

## RECURSOS PARA AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO BIOMECÂNICO DA PISADA

José Lourenço Kutzke<sup>1</sup>; Leandra Ulbricht<sup>1</sup>; Regina Moreira Borges de Macedo<sup>1</sup>; Lucas Meghin Beraldo<sup>1</sup>

### RESUMO

Somente critérios clínicos de avaliação sem a abordagem do recrutamento muscular associado às disfunções plantares não são suficientes para eleger o tratamento mais adequado, considerando que o funcionamento eficaz do pé, depende do funcionamento correto do sistema músculoesquelético. Portanto o presente estudo teve como objetivo comparar o recrutamento muscular dos membros inferiores apontados pela Eletromiografia de Superfície com o arco plantar longitudinal medial (ALM) demonstrado na Baropodometria Computadorizada, para preencher esta lacuna na avaliação funcional da pisada. A amostra foi composta por 5 homens e 4 mulheres com idade ( $24,7 \pm 2,6$  anos), massa corporal ( $72,8 \pm 19$  kg) e estatura ( $1,72 \pm 0,14$  cm). Avaliou-se a o tipo de ALM por meio do método do ângulo de Clarke, obtido na Baropodometria computadorizada, correlacionando com o recrutamento dos músculos: tibial anterior, gastrocnêmios e fibular longo, todos bilateralmente. Após a avaliação da amostra foram obtidos os seguintes resultados do ângulo Clarke no pé direito ( $38,2 \pm 8,3^\circ$ ) e ( $36,6 \pm 8,3^\circ$ ) para o pé esquerdo. Foi possível observar forte correlação em ambos os pés para o músculo tibial anterior. Portanto pode-se concluir que o tibial anterior tem papel importante na causa da queda do arco longitudinal interno, apontado na análise baropodométrica pelo método de avaliação de Clarke correlacionado com os achados eletromiográficos de superfície. A falta de correlação do tipo de pisada com os demais músculos avaliados pode ser justificada por diferenças topográficas de recrutamento. Sugere-se também a correlação do recrutamento muscular com análise estabilométrica.

**Palavras-chave:** baropodometria, eletromiografia, pé, postura, avaliação biomecânica.

### ABSTRACT

Only clinical criteria of evaluation without the approach of muscle recruitment associated with plantar dysfunctions are not enough to elect the most appropriate treatment, considering that the effective functioning of the foot depends on the correct functioning of the musculoskeletal system. Therefore this study aimed to compare the muscle recruitment of the lower limbs highlighted by Surface Electromyography with the medial longitudinal arch (MLA) shown in Computed baropodometry to fill this gap in the functional assessment of trampled. The sample consisted of 5 men and 4 women aged ( $24.7 \pm 2.6$  years), body mass ( $72.8 \pm 19$  kg) and height ( $1.72 \pm 0.14$  cm). We evaluated the type of ALM by the method of Clarke angle obtained in baropodometry, correlating with the recruitment of muscles: anterior, gastrocnemius and peroneus longus, tibialis all bilaterally. After evaluating the sample results the following Clarke's angle on the right foot ( $38.2 \pm 8.3^\circ$ ) and ( $36.6 \pm 8.3^\circ$ ) to the left foot were obtained. Strong correlation was observed in both feet for the tibialis anterior muscle. Therefore it can be concluded that the tibialis anterior has an important role in the cause of the fall of the internal longitudinal arch, pointed in baropodometric analysis method for evaluating Clarke correlated with surface electromyographic findings. The lack of correlation between the type of trampled with other muscles can be justified by topographic differences in recruitment. It is also suggested the correlation of muscle recruitment stabilometric analysis.

**Keywords:** baropodometry, electromyography, foot, posture, biomechanical evaluation.

1. Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). E-mail: [josekutzke@pisadaideal.com](mailto:josekutzke@pisadaideal.com)

## **INTRODUÇÃO**

Os distúrbios mioneuroarticulares são anormalidades que surgem em decorrência da necessidade de adaptação, provocadas por disfunções orgânicas de forma voluntária ou involuntária<sup>1, 2</sup>. Desta maneira, o pé é considerado um traço de união entre um desequilíbrio de origem alta e o solo, que se adaptará sempre para neutralizar o apoio, podendo ser considerado o tampão terminal do sistema postural, nas alterações posturais descendentes, ou o inicial, nas alterações posturais ascendentes<sup>3</sup>. Distúrbios do pé e tornozelo são prevalentes na população em geral e uma das principais motivações para consultas de cuidados primários<sup>4</sup>.

A prevalência das disfunções biomecânicas da pisada, na avaliação da gravidade da deformidade assim como na avaliação da evolução do tratamento, normalmente são identificadas somente pela análise clínica e radiológica<sup>5</sup>. No entanto, na prática clínica, somente com este tipo de abordagem, excluindo a avaliação do recrutamento muscular associado às disfunções plantares, demonstram ser insuficientes para eleger o tratamento mais apropriado, considerando que o funcionamento eficaz do pé, depende também do correto funcionamento do sistema musculoesquelético<sup>6</sup>. Já a análise radiológica comumente utilizada expõe o paciente à radiação e proporciona apenas achados patológicos<sup>5</sup>.

Uma das abordagens funcionais que pode ser utilizada para a análise da pisada é a Baropodometria Computadorizada, que objetiva avaliar os distúrbios da pressão e distribuição plantar, sendo um dos recursos tecnológicos utilizados também para a avaliação postural. Esta tecnologia vem sendo considerada como uma ferramenta fidedigna para a escolha adequada do tratamento em ambos os casos<sup>7</sup>. Outro recurso tecnológico que pode ser utilizado na avaliação da pisada é a Eletromiografia de superfície (EMG), que avalia a atividade elétrica muscular e fornece informações importantes sobre o recrutamento muscular durante a mesma<sup>8</sup>, entretanto estes equipamentos tecnológicos ainda são utilizados de forma isolada na avaliação e identificação de suas disfunções.

Portanto o presente estudo teve como objetivo comparar o recrutamento muscular dos membros inferiores apontados pela Eletromiografia de Superfície com o arco plantar longitudinal medial (ALM) demonstrado na Baropodometria Computadorizada, para preencher esta lacuna na avaliação funcional da pisada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo descritivo, pois este teve por objetivo, segundo Gil (2002)<sup>9</sup>, o estabelecimento de relações entre variáveis, sendo neste estudo aprofundadas as relações entre as formas de pisada e os meios disponíveis para sua detecção.

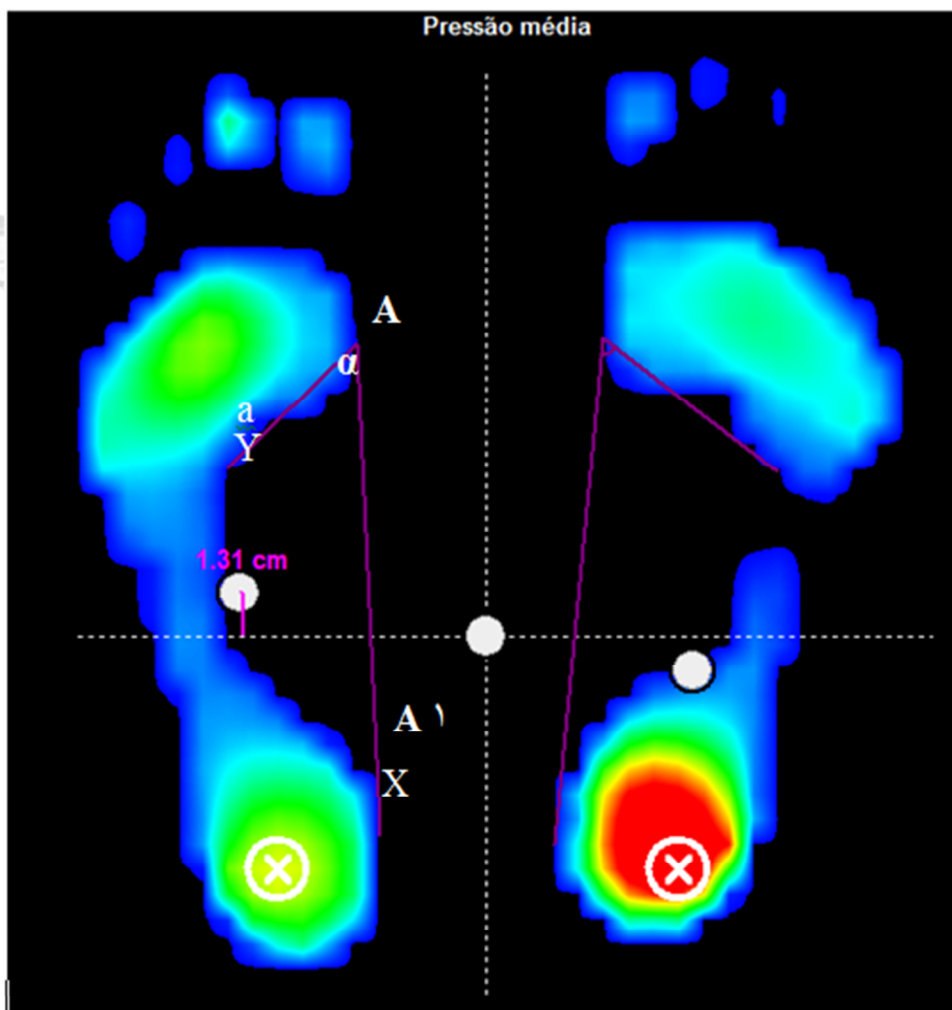
Foi realizado um estudo piloto com nove sujeitos após aprovação do comitê de ética em pesquisa com o registro do CAAE 30163014.8.0000.5547. Neste estudo foram incluídos na amostra indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 a 30 anos, sem disfunções vestibulares, que não utilizassem órteses plantares e que tenham aceitado participar do estudo assinando o TCLE. O critério de exclusão se referiu à utilização de medicamentos que provoquem reações labirínticas ou de tônus muscular.

A coleta de dados foi realizada no mesmo dia em etapas subsequentes: avaliação antropométrica; e, posteriormente, avaliação simultânea por Baropodometria e Eletromiografia. Na primeira etapa, foi determinada a massa corporal, através de uma balança da marca Bioland® com resolução de 100g, e estatura, por meio de um Estadiômetro marca WCS® com resolução de 0,1cm.

Para a avaliação eletromiográfica, foi utilizado um Eletromiógrafo da EMG System® Brasil, modelo 1600-U12, de 16 canais. Foram colocados eletrodos de superfície de Ag/AgCl, em configuração bipolar, posicionados a 3cm do ponto motor no sentido da orientação das fibras dos músculos analisados. Para a implantação dos eletrodos, procedeu-se à tricotomia, a abrasão da pele com lixa fina e limpeza do local com álcool<sup>10</sup>. O eletrodo de referência foi posicionado no processo estilóide da ulna e a frequência de amostragem foi de 2000Hz por canal. Foram avaliados os seguintes músculos: tibial anterior (TA) fibular longo (FB), gastrocnêmio medial (GM) e gastrocnêmio lateral (GL), dos membros inferiores, por serem músculos que podem levar a alterações da pisada segundo Kapandji (2009)<sup>11</sup>. O tempo de captação do sinal foi de 10 segundos, com o indivíduo em posição ortostática. Posteriormente os sinais foram analisados com base na média do valor médio da raiz quadrada-*root mean square*(RMS) de três ensaios, sendo estes utilizados como achados de ativação dos músculos avaliados no presente estudo.

As avaliações baropodométricas, realizadas simultaneamente com

aseletromiográficas utilizaram o mesmo tempo de captação do sinal (10s), sobre a plataforma da marca Informatic®, modelo FootWork, sendo avaliados os tipos de pisada de acordo com o protocolo de avaliação do ângulo de Clarke<sup>12</sup>. Para a obtenção do ângulo foi traçado uma linha do ponto mais interno do calcâneo até a extremidade da região anterior do pé. Uma segunda linha foi traçada ligando o antepé ao ápice da concavidade do arco interno. O ângulo resultante desta ligação consistiu o ângulo de Clarke. O pé foi classificado como: pé plano quando o ângulo esteve entre 0° a 29,9°, com o arco deprimido entre 30° a 34,9°, com o arco intermédio entre 35° a 41,9°, arco normal entre 42° a 46,9° e pé cavo acima de 47°.



**Figura 1.** Para a obtenção do ângulo de Clarke's foi traçada uma linha (X) tangente ao ponto mais interno do calcâneo (A') e tangente ao ponto mais interno da região anterior do pé (A). Uma segunda linha (Y) com início no ponto A interceptava o ponto "a" que corresponde ao ápice da concavidade do arco interno do pé. O ângulo agudo, com unidade de medida em graus (°), resultante da intersecção das linhas Y-X constituiu o ângulo de Clarke's ( $\alpha$ )

A distribuição dos dados foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk, sendo adotado uma significância de  $p < 0,05$ . Para verificar a associação entre o ângulo de Clarke e a atividade muscular avaliada pela eletromiografia foram utilizadas a correlação de Pearson ( $r$ ) entre as variáveis que apresentaram dados com distribuição normal e o Rhô de Spearman ( $\rho$ ) para aquelas de distribuição não normal (Field, 2009)<sup>13</sup>. Foram consideradas correlações fortes as superiores a 0,799, moderadas aquelas entre 0,500 e 0,799 e fracas as inferiores a 0,500.

## RESULTADOS

Após a seleção da amostra foram avaliados cinco homens e quatro mulheres com idade média de  $24,7 \pm 2,6$  anos, massa corporal média de  $72,8 \pm 19,0$  kg e estatura média de  $1,72 \pm 0,14$  m.

Na análise baropodométrica obteve-se para o ângulo de Clarke no pé direito a média de  $38,2 \pm 8,3^\circ$ , já para o pé esquerdo  $36,6 \pm 8,3^\circ$  de média. Considerando o valor médio de ambos os pés é possível caracterizar o tipo de arco plantar da amostra, segundo o método de Clarke, como Intermediário.

**Tabela 1.** valores individuais da amostra, referente ao Índice de Massa Corporal (IMC), Ângulo de Clarke do pé esquerdo encontrado na análise baropodométrica, e recrutamento identificado pela eletromiografia de superfície dos músculos: fibular longo esquerdo, tibial anterior esquerdo e gastrocnêmios esquerdo.

Paciente	IMC	Ângulo de Clarke pé esquerdo (graus)	Fibular longo esquerdo (uV)	Tibial anterior esquerdo (uV)	Gastrocnêmios esquerdo (uV)
1	19,6	46	17,54	103,46	79,98
2	22,3	26	7,6	12,56	29,85
3	28,4	34	12,84	15,75	59,97
4	17,9	43	23,28	41,19	44,43
5	29,3	47	12,23	9,11	41,73
6	24,4	37	15,28	20,9	29,77
7	21,7	38	19,69	64,73	81,1
8	22,2	35	7,94	7,32	34,91
9	34,1	23	27,56	8,32	71,04

**Tabela 2.** valores individuais da amostra, referente ao Índice de Massa Corporal (IMC), Ângulo de Clarke do pé direito encontrado na análise baropodométrica, e recrutamento identificado pela eletromiografia de superfície dos músculos: fibular longo direito, tibial anterior direito e gastrocnêmios direito.

Paciente	IMC	Ângulo de Clarke pé direito (graus)	Fibular longo direito (uV)	Tibial anterior direito (uV)	Gastrocnêmios direito (uV)
1	19,6	49	8,55	8,81	74,99
2	22,3	40	7,5	6,45	45,12
3	28,4	36	47,17	6,32	77,46
4	17,9	38	19,81	8,61	27,65
5	29,3	49	23,67	10,83	45,32
6	24,4	37	16,8	10,44	20,97
7	21,7	39	121,93	13,27	103
8	22,2	35	11,48	6,45	20,61
9	34,1	21	59,3	5,59	20,55

A ativação muscular de cada membro foi comparada com o respectivo ângulo de Clarke (tabela 1). A correlação foi mais elevada entre os músculos do membro inferior direito, os valores mais elevados foram obtidos para o tibial anterior:  $r=0,511$  no lado direito e  $p=0,500$  no esquerdo. Os Gastrocnêmios apresentaram correlação maior no lado direito ( $r=0,416$ ) do que no esquerdo ( $r=0,089$ ), enquanto o Fibular longo apontou uma correlação inversa sendo de  $p=-0,335$  para o lado direito e  $r=-0,046$  para o esquerdo.

**Tabela 3.** correlação dos valores eletromiográficos encontrados no recrutamento durante a pisada estática com o ângulo de Clarke.

Músculo avaliado	Correlação	Músculo avaliado	Correlação
Fibular longo direito*	-0,335 <sup>a</sup>	Fibular longo esquerdo**	-0,046 <sup>b</sup>
Tibial Anterior direito*	0,511 <sup>a</sup>	Tibial Anterior esquerdo*	0,500 <sup>a</sup>
Gastrocnêmios direito**	0,416 <sup>b</sup>	Gastrocnêmios esquerdo**	0,089 <sup>b</sup>

a: Correlação de Spearman. b: Correlação de Pearson.

## **DISCUSSÃO**

Existem três tipos diferentes de arco longitudinal interno que podem ser diagnosticados os pés, sendo classificados como planos, cavos ou normais. Estas características estruturais podem influenciar na carga de pressão e funcionalidade da pisada<sup>14</sup>. Em um estudo realizado com adultos saudáveis e assintomáticos entre 18 e 77 anos de idade, revelou que existe relação entre o tipo de pé e a pressão exercida pelo mesmo, indicando que ao caminhar descalço as pessoas com pés planos têm uma pressão do pé maior em comparação com pés cavos<sup>15, 16</sup>. Outro estudo indicou que a pressão carregada no mediopé foi reduzida, devido a formação mais profunda do arco gerada pela falta de flexibilidade do arco e deslocamento interno do centro de gravidade<sup>17</sup>. Devido a estas características apontadas pela queda do arco longitudinal medial, analisadas pelo ângulo de Clarke (método de análise do arco longitudinal medial) vem reafirmar a participação das musculoesqueléticas na causa do desabamento do arco.

A média do ângulo de Clarke encontrada no presente estudo na Baropodometria computadorizada foi de 38,2° no pé direito e 36,6° no pé esquerdo, sendo estes compatíveis com arco intermediário, tendência a plano, entre 35 a 41,9°. Diferente dos resultados apontados no estudo de Minghelli et. al., 2011 em que parte da amostra foi composta por 14 indivíduos com idade similar ao estudo realizado, sendo possível identificar arco plantar do tipo cavo de acordo com a avaliação de Clarke, entretanto esta amostra foi avaliada por Plantigrafia e não pela Baropodometria computadorizada<sup>12</sup>.

O tipo de pé plano encontrado na amostra está presente em 10-25% da população adulta e tem sido associada a uma maior incidência de sintomas de distúrbios musculoesqueléticos, incluindo joelho e dor nas costas. É tipicamente caracterizada por um desabamento do arco longitudinal medial e associado a um calcâneo valgo<sup>18</sup>. Uma explicação sobre as causas e consequências de pés planos reside na complexa interação entre as forças externas de reação do solo e as forças internas em ligamentos, cápsulas articulares, unidades músculo-tendão intrínsecos e extrínsecos e forças em todas as facetas articulares<sup>19</sup>.

Um dos músculos extrínsecos causadores desta disfunção biomecânica é o tibial anterior, já que este devido sua inserção no dorso do pé pode provocar o

desabamento do arco longitudinal o que corrobora com os valores apontados no presente estudo, o qual foi possível identificar forte correlação entre o ângulo de Clarke e a análise eletromiográfica do músculo tibial anterior em ambas as pernas<sup>18</sup>.

A baixa ou moderada correlação do ângulo de Clarke com o recrutamento muscular dos Gastrocnêmios pode, ser explicada, como relata o estudo de Staudenmann que na análise de recrutamento, revelou coativação diferenciada em partes distintas dos músculos, devido distribuição aponeurótica (fáscia surral) heterogênea<sup>20</sup>. Correlações baixas e até negativas foram encontradas regularmente entre os padrões de ativação em diferentes grupos, indicando a distinção na ativação. Correlações de conjunto de séries temporais para as forças no pé em direções específicas mostraram que partes diferencialmente ativadas do tríceps surral tem funções biomecânicas específicas. Entretanto os Gastrocnêmios fornecem também resultados experimentais evidentes de ativação e que podem contribuir na estabilização do corpo no plano frontal, especialmente em situações de estabilidade reflexa<sup>21</sup>.

Os músculos Fibulares longo, esquerdo e direito também apresentaram moderada e baixa correlação com a pisada intermediária apontada na avaliação da amostra. Este resultado está de acordo com o estudo que avaliou a ativação eletromiográfica dos músculos fibulares em conjunto com a Baropodometria nas diferentes pressões, o qual não apresentou valores significativos de resposta de recrutamento durante a pisada associado a utilização de órtese estabilizadora para tornozelo ao contrário de outros músculos testados como o bíceps e reto femoral<sup>22</sup>.

## **CONCLUSÃO**

De acordo com os dados obtidos neste estudo, verificou-se que o músculo tibial anterior teve um papel importante na causa da queda do arco longitudinal interno, apontado na análise baropodométrica pelo método de avaliação de Clarke correlacionado com os achados eletromiográficos de superfície.

A falta de correlação do tipo de pisada com os demais músculos avaliados, gastrocnêmios e fibular longo pode ser justificada por diferenças topográficas de recrutamento e características aponeuróticas que podem interferir na captação de sinais. Portanto a combinação da Baropodometria computadorizada com a



Eletromiografia de superfície teve papel importante na avaliação funcional da pisada, pois conseguiu correlacionar o tipo de pisada com os músculos causadores das alterações, diferente da análise clínica convencional de inspeção.

Sugere-se em um estudo futuro correlacionar o recrutamento dos músculos da pisada analisados na Eletromiografia com os valores da Estabilometria fornecidos pelo mesmo programa FootWork Pro, adotado nesta pesquisa.

## **REFERÊNCIAS**

1. Sarvazyan A, Rudenko O, Aglyamov S, Emelianov S. Muscle as a molecular machine for protecting joints and bones by absorbing mechanical impacts. *Medical Hypotheses*. 2014; 83(4):6–10.
2. Casonato O, Poser A. *Fisioterapia, reabilitação integrada de patologia do tornozelo e do pé*. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, Brasil. Guanabara Koogan. 2005.
3. Bricot B. *Posturologia*. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Ícone; 2011
4. Papaliodis DN, Vanushkina MA.; Richardson NG.; Di Preta JA. The FootandAnkle Examination. *J of medical clinics*. 2014; 98(3): 181–204.
5. Rao S; Riskowski JL.; Hannan MT. Musculoskeletal conditions of the foot and ankle: Assessments and treatment options. *Best Practice Research & Clinical Rheumatology*. 2012; 26 (6):345-368.
6. Rosário, JLP. A review of the utilization of baropodometry in postural assessment. *J of Bodywork & Movement Therapies*. 2013; 20(5): 1-5.
7. Chen YC, Lou SZ, Huang CY, Su FC. Effects of foot orthoses on gait patterns of flat feet patients. *Clinical Biomechanics*. 2010; 25(3): 265-270.
8. Moon YE, Kim SH, Choi WH. Comparison of the Effects of Vapocoolant Spray and Topical Anesthetic Cream on Pain During Needle Electromyography in the Medial Gastrocnemius. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2013; 94(2): 919-924,
9. Gil AC. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo, Brasil. Atlas. 2002.
10. Gonçalves M, Barbosa FS. Análise de parâmetros de força e resistência dos músculos eretores da espinha lombar durante a realização de exercício isométrico em diferentes níveis de esforço. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2005; 11(3): 109-114.
11. Kapandji, A. I. *Fisiologia articular volume 2: membros inferiores*. 6<sup>a</sup> ed. São Paulo, Brasil. Panamericana. 2009.
12. Minghelli B, Marreiros N, Valente F, Ribeiro T, Andrez T, Varela E, Felizardo R. Desenvolvimento do arco plantar na infância e adolescência: análise plantar em escolas públicas. *Saúde & Tecnologia*. 2011; 5(8): 5-11.

13. Field A. *Descobrimos a estatística usando o SPSS*. 2ª ed. Porto Alegre, Brasil. Artmed. 2009.
14. Deepashini H, Omar B, Paungmali A, Amaramalar N, Ohnmar H, Leonard J. An insight into the plantar pressure distribution of the foot in clinical practice: Narrative review. *Polishannals of Medicine*. 2014; 30(3): 1-6.
15. Hillstrom HJ, Song J, Kraszewski AP, Hafer JF, Mootanah R, Dufour AB.; Chow BS, Deland III JT. Foot type biomechanics part 1: Structure and function of the asymptomatic foot. *Gait & Posture*. 2013; 37(4): 445-451.
16. Mootanah R, Song J, Lenhoff MW, Hafer JF., Backus SI, Gagnon D, Deland III JT, Hillstrom HJ. Foot Type Biomechanics Part 2: Are structure and anthropometrics related to function? *Gait & Posture*. 2013; 37(1): 452-456.
17. Chuckpaiwong B, Nunley JA., Mall NA., Queen RM. The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running. *Gait & Posture*. 2008; 28(1): 405-411.
18. Angin S, Crofts G, Mickle KJ, Nester CJ. Ultrasound evaluation of foot muscles and plantar fascia in pes planus. *Gait & Posture*. 2014; 40(2): 48-52.
19. Haendlmayer KT, Harris NJ. Flatfoot deformity: an overview. *Orthopaedics and Trauma*. 2009; 23(12): 395-403.
20. Staudenmann D, Kingma I, Daffertshofer A, Stegemana DF, Van Diee J.H. Heterogeneity of muscle activation in relation to force direction: A multi-channel surface electromyography study on the triceps surae muscle. *J of Electromyography and Kinesiology*. 2009; 19(7): 882-895.
21. Vieira TMM, Minetto MA, Hodson-Tole EF, Botter A. How much does the human medial gastrocnemius muscle contribute to ankle torques outside the sagittal plane? *Human Movement Science*. 2013; 32(4): 753-767.
22. E.S. Papadopoulos ES a, C.S. Nikolopoulos CS, Athanasopoulos S. The effect of different skin-ankle brace application pressures with and without shoes on single-limb balance, electromyographic activation onset and peroneal reaction time of lower limb muscles. *The Foot*. 2008; 18(4): 228-236.