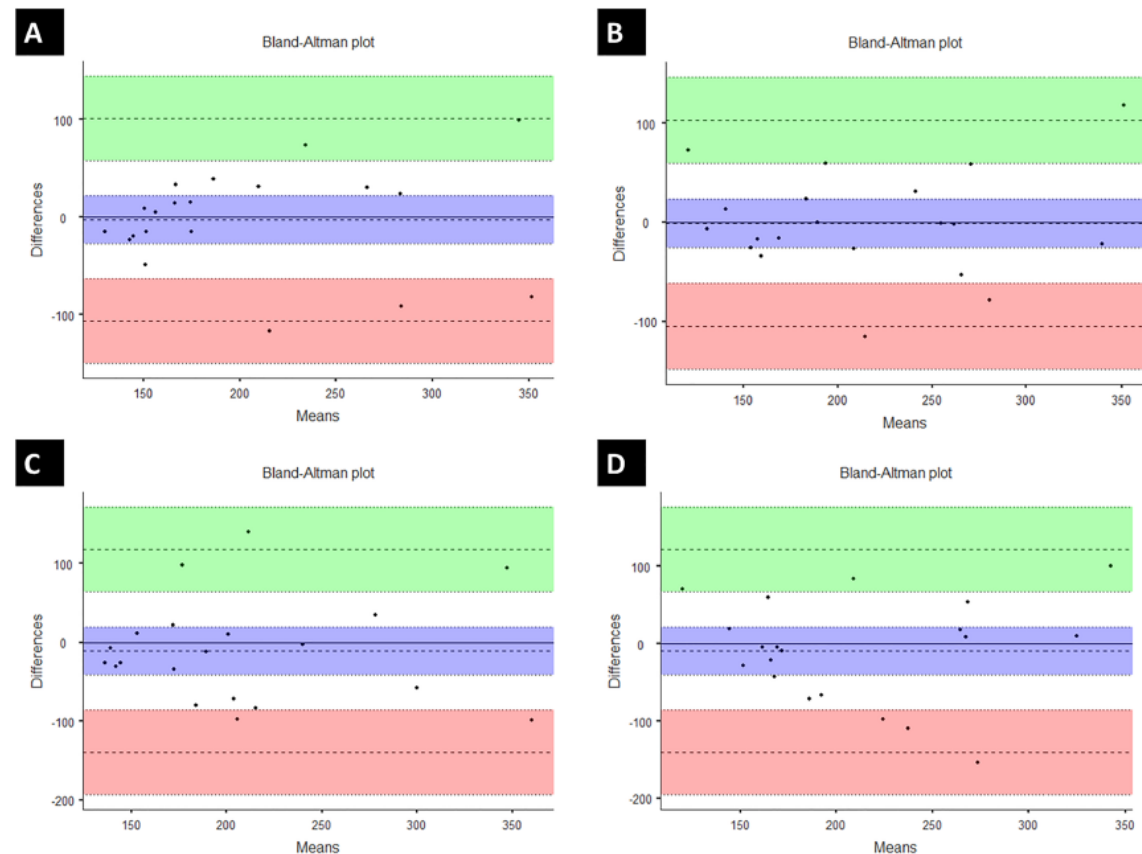
Type of Analysis	Outcome	$\rho_{\text{holm}}$	Mean difference	95% Confidence Interval	
				Lower	Upper
Validity	Adapted Pressure Algometer vs. Force Platform	0.512	-28.5	-114	57.3
Intra-rater	Rater 1 - Moment 1 vs. Moment 2	0.83	-2.55	-27.3	22.2
	Rater 2 - Moment 1 vs. Moment 2	0.93	-1.03	-25.9	23.9
Inter-rater	Moment 1 - Rater 1 vs. Rater 2	0.65	-10.79	-58.1	36.5
	Moment 2 - Rater 1 vs. Rater 2	0.68	-9.27	-54.5	35.9



**Figure 2** Bland-Altman plot: instrumental validity. Bias = -28.52 (95% confidence interval (CI) [-33.10 to -23.9]); lower limit of agreement (LLA) = -63.29 (95% CI [-71.17 to -55.4]); upper limit of agreement (ULA) = 6.25 (95% CI [-1.62 to 14.1]). [Full-size !\[\]\(ccb05c32e2fed4b3b236d400fb1b5b05\_img.jpg\) DOI: 10.7717/peerj.10162/fig-2](https://doi.org/10.7717/peerj.10162/fig-2)

### Intra- and inter-rater reliability

The pressure pain threshold from both raters showed very low variation over time (Rater 1: Day 1 =  $203 \pm 74$  kPa, Day 2 =  $206 \pm 71.6$  kPa; Rater 2: Day 1 =  $214 \pm 73.7$  kPa, Day 2 =  $215 \pm 69.6$  kPa). The intra-rater comparison showed no significant differences (Moment:  $F = 0.05$ ;  $p = 0.83$  and Moment\*Rater:  $F = 0.01$ ;  $p = 0.93$ ) (Table 1). The ICC<sub>(2,1)</sub> and Cronbach's  $\alpha$  analysis returned relevant values (Rater 1: ICC<sub>(2,1)</sub> = 0.76, Cronbach's  $\alpha = 0.85$ ; Rater 2: ICC<sub>(2,1)</sub> = 0.73, Cronbach's  $\alpha = 0.84$ ). The SEM values were low (Rater 1 = 0.02, Rater 2 = 0.01), and moderate values were also obtained in the linear regression analysis (Rater 1:  $r = 0.74$ , adjusted  $r^2 = 0.52$ ; Rater 2:  $r = 0.73$ , adjusted  $r^2 = 0.50$ ). The Bland-Altman results showed high levels of agreement (Fig. 3).



**Figure 3** Bland-Altman plot: intra-rater reliability. (A) Rater 1: Bias =  $-2.55$  (95% confidence interval (CI)  $[-24.3$  to  $22.2]$ ); lower limit of agreement (LLA) =  $-106.38$  (95% CI  $[-149$  to  $-63.3]$ ); upper limit of agreement (ULA) =  $101.28$  (95% CI  $[58.2$ – $144.4]$ ). (2) (B) Rater 2: Bias =  $-1.03$  (95% CI  $[-25.9$  to  $23.9]$ ); LLA =  $-105.28$  (95% CI  $[-148.6$  to  $-62]$ ); ULA =  $103.22$  (95% CI  $[59.9$ – $146]$ ). Inter-rater reliability. (C) Day 1: Bias =  $-10.8$  (95% CI  $[-41.6$  to  $20]$ ); LLA =  $-139.8$  (95% CI  $[-193.4$  to  $-86.3]$ ); ULA =  $118.2$  (95% CI  $[64.7$ – $171.8]$ ); (D) Day 2: Bias =  $-9.27$  (95% CI  $[-40.7$  to  $22.1]$ ); LLA =  $-140.77$  (95% CI  $[-195.4$  to  $-86.2]$ ); ULA =  $122.23$  (95% CI  $[67.6$ – $176.8]$ ). Full-size [DOI: 10.7717/peerj.10162/fig-3](https://doi.org/10.7717/peerj.10162/fig-3)

The inter-rater reliability showed no differences among measurements ( $F = 0.22$ ;  $p = 0.64$ ) (Table 1), with moderate results for reliability analysis (Day 1:  $ICC_{(2,1)} = 0.56$ , Cronbach's  $\alpha = 0.75$ ; Day 2:  $ICC_{(2,1)} = 0.54$ , Cronbach's  $\alpha = 0.71$ ). The SEM results showed very low values (Day 1:  $0.04$  kgf, Day 2:  $0.02$  kgf), and moderate values in the linear regression analysis (Day 1:  $r = 0.60$ , adjusted  $r^2 = 0.33$ ; Day 2:  $r = 0.55$ , adjusted  $r^2 = 0.26$ ). The Bland-Altman analysis showed acceptable levels of agreement (Fig. 3).

## DISCUSSION

This study was designed to examine the instrumental validity and the intra- and inter-rater reliability of an adapted low-cost pressure algometer. The results showed no significant

differences in the peak compressive force recorded from the adapted pressure algometer and the force platform. A significant correlation was observed between the low-cost adapted algometer and the force platform while measuring the same construct. These findings support the primary hypothesis, which contends that a low-cost pressure algometer is both valid and reliable to be considered as a standard equipment to assess the pressure pain threshold. Therefore, the tested device seems to be an acceptable alternative to expensive instruments.

Previous studies showed acceptable levels of validity and reliability of other digital algometry systems (Kinser, Sands & Stone, 2009; Durga et al., 2016). Kinser, Sands & Stone (2009) tested the construct validity of a digital pressure algometer using the same protocol as our study by manually applying pressure on a force platform. The authors used ten sets of five applications to 80 N and one additional set of five applications to subsequent levels of progressive 10 N (20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, and 110 N). The results showed high correlation between the tested algometer and the force platform ( $r = 0.99$ ) for both 80 N and incremental trials. Vaughan, McLaughlin & Gosling (2007) also used the force platform as a reference instrument to test the validity of a digital pressure algometer. The authors applied 300 vertical pressures on the force platform with progressive pressure rates (10, 20, 30, 40, and 50 kPa/s). The result showed an excellent ICC range (0.90–0.99) for all comparisons. In general, all previous studies and the present work suggest the validity of the results obtained from a digital pressure algometer. These excellent results could be attributed to the strain gauge-based system used to acquire the signals. The conversion from analogic (load cell deformation) to electrical-digital signal (strain gauge) is very effective, even in very affordable systems. As the resistance varies in a sturdy element with the applied force, the strain gauge converts the force (in this case, pressure) into a change in electrical resistance that can be measured.

Several studies have evaluated the reliability of distinct pressure algometers as a tool to distinguish healthy individuals from those with musculoskeletal disorders. Balaguier, Madeleine & Vuillerme (2016) found high reliability between all three pressure pain threshold measures at sites in the lower back. Walton et al. (2011) assessed the intra-rater and inter-rater reliability of an accessible digital algometer in 60 healthy volunteers and 40 individuals with neck pain. The authors tested the upper fibers of the trapezius and tibialis anterior muscles. The intra-rater ICC results in both groups ranged from 0.94 to 0.97 for the trapezius and tibialis anterior muscles. The inter-rater ICC range (0.79–0.90) was lower than that of the intra-rater due to variations between observers. However, both results were considered adequate. Waller et al. (2015) found high intra- and inter-rater reliability (ICC = 0.81–0.99; ICC = 0.92–0.95, respectively) using five research assistants. Each assistant tested 20 pain-free subjects at the wrist, leg, cervical, and lumbar spine. The intra-rater SEM ranged between 79 and 100 kPa. However, Van Wilgen, Van der Noord & Zwerver (2011) found lower values for intra-rater reliability compared to inter-rater reliability of pressure algometry in healthy volleyball athletes and those with patellar tendinopathy. The authors found high inter-rater reliability (ICC = 0.93), but only moderate intra-rater reliability (ICC = 0.60) for pain pressure threshold measurements. The authors argued that the lower intra-rater ICC values were



probably due to variance within the observer and also within the athletes, as the pain in patellar tendinopathy varies over time. The diagnosis of fibromyalgia utilizes the pressure pain threshold as a key assessment to distinguish healthy individuals from those with fibromyalgia (Gómez-Perretta *et al.*, 2016; Cheatham *et al.*, 2018). Neck pain, cranio-cervical headache, and temporomandibular disorders also include the pressure pain threshold as an important component for clinical reasoning about the level of severity, influencing the treatment direction (Walton *et al.*, 2011; Cunha *et al.*, 2014; Castien, Van der Wouden & De Hertogh, 2018).

However, those previous studies used commercial pressure algometers. For clinical and ambulatory settings, the high cost and the user's interface would be an issue to obtain fast objective pain measurements, requiring both training and experience for assessments. Brazilian physiotherapists have an average monthly salary of USD 500, according to the Occupational Brazilian Classification (<https://www.salario.com.br/profissao/fisioterapeuta-geral-cbo-223605/>). The adapted pressure algometer used in this study had a production cost of USD 10.00, while the standard digital equipment cost ranged from USD 600.00 to USD 1,000.00. The validation procedure enables use of the low-cost adapted pressure algometer for clinical assessments in a practice routine, which may directly impact primary and ambulatory care in low-income and developing countries, by adding an objective and inexpensive tool to assess the pressure pain threshold.

Some limitations of the present study must be addressed. The pressure pain threshold in body sites other than the deltoid muscle must be assessed to ensure the validity of the adapted pressure algometer on different sites. However, we hypothesize that they should not give any different results to direct assessment using the adapted pressure algometer, since the standard deviation remained at very low values and the current results gave very good measures compared to the force platform and additional good reliability. The instrumental validity of an equipment's measurements also ensures unbiased assessments (Gadotti, Vieira & Dj, 2006).

Other studies have identified different factors to consider when evaluating the pressure pain threshold, such as gender and obesity (Chesterton *et al.*, 2003; Price *et al.*, 2013). A review of studies involving induced pain found a consistent pattern of women exhibiting greater pain sensitivity and a reduction in pain inhibition compared to men (Bartley & Fillingim, 2013). In addition, the characteristic of pain imposed is an important factor for these differences, since the type of pressure pain has one of the highest effect sizes in the pain report (Nussbaum & Downes, 1998; Robinson *et al.*, 1998). It is suggested that interactions between biological and psychosocial factors are responsible for these gender differences, but all studies indicate the need for additional research to elucidate the mechanisms that drive gender differences in pain responses (Chesterton *et al.*, 2003; Bartley & Fillingim, 2013; Robinson *et al.*, 1998). Some studies suggest that in areas with additional subcutaneous fat, pain thresholds for electrical or pressure stimuli increase and pain sensitivity decreases in obese individuals (Price *et al.*, 2013; Khimich, 1997). A study has also shown biochemical changes in trigger points with higher levels of inflammatory mediators, catecholamines, and cytokines in obese individuals

(Shah *et al.*, 2008). Mechanical stretching of the skin in response to excess fat can lead to a decrease in the density of nociceptive fibers, and obesity is associated with the chemical inhibition of pain with an increase in  $\beta$  endorphin and endogenous opioid peptide (Price *et al.*, 2013). The present study had a balanced cohort with regard to participant sex, and all participants were classified as normal according to their body mass index. However, the current sample was chosen only for reliability analysis. Pressure pain threshold as a clinical result is well established, but more studies should take into account sex and body mass index differences to avoid bias in experimental protocols (Chesterton *et al.*, 2003). Pressure pain threshold was also positively but poorly correlated with high-density lipoprotein cholesterol (Zhang *et al.*, 2013). A high pressure pain threshold was also found among subjects with hyperglycemia and excessive alcohol consumption (Zhang *et al.*, 2013). In the present study, no blood assessment was performed to exclude those factors. However, the sample consisted of young adults, decreasing the chance of any important health issues. Additionally, exclusion criteria included previous excessive alcohol consumption.

Considering its portability, easy assembly, and lower cost, the currently tested device seems to be a valid standard equipment for pressure pain threshold assessment. Therefore, the adapted pressure algometer is a valid device providing similar measurements compared to a force platform. The portability, cost-effectiveness, and friendly user system provide an effective way to measure the pressure pain threshold.

## CONCLUSIONS

The current hypothesis is that a low-cost pressure algometer is valid and reliable enough to be considered as a standard equipment to assess the pressure pain threshold. The results showed that the low-cost adapted pressure algometer is a valid tool compared to a force platform. The low-cost adapted pressure algometer is also reliable for assessing the pressure pain threshold. Future directions include evaluating the low-cost adapted pressure algometer in routine clinical assessments for the systematic evaluation of pressure pain. Further studies should consider other assessments, such as temporal summation and conditioned modulated pain, using a low-cost adapted pressure algometer.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Special thanks to the UFJF-GV Department of Physical Therapy and to the Dean of International Relations—UFJF. We would like to thank Editage for English language editing.

## ADDITIONAL INFORMATION AND DECLARATIONS

### Funding

This study was financed by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES)—Finance Code 001, and by Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG)—Finance Code APQ-02040-18. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

### Grant Disclosures

The following grant information was disclosed by the authors:

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES): 001.  
Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG): APQ-02040-18.

### Competing Interests

The authors declare that they have no competing interests.

### Author Contributions

- Daniel Jerez-Mayorga analyzed the data, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Carolina Fernanda dos Anjos conceived and designed the experiments, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Maria de Cássia Macedo conceived and designed the experiments, performed the experiments, prepared figures and/or tables, and approved the final draft.
- Ilha Gonçalves Fernandes conceived and designed the experiments, performed the experiments, prepared figures and/or tables, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Esteban Aedo-Muñoz performed the experiments, analyzed the data, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Leonardo Intelangelo analyzed the data, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.
- Alexandre Carvalho Barbosa conceived and designed the experiments, performed the experiments, analyzed the data, authored or reviewed drafts of the paper, and approved the final draft.

### Human Ethics

The following information was supplied relating to ethical approvals (i.e., approving body and any reference numbers):

Federal University of Juiz de Fora ethics committee for human investigation approved this study (02599418.9.0000.5147).

### Data Availability

The following information was supplied regarding data availability:

The raw measurements are available as a [Supplemental File](#).

### Supplemental Information

Supplemental information for this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.10162#supplemental-information>.

## REFERENCES

- Albuquerque-Sendin F, Madeleine P, De-Las-Peñas CF, Camargo PR, Salvini TF. 2018. Spotlight on topographical pressure pain sensitivity maps: a review. *Journal of Pain Research* 11:215–225 DOI [10.2147/JPR.S135769](https://doi.org/10.2147/JPR.S135769).

- Balaguier R, Madeleine P, Vuillerme N. 2016. Intra-session absolute and relative reliability of pressure pain thresholds in the low back region of vine-workers: effect of the number of trials. *BMC Musculoskeletal Disorders* 17(1):49 DOI 10.1186/s12891-016-1212-7.
- Bartley EJ, Fillingim RB. 2013. Sex differences in pain: a brief review of clinical and experimental findings. *British Journal of Anaesthesia* 111(1):52–58 DOI 10.1093/bja/aet127.
- Calixtre LB, Da Gr ninger SBL, Haik MN, Albuquerque-Sendín F, Oliveira AB. 2016. Effects of cervical mobilization and exercise on pain, movement and function in subjects with temporomandibular disorders: a single group pre-post test. *Journal of Applied Oral Science* 24(3):188–197 DOI 10.1590/1678-775720150240.
- Carlos-Vivas J, Martin-Martinez JP, Hernandez-Mocholi MA, Perez-Gomez J. 2018. Validation of the iPhone app using the force platform to estimate vertical jump height. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 58(3):227–232 DOI 10.23736/S0022-4707.16.06664-0.
- Castien RF, Van der Wouden JC, De Hertogh W. 2018. Pressure pain thresholds over the cranio-cervical region in headache: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Headache and Pain* 19(1):341 DOI 10.1186/s10194-018-0833-7.
- Cheatham SW, Kolber MJ, Mokha GM, Hanney WJ. 2018. Concurrent validation of a pressure pain threshold scale for individuals with myofascial pain syndrome and fibromyalgia. *Journal of Manual & Manipulative Therapy* 26(1):25–35 DOI 10.1080/10669817.2017.1349592.
- Chesterton LSB, Foster P, Baxter NE, Wright CGD. 2003. Gender differences in pressure pain threshold in healthy humans. *International Association for the Study of Pain* 38:361–363.
- Cunha CO, Pinto-Fiamengui LMS, Castro ACPC, Lauris JRP, Conti PCR. 2014. Determination of a pressure pain threshold cut-off value for the diagnosis of temporomandibular joint arthralgia. *Journal of Oral Rehabilitation* 41(5):323–329 DOI 10.1111/joor.12158.
- De Souza AC, Alexandre NMC, De Guirardello EB. 2017. Propriedades psicom tricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. *Epidemiologia e Servicos de Saude: Revista do Sistema Unico de Saude do Brasil* 26(3):649–659 DOI 10.5123/S1679-49742017000300022.
- Durga P, Wudaru SR, Khambam SRKR, Chandra SJ, Ramachandran G. 2016. Validation of simple and inexpensive algometry using sphygmomanometer cuff and neuromuscular junction monitor with standardized laboratory algometer. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology* 32(1):74–79 DOI 10.4103/0970-9185.173390.
- Gadotti I, Vieira E, Dj M. 2006. Importance and clarification of measurement properties in rehabilitation. *Revista Brasileira de Fisioterapia* 10(2):137–146 DOI 10.1590/S1413-35552006000200002.
- González-Fernández M, Ghosh N, Ellison T, McLeod JC, Pelletier CA, Williams K. 2014. Moving beyond the limitations of the visual analog scale for measuring pain: novel use of the general labeled magnitude scale in a clinical setting. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 93(1):75–81 DOI 10.1097/PHM.0b013e31829e76f7.
- Gómez-Perretta C, Tri nanes Y, González-Villar AJ, De-la-Peña MTC. 2016. Evaluation of the accuracy of several symptoms and domains in distinguishing patients diagnosed with fibromyalgia from healthy controls. *Clinical and Experimental Rheumatology* 34:14–25.
- Hanabee JE, Radcliffe SV. 1967. Effect of high pressure on a strain gauge load cell. *Review of Scientific Instruments* 38(3):328–331 DOI 10.1063/1.1720698.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. 2009. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41(1):3–13 DOI 10.1249/MSS.0b013e3181818cb278.



- Imamura M, Chen J, Matsubayashi SR, Targino RA, Alfieri Fábio M, Bueno DK, Hsing WT. 2013. Cognitive performance is related to central sensitization and health-related quality of life in patients with chronic whiplash-associated disorders and fibromyalgia. *Spine* 38(24):2098–2107 DOI 10.1097/01.brs.0000435027.50317.d7.
- Intelangelo L, Bordachar D, Barbosa AWC. 2016. Effects of scapular taping in young adults with shoulder pain and scapular dyskinesis. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 20(3):525–532 DOI 10.1016/j.jbmt.2015.11.014.
- Khimich S. 1997. Level of sensitivity of pain in patients with obesity. *Acta Chirurgica Academiae Scientiarum Hungaricae* 36(1–4):166–167.
- Kinser AM, Sands WA, Stone MH. 2009. Reliability and validity of a pressure algometer. *Journal of Strength and Conditioning Research* 23(1):312–314 DOI 10.1519/JSC.0b013e31818f051c.
- Ko S-J, Kim H, Kim S-K, Park K, Lee J, Lee B-J, Oh J, Lee K, Park J-W. 2016. Reliability and validity of modified algometer in abdominal examination. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2016(1):1–7 DOI 10.1155/2016/3052954.
- Koo TK, Li MY. 2016. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine* 15(2):155–163 DOI 10.1016/j.jcm.2016.02.012.
- Melia M, Schmidt M, Geissler B, König J, Krahn U, Ottersbach HJ, Letzel S, Muttray A. 2015. Measuring mechanical pain: the refinement and standardization of pressure pain threshold measurements. *Behavior Research Methods* 47(1):216–227 DOI 10.3758/s13428-014-0453-3.
- Nussbaum EL, Downes L. 1998. Reliability of clinical pressure-pain algometric measurements obtained on consecutive days. *Physical Therapy* 78(2):160–169 DOI 10.1093/ptj/78.2.160.
- O'Connor SM, Baweja HS, Goble DJ. 2016. Validating the BTrackS balance plate as a low cost alternative for the measurement of sway-induced center of pressure. *Journal of Biomechanics* 49(16):4142–4145 DOI 10.1016/j.jbiomech.2016.10.020.
- Price RC, Asenjo JF, Christou NV, Backman SB, Schweinhardt P. 2013. The role of excess subcutaneous fat in pain and sensory sensitivity in obesity. *European Journal of Pain* 17(9):1316–1326 DOI 10.1002/j.1532-2149.2013.00315.x.
- Ribeiro IL, Camargo PR, Albuquerque-Sendín F, Madeleine P, Fernández-de-las-Peñas C, Salvini TF. 2016. Topographical pressure pain sensitivity maps of the shoulder region in individuals with subacromial pain syndrome. *Manual Therapy* 21:134–143 DOI 10.1016/j.math.2015.07.002.
- Robinson ME, Riley JL, Brown FF, Gremillion H. 1998. Sex differences in response to cutaneous anesthesia: a double blind randomized study. *Pain* 77(2):143–149 DOI 10.1016/S0304-3959(98)00088-8.
- Shah JP, Danoff JV, Desai MJ, Parikh S, Nakamura LY, Phillips TM, Gerber LH. 2008. Biochemicals associated with pain and inflammation are elevated in sites near to and remote from active myofascial trigger points. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 89(1):16–23 DOI 10.1016/j.apmr.2007.10.018.
- Sullivan GM. 2011. A primer on the validity of assessment instruments. *Journal of Graduate Medical Education* 3(2):119–120 DOI 10.4300/JGME-D-11-00075.1.
- Van Wilgen P, Van der Noord R, Zwerver J. 2011. Feasibility and reliability of pain pressure threshold measurements in patellar tendinopathy. *Journal of Science and Medicine in Sport* 14(6):477–481 DOI 10.1016/j.jsams.2011.05.004.
- Vaughan B, McLaughlin P, Gosling C. 2007. Validity of an electronic pressure algometer. *International Journal of Osteopathic Medicine* 10(1):24–28 DOI 10.1016/j.ijosm.2006.12.003.

- Waller R, Straker L, O'Sullivan P, Sterling M, Smith A. 2015. Reliability of pressure pain threshold testing in healthy pain free young adults. *Scandinavian Journal of Pain* 9(1):38–41 DOI 10.1016/j.sjpain.2015.05.004.
- Walton DM, Macdermid JC, Giorgianni AA, Mascarenhas JC, West SC, Zammit CA. 2013. Risk factors for persistent problems following acute whiplash injury: update of a systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 43(2):31–43 DOI 10.2519/jospt.2013.4507.
- Walton D, Macdermid J, Nielson W, Teasell R, Chiasson M, Brown L. 2011. Reliability, standard error, and minimum detectable change of clinical pressure pain threshold testing in people with and without acute neck pain. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 41(9):644–650 DOI 10.2519/jospt.2011.3666.
- Wytrzążek M, Huber J, Lipiec J, Kulczyk A. 2015. Evaluation of palpation, pressure algometry, and electromyography for monitoring trigger points in young participants. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* 38(3):232–243 DOI 10.1016/j.jmpt.2014.12.005.
- Ylinen J, Nykänen M, Kautiainen H, Häkkinen A. 2007. Evaluation of repeatability of pressure algometry on the neck muscles for clinical use. *Manual Therapy* 12(2):192–197 DOI 10.1016/j.math.2006.06.010.
- Zhang Y, Zhang S, Gao Y, Tan A, Yang X, Zhang H, Wu C, Lu Z, Liao M, Xie Y, Zhang Z, Qin X, Yu X, Li L, Hu Y, Mo Z. 2013. Factors associated with the pressure pain threshold in healthy Chinese men. *Pain Medicine* 14(9):1291–1300 DOI 10.1111/pme.12158.