

**Artigo original****Análise do comportamento da distribuição de pressão plantar em sujeitos normais*****Analysis of plantar pressure distribution behavior in normal subjects***

Eliane Fátima Manfio, Nilton Petrone Vilardi Jr, Viviane Mendes Abrunhosa, Camila de Souza Furtado, Luciana Varandas de Souza\*

.....

\*Laboratório de Biomecânica (Labbio), Curso de Fisioterapia Universidade Estácio de Sá (Unesa)

**Resumo**

O objetivo deste estudo foi verificar o comportamento da distribuição de pressão plantar em sujeitos assintomáticos com diferentes padrões de pé. A amostra deste estudo foi composta por 111 sujeitos do sexo masculino, cuja média de idade foi 28,76 ( $\pm$  9,88) anos. Para a realização da coleta de dados foi utilizado o sistema F-Scan (sensor flexível-palmilha), para avaliar a distribuição de pressão plantar na posição em pé equilibrado e durante a marcha descalça. Os resultados mostram que elevadas pressões embaixo da parte anterior de um pé normal estão localizadas sob a cabeça dos metatarsos II e III (central). No pé plano, estão localizadas sob a cabeça dos metatarsos I e II (medial), e no pé cavo, encontramos padrão central ou lateral. Este comportamento predomina na posição em pé, equilibrado e na marcha. Conclui-se, portanto, que não existe um arco transversal funcional na cabeça dos metatarsos e o comportamento da distribuição de pressão está relacionado com as características do pé. A trajetória do centro de força durante a marcha mostra que no pé plano ocorre um deslocamento medial das forças em direção à cabeça do metatarso I, enquanto que no pé normal esse deslocamento realiza-se centralmente, nas cabeças dos metatarsos II e III, seguindo em direção ao dedo I. O pé cavo é semelhante ao pé normal, com um deslocamento mais lateral. Observa-se que na posição em pé, equilibrado, aproximadamente 60% do peso corporal está distribuído no calcanhar, no máximo 5,2% localiza-se no meio do pé, 31% a 38% localiza-se na cabeça dos metatarsos e no máximo 2% nos dedos.

**Palavras-chave:**

Pé, distribuição de pressão plantar, marcha e equilíbrio.

---

**Endereço para correspondência:** Eliane Fátima Manfio, Laboratório de Biomecânica (LABBIO), Clínica Fisiobarra, Universidade Estácio de Sá (UNESA), Av. Prefeito Dulcídio Cardoso, 2900 Cep: 22631-052 - Barra da Tijuca - Rio de Janeiro - RJ  
FISIOBARRA: (21) 3325-1990 fax: 3325-6876,  
LABBIO: (21) 3325-3553 / 3325-2072 ramal 228, E-mail: labbiobarra@estacio.br

---

**Abstract**

The objective of this article is to verify the foot pressure distribution among no symptomatic subjects with different kind of foot. The sample is about 111 male subjects whose average age is 28.76 ( $\pm$  9.88) years old. To perform the research we used F-Scan System (sensible sensor insole), to evaluate the foot pressure distribution in stand position and in barefoot gait. The results shows that high pressure in the anterior foot are localized under the metatarsal II and III (central), in the flat foot are distributed in the metatarsal I and II (middle) and in foot deformities we find central and lateral standard. This behavior is predominant in stand position, equilibrium and gait. So, we conclude there is no functional transverse arch in the head of the metatarsal and the behavior of the pressure distribution is in relation with the kind of foot. The trajectory of the force center, during the gait, shows that in flat foot happens a forces displacement to the metatarsal I head, while in the normal foot this deviation is centrally performed in the head of metatarsal II and III, going through the first finger (hallux). The deformed foot is similar to the normal foot, with lateral deviation. In stand position, equilibrated, about 60% of the body weight is distributed in the calcaneus, maximum 5.2% is localized in the middle of the foot, 31 until 38% in the head of metatarsal, maximum 2% in the fingers.

**Key-Words:**

Foot, foot pressure distribution, gait and equilibration.



**Introdução**

O esforço para quantificar a distribuição de pressão começou a ser realizado no final do século XIX, porém, progressos significativos no desenvolvimento de sistemas de medição disponíveis, comercialmente, só foram feitos a partir de 1980 [1]. O grande interesse na medida da distribuição de pressão plantar é demonstrado pelos diferentes métodos que têm sido projetados e testados. Mais de 40 diferentes sistemas têm sido documentados. Por causa deste grande número, poucos centros operam com equipamentos similares e a comparação dos resultados dessas diferentes técnicas de medidas é difícil [2].

Existem diversas técnicas empregadas para a medição da distribuição de pressão plantar. Muitas destas técnicas e dos dispositivos empregados, inicialmente, só possibilitavam a realização de medição estática, sem chegar a obter dados dinâmicos do movimento, isto é,

do caminhar. Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos determinados dispositivos que possibilitaram a medição desta variável, durante o caminhar. Com isso conseguiu-se iniciar a análise da marcha humana, através de, até mesmo, diversos ciclos do caminhar [3].

Essas técnicas são classificadas, segundo Lord [4], em três abordagens: o registro, a partir da superfície plantar do pé descalço e o solo, entre a sola do sapato e o solo, e entre a superfície plantar do pé e a palmilha do sapato, sendo que cada método tem as suas vantagens em certas áreas de estudo. Padrões descalços são relevantes para avaliar os resultados das cirurgias realizadas nos pés, enquanto que com calçado e o pé nas impressões das palmilhas são apropriados para revelar a redistribuição de cargas causadas pelo uso de um tipo particular de calçado ou palmilha.

Através destas diferentes abordagens, muitos estudos foram realizados para definir o

comportamento da distribuição de pressão plantar e também da força de reação do solo, na posição em pé equilibrado, durante o caminhar e em outras atividades (correndo, saltando, etc). Como o estudo de Cavanagh, Rodgers & Liboshi [5] que analisa esse comportamento, através da primeira abordagem, isto é, o sujeito descalço, estando na posição em pé equilibrado. Os autores colocam que, em seu estudo, encontraram que não existe uma relação entre o peso corporal e os picos de pressão, de tal modo que se pode esperar que mulheres de pouco peso tenham pressões plantares tão grandes, quanto homens pesados. Os autores ainda colocam que existe uma grande variabilidade entre indivíduos na distribuição de pressão plantar, e que os picos de pressão, sob um pé na posição em pé, são, aproximadamente, 30% daqueles verificados durante o caminhar e 16% da pressão plantar típica durante a corrida.

Conforme coloca Wilson [6], embora assumindo que o desconforto é causado por pressões elevadas embaixo dos pés e que uma distribuição de pressão uniforme seria mais satisfatória, existem áreas do pé, tais como embaixo do arco plantar, onde, mesmo baixas pressões, poderiam ser desconfortáveis. Desta maneira Jordan & Barillet [7] relatam que várias pesquisas têm procurado materiais e construção de calçados que reduzam a pressão plantar para prevenir danos e para aliviar a dor em pessoas que sofrem de doenças, tais como, diabetes mellitus, doença de Hansen e artrite reumatóide. Afirmam também, que um elevado número de estudos, na área clínica, tem relacionado um aumento da pressão plantar com dores do pé e desconforto. Apontam ainda que as medidas da distribuição de pressão plantar podem ser ferramentas eficientes para diagnósticos, na identificação de problemas clínicos, bem como as diferenciações entre materiais de palmilhas e calçados.

Segundo Cavanagh *et al.* [5], a maioria dos seres humanos passa muitas horas na posição em pé, e poucas informações atualmente estão disponíveis sobre a função do pé nesta posição. O conceito do pé como uma estrutura de suporte varia amplamente na literatura. Do mesmo modo, Hughes *et al.* [8] relatam que, clinicamente, a região metatarsica apre-

senta mais problemas do que as outras regiões, e, por isso, essa área tem sido examinada, em primeiro lugar, com a intenção de definir padrões de distribuição de pressão plantar. Os autores ainda colocam que, inicialmente acreditava-se, que pressões mais elevadas, na região da cabeça dos metatarsos, deveriam ocorrer sob a cabeça do metatarso I, devido ao seu tamanho. Entretanto estes conceitos têm diferido muito, desde surgimento das técnicas de medidas dinâmicas da pressão plantar.

Objetivo deste estudo foi verificar o comportamento da distribuição de pressão plantar em sujeitos assintomáticos com diferentes padrões de pé, na posição em pé equilibrada e durante a marcha. Definiu-se ainda como objetivos específicos: analisar a predominância da distribuição de pressão plantar com relação à parte anterior do pé, verificar a proporção da distribuição das cargas nas diferentes regiões do pé, e relacionar estas características com os diferentes tipos de pés.

## Revisão da literatura

Na posição ereta normal, estando em repouso, o peso do corpo passa da pelve para cada uma das extremidades, onde o primeiro osso no pé, que recebe a carga é o talo, que tem por função distribuir essa força para os pontos de apoio posteriores e anteriores. Segundo Viladot [9], existem três concepções diferentes de como se realiza o apoio anterior na região da cabeça dos metatarsos: 1) O pé se apoiaria em três pontos, o calcanhar e as cabeças dos metatarsos I e V; 2) O antepé se apoiaria pelas cabeças dos metatarsos centrais; 3) Todas as cabeças dos metatarsos suportam o peso, porém, a cabeça do metatarso I recebe mais força que os restantes. O autor ainda coloca que, através de seus estudos, constatou que, estando a pessoa em pé, todas as cabeças metatarsianas realizam sua função no trabalho do antepé e que o metatarso I suporta aproximadamente o dobro do peso que cada um dos outros metatarsos. Os demais metatarsos realizam um trabalho equivalente, não existindo um predomínio da função do quinto metatarsiano. Estas colocações estão de acordo com Minns & Craxfors [10].

Autores como Cavanagh *et al.* [5] salientam que, historicamente, um dos tópicos mais discutidos foi a presença ou ausência de um arco transversal ao nível da cabeça dos metatarsos na posição em pé. Os autores reafirmam, conforme já citado por Viladot [9], que existem diferenças de opinião sobre o comportamento da distribuição das cargas na região da cabeça dos metatarsos. Colocam também, que em seus estudos, os dados mostram claramente que não existe um arco transversal funcional ao nível da cabeça dos metatarsos na posição em pé e a teoria do tripé na distribuição de cargas não foi comprovada. Enfatizam também que as elevadas pressões embaixo da parte anterior do pé estão geralmente localizadas sob as cabeças dos metatarsos II e III e não sob a cabeça do metatarso I. Esta afirmação está de acordo com os resultados obtidos por Grieve & Rashdi [11], Hughes *et al.* [2] e Manfio, Mota & Avila [12], que encontraram elevadas pressões na parte anterior de um pé normal, sob as cabeças dos metatarsos II e III.

Com relação às diferentes proporções das cargas na região plantar, na posição em pé equilibrado, descalço, Arcan & Brull [13], medindo a pressão plantar e força de reação do solo em 5 sujeitos, encontraram que em 4 dos sujeitos, 45 a 65% do peso do corpo está distribuído sob o calcanhar e 30 a 47% está sob a parte anterior, com o restante sob o meio do pé. Segundo Sammarco [14], das porções do pé que têm contato com o solo, aproximadamente 50% da carga é sustentada pelo calcanhar e 50% é transmitida através das cabeças metatarsianas. A carga na cabeça do metatarso I é duas vezes aquela das quatro cabeças metatarsianas laterais. Durante a fase de apoio da marcha, o centro de cargas progride rapidamente para frente na direção do halus e no final da fase de apoio, as cargas aumentadas tendem a ser transmitidas através da segunda cabeça metatarsiana.

No entanto, nos estudos realizados por Cavanagh *et al.* [5], na análise da distribuição das cargas, com uma amostra de 107 sujeitos (66 homens e 41 mulheres) na posição em pé equilibrado, encontraram que 60,5% do peso está distribuído sob o calcanhar, 7,8% no meio do pé, 28,1% na parte anterior do pé e 3,6% nos dedos.

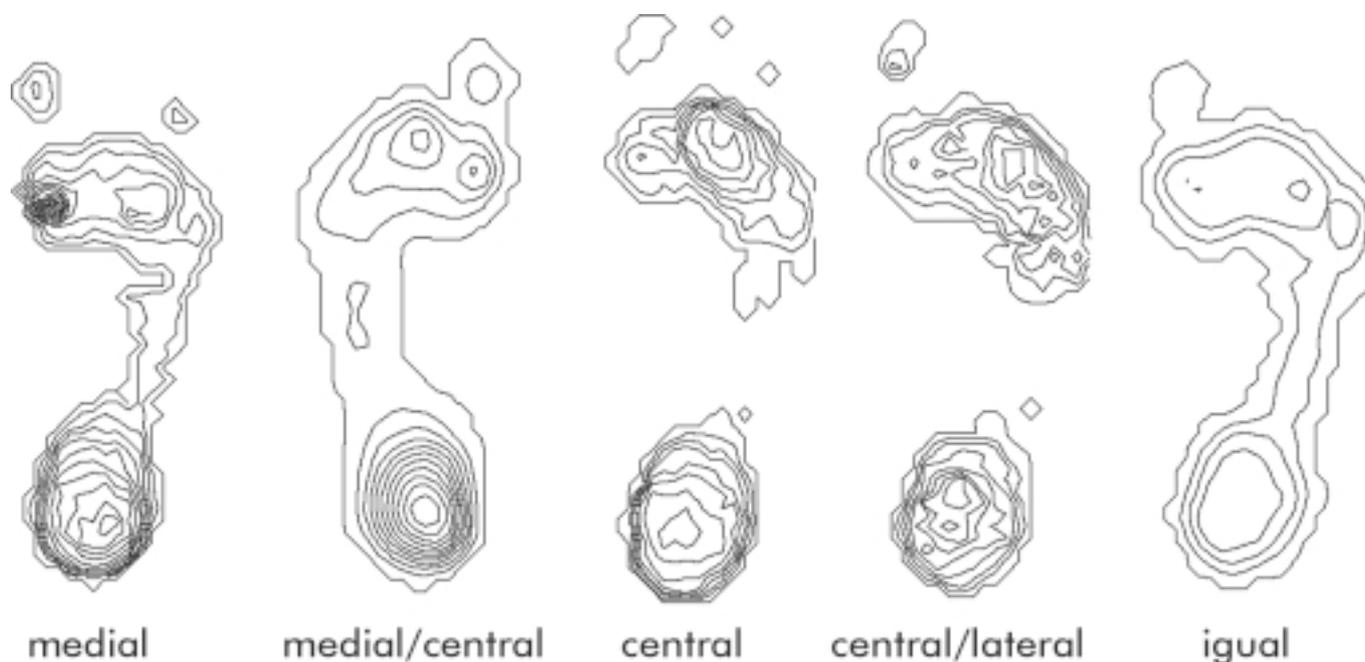
A proporção dos picos de pressão, entre o calcanhar e a parte anterior do pé, segundo Betts, Franks & Duckworth [15], estudando um grupo de 29 crianças normais, na posição em pé, encontraram que a pressão no calcanhar foi aproximadamente 1,94 vez maior do que a pressão na parte anterior do pé. Já para Grieve & Rashdi [11], em estudos similares, encontraram que a pressão foi de 1,74 vezes maior no calcanhar, enquanto que Cavanagh *et al.* [5] encontraram que os picos de pressão sob o calcanhar foram cerca de 139 kPa, em média, 2,6 vezes maior do que na parte anterior, onde foram cerca de 53 kPa.

A média do pico de pressão, na posição em pé parado, para todo o pé, segundo Cavanagh *et al.* [5], foi de 140,5 kPa com um desvio padrão de 30,0 kPa. Os autores ainda colocam que este valor foi consideravelmente maior do que o encontrado por Duckworth *et al.* [16], que foi de 107,6 kPa, mas similar a 137 kPa, encontrado por Grieve & Rashdi [11].

Com relação aos padrões de distribuição de pressão plantar, na região anterior do pé, Wilson [6] definiu 5 grupos principais e um sexto grupo encontrado em apenas 3 casos. Este trabalho foi realizado com uma amostra de 120 mulheres voluntárias, na idade de 17 a 69 anos, as quais não apresentavam problemas significativos nos pés. A pressão plantar foi registrada com o sujeito na posição em pé equilibrado, descalço. Os grupos foram classificados em **padrão medial** com elevadas pressões medialmente; **padrão medial/central** com pressões iguais sob as cabeças dos metatarsos I e II; **padrão central** com elevadas pressões centralmente (sob as cabeças dos metatarsos II e III); **padrão central/lateral** com elevadas pressões central e lateral (relativamente baixas sob a cabeça do metatarso I); **padrão igual** com baixas pressões distribuídas, igualmente, sob toda a área da parte anterior do pé e o **padrão tripé** com elevadas pressões em ambas as cabeças metatarsianas medial e lateral (cabeça do metatarso I e V) (Fig. 1). O autor ainda coloca que, analisando algumas relações entre os valores dos picos de pressão e os parâmetros físicos, como a idade, o peso e o tamanho do pé, não foram encontradas tendências significativas.

Os diferentes sistemas usados para a análise da distribuição de pressão plantar e força

Fig.1 - Padrões de distribuição de pressão plantar (adaptado de Manfio et al.[12])



de reação do solo e os diferentes métodos para classificação dos sujeitos nos padrões, dificultam a comparação dos resultados com outros estudos, mesmo assim, pode-se verificar uma semelhança nos dados. Isso ocorreu no estudo realizado por Hughes *et al.* [8], onde foi analisado o padrão de distribuição de pressão, no caminhar descalço de 160 sujeitos assintomáticos, com um parâmetro de idade de 5 a 78 anos. Os autores realizaram uma comparação entre três métodos para classificação dos sujeitos nos grupos (padrões). Os resultados são apresentados somente para o pé esquerdo. Através de uma avaliação subjetiva, encontraram que 25 (16%) dos sujeitos estão dentro do padrão medial, 23 (14%) estão dentro do padrão medial/central, 85 (53%) no padrão central, 21 (13%) no padrão central/lateral e 6 (4%) não foram definidos. Com um segundo método, através da utilização de um programa específico utilizado em computador, para uma classificação objetiva, onde os grupos eram definidos previamente, os resultados foram 25 (16%) dos sujeitos dentro do padrão medial, 23 (14%) dentro do padrão medial/central, 90 (56%) no padrão central, 16 (10%) no padrão central/lateral e 6 (4%) não foram definidos. O terceiro método foi através do *cluster analysis*, mas sem padrões pré-defini-

dos para essa classificação, usando o método de *Ward* (maximiza a variância entre classes e minimiza a variância dentro da classe) encontraram 24 (15%) no padrão mais similar ao medial, 26 (16%) no padrão medial/central, 65 (41%) no padrão central e 45 (28%) no padrão central/lateral. Os autores colocam que existem padrões clinicamente diferentes e alguns são mais comuns do que outros. Isto foi confirmado através de *cluster analysis*, que mostrou 4 grupos, muito similares com os grupos encontrados subjetivamente, sem uma manipulação prévia dos dados. O *cluster analysis* produziu grupos bem distintos, não correspondendo, entretanto, à classificação subjetiva. É possível que o uso de diferentes métodos desta análise possam produzir resultados diferentes. O programa de computador (o segundo método) classificou em grupos que melhor correspondem à classificação subjetiva, mas depende ainda de um julgamento subjetivo para pré-definir os padrões.

Outro estudo realizado por Hughes *et al.* [2], comparando a distribuição de pressão, durante o caminhar descalço (velocidade normal) num grupo de 100 adultos, obtida por meio de dois diferentes sistemas (o EMED F e o pedobarógrafo dinâmico), também usaram *cluster analysis* para classificar os sujeitos em

4 grupos, onde cada grupo representa as 5 cabeças metatarsais, da medial até a lateral. Os grupos encontrados foram similares aos encontrados por Hughes *et al.* [8]. A percentagem dos sujeitos nos grupos mostrou leves diferenças. Os resultados do EMED mostraram poucos sujeitos no grupo medial (17 sujeitos EMED e 27 pedobarógrafo) e mais no grupo medial/central (35 comparando com 19). O grupo central mostrou mais similaridade (20 comparado com 26) e o grupo central/lateral continha 28 sujeitos para ambos os sistemas. Um teste qui quadrado comparando essa percentagem mostrou que a diferença foi estatisticamente significativa a nível de 5%. Os autores colocam que é possível que a origem das diferenças esteja na técnica usada para isolar as áreas de interesse do pé, pois ambos os sistemas permitem armazenar os padrões de pressão no computador e cada um tem seu *software*, que permite selecionar as áreas de interesse para análises.

Os autores ainda salientam que a carga suportada pelos dedos reduz gradualmente a pressão do dedo I ao dedo V, e que o EMED F apresenta picos de pressão mais altos que o pedobarógrafo dinâmico, no calcanhar, nas quatro cabeças metatarsianas mediais e o dedo I. Mostra também picos de pressão e tempo de contato menores, embaixo dos quatro dedos laterais.

De acordo com Betts *et al.* [17] as medições estáticas são somente uma fração de informação disponível, a partir do sistema por eles sugerido e que mais informações poderão resultar da análise da distribuição dinâmica de pressão e forças, durante um passo completo.

Durante a marcha, ocorre uma variação na força e na pressão da região plantar, conforme o aumento da velocidade. Esta assertiva é confirmada pelos estudos de Hughes *et al.* [18], que encontraram, durante a marcha, em três velocidades diferentes, numa amostra de 10 sujeitos assintomáticos, que a força total e os picos de pressão total do pé crescem linearmente com o aumento da velocidade a marcha. Analisando, do mesmo modo, as diferentes áreas do pé, os resultados mostram diferenças entre as áreas, como no calcanhar, na parte anterior do pé medialmente, e nos 4 dedos mediais. Essas áreas mostram os mesmos padrões que os re-

sultados totais, isto é, a força e os picos de pressão crescem com o aumento da velocidade. A parte lateral do meio do pé, a parte anterior e o dedo V não mostram diferenças significativas, ocorrendo um decréscimo linear na pressão e força, com o aumento da velocidade. Do mesmo modo, Hughes *et al.* [2] encontraram que a força total e os picos de pressão crescem com o aumento da velocidade a marcha, mas mostraram que isso não foi verdadeiro para todas as áreas do pé.

Muitos estudos têm comparado situações descalço e com calçado, onde salientam que ocorre uma diferenciação entre as duas situações. Estudos como os de Arcan *et al.* [13], usando o método de interferência ótica, enfatizam que, na comparação dos resultados de sujeitos descalços e usando os próprios calçados, foi percebida uma significativa diferença, sendo que em sujeitos “normais” a carga do médio pé, no caso descalço, tende a inverter para o antepé, quando com calçado.

Da mesma forma, Nicol & Hennig [19] e Cavanagh & Michiyoshi [20] salientam que, durante a marcha descalça, grandes picos de pressão foram encontrados na região dos dedos, enquanto que, durante o movimento com calçado, esses não foram encontrados.

Estas diferenças entre a situação descalça e com calçado também são salientadas por Cavanagh *et al.* [21], que encontraram que as curvas de força são diferentes descalço e com calçado, porque há um aumento na velocidade e aceleração dos joelhos, tornozelo e calcanhar, quando a pessoa está descalça, e, com isso a força também aumenta. Tanto a amplitude como o tempo do pico inicial, em condição descalço, é maior e anterior do que com calçado. Perry [22], estudando a marcha de um grupo de pacientes diabéticos neuropáticos, descalça, com sapato e com calçados esportivos com bom amortecimento, através do sistema EMED, encontrou que, ambos os tipos de calçados, reduzem os picos de força da parte anterior e que o calçado esportivo reduziu os picos de pressão na parte anterior do pé, acima de 35%, quando comparado com o descalço.

Existem diversos problemas, com relação à precisão das medidas dos sistemas de distribuição de pressão plantar, como no siste-

ma F-Scan, relatado por Müller [23], que salienta diversos fatores que podem influenciar na precisão, fatores estes como a temperatura, linearidade, comportamento de histerese, reprodutibilidade. O autor ainda enfatiza que comparando o sistema F-Scan com a plataforma de força Kistler, as curvas de força total, primeiramente obtidas em testes, mostraram-se 30 a 40% mais baixas no sistema F-Scan. Embora a diferença relativa do valor da medida tenha sido grande, pôde-se verificar uma concordância da forma das curvas para todos os ensaios. O autor ainda salienta que a diferença entre a força normal na Kistler e no F-Scan pode ter uma possível explicação: no F-Scan, as forças normais não são mensuradas do solo, mas sim da sola do sapato, que não é rígida, e também ocorre um erro de 1% na frequência do registro de ambos os sistemas.

Outro estudo realizado por Derrick & Hamill [24] utilizando o sistema F-Scan e a plataforma de força AMTI, numa frequência de 100Hz, destaca que a força de reação do solo tem sido geralmente aceita como melhor reflexo de forças experimentadas pelo corpo, durante uma determinada situação ambiental, forçada por um calçado esportivo, mas uma medida mais significativa pode ser a força de reação dentro do sapato. Os autores concluíram que o método de determinação da força de reação, dentro do calçado, pode demonstrar-se útil e esclarecedor, mas a precisão da plataforma de força não é contestada.

Hughes et al. [2], asseguram que a melhor maneira para avaliar as medidas de distribuição de pressão plantar de um paciente, deveria ser a comparação da distribuição deste paciente com um grupo de sujeitos normais, analisados no mesmo sistema. Os resultados de um sistema não deveriam ser comparados aos outros sistemas. Ainda assim, o estudo mostrou que existem importantes similaridades entre os resultados obtidos pelo EMED F e o pedobarógrafo dinâmico, particularmente no que se refere à relação da pressão entre uma área e outra. Os autores ainda colocam que existem muitas dúvidas sobre a exatidão das medidas de pressão sob os dedos, usando ambos os sistemas, e outros estudos são necessários nesta área.

## Materiais e Métodos

A mostra deste estudo foi composta de 111 sujeitos assintomáticos do gênero masculino, com média de idade de  $28,76 \pm 9,88$  anos, altura  $175,37 \pm 6,34$  cm e peso  $73,96 \pm 10,18$  kg.

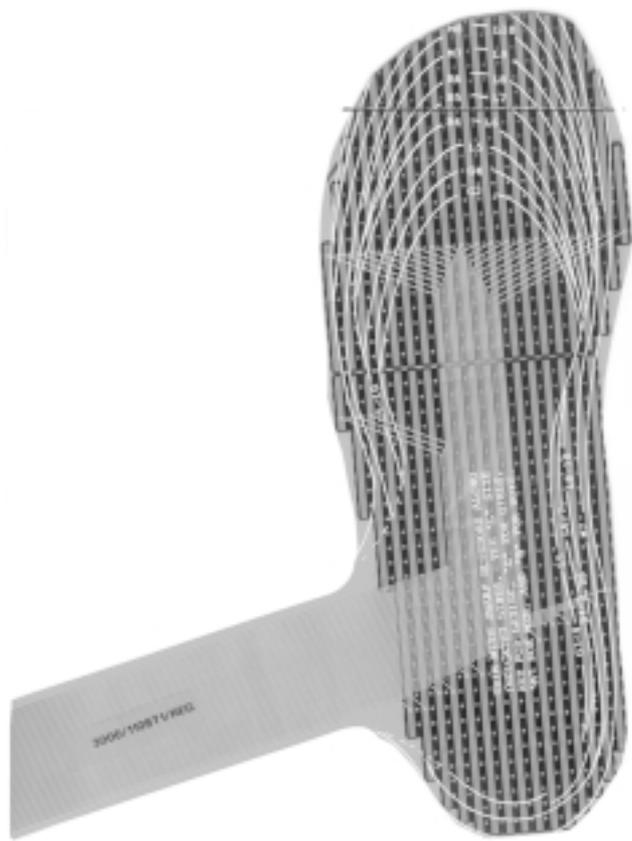
Para a realização da coleta de dados foi selecionado o sistema F-Scan, que consiste de um sensor flexível (palmilhas) para avaliar a pressão plantar dos sujeitos, descalço e com calçado (sensor dentro do calçado).

Neste trabalho, foram coletadas pelo sistema F-Scan, a distribuição de pressão plantar e força de reação do solo na posição em pé, equilibrado, sendo que o sujeito foi instruído a distribuir o peso igualmente sobre os dois pés, com ambos os pés descalços sobre o sensor. Esse procedimento foi realizado 3 vezes, durante 1s, numa frequência de 100 Hz. Durante a marcha foi utilizada uma meia para prender os sensores aos pés. A coleta dos dados foi realizada 3 vezes, durante 5s, na mesma frequência. O sujeito foi instruído a caminhar com velocidade normal. O sistema foi calibrado de acordo com o peso corporal total do sujeito, conforme normas recomendadas pelo fabricante [25].

## O sistema F-Scan

O sistema consiste de 2 sensores (palmilhas), circuitos de coleta de dados e software. O sensor é formado, em seu tamanho original, por 960 pontos sensíveis, localizados sobre sua superfície (Fig. 2). Esse caracteriza-se por uma fina grade de linhas e colunas, formada por deposição de tinta condutiva à base de prata. Esse sensor (palmilha) é o coração do sistema e pode ser cortado para ajustar-se aos diferentes tamanhos de pés e de sapatos. Os circuitos eletrônicos, para medir o sinal do sensor F-Scan, consistem de dois componentes (cuff - unidades de tornozelo). Estes controlam a varredura da grade do sensor e a conversão A/D das resistências medidas. Os dados digitais são então, arranjados de forma serial e transmitidos através de cabos coaxiais ao resto dos circuitos, localizados em uma placa de expansão em um computador.

Fig. 2 - Palmilha do sistema F-Scan



O software do F-Scan é projetado para demonstrar, comparar, armazenar e imprimir os dados coletados a partir dos sensores. O sistema opera em tempo real, onde a informação da distribuição de pressão e força aparece na tela, enquanto o sujeito está sobre o sensor, e no modo *play-back*, que apresenta informações pré-gravadas. Através do sistema F-Scan, podemos selecionar áreas na planta do pé, onde se monitora a pressão média sobre essas áreas específicas. A tela mostra ainda o centro de força que é usado para resumir os dados, a partir de um único ciclo de marcha e gravar os picos de pressão em cada célula sensora, durante o período de tempo do passo.

Para interpretarmos os plantigramas gerados pelo sistema F-Scan, os pés foram divididos em cinco regiões distintas: **Região do calcanhar**, que representa a pressão exercida principalmente pelo calcâneo; **Região do meio**

**do pé**, que representa os apoios exercidos, geralmente, pela parte externa do arco do pé; **Região anterior do pé**, que representa os apoios exercidos, principalmente pelas cabeças dos cinco metatarsos; **Região dos dedos**, que representa o apoio dos dedos. As divisões das regiões nos plantigramas foram determinadas, através de inspeção visual sobre os mesmos.

O processamento dos dados fornecidos pelo sistema F-Scan foi feito, utilizando-se um programa desenvolvido especificamente para esta finalidade, conforme apresentado por Manfio *et al.* [12].

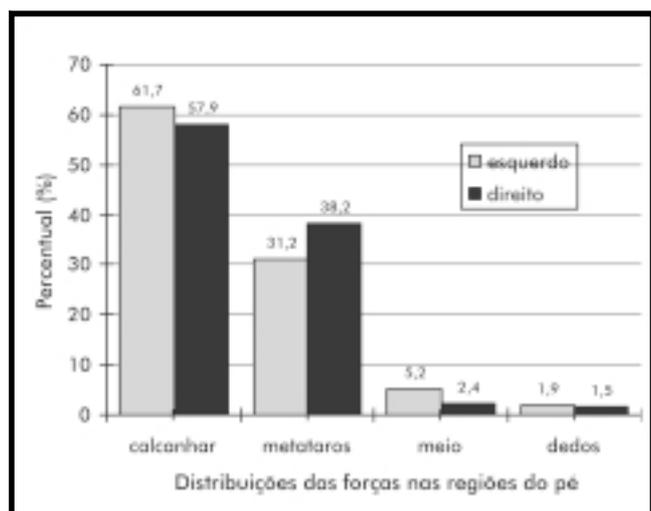
### Resultados e Discussão

Observa-se que os valores dos desvios padrão mantêm-se muito alto, mostrando que ocorre uma dispersão muito grande nos dados obtidos, através do sistema F-Scan, para todas as regiões. Acreditamos que parte dessas variações é devida às limitações do próprio sistema F-Scan. Mesmo assim, devemos considerar que existe uma variação muito grande nas formas de distribuição de pressão plantar de uma pessoa para a outra.

Quando comparamos pés direitos com pés esquerdos, observou-se diferenças estatisticamente significativas para os percentuais da força aplicada sobre a região da cabeça dos metatarsos ( $t = 7,10$ ;  $p = 0,000$ ), e na região do meio do pé ( $t = -4,49$ ;  $p = 0,000$ ). Na força aplicada sob os dedos ( $t = -0,58$ ;  $p = 0,565$ ) e o calcanhar ( $t = 0,60$ ;  $p = 0,550$ ) não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas. Com relação à força total sobre o pé esquerdo e direito, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas ( $t = 3,14$ ;  $p = 0,002$ ). Assim, os dados serão tratados, separadamente, em pé esquerdo e pé direito.

Na análise da força de reação do solo, em relação ao peso corporal (Fig. 3), observa-se que no pé esquerdo, 61,7% do peso do corpo concentra-se na região do calcanhar, 31,2% na região da cabeça dos metatarsos, 5,2% na região do meio do pé (região do arco plantar), e 1,9% na região dos dedos. No pé direito, verifica-se que 57,9% do peso do corpo concentra-se na região do calcanhar, 38,2% na região da cabeça dos metatarsos, 2,4% na região do meio do pé e 1,5% na região dos dedos.

Fig. 3 - Gráfico relativo à distribuição da força de acordo com as regiões do pé.



Analisando estes resultados, verifica-se que são semelhantes aos resultados encontrados por Cavanagh *et al.* [5] e Manfio *et al.* [12], ocorrendo uma pequena diferenciação no percentual relacionado à parte anterior, meio do pé e dedos. A origem destas diferenças pode ser a técnica usada para isolar as áreas de interesse do pé e, também, os diferentes sistemas utilizados para obtenção dos dados.

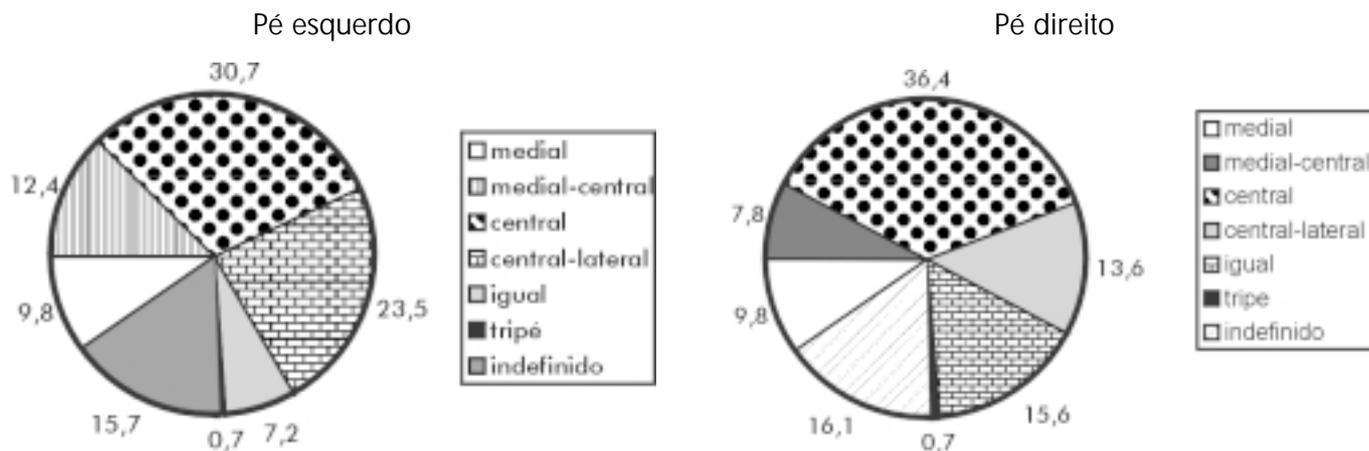
Observa-se que, na maioria dos casos não ocorre apoio dos dedos, sendo que a força suportada pelos mesmos não é superior a 2% do peso corporal. O dedo I é mais freqüentemente apoiado, chegando a suportar aproximadamente 82% da carga suportada pelos dedos. Geralmente é apoiado o dedo II ou o dedo III e o dedo V nunca é apoiado.

Na análise da distribuição de pressão plantar, verifica-se que, no pé esquerdo, a pressão no calcânhar foi 2,0 vezes maior do que na parte anterior. No pé direito, encontramos que a pressão no calcânhar foi 1,5 vez maior do que na parte anterior do pé. Estes resultados foram inferiores aos encontrados por Cavanagh *et al.* [5], que foram de 2,6 vezes maiores no calcânhar. Os resultados encontrados para o pé esquerdo são iguais aos encontrados por Manfio *et al.* [12], que foram 2,0 vezes maiores no calcânhar.

A área total média para o pé esquerdo, foi de 67,34 cm<sup>2</sup> e para o pé direito, foi de 65,06 cm<sup>2</sup>. Relacionando a área de contato do pé com o comprimento do pé, observa-se que o comprimento do pé esquerdo é maior, na maioria dos casos, que o pé direito.

Na classificação subjetiva dos sujeitos, nos diferentes padrões de distribuição de pressão plantar, na região anterior, observa-se, que para ambos os pés, o padrão central foi encontrado com maior freqüência (Fig. 4). Porém, no pé esquerdo, o percentual do padrão central é menor, do que no pé direito (30,7% no pé esquerdo e 36,4% no pé direito). Salientamos, também, a diferenciação com relação aos percentuais dos padrões central-lateral e igual, onde, para o padrão central-lateral, encontramos, para o pé esquerdo, 23,5% e, para o pé direito, 13,5%. Para o padrão igual, encontramos um percentual maior para o pé direito (15,6% direito e 7,2% esquerdo). Parte da amostra possui um pequeno apoio anterior ou picos em vários pontos, não sendo possível a classificação nos padrões estabelecidos (15,7% no pé esquerdo e 16,1% no pé direito).

Fig. 4 - Gráficos relativos à classificação nos padrões de distribuição de pressão plantar na parte anterior do pé (cabeça dos metatarsos).



Observou-se baixa incidência para o padrão tripé, tanto para o pé esquerdo, como para o pé direito, ocorrendo somente em um caso. Desta maneira, podemos concluir que não existe um arco transversal funcional na região da cabeça dos metatarsos, na posição em pé equilibrado e que elevadas pressões embaixo da parte anterior do pé estão geralmente localizadas sob a cabeça dos metatarsos II e III (padrão central).

Comparando estes resultados com outros estudos, verificou-se uma diferenciação nos percentuais dos padrões, porém observa-se um percentual maior no padrão central, estando de acordo com os resultados encontrados por Grieve & Rashdi [11], Cavanagh *et al.* [5], Hughes *et al.* [8] e Manfio *et al.* [12]. Acreditamos que a diferenciação que ocorre na classificação dos diferentes padrões de distribuição de pressão, na parte anterior do pé, deve-se às diferenças técnicas usadas para isolar as áreas de interesse do pé e, também, pelos diferentes sistemas utilizados para a obtenção dos dados. Salientamos, também, as limitações do sistema de distribuição de pressão, por nós utilizado, que não permite a localização exata das re-

giões, principalmente a cabeça dos metatarsos.

Com relação à distribuição das cargas, nos diferentes tipos de pés, normais, planos e cavos, observou-se que ocorreu uma diferenciação da distribuição de pressão na superfície plantar. Para uma análise mais completa do comportamento dessas diferentes estruturas de pés, foi necessária uma avaliação da marcha. Para a avaliação dinâmica, durante a marcha, foram selecionados 8 pés planos, comprovados radiograficamente, com um ângulo de Costa-Bartani entre  $143^\circ$  e  $170^\circ$ , 4 pés cavos, com ângulos entre  $105^\circ$  e  $115^\circ$  e pés normais, com ângulos entre  $130^\circ$  e  $135^\circ$ .

A Fig. 5 mostra os diferentes tipos de pés, apresentados da esquerda para a direita, pés planos, pés normais e pés cavos. Observou-se que, nos pés planos e normais, durante o caminhar (Fig. 5 e 6), ocorrem pressões, na região do meio do pé (arco plantar), enquanto que, nos pés cavos, não ocorrem pressões nessa região. No pé cavo observou-se pressões elevadas no calcanhar e na parte anterior, geralmente mais lateralizado. Nos pés planos, as pressões localizadas na região do meio do pé são mais elevadas, e com área de contato maior, comparadas com os pés normais.

Fig. 5 - Diferentes tipos de pés.

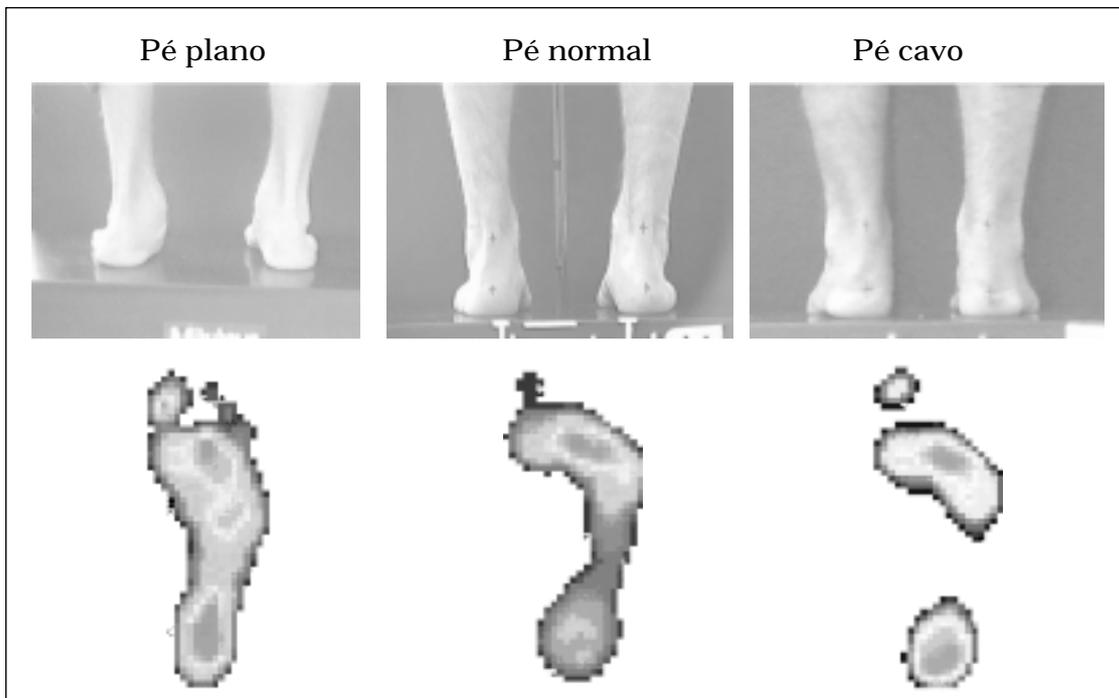
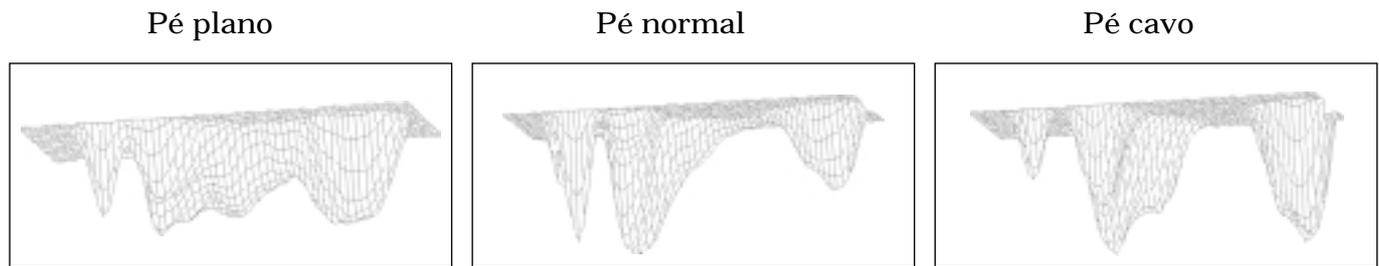


Fig. 6 - Picos de pressão para o caminhar normal nos três diferentes tipos de pés.



Verifica-se que, na região anterior, ocorre uma diferenciação muito grande na distribuição de pressão, de uma pessoa para outra, e nos diferentes tipos de estruturas plantares. Porém, observa-se que, geralmente, elevadas pressões concentram-se sob a cabeça dos metatarsos II e III, para os pés normais. Para os pés cavos este apoio é mais lateral, na cabeça dos metatarsos II, III, IV e V. Nos pés planos, observa-se que, geralmente, pressões elevadas localizam-se sobre as cabeças dos metatarsos I e II.

A análise da trajetória do centro de força mostra que no pé plano ocorre um deslocamento medial das forças, em direção à cabeça do metatarso I, enquanto que no pé normal esse deslocamento realiza-se mais centralmente nas cabeças dos metatarsos II e III, seguindo em direção ao dedo I. No pé cavo é semelhante ao pé normal, ocorrendo um deslocamento mais lateral.

Estes resultados estão de acordo com os resultados observados por Cavanagh [26], porém, para os pés cavos, não observou-se pressões mais elevadas sobre o calcanhar, conforme encontrado pelos autores. A amostra utilizada para o estudo dos pés cavos foi pequena, sendo que outros estudos devem ser realizados para verificar se realmente ocorre esse comportamento.

### Conclusões

A partir deste estudo podemos observar que elevadas pressões na parte anterior de um pé com características normais estão geralmente localizadas sob a cabeça dos metatarsos II e III (padrão central). Em um pé plano, estão

geralmente localizadas sob a cabeça dos metatarsos I e II (padrão medial), e em um pé cavo, observou-se o padrão central ou lateral. Este comportamento predomina na posição em pé, equilibrado e na marcha. Conclui-se, portanto que não existe um arco transversal funcional na cabeça dos metatarsos e o comportamento da distribuição de pressão está relacionado com a característica do pé.

A trajetória do centro do centro de força mostra que no pé plano ocorre um deslocamento medial das forças, em direção à cabeça do metatarso I, enquanto que no pé normal esse deslocamento realiza-se mais centralmente, nas cabeças dos metatarsos II e III, seguindo em direção ao dedo I. O pé cavo é semelhante ao pé normal, ocorrendo um deslocamento mais lateral.

Observa-se que aproximadamente 60% do peso corporal estão distribuídos no calcanhar, no máximo 5,2% localizam-se no meio do pé, 31% a 38% do peso localiza-se na região da cabeça dos metatarsos e no máximo 2% na região dos dedos.

### Referências

1. Nig BM, Herzog W. Biomechanics of the musculo-skeletal system. John Wiley & Sons, Canada, 1994.
2. Hughes J, Phil M, Clark P, Linge K, Klenerman L. A comparison of two studies of the pressure distribution under the feet of normal subjects using different equipment. *Foot & Ankle* 1993;14(9):514-519.
3. Machado DB. Estudo de características dinâmicas do caminhar humano, em função do calçado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 1994.

4. Lord M. Foot pressure measurement: An overview of methodology. *Journal Biomedical Eng* 1981;3:91-99.
  5. Cavanagh PR, Rodgers MM, Liboshi A. Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. *Foot & Ankle* 1987;7(5):262-276.
  6. Wilson M. Measuring in-shoe pressures to help predict underfoot comfort. *SATRA bulletin*, p. 6-8, January 1992.
  7. Jordan C, Barillet R. The relationship between plantar pressure distribution and perception of comfort in casual footwear. IV Emed User Meeting Ulm, Ulm, Germany: Novel GmbH München, 1994.
  8. Hughes J, Jago R, Clark P, Klenerman L. Pattern recognition of images of the pressure distribution under the foot from the pedobarograph. *Journal of Photographic Science* 1989;37:139-142.
  9. Viladot Pericé A. *Patologia do Antepé*. São Paulo: Roca Ltda, 3ª ed., 1987. 303 p.
  10. Minns RJ, Craxford AD. Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis. *Clin Orthop* 1984;187:235-242.
  11. Grieve DW, Rashdi T. Pressures under normal feet in standing and walking as measured by foil pedobarography. *Ann Rheum Dis* 1984;43:816-818.
  12. Manfio EF, Mota CB, Avila AOV. Análise da distribuição de pressão plantar em sujeitos descalços na posição em pé. *Anais VI Congresso Brasileiro de Biomecânica*, UnB, Brasília, p. 222-229. 1995.
  13. Arcan M, Brull MA. A fundamental characteristic of the human body and foot, the foot ground pressure pattern. *J. Biomech.* 1976;9:453-457.
  14. Sammarco GJ. Biomechanics of the foot. In: Nordin M, Frankel VH. *Basic Biomechanical of the Musculoskeletal System*. 2ª ed., Philadelphia: Lea & Febiger. p. 163-181, 1989.
  15. Betts RP, Franks CI, Duckworth T, Burke J. Static and dynamic foot-pressure measurements in clinical orthopedics. *Med Biol Eng Comput.* 1980;18:674-684.
  16. Duckworth T, Betts RP, Franks CI, Burke J. The measurement of pressures under the foot. *Foot & Ankle* 1982;3:130-141.
  17. Betts RP, Franks CI, Duckworth T. Analysis of pressures and loads under the foot. Part I: Quantitation of the static distribution using the PET computer. *Clin Phys Physiol Meas* 1980;1:101-112.
  18. Hughes J, Pratt L, Linge K, Clark P, Klenerman L. Reliability of pressure measurements: the EMED F system. *Clinical Biomechanics*, 1991;6(1):14-18.
  19. Nicol K, Hennig EM. Measurement of pressure distribution by means of a flexible, large surface mat. *Biomechanics VI-A*, p.376-380, 1978.
  20. Cavanagh PR, Michiyoshi AE. A technique for the display of pressure distributions beneath the foot. *J Biomechanics* 1980;13:69-75.
  21. Cavanagh PR, Williams KR, Clarke TE. A comparison of ground reaction forces during walking barefoot and in shoes. In: Morecki, A. et al. (ed.). *International Series on Biomechanics, V. 3B, Biomechanics VII-B*. Baltimore: University Park Press, p. 151-156, 1981.
  22. Perry JE. The effect of running shoes and oxfords on plantar pressure in diabetic patients. In Jordan, C. & Barillet, R. *The relationship between plantar pressure distribution and perception of comfort in casual footwear*. IV Emed User Meeting Ulm, Ulm, Germany: Novel GmbH München, 1994.
  23. Müller N. Untersuchungen zur Verbesserung der Mëgenauigkeit einer resistiven Druckverteilungsmësohle. *Diplomarbeit. Fachhochschule Ulm/Deutsche Sporthochschule Köln*. p. 376-380, 1992.
  24. Derrick TR, Hamill J. Ground and in-shoe reaction forces during walking. *The Second North American Congress on Biomechanics*, Chicago, 1992.
  25. Tekscan, F-Scan operating manual - version 1.3, Tekscan, Inc, 1991.
  26. Cavanagh PR. The biomechanics of running and running shoe problems. In Segesser B, Pfürringer W (ed.). *The shoe in sport*. Year Book Medical Publishers, Inc. Chicago, 1989. 271 p.
-