

# **Análise de teste-reteste de isometria abdução de ombro por dinamometria com sistema Arduino**

Juliana Rodrigues Feliciano<sup>1</sup>, Camila Caroline Dias de Oliveira, Isabella V. Gomes<sup>1</sup>, Kauany  
N. Fagundes<sup>1</sup>, Ricardo S. Alves<sup>1</sup>

**Resumo** | Para determinar a capacidade muscular máxima de um indivíduo, podem ser realizados testes manuais, dinamometria isocinética ou isométrica. O uso do dinamômetro isocinético concede uma mensuração mais precisa, porém de alto custo. Diversamente, o dinamômetro isométrico, sendo o mais comum utilizado, com baixo custo financeiro, acoplado junto a um microcontrolador Arduino possibilita uma avaliação funcional e de fácil acesso. Portanto, o objetivo desse estudo é analisar a confiabilidade inter e intra-avaliador do dinamômetro isométrico controlado por sistema Arduino. Métodos: Foram avaliados 78 voluntários, ambos os sexos, com idade  $22,46 \pm 4,55$  anos. Todos os voluntários foram submetidos à avaliação da força muscular de abdutores de ombro bilateral. A avaliação foi realizada por: avaliador 1 (Av1) realizou a coleta do pico de força máxima dos músculos abdutores de ombro. Após uma semana, o avaliador 2 (Av2) realizou a coleta dos dados dos respectivos músculos. Na semana subsequente, os voluntários foram reavaliados pelo Av1. Para análise estatística, foi usado coeficiente de correlação intraclassa (ICC) intra-avaliador (ICC 1,1) e inter-avaliador (ICC 1,2), e para estimar a mudança mínima detectável (MMD), foi utilizado o erro padrão (EP). Resultados: Foram observados excelentes níveis de confiabilidade para ambos os músculos abdutores de ombros (ICC 1,1: direito= 0,968, MMD= 1,100; esquerdo= 0,976, MMD= 0,412) e (ICC 1,2: direito= 0,965, MMD= 1,049; esquerdo= 0,961, MMD= 1,003). Conclusão: O dinamômetro isométrico controlado por sistema Arduino demonstrou ser uma alternativa de um recurso confiável de avaliação da força muscular com excelente nível de confiabilidade intra e inter-avaliador.

**Palavras-chaves:** Dinamômetro de força muscular; força muscular; cinesiologia; reabilitação.

**Abstract** | To determine the maximum muscular capacity of an individual, manual tests, dynamometry or isometric tests can be performed. The use of the isokinetic dynamometer provides a more accurate measurement, but at a high cost. Differently, the isometric dynamometer, being the most common used, with low financial cost, coupling with an Arduino microcontroller allows functionality and easy access. Therefore, the objective of this study is to analyze the inter and intra-evaluator reliability of the isometric dynamometer controlled by the Arduino system. Methods: we evaluated 78 volunteers, both sexes, aged  $22.46 \pm 4.55$  years. All volunteers underwent assessment of bilateral shoulder abductor muscle strength. The evaluation was performed by: evaluator 1 (Av1) collected the maximum force peak of the shoulder abductors muscles. After one week, evaluator 2 (Av2) collected data from the respective muscles. In the following week, the volunteers were reassessed by Av1. For statistical analysis, intra-rater (ICC 1.1) and inter-rater (ICC 1.2) intraclass correlation coefficient (ICC) was used, and standard error (EP) was used to estimate the minimum detectable change (MMD). Results: Excellent levels of reliability were observed for both shoulder abductor muscles (ICC 1.1: right=0.968, MMD=1.100; left=0.976, MMD=0.412) and (ICC 1.2: right=0.965, MMD=1.049; left=0.961, MMD=1.003). Conclusion: The isometric dynamometer controlled by the Arduino system proved to be an alternative of a reliable resource for assessing muscle strength with an excellent level of intra and inter-evaluator reliability.

**Keywords:** Muscle strength dynamometer; muscle strength; kinesiology; rehabilitation.

<sup>1</sup>Curso de Fisioterapia - Universidade do Vale do Sapucaí (UNIVÁS), Pouso Alegre (MG), Brasil

**Correspondência para:** Ricardo da Silva Alves Curso de Fisioterapia - Universidade do Vale do Sapucaí (UNIVÁS), Pouso Alegre (MG), Brasil.

## INTRODUÇÃO

A força muscular é definida como a força máxima que pode ser gerada por um músculo ou grupo muscular. A quantidade de força que um músculo pode exercer reflete diretamente em seu desempenho motor global<sup>1,2</sup>. O teste de força pode ser usado na monitorização do progresso do treinamento, na reabilitação de lesões<sup>3</sup>, e está associado como um preditor de incapacidade e mortalidade<sup>4</sup>.

A avaliação da força muscular pode ser feita através de quatro métodos: testes isométricos, isocinético, dinamometria fixa, com pesos livres, com resistência variável, teste muscular manual<sup>5</sup> e de repetição máxima<sup>6</sup>. Os testes manuais e de repetição máxima são métodos mais utilizados por fisioterapeutas durante o período de avaliação e nas intervenções<sup>6</sup>. No entanto, esses métodos apresentam subjetividade nas avaliações de força muscular, podendo não detectar diferenças mínimas e que são clinicamente importantes<sup>7</sup>. Portanto, torna-se necessário, o uso da dinamometria para que forneça informações precisas da força muscular, contribuindo para a avaliação e a progressão da intervenção.

As avaliações de força muscular podem ser realizadas por meio dos dinamômetros isocinético e isométrico. A dinamometria isocinética é considerada o método padrão ouro para avaliação da função muscular,

possibilitando obter variáveis de análise de torque, potência e força muscular, com velocidade constante. Com isso, permite que sejam identificados os desequilíbrios musculares por meio de relações de torque agonista-antagonista<sup>8</sup>.

O dinamômetro isométrico é um instrumento que sofre deformações compressivas e de tração durante a aplicação dos testes. Entretanto, ambos os métodos necessitam de equipamentos sofisticados para sua aquisição dos registros e leituras das informações, como softwares e equipamentos interligados a computadores capazes de quantificar a força produzida pelo músculo e/ou o grupo muscular específico. Assim, esses fatores inviabilizam o seu uso na prática clínica, por serem equipamentos que necessitam de salas amplas, devido ao seu custo elevado para a aquisição e manutenção, com profissionais qualificados para a operação, inacessíveis para a maioria dos profissionais<sup>9</sup>. Dessa forma, torna-se importante o desenvolvimento de ferramentas mais acessíveis e que permitam avaliar uma maior quantidade de grupos musculares.

O uso de sistemas como Arduino interligado a célula de carga, como sensores Strain Gauges que são usados como um medidor de deformação mecânica relativa, através da determinação da resistência elétrica, usualmente destinadas à fabricação de balanças eletrônicas. A célula de carga construída a partir de Strain Gauges<sup>10</sup>, gera um sinal elétrico

proporcional ao esforço mecânico incidente, que se torna visível em um display ou tela, referente ao esforço mecânico. Essa deformação está associada a intensidade da força aplicada a célula de carga<sup>11</sup>.

Com o uso de uma placa Arduino interligado ao dinamômetro, por meio de simples configurações e programações, acreditamos ser possível a criação de um método de avaliação da força muscular sem a necessidade de equipamentos robustos e softwares específicos, de alto custo, com facilidade de manuseio para diversos grupos musculares. Até o presente momento não foram encontrados estudos que se propuseram a usar o Arduino interligado ao dinamômetro isométrico para essa finalidade.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o nível de confiabilidade inter e intra-avaliador do uso do dinamômetro isométrico interligado ao sistema Arduino por meio de teste-reteste.

## MÉTODOS

### *Desenho do Estudo*

Este é um estudo longitudinal e quantitativo. O período de avaliação ocorreu de outubro de 2021 a junho de 2022. Este estudo obedeceu aos princípios éticos contidos na Declaração de Helsinki, bem como à aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade do Vale do Sapucaí (Protocolo n°:

3.466.787). Os voluntários foram informados sobre os protocolos de avaliação. Após concordarem em participar, todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Os voluntários foram alocados em apenas um grupo. As avaliações foram realizadas em três semanas consecutivas, sendo que na primeira e na terceira semana foram avaliados pelo avaliador 1 e na segunda semana pelo avaliador 2. A avaliação da confiabilidade foi testada por meio de um intra-avaliador (1.1) e inter-avaliador (1.2).

As avaliações e sessões de treinamento foram realizadas no Laboratório de Motricidade Humana, da Universidade do Vale do Sapucaí – UNIVÁS.

### *Participantes*

Participaram do estudo voluntários jovens de ambos os sexos (65 mulheres, 13 homens), com idade entre  $22,461 \pm 4,557$  e acadêmicos da Universidade do Vale do Sapucaí -MG que foram recrutados a partir de divulgação por meio de redes sociais. Foram excluídos participantes que apresentavam qualquer tipo de doença musculoesquelética ou neurológica.

### *Instrumento*

Para a avaliação da contração isométrica voluntária máxima (CIVM), foi construído um sistema de registro e leitura dos dados utilizando uma placa Arduino do tipo Nano V3 acoplado ao dinamômetro isométrico, do tipo

Strain Gauge, permitindo obter em quilogramas-força (kgf), referente a contração muscular, mostrada em uma interface criada especialmente para o uso do dispositivo. Foi inserido juntamente ao sistema, um display LCD, que quantifica em tempo real o força muscular isométrica. Na figura 1 e 2 são apresentados os componentes necessários para o estudo e o layout da tela do software do equipamento.

Para garantir a melhor precisão dos registros pelo equipamento, foi incluído um sistema de calibração do dinamômetro. Em cada avaliação, o instrumento foi previamente calibrado.

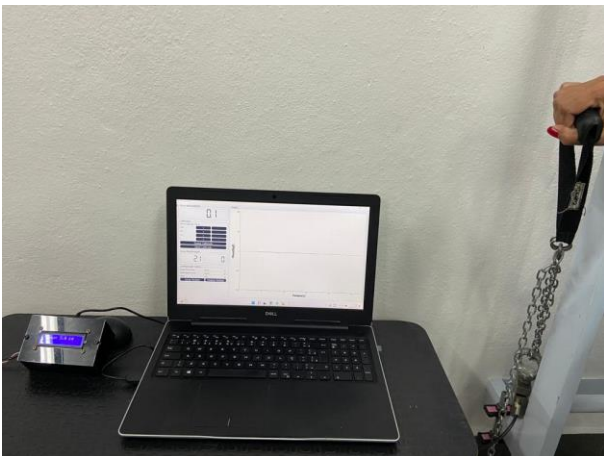


Figura 1 - Display, Software e o Dinamômetro Isométrico

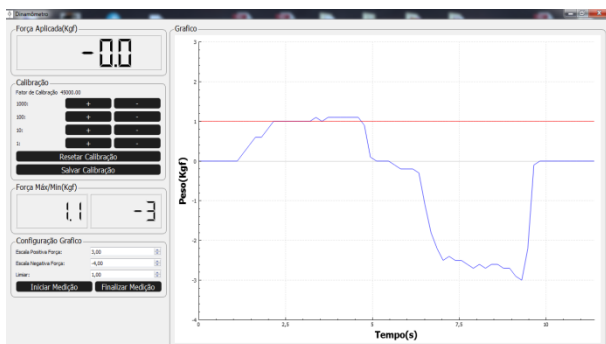


Figura 2 - Tela do Software

### *Procedimentos de avaliação*

Os voluntários realizaram um teste visando obter os valores CIVM dos músculos abdutores do ombro utilizando um dinamômetro isométrico interligado ao sistema Arduino.

Para a execução da avaliação, o voluntário foi posicionado sentado confortavelmente em uma cadeira rígida, com tronco apoiado no encosto, com o membro superior a ser testado em abdução de aproximadamente 90°, posição em que os músculos abdutores de ombro possuem grande ativação<sup>12</sup>, conforme apresentado na figura 3. Antes de iniciar o protocolo, todos os voluntários receberam orientações verbais e demonstrativas sobre a maneira correta de realização do teste.

Os voluntários foram encorajados a realizar uma abdução do ombro contra o dinamômetro isométrico. Todos os voluntários receberam o mesmo comando verbal durante os testes “força, força, força...”. Foram realizadas três coletas de CIVM de ambos os músculos abdutores de ombro, com 10s de duração. Foram excluídos dois primeiros e os dois últimos segundos, que se refere a ordem de solicitação e interrupção da contração, respectivamente. Após esse momento, foi considerada para CIVM o intervalo de seis segundos, sendo utilizado a média das três CIVMs.



Figura 3 - Posicionamento do voluntário

### Análise de dados

Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)* (IBM Corp., Chicago, EUA), versão 20.0 para Windows.

Os dados foram expressos como estatísticas descritivas, principalmente os valores de média, erro padrão e intervalo de confiança (IC95%).

A concordância dos resultados intra e inter-avaliador foi analisada por meio do Coeficiente de Correlação Intraclassa – tipo 1,1

e tipo 1,2 – (CCI). A interpretação do CCI foi realizada de acordo com Lexell<sup>16</sup>, sendo considerados como: confiabilidade de <0,40, pobre; 0,40-0,75, boa e >0,75, excelente. O Intervalo de Confiança 95% (IC95%) foi calculado, sendo considerados excelentes valores acima de 0,7017. O cálculo do Erro Padrão da Medida (EP) foi realizado por meio da fórmula:  $EP = \text{Desvio Padrão} \times \sqrt{(1 - CCI)}$ . A mínima mudança detectável (MMD) foi calculada pela fórmula:  $MMD = 1,96 \times \text{Maior Desvio Padrão} \times \sqrt{(2[1 - \text{teste-reteste}])}$ <sup>16</sup>. Um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 foi utilizado para todos os testes<sup>13</sup>.

## RESULTADOS

No presente estudo, foram avaliados 78 voluntários, com idade média 22,46 anos, no período que compreende outubro de 2021 a junho de 2022.

Na tabela 1 são apresentados os valores de força isométrica dos músculos abdutores de ombro de ambos os membros inter-avaliadores e intra-avaliadores.

Tabela 1: Dados sociodemográficos dos participantes.

Variáveis	Resultados (n= 78)
Feminino	65 (83,3)
Masculino	13 (16,7)
Idade (anos)	22,461 ± 4,557
Massa Corporal (kg)	62,792 ± 13,120
Altura (m)	1,649 ± 0,080
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,993 ± 4,078

Legenda: n= número de participantes; %: porcentagem; kg: quilogramas; m: metros; kg/m<sup>2</sup>: quilograma por metro quadrado.

Na tabela 2 são apresentados os valores de média e erro padrão da média da força

isométrica máxima dos voluntários avaliados entre os diferentes períodos de avaliação.

Tabela 2: Resultados da média e (erro padrão da média) da força isométrica máxima dos músculos abdutores de ombro direito e esquerdo.

Músculos	Avaliador 1	Avaliador 2	Reavaliação Avaliador 1
Abdutor direito (kgf)	4,286 (0,263)	4,359 (0,275)	4,192 (0,249)
Abdutor esquerdo (kgf)	4,265 (0,265)	4,197(0,266)	4,184 (0,251)

Legenda: kgf: quilogramas-força

Na tabela 3 são demonstrados os índices de confiabilidade inter e intra-avaliador dos músculos abdutores de ombro direito e esquerdo. Foi possível observar excelentes níveis de confiabilidade entre os avaliadores 1 e 2, assim como na confiabilidade entre a avaliação e reavaliação realizada pelo avaliador 1.

Tabela 3: Análise de confiabilidade inter-avaliador (1,2) e intra-avaliador (1,1) das forças isométricas máximas dos mm. abdutores de ombro direito e esquerdo.

Músculos	Inter-avaliador 1,2				Intra-avaliador 1,1			
	ICC (IC 95% LI- LS)	EPM	MMD	Nível	ICC (IC 95% LI- LS)	EPM	MMD	Nível
Abdutor de ombro direito	0,979 (0,958 -0,989)	0,186	0,936	E	0,981 (0,963-0,991)	0,179	0,849	E
Abdutor de ombro esquerdo	0,982 (0,963- 0,991)	0,176	0,788	E	0,976 (0,972- 0,993)	0,177	0,914	E

Legenda: ICC: índice de confiabilidade; IC 95%: intervalo de confiança 95%; LI: limite inferior; LS: limite superior; EPM: erro padrão da média; MMD: mínima mudança detectável; E: excelente.

## DISCUSSÃO

A confiabilidade de um instrumento é o principal critério de avaliação de sua qualidade, já que se baseia na consistência e reprodutibilidade dos resultados para diferentes usuários em diferentes situações e condições. O

processo de desenvolvimento e validação do instrumento visa contribuir para redução dos erros no processo de medição<sup>14</sup>. Portanto, a confiabilidade se refere ao processo de análise que a equivalência, precisão, estabilidade e consistência interna<sup>15</sup>.

Neste estudo foi observado excelente nível de confiabilidade intra e inter-avaliador do dinamômetro acoplado ao sistema Arduino para a avaliação de força muscular isométrica de abdutores de ombro de voluntários jovens saudáveis. Tais resultados se assemelham a outros estudos que demonstram níveis entre bom a excelente confiabilidade intra e inter-avaliador entre o dinamômetro isométrico quando comparado ao dinamômetro isocinético<sup>16, 17, 18</sup>. Esses dispositivos se mostram como uma alternativa clinicamente viável a dinamometria, de baixo custo, portáteis e de fácil manuseio<sup>13</sup>.

Para diferenciar entre a alteração real e o erro de medição aleatório, os valores de EPM e mudança mínima detectável (MMD) são importantes nas análises de confiabilidade. Estudos demonstram que quanto menor for o valor de EPM, mais confiável é a medida. Beninato et al. (2011)<sup>19</sup> indicam que baixos valores de EPM sugerem menor erro de medição do instrumento, sugerindo que as alterações sejam verdadeiras<sup>19, 20</sup>. Mentiplay et al. (2015)<sup>18</sup> demonstraram valores de EPM superiores a 9,75% para os músculos dos membros inferiores em dias diferentes de avaliação.

No nosso estudo, foi observado valores de EPM inferiores a 2% intra e inter-avaliador, indicando uma precisão das medidas com o dinamômetro usando o Arduino. Quanto ao MMD, se refere a quantidade mínima que os resultados entre as medições realizados

precisam variar, indicando que seria uma mudança maior do que o erro contido nas medições<sup>21</sup>. Smidt et al., 2002<sup>22</sup> afirma que o percentual de valores de MMD abaixo de 10% são considerados excelentes. Salientamos que no presente estudo, os valores de MMD variaram entre 4,17% e 4,30%. Portanto, é possível sugerir que o instrumento utilizado demonstra excelente confiabilidade.

Outro fator que pode interferir na precisão das coletas está relacionado a padronização da técnica. Alguns estudos demonstram que a precisão das coletas está associada a algumas configurações, como o reposicionamento do eixo do dinamômetro, ajustes na altura do assento e ângulo de posição inicial do braço [5, 7, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 22]. Portanto, em avaliações de força muscular se torna importante atentar-se a esses fatores para garantir melhor precisão dos dados.

Outro fator que pode contribuir para confiabilidade e a validade da ferramenta desse estudo se deve a familiarização do voluntário com o instrumento. A padronização da técnica e os resultados obtidos, estão de acordo com a necessidade da realização de mais de uma repetição dos testes de força muscular para garantir a acurácia dos dados<sup>23</sup>.

Os excelentes níveis de confiabilidade obtidos no presente estudo, associado a praticidade e o baixo custo tornam o dinamômetro isométrico uma ferramenta viável especialmente na prática clínica. Além disso, possibilita quantificar a força muscular



voluntária, acompanhar o desempenho, adaptando as prescrições de treino e carga personalizada para cada indivíduo<sup>15</sup>. Portanto, esse instrumento pode ser uma alternativa ao teste de força manual, que se apresenta extremamente subjetivo.

### LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Este estudo apresenta algumas limitações. A primeira pode estar relacionada o fato de não utilizarmos o método padrão-ouro que é o dinamômetro isocinético, para confrontar os nossos resultados. A segunda limitação é que a população avaliada no presente estudo foi maior do sexo feminino. Mais estudos se fazem necessários para outras condições clínicas e faixas etárias, para outros grupos musculares correlacionando com o dinamômetro isocinético, para que confrontem os nossos achados.

### CONCLUSÃO

Nas análises de teste-reteste foi observado excelente nível de confiabilidade inter e intra-avaliador do dinamômetro isométrico interligado ao sistema Arduino para mensuração da força isométrica de abdutores de ombro.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG pelo apoio financeiro no edital 47/2021, PIBIC-FAPEMIG, da Universidade do Vale do Sapucaí.

### REFERÊNCIAS

1. Carvalho, J.; Soares, J. M. C. Envelhecimento e força muscular – uma breve revisão. *Rev. Port. Ciênc. Desp.* 2004;4(3):79-93.
2. Sturmeiers DL, St George R, Lord SR. Balance disorders in elderly. *Clinical Neurophysiol.* 2008;38(6):467- 78.
3. Powers, S. K.; Howley, E. T. *Fisiologia do Exercício: Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho.* 2009;9.
4. Yoo, J. I.; Choi, H.; Ha, Y. C. Mean hand grip strength and cut-off value for sarcopenia in Korean adults using KNHANES VI. *J. Korean Med. Sci.* 2017; 32:868-872.
5. Chen, B. et al. Concurrent Validity and Reliability of a Handheld Dynamometer in Measuring Isometric Shoulder Rotational Strength, *Journal of Sport Rehabilitation.* 2021; 30(6):965-968.
6. Pereira, M. I. R.; Gomes P. S. C. Testes de força e resistência muscular: confiabilidade e predição de uma repetição máxima - Revisão e novas evidências. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte.* 2003;9(5):325-335.
7. Camargo, M. R.; Fregonesi, C. E. P. T.; Nozabieli, A. J. L. Força Muscular Isométrica do Tornozelo. *Dinamometria: Descrição de uma Nova Técnica Measurement of Ankle Isometric Muscular Strength.* *R Bras Ci Saúde.* 2009; 13(2):89-96.
8. Bamaç, B., et al. Isokinetic performance in elite volleyball and basketball players. 2008;40:183–189.
9. Bernard, J. C. et al. Isokinetic trunk muscle performance in pre-teens and teens with and without back pain. 2014;57:38-54.

10. Silva, A. L.; Veranis, M.; Mereles, A. G.; et al. A study of strain and deformation measurement using the Arduino microcontroller and strain gauges devices. *Rev. Bras. Ensino Fís.* 2019;41(3):2-6.
11. Castro, G. Criando uma balança com Arduino. Disponível em: <<https://www.robocore.net/tutorials/celula-de-carga-hx711-com-arduino>>. Acesso em: 10 de Agosto, 2019.
12. De Witte, P. B. et al. The Supraspinatus and the Deltoid – Not just two arm elevators. *Human Movement Science.* 2014;33:273–283.
13. Bandinelli, S.; Benvenuti, E.; Del, L. I.; Baccini, M.; Benvenuti, F.; Di, I. A. et al. Measuring muscular strength of the lower limbs by hand-held dynamometer: a standard protocol. *Aging Clin Exp Res.* 1999;11(5):287–93.
14. Kimberlin, C. L.; Winterstein, A. G.; Validity and reliability of measurement instruments used in research, *American Journal of Health-System Pharmacy.* 2008;65:2276–2284.
15. Franco, R.; Natalia et al. Validity and reliability of a low-cost dynamometer to assess maximal isometric strength of upper limb. *Journal of sports sciences.* 2019;37(15):1787-1793.
16. Roth, R. et al. Absolute and relative reliability of isokinetic and isometric trunk strength testing using the IsoMed-2000 dynamometer. *Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine.* 2017;24:26-31.
17. Hirano, M.; Katoh M.; Gomi, M.; Arai, S. Validity and reliability of isometric knee extension muscle strength measurements using a belt-stabilized hand-held dynamometer: a comparison with the measurement using an isokinetic dynamometer in a sitting posture. *J Phys Ther Sci.* 2020;32(2):120-124.
18. Mentiplay, B. F. et al. Assessment of Lower Limb Muscle Strength and Power Using Hand-Held and Fixed Dynamometry: A Reliability and Validity Study. 2015;10.
19. Beninato, M.; Portney, L. G. Applying Concepts of Responsiveness to Patient Management in Neurologic Physical Therapy. *Journal of Neurologic Physical Therapy.* 2011;35:75-81.
20. Atkinson G.; Nevill AM. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med.* 1998;26(4):217-38.
21. Donoghue D. et al. How much change is true change? The minimum detectable change of the Berg Balance Scale in elderly people. *J Rehabil Med.* 2009;41(5):343-6.
22. Smidt N.; Van Der Windt, DA.; Assendelft WJ et al. Interobserver reproducibility of the assessment of severity of complaints, grip strength, and pressure pain threshold in patients with lateral epicondylitis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2002;83(8):1145-1150.
23. Wilson, G. J.; Murphy, A. J. The use of isometric tests of muscular function in athletic assessment. *Sports medicine (Auckland, N.Z.).* 1996;22(1):19-37.