

Será que a avaliação da simetria em atletas antes e depois de uma intervenção de manipulação da coluna lombar, é fiável e reprodutível?

Autores

Bruno Araújo Procópio de Alvarenga^{1,2}; Filipa Oliveira da Silva João^{1,2}; Jerusa Petrovina Lara³; António Prieto Veloso^{1,2}

brunofisioquiro@hotmail.com

Resumo

Introdução: Em contextos clínicos e desportivos, a avaliação da fiabilidade e os erros de medida dos observadores e dos instrumentos biomecânicos de medida são essenciais para o estabelecimento de protocolos de reabilitação em termos de assimetria bilateral. **Objetivo:** Avaliar a fiabilidade e reprodutibilidade intra-avaliador e teste e re-teste das medidas de simetria, antes e depois de uma intervenção terapêutica da coluna lombar em atletas. **Métodos:** Vinte atletas realizaram testes de simetria, na postura estática, no agachamento livre e no salto vertical contramovimento (CMJ), antes e depois de uma intervenção terapêutica. Com a utilização de dois índices de simetria (cinética e cinemática) dos testes de desempenho, foi avaliada a confiabilidade relativa e absoluta através de cálculos estatísticos, com intervalos de confiança de 95%. **Resultados:** A simetria 1 apresentou boa à excelente confiabilidade relativa (ICC's 0,71 a 0,92) e a simetria 2 apresentou aceitável à excelente confiabilidade relativa (ICC's de 0,61 a 0,93), de acordo com o coeficiente de correlação intra-classe. Os baixos valores de erro das medidas e das mudanças mínimas detectáveis foram observadas na simetria 1 e 2. Os limites de concordância entre as medições indicaram proporção de 62%, demonstrando a fiabilidade das medidas avaliadas. **Conclusão:** Valores aceitáveis de fiabilidade relativa e absoluta foram encontradas pelo avaliador em medidas de simetria teste e re-teste demonstrando ser um método confiável e reprodutível em protocolos de avaliação da simetria, de acordo com os valores suportados na literatura. Estudos futuros são necessários para ultrapassar as limitações deste estudo, nomeadamente na fiabilidade entre avaliadores e entre sessões.

¹ CIPER - Centro Interdisciplinar de Estudo da Performance Humana

² Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional, Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa

³ Departamento de Biodinâmica, Faculdade de Ciências do Desporto, Universidade Federal do Paraná, Brasil

Palavras-chave: ICC, fiabilidade, reprodutibilidade, assimetria bilateral, terapia de manipulação vertebral, coluna lombar, reabilitação desportiva, performance

Introdução

Em contextos clínicos e desportivos, a avaliação da fiabilidade e os erros de medida dos observadores e dos instrumentos biomecânicos de medida em testes de desempenho físico são essenciais para o estabelecimento de protocolos de reabilitação em termos de assimetria bilateral em atletas [1]–[4].

O foco é melhorar as capacidades individuais em termos de proficiência e consistência de técnicas, especialmente em relação à simetria cinética e cinemática através da avaliação das condições músculo-esqueléticas dos atletas. Esses testes usam uma descrição quantitativa de parâmetros de simetria normais e anormais e estão associados ao desempenho físico e desportivo [5]–[15].

No entanto, muitos dos instrumentos e técnicas de medição relacionados aos testes de desempenho físico não estão completamente estabelecidos e frequentemente são usados sem validação e estratégias para resolver os possíveis vieses [16]. Além disso, estudos com grandes erros de medição detectáveis e baixa fiabilidade, particularmente para um contexto de pesquisa clínica e esportiva, podem levar a uma subestimação dos resultados e obscurecer efeitos reais [16]. Nesse sentido, a fiabilidade também é essencial para o observador/avaliador, parâmetros biomecânicos medidos e instrumentos, porque se refere à reprodutibilidade e à consistência da precisão em medições.

De acordo com a literatura, [17] poucos estudos fizeram comparações entre atletas em relação aos padrões de simetria nos testes físicos, e de acordo com o nosso conhecimento, e nenhum estudo avaliou assimetria e as possíveis estratégias de intervenção terapêutica. Pouco se sabe sobre a fiabilidade intra-avaliador e teste e reteste de simetria entre a intervenção terapêutica de manipulação da coluna vertebral lombar. Até onde sabemos, não há estudo que avalie a fiabilidade dos testes de simetria padronizados, conforme descrito em nosso protocolo e sua aplicação em diferentes contextos e populações. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a fiabilidade e reprodutibilidade da simetria dos testes de desempenho físico entre a manipulação da coluna lombar nos atletas participantes.

Métodos

Os participantes foram recrutados por meio de anúncios públicos no Centro de Alto Rendimento (CAR), e na Universidade de Lisboa, Portugal, de acordo com o processo de elegibilidade dos participantes.

Os padrões éticos foram aplicados de acordo com as Declarações de Helsinque e o protocolo de pesquisa foi aprovado pelo Conselho de Ética, Faculdade de Motricidade Humana (FMH), Universidade de Lisboa.

Registrado pelo ISRCTN47602572.

Todos os participantes foram informados dos procedimentos e riscos do estudo e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido antes de sua inscrição no estudo.

Crítérios de elegibilidade

Os participantes eram atletas de ambos os sexos, masculino e feminino com idades entre 18 e 35 anos, assintomáticos e tinham uma avaliação clínica normal [24], [26]–[29]. Foram excluídos os participantes que sofriam com dores e/ou apresentassem alterações na rotina de treinamento ou competição durante o estudo; participantes com histórico de cirurgia lombar e/ou membros inferiores e que foram tratados com terapia manual a qualquer momento durante o estudo [27], [28] .

Protocolo de estudo

Este estudo consistiu em uma única sessão de captura de coleta de dados com cada um dos 20 indivíduos assintomáticos que realizaram testes de simetria teste e re-teste (postura estática, agachamento livre e salto vertebral em contramovimento - CMJ) antes e depois da TMV lombar.

Os participantes receberam 5 minutos de treinamento de tarefas e realizaram testes físicos antes e após a intervenção da TMV lombar.

Sequência dos testes físicos de simetria entre a TMV lombar.

A sequência dos testes de simetria, antes e após a intervenção TMV lombar, como ilustrada na figura 1.

Cada atleta participante realizou 14 tentativas repetidas de simetria nos testes de desempenho físico pré e pós-TMV (2 posições estáticas, 6 agachamentos livres e 6 saltos de contramovimento, CMJ), com um intervalo de 5 minutos entre a intervenção SM lombar, para um total de 280 tentativas.

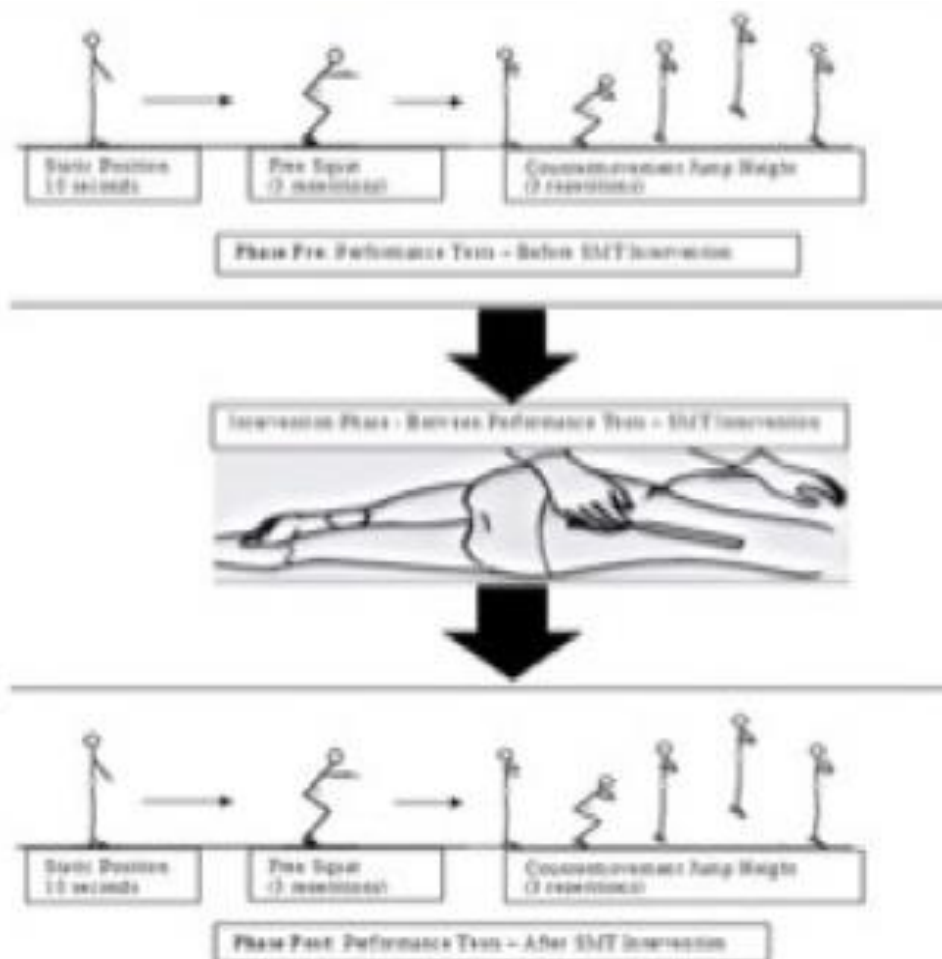


Figura 1 - Sequência dos testes de simetria antes e depois da TMV lombar.

Intervenção

O protocolo do estudo e a intervenção de manipulação da coluna, TMV lombar foi realizado por um pesquisador doutorado, fisioterapeuta e quiropraxista, com mais de 20 anos de experiência clínica e desportiva.

Terapia de Manipulação Vertebral (TMV)

Essa técnica utiliza movimentos de alta velocidade e baixa amplitude, aplicados no espaço parafisiológico, além da amplitude de movimento articular passiva [38]. A TMV lombar foi realizada por um doutor na área da saúde nos participantes dos atletas, usando um tipo específico de TMV manual, a técnica “Diversified”, que visa corrigir os segmentos disfuncionais vertebrais lombares [24], [25], [34] - [36] identificados em as avaliações específicas.

A TMV foi posteriormente realizada com o atleta deitado de lado enquanto uma correção foi realizada em contato com a lombar, nomeadamente no processo transversal (mamilar) das vértebras lombares, realizando a técnica do rolamento lombar, descrita por Liekens-Gillet e Bergmann [25].

Avaliações biomecânicas

Sobre duas plataformas de forças (esquerda e direita), e com um sistema de captura de movimento equipado com 15 câmeras optoelectrónicas a 240 Hz, os participantes foram colocados de pé no centro do laboratório, para realizar os testes de simetria. Para captura estática e de movimento, as trajetórias dos marcadores foram utilizadas integrando o software Qualisys e Visual 3D, com a utilização de um filtro “butterworth” (passa-baixo), com frequência de corte de 10 Hz. Todo o processamento dos dados e a construção do modelo foram realizados no software Qualisys (C-motion, Gotemburgo, Suécia), integrado ao software Visual 3D - Versão 5.01.18, C-Motion, Inc., Germantown, EUA.

Neste estudo foram aplicados dois índices de simetria para obter valores cinéticos e cinemáticos nos testes de desempenho, pré e pós as intervenções. Através de dos índices de simetria e de cálculos estatísticos aprofundados, a fiabilidade e reprodutibilidade das medidas intra-sessão e teste-re-teste foram avaliados neste estudo.

Simetria 1 (cálculos do índice de simetria, cinética)

Os parâmetros cinéticos são comumente medidos em testes de desempenho físico [4], [5], [37] em tarefas estáticas e dinâmicas [38] - [42], através de forças de reação do solo (GRF), (N / kg) [43] em cálculos de simetria.

O índice de simetria SI% [9]) é o método mais comumente usado em testes de desempenho físico e mais citado em publicações que relatam assimetrias bilaterais [6, 7].

A medição de simetria é a diferença entre dois lados, conhecida como SI, onde XR é a medida do lado direito e XL é a medição homóloga do lado esquerdo (eq. 1).

$$SI = \frac{XR - XL}{\frac{1}{2} (XR + XL)} \cdot 100\%$$

(eq. 1)

Simetria 2 (cálculos lineares do índice de simetria, cinemática)

Os parâmetros cinemáticos foram calculados através do índice de simetria global linear (LGSI), adaptado do Índice Global de Assimetria da Marcha (GGA) [14] para cálculos de simetria durante todos os ciclos de testes de desempenho físico.

O índice foi calculado como descrito por Cabral, S. et al [39], adaptado do índice LGGA (assimetria linear global da marcha), e é indicado na seguinte equação:

$$LGSI = \sum_{v=v_1}^{v_{15}} \sqrt{\sum_{t=t_1}^{t_{101}} [x_l(t) - x_r(t)]^2}$$

(eq. 2)

Os componentes 3D de cada vetor são a entrada v na equação deste índice, em que v representa as variáveis angulares (todos os três componentes dos ângulos das articulações do quadril, joelho e tornozelo, o ângulo absoluto da pelve e o ângulo do tronco em relação à pelve), e $x_l(t)$ e $x_r(t)$ são os valores obtidos para os lados esquerdo e direito, respetivamente, em t (cada percentagem do ciclo de teste de desempenho normalizado no tempo), [(9)

Protocolo Estatístico

A fiabilidade intra-avaliador, intra-sessão e teste e re-teste das medidas de simetria do desempenho físico foi integrada para uma análise estatística aprofundada para fornecer consistência dos resultados medidos.

Usando o software SPSS (Versão 24: IBM, Chicago, IL), a distribuição normal [51] dos dados foi calculada pelo teste de Kolmogorov – Smirnov. A presença ou ausência de heterocedasticidade foi confirmada principalmente pelo protocolo de Bland–Altman [52], com a magnitude da média correlacionada com a diferença absoluta do teste e re-teste [1]. Em segundo lugar, a uma distribuição normal foi testada e a heterocedasticidade e a homocedasticidade dos dados foram identificadas. A ANOVA foi realizada; um modelo aleatório bidirecional, concordância e consistência absolutas foram avaliadas quanto à fiabilidade relativa e absoluta. Além disso, o software Microsoft Excel foi usado para todos os dados restantes.

Avaliações de fiabilidade

A fiabilidade pode ser expressa como fiabilidade relativa e absoluta e em nosso protocolo foram realizadas duas variações das avaliações de fiabilidade, que incluem, intra-avaliador (fiabilidade relativa) e teste e re-teste (fiabilidade absoluta).

A fiabilidade relativa é obtida calculando o coeficiente de correlação intra-classe (ICC), que indica em que medida medições repetidas revelam pontuações consistentes de indivíduos pelo avaliador dentro de um grupo de participantes [45]. A fiabilidade relativa foi calculada através do software SPSS; um modelo de efeitos aleatórios bidirecional, e foi expresso como ICC 95% (IC) para fiabilidade intra-examinador [46], para avaliação dos erros aleatórios, que podem afetar o resultado do teste e re-teste intra-sessão [1].

A fiabilidade absoluta foi determinada pelo erro padrão das medidas (SEM), que indica a variabilidade nas pontuações após testes repetidos [1] e quantifica o erro de medição nas mesmas unidades que a medida original [47], e foi incluída e calculada conforme descrito na equação 3.

$$SEM = SD\sqrt{(1-ICC)}$$

(eq.3)

Vários pesquisadores também concordaram com o uso do SEM para diferenciar entre mudanças reais individuais e aquelas causadas por erro de medição [48].

A fiabilidade absoluta de concordância com 95% (IC), comumente usada para investigar diferentes fontes de testes individuais intra-sessão de variação individual ou variação de erro de medição, foi utilizada de acordo com o protocolo de Bland–Altman, para estimar a concordância entre classificações, magnitude do viés e a possibilidade de variação do erro de medida de simetria de acordo com os escores.

A concordância é apresentada como uma percentagem da pontuação média, entre os limites inferior e superior dentro dos 95% de limite de concordância (LOA), descritos abaixo nas equações 4 e 5, respetivamente. A média é a média de todas as medidas para o teste e re-teste.

$$\text{Limite inferior IC95\%} = \text{média} - (\text{DP} \times 1,96) \text{ (eq.4)}$$

$$\text{Limite superior IC95\%} = (\text{DP} \times 1,96 + \text{média}) \text{ (eq.5)}$$

Os limites de concordância de 95% foram calculados como a diferença média $\pm 1,96$ DP das diferenças. Os limites foram analisados por meio da proporção de concordância entre dois períodos de avaliação (pré e pós) da simetria dos testes de desempenho físico (entre TMV lombar).

Referente as mudanças mínimas detectáveis, o MDC representa a magnitude da mudança necessária para exceder o erro de medição de duas medidas repetidas em um intervalo de confiança especificado. É interpretado como a menor quantidade de alteração necessária para designar uma alteração como real e além dos limites do erro de medição [50]. Assim, em nosso estudo, O MDC foi calculado aplicando-se a equação abaixo, com IC de 95%, pois 1,96 é o valor z de frente e verso para o IC de 95% e $\sqrt{2}$ é usado para explicar a variância da equação de duas medidas [4].

$$\text{MDC} = \text{SEM} \times 1,96 \times \sqrt{2}$$

(eq.6)

Resultados

Características dos participantes

Com base nas características dos participantes, todos os atletas participantes foram semelhantes em relação às condições assintomáticas, características antropométricas e em relação aos valores de assimetria bilateral (anterior à intervenção terapêutica), de acordo com a literatura.

Os dados antropométricos dos participantes foram calculados e apresentaram a média (M) e o desvio padrão (DP) de 25 anos; $\pm 5,3$, massa corporal de 68; $\pm 3,9$ e altura de 1,70; $\pm 0,16$, respetivamente.

Em relação a fiabilidade relativa e absoluta das medidas dos testes de simetria foram avaliadas a Simetria 1 e 2, através do ICCs, SEM, SEMdiff, LOA e MDC, e os resultados foram apresentados nas tabelas 1 e 2.

A fiabilidade estatística relativa com 95% de intervalo de confiança foi avaliada intra-avaliador, teste e re-teste de simetria. O ICC variou de aceitável à excelente (ICC = 0,61 - 0,93) nas duas medidas de simetria.

Os maiores valores de ICCs encontrados foram para os ensaios na postura estática (ICC = 0,92) e o no salto vertical contramovimento CMJ, (ICC = 0,93) das medidas de simetria cinética e cinemática, respetivamente.

A fiabilidade estatística absoluta com 95% de intervalo de confiança foi avaliada intra-avaliador, teste e re-teste obtidas para concordância intra-sessão. A simetria 1 apresentou menores escores de SEMs do teste e re-teste (estático, agachamento e CMJ) de (3.0), (3.1) a (4.3), respetivamente, indicando baixos níveis de erros durante os testes. A simetria cinemática (2) também exibiu escores SEMs mais baixos do teste e re-teste, variando de (0,1 a 0,3).

As diferenças de SEM com 95% (IC) variaram de (0,24) a (8,62). Na amostra total, antes e depois dos ensaios, o SEM variou de (0,12 - 4,3%) para a simetria 1 e 2 intra-sessão.

| Simetria 1 | ICC (95% CI) | Pre Post Diff | SEM | LOA (95% CI) Lower-Upper Limits | SEM diff | MDC |
|-----------------|---------------------|---------------|------|---------------------------------|----------|-----|
| Static position | 0.92 (0.82-0.97) | 12.5 | 3.08 | (12.5 - 32.5) | 6.16 | 8.5 |
| Squat | 0.77 (0.41-0.90) | -0.9 | 3.10 | (2.9 - 22.5) | 6.22 | 8.7 |
| CMJ | 0.71 (0.26-0.88) | -0.6 | 4.31 | (2.7 - 28.7) | 8.62 | 9.1 |

Tabela 1: Simetria 1: Confiabilidade estatísticas intra-avaliador, intra-sessão, teste-reteste (ICCs), limite de concordância (LOA), erro de medida padrão (SEM) e alterações mínimas detectáveis (MDC).

Abreviações: AB1: ICC, coeficiente de correlação intra-classe; AB2: SEM, erro padrão de medição; AB3: LOA, limite de concordância; AB4: SEMdiff, erro padrão das diferenças; AB5: MDC, mudanças mínimas detectáveis; AB6: CMJ, salto de contramovimento; AB7: IC, intervalo de confiança.

| Simetria 2 | ICC (95% CI) | Pre Post Diff | SEM | LOA (95% CI) lower-upper Limits | SEM diff | MDC |
|-----------------|------------------------|---------------|------|---------------------------------|----------|-----|
| Static Position | 0.78 (0.46 - 0.91) | 0.081 | 0.20 | (-0.59 - 2.3) | 0.40 | 3.8 |
| Squat | 0.61 (0.005 - 0.84) | 0.04 | 0.28 | (0.94 - 2.7) | 0.56 | 4.2 |
| CMJ | 0.93 (0.76 - 0.97) | 0.13 | 0.12 | (-0.9 - 2.8) | 0.24 | 1.7 |

Tabela 2: Simetria 2: Confiabilidade estatísticas intra-avaliador, intra-sessão, teste-reteste (ICCs), limite de concordância (LOA), erro de medida padrão (SEM) e alterações mínimas detectáveis (MDC). Legenda: Abreviações: AB1: ICC, coeficiente de correlação intra-classe; AB2: SEM, erro padrão de medição; AB3: LOA, limite de concordância; AB4: SEMdiff, erro padrão das diferenças; AB5: MDC, mudanças mínimas detectáveis; AB6: CMJ, salto de contramovimento; AB7: IC, intervalo de confiança.

Confiabilidade relativa

Discussão

A fiabilidade estatística relativa com 95% de intervalo de confiança foi avaliada intra-avaliador, teste e re-teste de simetria. Ambas as medidas de simetria apresentaram ICC variando de aceitável a excelente fiabilidade relativa em 90% das variáveis de simetria (ICC = 0,61 - 0,93).

De acordo com a literatura, a fiabilidade dos avaliadores [12], instrumentos [1] e testes de desempenho, valores de ICC = 0,41 a 0,96 indicavam fiabilidade de pequena a grande; um ICC superior a (0,90) indicou excelente fiabilidade [1],[53],[54], particularmente para medições desportivas e clínicas, com participantes sintomáticos e suas condições de saúde [1], [53], [55].

A fiabilidade absoluta descreve a variabilidade dos atletas participantes, que são atribuíveis às avaliações das medidas de simetria, repetidas durante a mesma sessão. Esse método estatístico estabelecido é comumente usado em medicina desportiva, fisioterapia e ciências do desporto [1], [42], [56], [57].

Vários pesquisadores também concordaram com o uso do SEM para diferenciar as mudanças reais individuais e as devidas a erros de medição [48]. Além disso, a fiabilidade absoluta de concordância com 95% IC é também comumente usada para investigar diferentes fontes de variação individual ou testes intra-sessão de variação de erro de medição.

O SEM% variou apenas 12% para todas as variáveis (menos de 5%). Em 100% das variáveis, o SEM foi obtido em até 5%. O grande número de variáveis abaixo do limite de 5% de SEM, confirmando os 95% (IC) intra-avaliador. Thomas e Nelson [60], relataram que um reteste imediato realizado em uma sessão reflete a consistência interna, e seus resultados referentes à fiabilidade são maiores do que no caso do reteste entre sessões.

Em relação à fiabilidade, de acordo com a literatura os valores aceitáveis da fiabilidade para esta medida geralmente são 60% para a proporção de concordância que coeficiente que ajusta a estimativa de fiabilidade para concordância casual (0,50) a (0,80) para o coeficiente e ($p < 0,05$) para os testes em associação entre o pré e o pós-teste.

Os limites de concordância (LOA) foram calculados e os resultados indicaram uma

proporção de 62% de concordância das diferenças pre e pós entre as medidas dos participantes; o que era esperado em um intervalo de confiança de 95%, variando entre (0,5 - 39%), com intervalo de 38%, e é conhecido como limite de desacordo.

Em relação ao MDC, no nosso estudo, 90% da maioria das variáveis de simetria em testes físicos apresentaram valores menores de 10 pontos.

Em 90% de todas as variáveis do estudo, os resultados apresentaram boa e excelente fiabilidade absoluta e relativa, e uma pequena manifestação dos erros das medidas.

A principal limitação deste estudo, se deve ao fato que não foram realizadas análises de fiabilidade entre avaliadores e entre sessões, por ser incompatível com nosso protocolo. No entanto, sugerimos abordar essas limitações em estudos futuros.

Conclusão

Consistente com as investigações clínicas e desportivas com intervalo de confiança de 95%, foram realizados cálculos estatísticos para avaliar a fiabilidade intra-avaliador e teste-re-teste das medidas de simetria. Os resultados apontaram que os valores de fiabilidade relativa e absoluta foram consideradas de aceitáveis à excelente, de acordo com a literatura. Portanto, a avaliação da simetria em ações estáticas e dinâmicas, demonstrou ser um método confiável para avaliar a simetria em atletas antes e depois da TMV lombar, e parece ser fiável e reprodutível, podendo servir como uma ferramenta útil no desenvolvimento de protocolos de reabilitação desportiva, nomeadamente na avaliação da simetria de atletas, relevante no contexto clínico e desportivo

Bibliografia

- [1] G. Atkinson and A. Nevill, Statistical Methods for Asssing Measurement Error (Reliability) in Variables Relevant to Sports Medicine. *Sport. Med.* 26:4, pp. 217–238; 1998.
- [2] W. G. Hopkins, Measures of reliability in sports medicine and science. *Sport. Med.* 30:1, pp. 1–15; 2000.
- [3] Cleland J.A., Fritz J.M., Whitman J.M et al. The use of a lumbar spine manipulation technique by physical therapists in patients who satisfy a clinical prediction rule: A case series. *J Orthop Sport. Phys Ther.* 2006; 36(4), pp. 209–14.
- [4] Menzel HJ, Andrade AP, Bertú F, et al. Reliability of symmetry differences of dynamic variables during countermovement jump. 30th Annu. Conf. Biomech. Sport. 2012; 94; pp. 188–191.
- [5] Washburn RA, Heath GW, Jackson AW. Reliability and validity issues concerning large-scale surveillance of physical activity. *Res.Q.Exerc.Sport.* 2000; 71: pp. 104–113.
- [6] Vienneau J, Quantifying Gait Symmetry use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J. Manip. Physiol. Ther.* 1989; 21:4, pp. 110–114.
- [7] VanZant RS, McPoil TG, Cornwall MW. Symmetry of Plantar Pressures and Vertical Forces in Healthy Subjects During Walking. *J. Am. Podiatr. Med. Assoc.* 2001; 91:7, pp. 337–342.
- [8] Almeida PDO, Prudente GFG, De Sá FE, et al. Postural and Load Distribution Asymmetries in Preschoolers, *Motricidade.* 2016; 11:4, pp. 58.
- [9] Burnett DR, Campbell K, Naira H, et al. Symmetry of ground reaction forces and muscle activity in asymptomatic subjects during walking, sit-to-stand, and stand-to-sit tasks. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 2011; 21: 4, pp. 610–5.
- [10] H. Tsushima, M. E. Morris, J. Mcginley. Test-retest reliability and inter-tester reliability of kinematic data from a three-dimensional gait analysis system. *J. Japanese Phys. Ther. Assoc.* 2003; 6:1, pp. 9–17.
- [11] Impellizzeri NA, Bizzini FM., Rampinini E, et al. Reliability of isokinetic strength imbalance ratios measured using the Cybex NORM dynamometer. *Clin. Physiol. Funct. Imaging.* 2008; pp. 113–119.

- [12] Fairus FZ, Joseph LH, Omar B, et al. Intra-rater reliability and minimal detectable change of vertical ground reaction force measurement during gait and half-squat tasks on healthy male adults. *Malaysian J. Med. Sci.* 2016; 23:2, pp. 21–27.
- [13] C. M. Kim, J. J. Eng, Symmetry in vertical ground reaction force is accompanied by symmetry in temporal but not distance variables of gait in persons with stroke. *Gait Posture.* 2003; 18:1, pp. 23–28.
- [14] Cabral S, Fernandes R, Selbie WS, et al. Inter-session agreement and reliability of the Global Gait Asymmetry index in healthy adults, *Gait Posture.* 2017, pp. 20–24.
- [15] O. E. Herzog W, Nigg BM, Read LJ. Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sport. Exerc.* 1989; 21(1), pp. 110–4.
- [16] J. L. McGinley, R. Baker, R. Wolfe, M. E. Morris. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: A systematic review. *Gait Posture.* 2009; 29: 3, p. 360–369.
- [17] Mullineaux DR, Bartlett RM, Bennett S. Research design and statistics in biomechanics and motor control. *J. Sports Sci.* 2001; 19:10, pp. 739–760.
- [18] Kraemer HC, Blasey C. How Many Subjects? 2nd ed. New York (NY): SAGE Publications. 24; 2016.
- [19] Erdfelder E, Faul F, Buchner A, GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers.* 1996; 28:1, pp. 1–11.
- [20] Boutron RP, Altman DG, Moher D, Schulz KF. CONSORT Statement for Randomized Trials of Nonpharmacologic Treatments: A 2017 Update and a CONSORT Extension for Nonpharmacologic Trial Abstracts. *Ann. Intern. Med.* 2017; 4;167:1, pp. 40–7.
- [21] World Health Organization. WHO guidelines on basic training and safety in chiropractic. 2005; 1, pp. 1699.
- [22] Globe GA, Morris CE, Whalen WM, et al. Chiropractic management of low back disorders: report from a consensus process. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 2008, 31:9, p. 651–8.
- [23] Haldeman S, Chapman-Smith D, Petersen DJ, et al. Guidelines for chiropractic quality assurance and practice parameters. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers. 1993.
- [24] Peterson DH, Bergmann TF. Joint anatomy and basic biomechanics. In: Chiropractic technique: principles and procedures. 2nd ed. Mosb ed; pp. 11–38; 2002.

- [25] Bergmann TF, Peterson DH, Lawrence. *Chiropractic Technique-Principles and Procedures*. New York, (NY): Churchill Livingstone Inc. 1993.
- [26] S. Taimela, M. Kankaanpää, S. Luoto. The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine*.1999: 1;24(13); pp.1322-7.
- [27] Kirkaldy-Willis TN, Bernard, T.N. 1999. *Managing Low Back Pain*. 4th ed. New York: Churchill Livingstone. 1999.
- [28] Bertilson BC, Bring J, Sjöblom A, K. et al. Inter-examiner reliability in the assessment of low back pain (LBP) using the Kirkaldy-Willis classification (KWC), *Eur. Spine J*. 2006; 15:11, pp. 1695–1703.
- [29] Kirkaldy-Willis, W.H, Burton. *Managing Low Back Pain*. 4rd ed. New York, USA: Churchill Livingstone Inc. 1999.
- [30] Marshall B, Franklyn-Miller A, Moran K, et al. Biomechanical symmetry in elite rugby union players during dynamic tasks: an investigation using discrete and continuous data analysis techniques. *BMC Sports Sci. Med. Rehabil*. 2015; 19;7:13.
- [31] Seay J, Selbie WS, Hamill J. In vivo lumbo-sacral forces and moments during constant speed running at different stride lengths. *J Sports Sci*. 2008; 26:14, p. 1519-1529.
- [32] Cappozzo A, Catani F, Leardini A, et al. Position and orientation in space of bones during movement: Experimental artefacts. *Clin. Biomech*. 1996. 11: 2, pp. 90–100.
- [33] Cappozzo A, Catani F, Crocel D, et al. Position and orientation in space of bones during movement: Anatomical frame definition and determination. *Clin. Biomech*.1995. 10:4, pp. 171–178.
- [34] Clijsters M, Fronzoni F, Jenkins H. Chiropractic treatment approaches for spinal musculoskeletal conditions: a cross-sectional survey. *Chiropr. Man. Therap* 2014; 22:1, pp. 33.
- [35] WHO World Health Organization. *Guidelines on basic training and safety in chiropractic*. 2005; 1, pp. 1699.
- [36] Schafer LJ, Faye, L.J. *Motion palpation and Chiropractic Technique: Principles of dynamic Chiropractic*. 2nd edition. California (U.S.A.): The motion palpation Institute. 1990.

- [37] Impellizzeri FM, Rampinini E, Maffiuletti N, et al. A vertical jump force test for assessing bilateral strength asymmetry in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007; 39:11, pp. 2044–2050.
- [38] Paço M, Cruz EB. 'Fiabilidade Intra-Observador, Erro de Medida e Mudança Mínima Detectável do Weight-Bearing Lunge-Test e do Teste de Deslizamento Posterior do Astrágalo em Indivíduos com História de Entorse do Tornozelo. *Fisioonline.*' 2011; 2, pp. 25–31.
- [39] Fousekis K, Tsepis E, Vagenas G. Lower limb strength in professional soccer players: Profile, asymmetry, and training age. *J. Sport. Sci. Med.* 2010; 9:3, pp. 364–373.
- [40] Linthorne NP. Analysis of standing vertical jumps using a force platform, *Am. J. Physiol.* 2001; 69:11, pp. 1198–1204.
- [41] McGrath TM, Waddington G, Scarvell JM, et al., The effect of limb dominance on lower limb functional performance – a systematic review. *J. Sports Sci.* 2015, pp. 1–14.
- [42] Wagner JM, Rhodes JA, Patten C. Reproducibility and Minimal Detectable Change of Three-Dimensional Kinematic Analysis of Reaching Tasks in People With Hemiparesis After Stroke, *Phys. Ther.* 2008; 88:5, pp. 652–663.
- [43] Cordova ML, Armstrong CW. Reliability of ground reaction forces during a vertical jump: Implications for functional strength assessment. *J. Athl. Train.* 1996; 31:4, pp. 342–345.
- [44] Robinson RO, Herzog W, Nigg BM. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J. Manipulative Physiol. Ther.* 1987; 10, pp. 172–176.
- [45] Domholdt E. Rehabilitation research: Principles and applications. St. Louis, Mo: Elsevier Saunders. 2005.
- [46] Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability. *Psychol. Bull.* 1979; 86:2, pp. 420–428.
- [47] Baumgartner TA, Jackson AS, Mahar MT, et al. Measurement Theory and Practice in Kinesiology. 7th ed, Boston, McGraw Hill. 2003.
- [48] Eliasziw M, Young SL, Woodbury MG et al. Statistical Methodology for the Concurrent Assessment of Interrater and Intrarater Reliability: Using Goniometric Measurements as an Example. *Phys. Ther.* 1994; 74:8, pp. 777–788.

- [49] Goldberg A, Casby A, Wasielewski M. Minimum detectable change for single-leg-stance-time in older adults. *Gait Posture*. 2011; 33:4, pp. 737–9.
- [50] Hollman JH, Beckman BA, Brandt RA, et al. Minimum detectable change in gait velocity during acute rehabilitation following hip fracture. *J. Geriatr. Phys. Ther.* 2008; 31:2, pp. 53–56.
- [51] Gordon S. The normal distribution, Mathematic learning centre NSW. University of Sidney. 2003.
- [52] Bland JM, Altman DG. Bland-Altman Plot and Analysis. *NCSS Stat. Softw. Guid.* 1999; pp. 204–1.
- [53] Lohr KN, Aaronson NK, Alonso J, et al. Evaluating quality-of-life and health status instruments: Development of scientific review criteria. *Clin. Ther.* 1996; 18:5, pp. 979–92.
- [54] Segura-Ortí E, Martínez-Olmos FJ. Test-Retest Reliability and Minimal Detectable Change Scores for Sit-to-Stand-to-Sit Tests, the Six-Minute Walk Test, the One-Leg Heel-Rise Test, and Handgrip Strength in People Undergoing Hemodialysis. *Phys. Ther.* 2011; 91:8, pp. 1244–1252.
- [55] Schwenk M, Gogulla S, Englert S, et al. Test–retest reliability and minimal detectable change of repeated sit-to-stand analysis using one body fixed sensor in geriatric patients. *Physiol. Meas.* 2012; 33:11, pp. 1931–1946.
- [56] Haley SM, Fragala-Pinkham MA. Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy. *Phys. Ther.* 2006; 86:5, pp. 735–743.
- [57] Bialocerkowski AE, Bragge P. Measurement error and reliability testing: Application to rehabilitation. *Int. J. Ther. Rehabil.* 2013; 17:3, pp. 114–121.
- [58] Downhama DY, Holmbäck AM, Lexell J. Reliability of measurements in medical research and clinical practice. *Stud. multidisciplinarity.* 2005; pp. 147-163.
- [59] Quails-Payne AL. A Comparison of Score Level Estimates of the Standard Error of Measurement. *J. Educ. Meas.* 1992; 29:3, pp. 213–225.
- [60] Nelson JK, Silverman SJ, Thomas J. 7th ed. Research methods in physical activity. 2015.