

## Ajustes cinemáticos do complexo articular do tornozelo sobre diferentes superfícies instáveis

### Kinematic adjustments of the ankle joint complex on different unstable surfaces

Karla Azenda Cruzeiro<sup>1</sup>, Luis Aureliano Imbiriba Silva<sup>2</sup>, Mariana Rodrigues Alves Correia<sup>3</sup>, Sara Gonçalves Farias<sup>4</sup>, Marco Antonio Cavalcanti Garcia<sup>5</sup>, Adriana Ribeiro de Macedo<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Autora para correspondência. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID 0000-0003-2835-1200. karlaanet@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Biomecânica, Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID 0000-0002-9274-7253. aurelio@eefd.ufrj.br

<sup>3</sup> Departamento de Biomecânica, Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID 0000-0001-9592-8319. mariana.rodriguesac@gmail.com

<sup>4</sup> Departamento de Biomecânica, Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID 0000-0002-8283-1902. sgf.sara@gmail.com

<sup>5</sup> Departamento de Biomecânica, Escola de Educação Física e Desportos, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID 0000-0002-8225-6573. marcoacg\_ufrj@hotmail.com

<sup>6</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID 0000-0002-2094-8443. adriana.macedo@ifrj.edu.br

**RESUMO | INTRODUÇÃO:** Poucos estudos discutem as reações corporais de indivíduos saudáveis no momento em que os exercícios em superfícies instáveis estão sendo executados, embora os efeitos do treinamento – efeitos crônicos do exercício – sejam bastante estudados. **OBJETIVO:** Descrever a cinemática articular do tornozelo e retropé durante essa interação. **METODOLOGIA:** Dezoito voluntários participaram do estudo. A posição articular da região do tornozelo foi estudada em três superfícies: AIREX® Balance-pad, BOSU® e chão (controle). Para análise estatística, utilizou-se ANOVA e Pós-teste de Tuckey, considerando um nível de significância menor que 0,05. **RESULTADOS:** A posição articular da região tornozelo no plano sagital foi diferente no BOSU® em relação ao AIREX® ( $p < 0.001$ ) e ao chão ( $p < 0.001$ ). O tornozelo ficou em posição mais próxima à neutra no AIREX® e no chão. Com o BOSU, a dorsiflexão foi acentuada. Não houve diferença da posição média no plano frontal. A variabilidade da posição da região do tornozelo foi maior no BOSU® que no AIREX® ( $p < 0.001$ ) e no chão ( $p < 0.001$ ), tanto no plano sagital, quanto no plano frontal. A frequência média de deslocamento da posição articular na região do tornozelo no plano sagital foi maior no BOSU® que no chão ( $p < 0.001$ ); e no plano frontal, para o retropé, foi maior no BOSU® que no AIREX® ( $p < 0.001$ ) e chão ( $p < 0.001$ ). **CONCLUSÃO:** Houve diferença no comportamento articular da região do tornozelo na condição BOSU® em relação às demais nas superfícies utilizadas, havendo um aumento das oscilações articulares no processo de controle postural em condições mais instáveis e maior dorsiflexão no BOSU®.

**PALAVRAS-CHAVE:** Equilíbrio. Superfícies instáveis. Eletrogoniometria. Tornozelo.

**ABSTRACT | INTRODUCTION:** There are few studies approaching the bodily reactions of healthy individuals while performing exercises on unstable surfaces although the training effects – exercise chronic effects – are well studied. **OBJECTIVE:** The goal of this study was to describe the ankle and rear foot region osteoarticular kinematic during these interaction. **METHOD:** Eighteen volunteers participated in the study. The ankle joint displacement was studied in three different surfaces: AIREX® Balance-pad, BOSU® and Ground (control). Statistical analysis was performed using ANOVA and Tukey test, considering a significance level of 0.05. **RESULTS:** The position of the ankle joint in the sagittal plane was greater in the BOSU® than in the AIREX® ( $p < 0.001$ ) and ground ( $p < 0.001$ ). The ankle was close to the neutral position in the AIREX® and on the ground. With BOSU, the dorsiflexion was increased. Considering the frontal plane, there was no difference in the rear foot position. Moreover, the variability in the ankle mobility in sagittal and frontal planes was higher in BOSU® than AIREX® ( $p < 0.001$ ) and ground ( $p < 0.001$ ). The mean frequency of the ankle position in the sagittal plane was greater in the BOSU® than on the ground ( $p < 0.001$ ), and, in frontal plane, the rear foot frequency displacement was largest in the BOSU® than in the AIREX® ( $p < 0.001$ ) and on the ground ( $p < 0.001$ ). **CONCLUSION:** There were observed differences in ankle postural control strategies in the BOSU® condition when compared with the other surfaces tested. The ankle and rear foot oscillations increase and there is a greater dorsiflexion for the postural control under the most unstable condition - BOSU.

**KEYWORDS:** Balance. Unstable surfaces. Electrogoniometry. Ankle.

## Introdução

É ampla a literatura que relata a frequente utilização de superfícies instáveis em diferentes populações, no tratamento de lesões ortopédicas ou neurológicas, utilizando diversos instrumentos que geram variados graus de instabilidade. Tais recursos são inseridos com o intuito de aumentar a complexidade da tarefa, gerando maiores desafios ao controle postural<sup>1-12</sup>. Entretanto, a grande maioria dos trabalhos científicos sobre o tema compara os parâmetros de interesse antes e depois do treinamento, inferindo sobre os efeitos crônicos do treinamento<sup>13-19</sup>.

Tais estudos observam as mudanças nos padrões de recrutamento dos músculos relacionados aos ajustes posturais e no equilíbrio corporal após treinamentos com protocolos que incluem superfícies instáveis<sup>13-19</sup>. Porém, as ações e reações corporais induzidas pela interação dos indivíduos com as superfícies instáveis – ou seja, os efeitos agudos do exercício –, têm sido estudados apenas nas últimas 3 décadas<sup>1-12, 20</sup>. Nesses trabalhos, o centro de pressão, o sinal eletromiográfico de músculos da perna e a amplitude articular da região do tornozelo são analisados durante a execução destes exercícios.

O recente trabalho de Strom et al. (2016)<sup>12</sup> foi o primeiro a avaliar parâmetros como velocidade de pico do movimento articular da região do tornozelo e número de inversões e eversões do pé durante a manutenção do apoio unipodal sobre superfícies instáveis<sup>12</sup>. O trabalho de Farias et al. (2016)<sup>3</sup>, também recente, inaugura a avaliação de parâmetros cardiorrespiratórios e a avaliação de valências emocionais durante a execução de exercícios em superfícies instáveis<sup>3</sup>. Contudo, a literatura carece de estudos que avaliem a posição articular e a frequência da variação dessa posição, parâmetros importantes para descrever as estratégias de manutenção do equilíbrio postural.

O presente estudo teve como objetivo descrever as respostas articulares para a manutenção do equilíbrio postural durante interação com diferentes superfícies instáveis em apoio bipodal, através de informações obtidas a partir do registro da série temporal de posição articular da região do tornozelo.

Os objetivos específicos foram observar a posição média, o desvio-padrão e a frequência da variação da posição articular na região do tornozelo sobre duas superfícies instáveis multidirecionais, tendo o chão (superfície estável) como controle.

Nossa hipótese foi de que com o aumento da instabilidade ocorresse a flexão dorsal na região do tornozelo e o aumento da amplitude da variabilidade dessas posições e o aumento da frequência do deslocamento da região do tornozelo. A flexão dorsal projetaria o centro de gravidade anteriormente tornando mais segura a execução da atividade. O aumento do desvio-padrão e da frequência de variação da posição articular da região do tornozelo decorreriam da maior excursão da articulação e da necessidade de ajustes posturais mais rápidos em decorrência da maior instabilidade.

## Metodologia

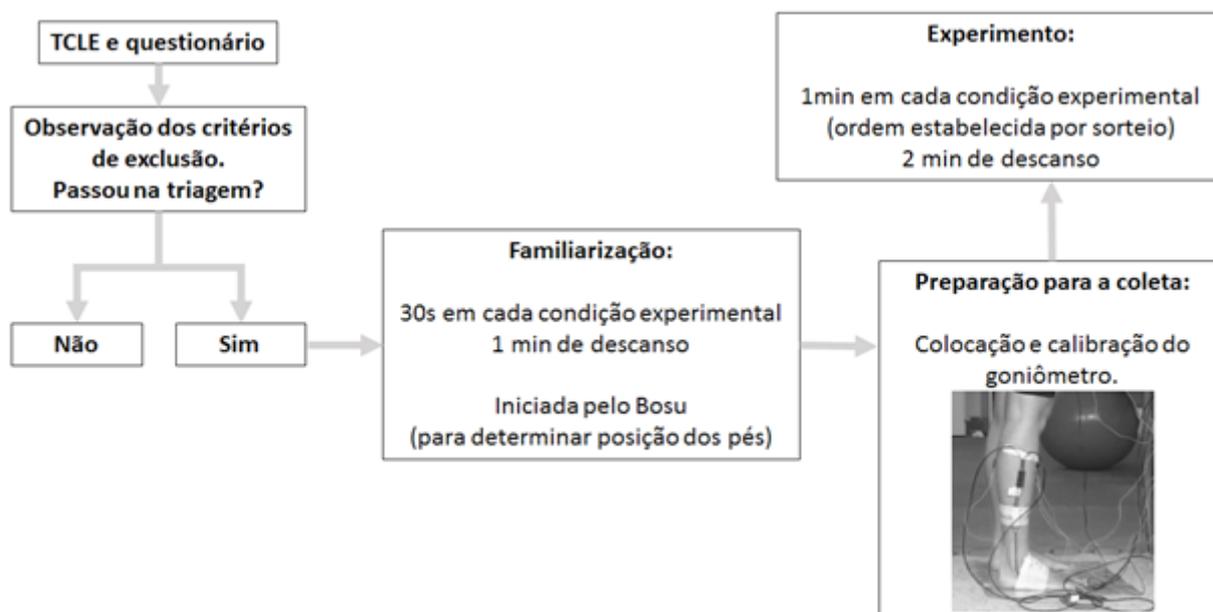
Trata-se de um estudo biomecânico laboratorial de análise cinemática do padrão de movimento articular da região do tornozelo em duas diferentes condições de instabilidade postural multidirecional.

As coletas ocorreram no Laboratório de Corporeidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Campus Realengo. A amostra foi obtida por conveniência, sendo a divulgação e a coleta realizadas ao longo de um único dia. O tempo de coleta foi de aproximadamente 15 a 20 min para cada voluntário. Cada voluntário respondeu a um questionário visando caracterizar a amostra e identificar os seguintes critérios de exclusão: doenças cardiorrespiratórias graves, alterações visuais ou vestibulares, dores importantes em regiões de tornozelo, joelho, quadril e coluna. Todos os voluntários foram esclarecidos dos objetivos e procedimentos relacionados à pesquisa e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. O estudo foi aprovado (CAAE: 08305013.0.0000.5268) pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

Após a triagem, dezoito voluntários saudáveis (dezesesseis mulheres), com idade entre 18 e 53 anos, altura entre 152 e 180 cm, massa corporal entre

43 e 109 kg e IMC entre 18,61 e 33,64 kg/m<sup>2</sup> participaram do estudo. Os voluntários então passaram pelas seguintes etapas: familiarização com o protocolo e com as superfícies instáveis, preparação para a coleta e teste, realizado nas três condições experimentais (AIREX® Balance-pad, BOSU® e Chão), conforme ilustra o diagrama abaixo (Figura 1):

Figura 1. Diagrama de fluxo do protocolo experimental



A familiarização teve como objetivo determinar a posição dos pés mais apropriada para realização dos exercícios, familiarizar o voluntário com o teste e dirimir possíveis dúvidas com relação aos procedimentos. O voluntário devia se manter em postura ortostática confortável sobre cada plataforma, com olhar fixo em um ponto, posicionado a uma distância de três metros, ao nível dos olhos, braços ao longo do corpo, cotovelos flexionados em 90° e antebraço em posição neutra, com os polegares voltados para cima. A postura dos membros superiores foi idealizada para facilitar a segurança caso houvesse grande desequilíbrio, facilitando o apoio em um suporte localizado à frente do voluntário, para ser usado em caso de iminência de queda. Durante a familiarização, o tempo de permanência sobre cada uma das superfícies foi de 30 segundos, com intervalo de 1 minuto entre as condições. A posição dos pés foi estabelecida como a posição confortável na condição experimental considerada mais desafiadora (BOSU®), sendo assim, o BOSU® foi a primeira superfície instável utilizada na etapa de familiarização por todos os voluntários.

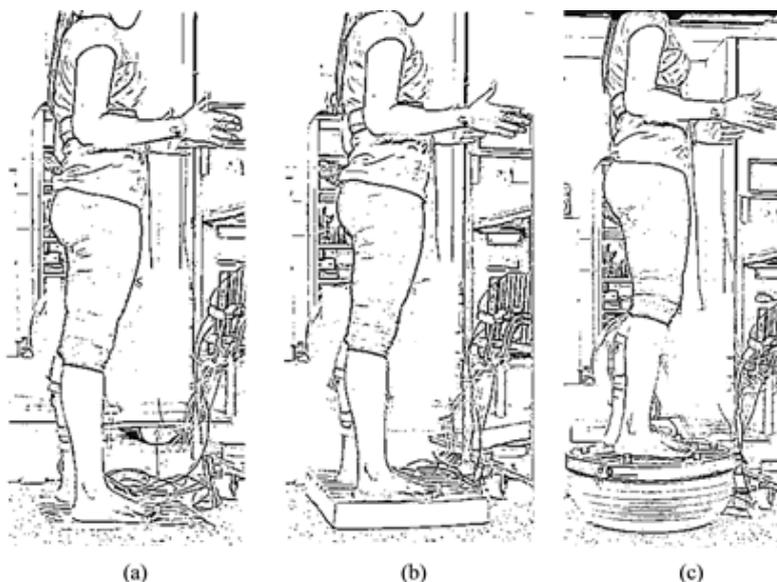
Após a etapa de familiarização, um eletrogoniômetro digital biaxial (BIOPAC Systems Inc, 2012) foi posi-

cionado na lateral da perna dominante, verticalmente, e seguindo o comprimento do pé, horizontalmente, passando pelo tornozelo<sup>21</sup>, viabilizando a coleta das posições angulares das articulações do tornozelo e retropé no plano sagital e retropé no plano frontal. Nesse texto, o termo região do tornozelo foi usado para indicar a região que engloba as articulações do tornozelo, a entre os ossos do retropé (subtalar) e as adjacentes a esses, por onde o goniômetro passa possibilitando a referência aos movimentos no plano frontal. Foram realizadas as calibrações do eletrogoniômetro para cada voluntário antes do início das coletas, de acordo com o MP System Hardware Guide (BIOPAC Systems Inc, 2014)<sup>22</sup>.

O experimento consistiu na manutenção da postura descrita na etapa de familiarização sobre três tipos de superfícies de suporte: chão (situação controle), BOSU® invertido (face rígida para cima) e AIREX® Balance-pad (Figura 2). Ambas as superfícies instáveis utilizadas neste experimento fornecem instabilidade multidirecional. O tempo de cada exercício foi de um minuto sobre cada superfície e foi respeitado o período de repouso de 2 minutos entre as tarefas experimentais. A ordem das superfícies foi definida por meio de sorteio.

Os métodos adotados na etapa de familiarização e a posição do voluntário durante o experimento foram os mesmos adotados por Farias et al. (2016)<sup>3</sup>.

**Figura 2.** Posição dos voluntários durante o experimento nas condições chão (a), Airex (b) e Bosu (c)



Os sinais fisiológicos de interesse foram amplificados e filtrados com filtro anti-aliasing (10 - 750 Hz) e adquiridos simultaneamente com uma frequência de amostragem de 1000 Hz. Os parâmetros analisados a partir do registro da série temporal da posição articular nos plano sagital (flexão dorsal/ flexão plantar) e frontal (movimentos laterais) foram: a posição média da articulação em cada tarefa experimental, a variabilidade da posição da articulação (inferida a partir do desvio padrão da série temporal da posição do complexo articular da região do tornozelo) e a frequência média do deslocamento articular nos planos sagital e frontal. Para o processamento dos sinais fisiológicos, foi utilizado o software Matlab®, versão 7.0. Para a análise estatística dos dados, foi utilizado o software Statistica, versão 7.0. Foi realizada a análise de variância com medidas repetidas (one-way ANOVA) e o teste post-hoc de Tukey HSD, considerando um nível de significância de 0,05.

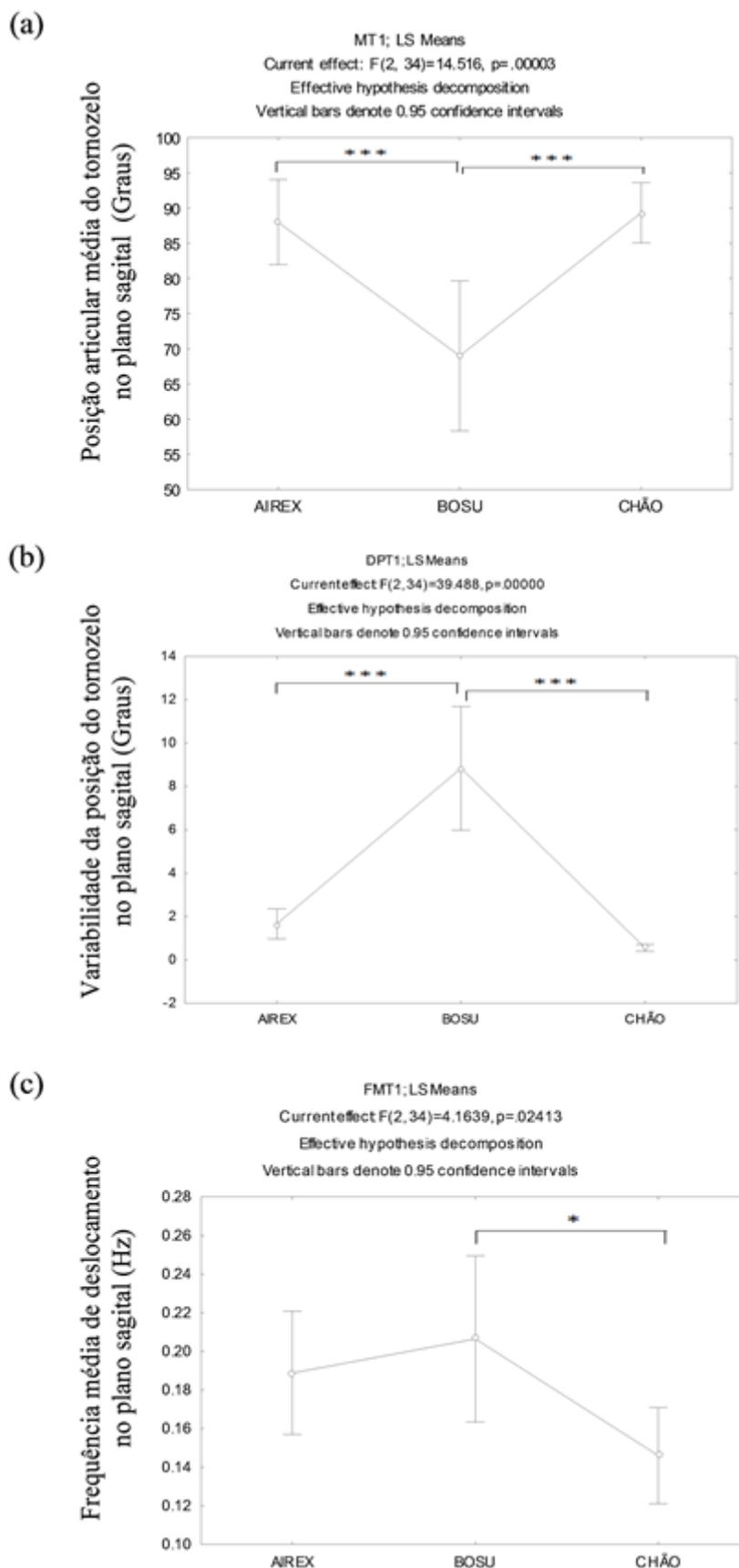
## Resultados

A posição articular média do tornozelo no plano sagital foi em dorsiflexão, sendo que a dorsiflexão foi maior no BOSU® na comparação com o AIREX® Balance-pad ( $p = 0.0003$ ) e o Chão ( $p = 0.0002$ ).

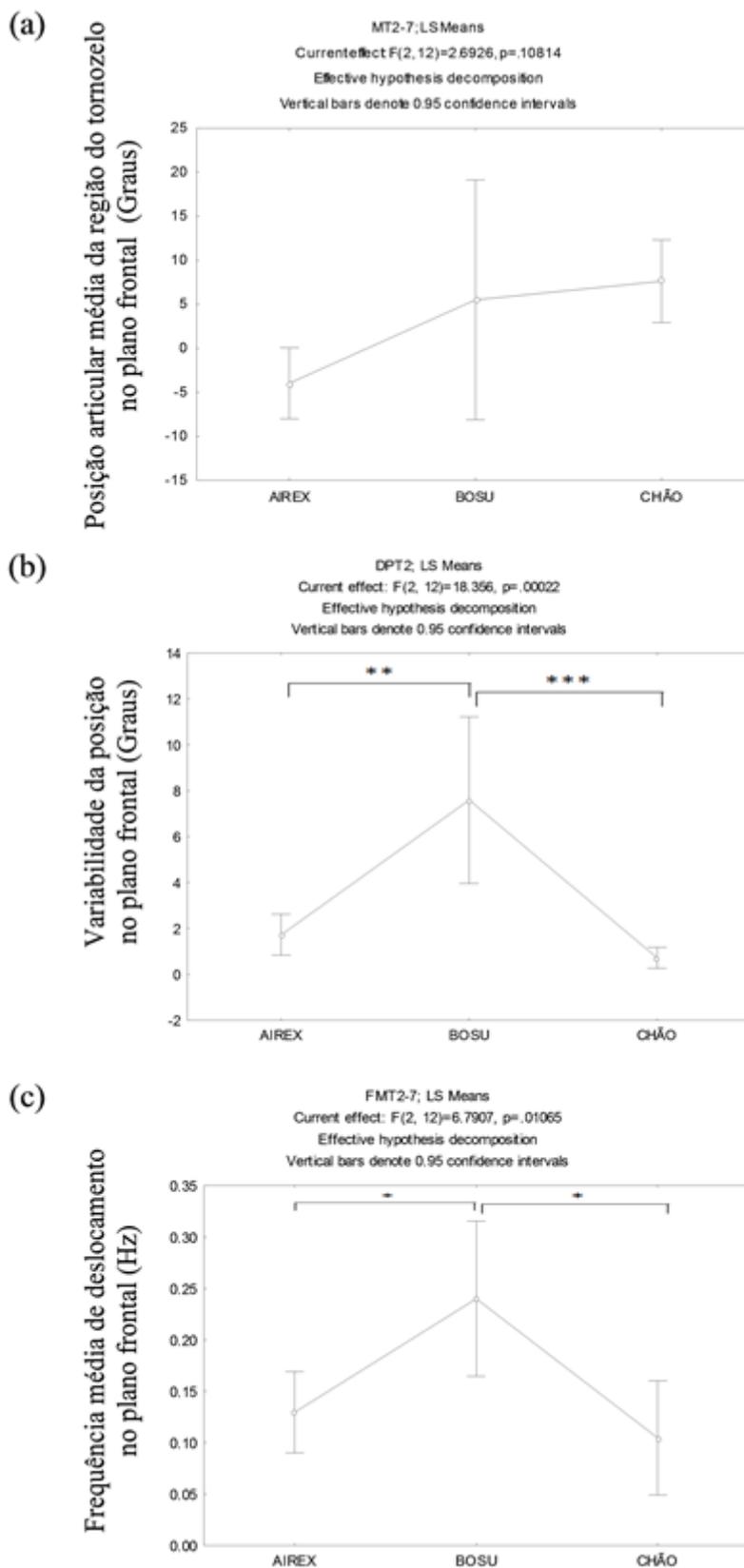
Não houve diferença significativa na posição média do tornozelo entre o AIREX® Balance-pad e o Chão ( $p = 0.95$ ), estando a posição articular próxima à posição neutra ( $90^\circ$ ) do tornozelo (Figura 3a). A variabilidade da posição do tornozelo nesse plano foi maior no BOSU® em comparação com o AIREX® Balance-pad ( $p = 0.0001$ ) e o Chão ( $p = 0.0001$ ). Não houve diferença significativa entre o AIREX® Balance-pad e o Chão ( $p = 0.52$ ) (Figura 3b). A frequência média do sinal da posição do tornozelo no plano sagital foi maior no BOSU® que no chão ( $p = 0.0219$ ). Não houve diferença entre BOSU® e AIREX® Balance-pad ( $p = 0.6933$ ) e entre AIREX® Balance-pad e o Chão ( $p = 0.13$ ) (Figura 3c).

No plano frontal não houve diferença na posição articular média na região do tornozelo entre as três condições (Figura 4a). Contudo, a variabilidade da posição articular na região do tornozelo foi maior no BOSU® em comparação ao AIREX® Balance-pad ( $p = 0.0013$ ) e ao Chão ( $p = 0.0004$ ). Não houve diferença entre o AIREX® Balance-pad e o Chão ( $p = 0.70$ ) (Figura 4b). A frequência média de deslocamento articular da região do tornozelo também foi maior no BOSU® que no AIREX® Balance-pad ( $p = 0.0380$ ) e no chão ( $p = 0.0122$ ). Não houve diferença entre o AIREX® Balance-pad e o Chão,  $p = 0.80$  (Figura 4c).

**Figura 3.** Posição média (a), variabilidade da posição articular (b) e frequência média (c) do deslocamento da posição articular do tornozelo no plano sagital durante as condições experimentais AIREX® Balance-pad, BOSU® e CHÃO (controle). Para a posição média (a), 90° indica o tornozelo em posição neutra, sendo assim, valores acima desse indicam uma posição em plantiflexão enquanto valores menores indicam uma posição em dorsiflexão



**Figura 4.** Posição média (a), variabilidade da posição articular (b) e frequência média (c) do deslocamento da posição articular da região do tornozelo no plano frontal durante as condições experimentais AIREX® Balance-pad, BOSU® e CHÃO (controle). Para a posição média (a), valores positivos indicam a posição em inversão e valores negativos indicam eversão



## Discussão

O objetivo deste trabalho foi verificar o comportamento articular na região do tornozelo durante exercícios em duas superfícies instáveis multidirecionais (AIREX® e BOSU®), utilizando o chão como controle.

A atividade eletromiográfica de indivíduos saudáveis em superfícies instáveis é explorada na literatura<sup>1, 2, 4-10</sup>. Alguns trabalhos estudam a amplitude de movimento articular da região do tornozelo em superfícies instáveis. Entretanto, não encontramos estudos que tenham avaliado a posição articular média e a frequência da variação da posição articular da região do tornozelo sobre superfícies instáveis, considerando o apoio bipodal, sendo essa uma contribuição deste estudo. Tais parâmetros fornecem informações sobre as variações de posição da região do tornozelo em atividades que não demandam amplitudes de movimento articulares extremas. Sendo assim, tais dados dão uma pista sobre estratégias de controle adotadas nessa dinâmica, ou seja, sobre a maneira como as variações de posição articular ocorrem.

Recentemente, Strom et al. (2016)<sup>12</sup> estudaram a variabilidade do movimento articular da região do tornozelo, o pico de inversão e as mudanças de sentido dos movimentos de inversão e eversão<sup>12</sup>. Os autores, assim como neste estudo, utilizaram o AIREX® e BOSU®, além da placa de wobble. Entretanto, avaliaram os exercícios em apoio unipodal sobre a plataforma e, por consequência, focaram suas avaliações nos movimentos de inversão e eversão.

Nossos achados corroboram nossas hipóteses e sugerem uma postura de tornozelo mais acentuada em dorsiflexão no BOSU®, tendo permanecido mais próximas da posição neutra (90°) no AIREX® e no chão. A frequência média de variação da posição articular da região do tornozelo no plano sagital foi maior no BOSU® do que no chão. Já no plano frontal, foi maior no BOSU® que no AIREX® e no chão. Esses resultados sugerem um possível deslocamento anterior do corpo, associado a um aumento das oscilações e da frequência das oscilações articulares no processo de controle postural em condições mais instáveis. O trabalho de Strom et al. (2016)<sup>12</sup>, apesar de realizado em apoio unipodal, que inten-

sifica as oscilações laterais de tornozelo, apontam maiores oscilações laterais no BOSU, que no AIREX e no chão<sup>12</sup>. Nosso trabalho, realizado em apoio bipodal, onde as oscilações laterais diminuem, não mostrou diferenças significativas relativas à posição média no plano frontal, mas identificou um aumento de frequência e da variedade articular no BOSU®, apontando um parâmetros sensíveis que inferem sobre a magnitude e a rapidez das variações em situação de menor oscilação como é o caso do apoio bipodal em relação ao unipodal.

Horstmann, Mündermann e Rapp (2015)<sup>6</sup> e Ivanenko et al. (1997)<sup>7</sup> estudaram o comportamento mioarticular da região do tornozelo durante a realização, por indivíduos saudáveis, de tarefas experimentais sobre superfícies instáveis. Com relação ao comportamento articular, Horstmann, Mündermann e Rapp (2015)<sup>6</sup> usaram uma almofada de equilíbrio e duas superfícies em forma de paralelepípedos e não observaram diferença na variação da amplitude articular entre as superfícies<sup>6</sup>. Ivanenko et al. (1997)<sup>7</sup>, utilizaram pequenas gangorras de raios e alturas diferentes para produzir movimentos no plano sagital<sup>7</sup>. A de maior raio e menor altura foi a mais estável. No apoio mais instável, a angulação da articulação variou, no plano sagital, de 3 a 10 vezes mais que em apoio mais estável. Esse aumento corrobora com nossos achados, quando o BOSU® foi comparado com as demais superfícies. Já Horstmann, Mündermann e Rapp (2015)<sup>6</sup> podem não ter encontrado diferença por terem usado superfícies menos desafiadoras. Ressalta-se que no nosso estudo também não foram encontradas diferenças significativas no comportamento articular entre o AIREX®, uma superfície menos desafiadora que o BOSU®, e o chão.

Outros estudos, utilizando parâmetros estabilométricos, apontam que quanto maior o grau de instabilidade proporcionado pela superfície, maior a oscilação corporal<sup>1, 2, 11</sup>. Desses, Stanek, Meyer e Lynall (2013)<sup>11</sup>, utilizaram, assim como este trabalho, o AIREX® e o BOSU®, além do rolo de meia-espuma e do DynaDisc. Porém, realizaram o estudo com postura unipodal. Encontraram diferenças significativas para área do centro de pressão (CP) e velocidade média de oscilação entre o BOSU® e os outros 3 dispositivos.

Como limitações desse estudo, não observamos as articulações de tronco, quadril e joelhos e não analisamos a atividade muscular. A análise do joelho e quadril e da ativação muscular de vários segmentos é importante para compor um quadro mais preciso das estratégias corporais utilizadas para o controle postural sobre superfícies instáveis. Os resultados dizem respeito apenas às superfícies utilizadas, não podendo ser feita uma generalização para outros tipos de superfícies. Estudos comparando as estratégias corporais em superfícies unidirecionais e multidirecionais, assim como com superfícies de diferentes graus de dificuldade, são necessários para o maior entendimento dessa dinâmica corporal, bem como para orientar a prescrição de exercícios numa perspectiva de progressão da dificuldade das tarefas. Ainda assim, acreditamos que os resultados deste trabalho trouxeram importante contribuição ao entendimento do comportamento articular da região do tornozelo nas superfícies instáveis utilizadas.

## Conclusão

O BOSU®, superfície mais instável, ocasionou acentuação na magnitude e frequência de vários parâmetros analisados. Houve o aumento da dorsiflexão do tornozelo, enquanto nas outras superfícies a posição ficou mais próxima à posição neutra. Houve também aumento da variabilidade no BOSU® para os planos frontal e sagital em relação às demais superfícies. A frequência média de deslocamento da posição articular da região do tornozelo aumentou no plano frontal com o BOSU® em comparação com as demais superfícies, e no plano sagital, na comparação entre o BOSU® e o chão. Nossos resultados sugerem mudanças nas estratégias para a manutenção do controle postural sobre superfícies instáveis, através de ajustes nas articulações da região do tornozelo, mais intensos em condições de maior instabilidade.

## Agradecimentos

Ao IFRJ, ao CNPq e à FAPERJ pelo apoio financeiro.

## Contribuições dos autores

Cruzeiro KA responsabilizou-se da análise estatística dos dados e redação do manuscrito. Imbiriba LA responsabilizou-se pela concepção, delineamento, coorientação do trabalho de pesquisa e participou da redação do manuscrito. Farias S participou da concepção, delineamento, coleta de dados e redação do manuscrito. Rodrigues M responsabilizou-se da concepção, delineamento, redação e formatação do manuscrito. Garcia M responsabilizou-se pela coorientação do trabalho de pesquisa e redação do manuscrito. Donato C participou da coleta e análise de dados e redação do manuscrito. Macedo AR responsabilizou-se pela concepção, delineamento, orientação do trabalho de pesquisa, organizou e participou da redação do manuscrito.

## Conflitos de interesses

Nenhum conflito financeiro, legal ou político envolvendo terceiros (governo, empresas e fundações privadas, etc.) foi declarado para nenhum aspecto do trabalho submetido (incluindo mas não limitando-se a subvenções e financiamentos, conselho consultivo, desenho de estudo, preparação de manuscrito, análise estatística, etc).

## Referências

1. Murillo DB, Solana RS, Vera-Garcia FJ, Fuertes NG, Moreno FJ. Effect of increasing difficulty in standing balance tasks with visual feedback on postural sway and EMG: complexity and performance. *Hum Mov Sci.* 2012;31(5):1224-37. doi: [10.1016/j.humov.2012.01.002](https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.01.002)
2. Cimadoro G, Paizis C, Albert G, Babault N. Effects of different unstable supports on EMG activity and balance. *Neurosci Lett.* 2013;548:228-32. doi: [10.1016/j.neulet.2013.05.025](https://doi.org/10.1016/j.neulet.2013.05.025)
3. Farias S, Rodrigues M, Costa S, Garcia MA, Macedo AR, Imbiriba LA. Motion and emotion while standing on stable and unstable surfaces. *International Journal of Psychophysiology.* 2016;108:165-166. doi: [10.1016/j.ijpsycho.2016.07.474](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.07.474)
4. Ferreira LAB, Pereira WM, Rossi LP, Kerpers II, de Paula Jr AR, Oliveira CS. Analysis of electromyographic activity of ankle muscles on stable and unstable surfaces with eyes open and closed. *J Bodyw Mov Ther.* 2011;15(4):496-501. doi: [10.1016/j.jbmt.2010.09.003](https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2010.09.003)
5. Ferreira LAB. Análise da atividade eletromiográfica dos músculos do tornozelo em solo estável e instável com olhos abertos e fechados [dissertação]. São José dos Campos, SP: Universidade do Vale do Paraíba; 2009.
6. Horstmann T, Mundermann A, Rapp W. Reduced lower leg muscle activity while balancing on cobblestone shaped

- surfaces. *Gait Posture*. 2015;41(2):562-7. doi: [10.1016/j.gaitpost.2014.12.017](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.12.017)
7. Ivanenko YP, Levik YS, Talis VL, Gurfinkel VS. Human equilibrium on unstable support: the importance of feet-support interaction. *Neurosci Lett*. 1997;235(3):109-12. doi: [10.1016/S0304-3940\(97\)00721-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(97)00721-0)
8. Kang JH, Hyong IH. Analysis of Electromyographic Activities of Ankle Muscles at Different Levels of Instability of Unstable Surfaces. *J Phys Ther Sci*. 2012;24(12):1333-5. doi: [10.1589/jpts.24.1333](https://doi.org/10.1589/jpts.24.1333)
9. Laudner KG, Koschnitzky MM. Ankle muscle activation when using the both sides utilized (BOSU) balance trainer. *J Strength Cond Res*. 2010;24(1):218-22. doi: [10.1519/JSC.0b013e3181c490d4](https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c490d4)
10. Oliveira DCS, Rezende PAMSL, Silva MR, Lizardo FB, Sousa GC, Santos LA et al. Análise eletromiográfica de músculos do membro inferior em exercícios proprioceptivos realizados com olhos abertos e fechados. *Rev Bras Med Esporte*. 2012;18(4):261-6. doi: [10.1590/S1517-86922012000400009](https://doi.org/10.1590/S1517-86922012000400009)
11. Stanek JM, Meyer J, Lynall R. Single-Limb-Balance Difficulty on 4 Commonly Used Rehabilitation Devices. *J Sport Rehabil*. 2013;22(4):288-95. doi: [10.1123/jsr.22.4.288](https://doi.org/10.1123/jsr.22.4.288)
12. Strom M, Thorborg K, Bandholm T, Tang L, Zebis M, Nielsen K et al. Ankle joint control during single-legged balance using common balance training devices – implications for rehabilitation strategies. *Int J Sports Phys Ther*. 2016;11(3):388-99.
13. Di Stasi SL, Snyder-Mackler L. The effects of neuromuscular training of the gait patterns of ACL-deficient men and women. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2012;27(4):360-5. doi: [10.1016/j.clinbiomech.2011.10.008](https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.10.008)
14. Dias A, Pezarat-Correa P, Esteves J, Fernandes O. The influence of a balance training program on the electromyographic latency of the ankle musculature in subjects with no history of ankle injury. *Phys Ther Sport*. 2011;12(2):87-92. doi: [10.1016/j.ptsp.2010.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.09.003)
15. Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, Myer GD, Hewett TE. Neuromuscular Training Improves Performance on the Star Excursion Balance Test in Young Female Athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010;40(9):551-8. doi: [10.2519/jospt.2010.3325](https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3325)
16. Gusi N, Adsuar JC, Corzo H, Del Pozo-Cruz B, Olivares PR, Parrac JA. Balance training reduces fear of falling and improves dynamic balance and isometric strength in institutionalized older people: a randomized trial. *J Physiother*. 2012;58(2):97-104. doi: [10.1016/S1836-9553\(12\)70089-9](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(12)70089-9)
17. Pau M, Loi A, Pezzotta M. Does sensorimotor training improve the static balance of young volleyball players? *Sports Biomech*. 2012;11(1):97-107. doi: [10.1080/14763141.2011.637126](https://doi.org/10.1080/14763141.2011.637126)
18. Saunders NW, Hanson NJ, Koutakis P, Chaudrari AM, Devor ST. Figure Skater Level Moderates Balance Training. *Int J Sports Med*. 2013;34(04):345-349. doi: [10.1055/s-0032-1327653](https://doi.org/10.1055/s-0032-1327653)
19. Sefton JM, Yarar C, Hicks-Little CA, Berry JW, Cordova ML. Six Weeks of Balance Training Improves Sensorimotor Function in Individuals With Chronic Ankle Instability. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011;41(2):81-9. doi: [10.2519/jospt.2011.3365](https://doi.org/10.2519/jospt.2011.3365)
20. Lemos T, Imbiriba LA, Vargas CD, Vieira TM. Modulation of tibialis anterior muscle activity changes with upright stance width. *J Electromyogr Kinesiol*. 2015;25(1):168-74. doi: [10.1016/j.jelekin.2014.07.009](https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.07.009)
21. Gomes AA. Cinemática de quadril, joelho e tornozelo e a atividade muscular dos membros inferiores no ciclo completo da marcha de diabéticos neuropatas em diferentes cadências [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo; 2009.
22. BIOPAC Systems Inc. MP System Hardware Guide [Internet]. 2014. Disponível em: [https://www.biopac.com/wp-content/uploads/MP\\_Hardware\\_Guide.pdf](https://www.biopac.com/wp-content/uploads/MP_Hardware_Guide.pdf)