

Avaliação baropodométrica da influência dos saltos altos em mulheres normais.

Fecha de Recepción: 11/11/07 – Fecha de aprobación: 21/02/08

Cibele Réssio¹, Caio Nery², Raúl Gonzáles Lima³

Trabalho realizado no Departamento de Ortopedia e Traumatologia da UNIFESP- Escola Paulista de Medicina e Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade de São Paulo – USP.

¹ Mestre em Ortopedia e Traumatologia – Integrante do Setor de Medicina e Cirurgia do Pé da UNIFESP – Escola Paulista de Medicina.

² Professor Adjunto-Livre Docente do Departamento de Ortopedia e Traumatologia da UNIFESP – Escola Paulista de Medicina. Chefe do Setor de Medicina e Cirurgia do Pé.

³ Professor Doutor em Engenharia Mecânica pela Faculdade Politécnica – USP.

Resumo

Os autores estudaram o efeito dos saltos altos, em dez indivíduos normais do sexo feminino, em quatro alturas de saltos: S0 (descalço), S1 (3,0 cm), S2 (6,0 cm) e S3 (9,6 cm), 400 passos, quanto à distribuição do pico de pressão máxima, impulso vertical, análise temporal do passo, velocidade e localização do baricentro (COP), utilizando o baropodômetro F-Scan, (Tekscan, Boston, MA). Para esse fim, foram confeccionados calçados de fôrma e material idênticos.

A análise dos resultados demonstrou que os picos de pressão máxima na planta dos pés é reduzida com o uso de calçados. A análise isolada dos níveis pressóricos nas plantas dos pés não constitui método seguro para determinação de "condição de risco" para integridade dos pés. Com a utilização dos saltos altos, aumentou a concentração dos picos de pressão máxima na região do hálux e sob a cabeça do I metatársico e a duração total do passo, principalmente em virtude da hiperatividade do mediopé, enquanto a fração do retropé se reduz e a do antepé não se altera. O uso de calçados de saltos altos, determinou o aumento do impulso vertical na planta dos pés e com a elevação dos saltos ocorreu a redução da velocidade de deslocamento do COP na região do mediopé acompanhada de aumento da velocidade do COP no retropé. A velocidade do COP no antepé, independente da altura do salto, se manteve constante. O aumento na altura dos saltos determinou a "centralização" e "retificação" da trajetória do baricentro na planta dos pés.

Summary

The effects of high heeled shoes on pedal pressure in normal women: The authors studied the effects of high heels in ten normal female individuals, on four different conditions: barefoot (S0), S1 (3.0 cm), S2 (6.0 cm), and S3 (9.6 cm), 400 steps, as to the distribution of the maximum peak pressure, vertical impulse, time analysis of the step, speed and location of the centre of pressure (COP), using the F-Scan, (Tekscan, Boston, MA) baropodometre.

Special shoes, with identical form and materials, were manufactured to this purpose.

The results showed that the maximum peak pressure is reduced by means of using shoes. The isolated analysis of pressure levels on the foot soles does not constitute a safe method for the determination of the "foot at risk" condition. Using high heels the maximum peak pressure showed a concentration increment under the hálux and under head of the first metatarsal, augmenting significantly the total step time, especially due to the overload of the midfoot, while an underload of the rearfoot, with no change in the forefoot was observed. The use of high heel shoes determined an increment of the vertical impulse. By elevating the heels, the COP is showed at the midfoot, accompanied by a faster COP at the rearfoot. The speed of the COP at the forefoot was constant, regardless of the heel height. The increment of the heel height caused a "centralization" and "retification" of the trajectory of the COP.

PALABRAS CLAVE KEY WORD

Calçados femininos, sapatos de saltos altos, pressões plantares, Baropodometria.
Woman footwear. High heeled shoes, plantar pressure.
Evaluación Barométrica. Calzado de taco alto.

Resumen

Los autores estudiaron el efecto de los zapatos de taco alto en diez individuos normales del sexo femenino, en cuatro alturas de tacos: S0 (descalzo), S1 (3,0 cm), S2 (6,0 cm) e S3 (9,6 cm). Los datos de 400 pasos, relativos a la distribución del pico de presión máxima, impulso vertical, análisis temporal del paso, velocidad y localización del baricentro (COP) fueran procesados utilizando el baropodómetro F-Scan® (Tekscan®, Boston, MA). Para ese fin, fueron confeccionados calzados de forma y material idénticos.

El análisis de los resultados demostró que los picos de presión máxima en la planta de los pies son reducidos con el uso de calzados. El análisis aislado de los niveles de presión en las plantas de los pies no constituye un método seguro para la determinación de "condición de riesgo" para la integridad de los pies. Con la utilización de los zapatos de tacos altos, aumentó la concentración de los picos de presión máxima en la región del hallux y en la cabeza del primer metatarsiano y la duración total del paso, principalmente en virtud de la hiperactividad del mediopié, mientras la fracción del retropié se reduce y la del antepié no se altera. El uso de zapatos de tacos altos, determinó el aumento del impulso vertical en la planta de los pies y con la elevación de los tacos verificamos la reducción de la velocidad de movimiento del COP en la región del mediopié acompañada del aumento de la velocidad del COP en el retropié. La velocidad del COP en el antepié independiente de la altura del taco, permaneció constante. El aumento de la altura de los tacos determinó la centralización y rectificación de la trayectoria del baricentro en la planta de los pies.

Introdução

A partir das primeiras observações das imagens plantares de pegadas humanas na margem dos rios pelos matemáticos gregos, muito se tem aprendido a respeito das complexas relações entre o aparelho locomotor e o meio ambiente e as adaptações necessárias à realização das tarefas que culminam com o deslocamento corporal.⁽¹⁾ Os primeiros estudos dinâmicos sobre as pressões nas plantas dos pés remontam ao final do século XIX, que utilizavam calçados dotados de câmaras de ar ligadas a barômetros.^(2,3) Desde então, inúmeras técnicas de monitoramento das pressões dinâmicas nas plantas dos pés vêm sendo desenvolvidos, incluindo placas de força, matrizes de transdutores e placas de vidro que usam técnicas de reflexão e refração da luz para o cálculo das pressões, porém restringindo-se às medidas das pressões externas ao pé (pé x solo) não sendo capazes de mensurar a interface pé – calçado. Vários pesquisadores iniciaram a construção e desenvolvimento de sensores e transdutores que pudessem estar em contato direto com a planta dos pés, mensurando as pressões locais nas mais diversas situações fisiológicas e patológicas. Neste cenário surgiram as palmilhas de nylon dotadas de matrizes de sensores, amplamente divulgadas e utilizadas em todo o primeiro mundo. Além da versatilidade e sensibilidade necessárias, estes equipamentos são relativamente fáceis de se obter e transportar, permitindo sua utilização em diversos ambientes e nas mais

variadas condições de observação. O objetivo do presente estudo é identificar as alterações produzidas na intensidade e distribuição das pressões nas plantas dos pés pelo uso de calçados de saltos altos, em indivíduos normais do sexo feminino. Por considerarmos de suma importância buscar a aplicabilidade para nossos achados, escolhemos como motivo de estudo os calçados de saltos altos mais comumente utilizados em nosso meio e que correspondem às alturas de 3,0, 6,0 e 9,6 centímetros.

Material e Métodos

Nosso material consta dos resultados dos exames baropodométricos de 10 indivíduos do sexo feminino (20 pés), com idades variando de 17 a 37 anos (média de 29,6 anos), 90% (9 mulheres) caucasianas e 10% (1 mulher) não caucasiana, todas destros, com peso corporal de 50 a 80 kg (média de 60 kg), altura de 1,50 a 1,63 m (média de 1,56 m), cujos pés apresentam dimensões correspondentes ao número 36 da escala brasileira de mensuração de calçados, sem queixas e patologias prévias ou atuais do aparelho locomotor, provenientes do quadro de funcionários da Universidade Federal de São Paulo – Escola Paulista de Medicina, que foram incluídas neste estudo voluntariamente após questionário, exame físico geral e especial.

Calçados

Com objetivo de anular ou reduzir variáveis relativas à confecção, forma e estrutura dos calçados utilizados neste estudo, partimos de fôrma única, produzida pelo mesmo fabricante⁽¹²⁾ no qual foram anexados saltos de três diferentes alturas, a saber: 3,0 cm, 6,0 cm e 9,6 cm que são os mais frequentemente comercializados (figura 1).

– Salto 1 (S1): Altura (h) de 3,0 cm, que corresponde aos seguintes ângulos de inclinação com o solo: 7,3° no retro pé (a), 82,0° no mediopé (b) e 3,0° no antepé (g).

– Salto 2 (S2): Altura (h) de 6,0 cm, que corresponde aos seguintes ângulos de inclinação com o solo: 14,0° no retro pé (a), 79,0° no mediopé (b) e 3,0° no antepé (g).

– Salto 3 (S3): Altura (h) de 9,6 cm, que corresponde aos seguintes ângulos de inclinação com o solo: 22,5° no retro pé (a), 48,3° no mediopé (b) e 3,0° no antepé (g).

Desta forma obtivemos três pares de calçados aos quais foram anexadas palmilhas eletrônicas na face superior da sola interna garantindo o contato direto do pé com a superfície de mensuração de registros pressóricos.

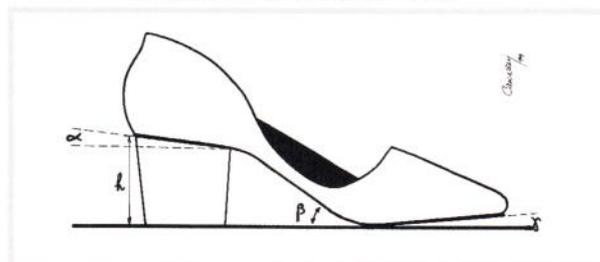


Fig.1

Esquema dos calçados de saltos altos com as indicações dos ângulos correspondentes ao retro, médio e antepés. A altura do salto é indicada pela letra h.

Equipamento

O equipamento utilizado neste estudo foi o F-Scan, produzido pela empresa norte americana Tekscan (Boston, MA), que se utiliza de palmilhas flexíveis e ultrafinas (0,15 mm) dotadas de 960 sensores eletrônicos dispostos em 60 linhas e 21 colunas formando a matriz ativa capaz de detectar variações de pressão em pequenas áreas. Elas são conectadas a unidades conversoras de sinais analógico-digitais que são fixadas aos tornozelos do examinando através de tiras de velcro. Destas unidades conversoras partem cabos condutores de 9,1 metros de comprimento que se conectam à placa eletrônica de interface com o computador pessoal. O sistema colhe amostras continuamente até 165 vezes por segundo, à medida que o indivíduo caminha, permitindo a visibilização dos dados de pressão plantar em tempo real, além de registrar estas informações para revisão e análise futuras. O programa F-Scan,, versão 4.02, utilizado neste estudo, permite a gravação dos registros em quadros ("frames") cuja duração, de 0,019928seg, é constante e controlada pelo relógio do sistema.

Método de Exame

A realização do exame seguiu sistemática rigorosa a fim de obter-se o menor número possível de variáveis imponderáveis, influenciando na obtenção dos dados. Todos os registros de um mesmo indivíduo foram obtidos em uma única sessão objetivando a acomodação dos sensores, familiarização do analisando à metodologia e não inclusão de erros do tipo "tempo a tempo" na obtenção dos dados⁽¹³⁾. Como a vida útil dos sensores é de 7 exames, segundo o fabricante, realizamos a troca deste componente a cada 5 exames no presente estudo, evitando possíveis incorreções na obtenção dos dados relativas ao desgaste do material. Após entrevista, exame físico e mensuração biométrica, um par de palmilhas eletrônicas era fixado aos pés descalços do indivíduo, com auxílio de sapatilha de malha de algodão⁽¹⁴⁾, sendo esta a forma de obtenção de registros do denominado salto zero (S0). Então era realizada a etapa de calibração do aparelho, seguindo rigorosamente as especificações do fabricante⁽¹³⁾. O examinando era convidado a deambular livremente (por 3 a 4 minutos) no ambiente da sala de exames, no percurso limitado ao comprimento dos cabos elétricos que conectam as palmilhas ao computador-analisador e que corresponde a 18 metros. Para evitar as alterações dos sensores relativas ao ambiente, mantivemos constante a temperatura da sala de exames em 20° centígrados^(15,16). Após esse período de adaptação, o indivíduo era instruído a deambular normalmente, em linha reta, em percurso previamente demarcado com extensão de 10 metros, permitindo a obtenção de, no mínimo, 8 passos. Durante esta última fase, sem o conhecimento prévio do examinando dava-se início à gravação de 500 quadros ("frames") cuja duração é de 0,019928 segundo cada. Uma vez concluída a etapa de obtenção de registros com o indivíduo descalço (S0), repetia-se a mesma sistemática com os sapatos de saltos altos sempre na ordem crescente de altura registrando-se, da mesma forma, as pressões plantares

nestas novas condições (S1, S2 e S3). Com o intuito de eliminar as irregularidades dos passos observadas no início e término do percurso, eliminamos os passos iniciais e finais de cada indivíduo⁽¹⁷⁾, nas diversas situações de observação (S0, S1, S2 e S3). Uma vez conhecido o número total de passos em cada observação, determinamos o "passo central" como sendo aquele que divide o conjunto em duas metades. Incluímos em nossa amostra o "passo central", os dois que o antecederam e os dois que o sucederam. Além de selecionar os eventos mais regulares quanto à cadência da marcha, uniformizamos as informações circunscrevendo-as a cinco passos de cada pé para cada situação estudada e para cada indivíduo o que resulta no total de 400 passos a serem analisados.

Método de análise dos dados obtidos

Análise Lógica

O programa analisador F-Scan, oferece, de maneira direta ao usuário, uma série de dados a respeito das forças e suas relações com a área plantar nos diversos tempos do passo. Essas informações surgem isoladamente para cada quadro registrado da seqüência do passo ou de forma agrupada, quando se seleciona a opção de gráficos ou análise integral passo a passo (figura 2). Como o Impulso Vertical, correspondente à força de reação do solo versus o tempo⁽¹⁸⁾, seu cálculo foi obtido através da integral do gráfico de Força x Tempo. A análise individualizada das imagens correspondentes a cada passo de cada indivíduo com os diversos saltos, serviu para determinar a localização dos picos de pressão e força máxima. Para esse mister a imagem plantar foi dividida^(19,20), em dez regiões de interesse, a saber: 1. dedos (2. hálux, 3. outros dedos), 4. antepé (5. cabeça do I metatársico, 6. cabeça do II metatársico, 7. cabeça do III metatársico, 8. cabeças do IV e V metatársicos), 9. mediopé e 10. retropé e as posições relativas a cada um dos parâmetros citados foi anotada em planilha de cálculos. Como recurso adicional, foram produzidas tabelas ASCII ("American Standard Code for Information Interchange") dos registros relativos às pressões e ao posicionamento do baricentro ("Center of Pressure" - COP) correspondentes a cada passo, dos diversos indivíduos, nas quatro situações de altura do retropé (S0, S1, S2 e S3). Essas tabelas informam a pressão absoluta relacionando-a com cada eletrodo que é definido através do indicador numérico correspondente à linha e coluna em que se posiciona. Nas tabelas referentes aos dados das pressões, foram determinados os limites das regiões dos dedos, antepé, mediopé e retropé tomando-se como base a linha inicial e a final da matriz em que se observavam valores positivos de pressão. Como todos os indivíduos estudados apresentavam as mesmas dimensões de pés, pudemos considerar os valores limites estabelecidos como constantes e imutáveis e assim foram subdivididas em regiões de interesse deste estudo.⁽¹²⁾ Através de comandos próprios do programa de edição e análise de planilhas numéricas (MS - Excel 2000), foram determinados os valores máximos de pressão em cada uma das áreas acima referidas. Nas tabelas referentes ao estudo do baricentro, durante a fase de oscilação do passo, os eletrodos

que não recebem carga apresentam valores arbitrariamente definidos como -1. Desta forma pela simples constatação de valores diferentes de -1, pode-se identificar o momento exato em que se dá o choque do calcâneo, o apoio total e, finalmente, o desprendimento do passo. Como cada quadro corresponde à mesma duração temporal (0,19928 seg), pode-se calcular a duração total do passo através do produto desta pela contagem do número de quadros utilizados. A partir da mesma divisão da imagem plantar já definida, pudemos determinar as frações correspondentes às regiões funcionais do pé. Além da divisão da imagem plantar no plano frontal, realizamos também sua divisão no plano sagital, obtendo as regiões lateral, central e medial¹⁸. Sabendo-se que a cada eletrodo corresponde um comprimento de 0,508 cm, pode-

mos calcular o tamanho real do retropé, mediopé, antepé e porções lateral, central e medial¹⁸ da imagem plantar. Retornando ao conceito temporal, no qual o produto do número de quadros por 0,19928s fornece o tempo de permanência do baricentro em determinada região, calcular a velocidade do COP nesta mesma região resultou do quociente entre o tamanho real e o tempo despendido ($V = S/T$). O padrão de posicionamento do baricentro^(21,18) nas regiões lateral, central e medial foi determinado pela ocorrência relativa de incidência (percentual) nas três localizações. Desta forma, define-se padrão lateral como sendo aquele em que houve predomínio de deslocamento do COP no terço lateral do pé. Os demais padrões seguem mesma sistemática.



Fig.2

Na parte superior esquerda, são apresentadas as impressões plantares de ambos os pés obtidas a partir do pico máximo de pressão em um passo, escolhido aleatoriamente (apenas para ilustração) do indivíduo 1, descalço. Ao lado dessas, aparecem as impressões plantares obtidas do mesmo indivíduo com o salto 1. Abaixo e à esquerda, os registros com o salto 2 e ao lado destes, os registros obtidos com o salto 3. As linhas vermelhas existentes nessas imagens, correspondem à trajetória do COP.

Resultados

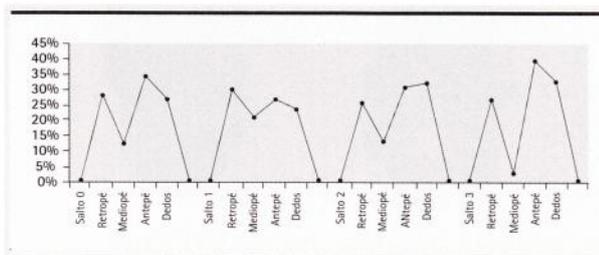
Segundo metodologia já apresentada, contamos com 5 passos de cada pé, de cada indivíduo estudado (100 passos), em cada situação de salto, perfazendo 400 passos. Em cada parâmetro avaliado foram estudados os efeitos dos saltos e a diferença entre os pés direito e esquerdo e a interação entre os fatores (salto e lado). Interação entre os fatores salto e lado presente, indica que os pés comportam-se de maneira diferente na troca dos saltos.

Analisando os resultados das médias encontrados em cada parâmetro temos: As pressões máximas são significantemente maiores nos pés descalços (S0), em todas as regiões estudadas, quando comparadas às obtidas durante o uso dos diversos saltos altos (S1, S2 e S3). Prosseguindo na avaliação dos mesmos dados referentes ao pé descalço, notamos que a distribuição das pressões máximas, nas diversas fases do passo, está de acordo com as observações de outros autores, incluindo aqueles que utilizaram plataforma de mensuração ao invés de sensores internos.^[5, 7, 12, 14, 17, 18, 22-28]

A análise destas pressões, em termos relativos, e a plotagem dos dados em gráfico, determinam o aparecimento da curva característica em que se observam dois picos (o primeiro referente ao "choque do calcâneo" e o segundo referente à ação do antepé até o desprendimento do passo) e o "vale" referente à atuação no mediopé na marcha normal (gráfico 1).

Ainda analisando os pés descalços (S0) observa-se, na região do antepé um predomínio de pressões sob a cabeça do II metatársico, enquanto as cabeças dos demais, recebem pressões similares. Na região dos dedos, ocorre discreto predomínio do hálux no suporte de cargas. As diferenças significantes entre os lados direito e esquerdo, indicam consistentemente o predomínio do lado direito, talvez influenciado pela dominância cerebral observada em todos os constituintes desta amostra.⁽¹⁰⁾

Para análise de Pressão Máxima durante o uso de calçados de saltos altos, em virtude de grande variabilidade dos dados, optamos pela realização de análise percentual, considerando apenas a participação relativa de cada região estudada, nos diversos tempos do passo.



Gra.1 | Dados relativos (%) ao pico de pressão máxima, com o uso do salto 0, 1, 2 e 3 analisando as regiões do retropé, mediopé e antepé.

Observamos a progressiva redução da participação do retropé à medida que se eleva a altura do salto. Da mesma forma, a participação do mediopé reduz-se drasticamente, enquanto o antepé e os dedos aumentam proporcionalmente suas atividades à medida que se elevam os saltos.

Considerando os níveis pressóricos absolutos em cada região estudada, nas diferentes condições deste estudo (S0, S1, S2 e S3) - mínimo de $0,13 \pm 0,35$ kg/cm² e máximo de $7,13 \pm 1,30$ kg/cm² - não observamos valores sequer comparáveis aos limites considerados críticos para o surgimento de patologia do pé (10 kg/cm², segundo Betts, 1980). Esta observação nos leva a concluir que a análise isolada dos níveis pressóricos máximos, não constitui método seguro para a determinação de "condições de risco" para a integridade do pé. Deve haver inúmeros outros parâmetros funcionais influenciando decisivamente nas alterações fisiopatológicas observadas na prática diária.

Estimulados pelas observações de Snow, 1992, que identificaram distribuição mais uniforme dos picos de pressão no antepé com o uso de saltos altos, propusemo-nos a estudar esta característica em nosso material. Desde o início, foram identificadas diferenças significativas entre o pé direito e esquerdo que infelizmente, não foram relatadas na literatura.^[27,20,5,26,12] Nos pés descalços, nota-se nítida predominância do antepé quanto à localização do pico de pressão máxima no pé direito, contra o predomínio do retropé no pé esquerdo. Apesar disso, o II metatársico, I metatársico e hálux, suportam em frequência comparável o pico de pressão máxima em ambos os pés.

Tomadas em conjunto, as frequências relativas, dos lados direito e esquerdo, do pico de pressão máxima no salto 0, incidem predominantemente no antepé (69%), sendo que o II metatársico foi o que mais vezes suportou essa carga (27%), seguido do I metatársico (20%), retropé (18%) e hálux (12%).^[27,20,26]

A análise dos dados referentes ao salto 1, mostrou drástica redução da incidência do pico de pressão máxima na região do antepé, no lado direito. Em 94% das vezes o pico de pressão máxima se localizou no retropé, dando indícios de importante alteração funcional induzida pela elevação do retropé. Apesar de ir contra a lógica do modelo mecânico, o antepé ficou praticamente ausente no suporte do pico de pressão máxima em função do uso do salto de 3,0 cm. No pé esquerdo, no entanto, houve nítido aumento de frequência do pico de pressão máxima sob o hálux (26%), I metatársico (24%) e os IV e V metatársicos (14%), demonstrando a sobrecarga imposta à coluna medial nesta situação de elevação do retropé (S1). Tomadas em conjunto, as frequências relativas dos lados direito e esquerdo, do pico de pressão máxima, para o salto 1 apresentam predomínio para o retropé (65%), praticamente invertendo a situação relatada no salto 0. Essas observações não encontram suporte na literatura.

A análise dos dados referentes ao salto 2, mostrou o retorno de participação do antepé, no suporte do pico de pressão máxima no pé direito. O hálux participou em 30% dos eventos, seguindo-se do I metatársico (18%). O retropé, ainda desta vez, apresentou grande frequência de incidência (46%). No pé esquerdo, acentuou-se o predomínio do hálux (36%), I metatársico (32%) e do II metatársico (24%), praticamente desaparecendo a participação do retropé (4%). Tomadas em

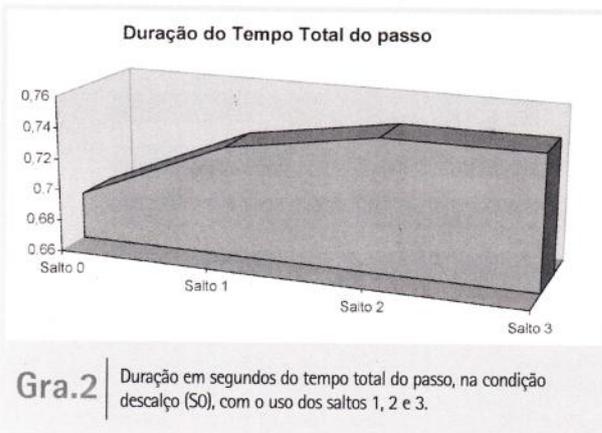
conjunto, as freqüências relativas dos lados direito e esquerdo, do pico de pressão máxima, para o salto 2, percebe-se nítido aumento de participação do antepé (41%) e dedos (33%).

Quando analisamos no salto 3 o lado direito, notamos ainda grande participação do retropé (52%), porém as freqüências de suporte do pico de pressão máxima no hálux e I metatársico foram de 20%, mantendo a mesma tendência observada no salto 2. No pé esquerdo, aumentou grandemente a participação do II metatársico (40%) seguido do hálux (34%) e I metatársico (20%) mantendo, ainda neste caso, a tendência apresentada na observação anterior. Tomadas em conjunto, as freqüências relativas dos lados direito e esquerdo, do pico de pressão máxima, para o salto 3, observa-se a manutenção do estado de coisas iniciado quando da elevação do retropé. Houve acentuação de atividade do antepé (47%), do hálux (27%) e manteve-se a participação do retropé (26%).

Nesta situação (S3), analisando-se isoladamente o antepé, observa-se o predomínio do hálux (27%), II metatársico (22%) e I metatársico (20%).

Pudemos observar, em nossos resultados, que houve predominância da atividade do retropé, no pé direito, quando consideradas apenas as situações de saltos 1, 2 e 3. Atribuímos esta observação à dominância cerebral (indivíduos destros) desta amostra que, em nossa forma de interpretar, se vêem obrigados por força do desequilíbrio imposto pelos saltos a intensificar o "choque do calcâneo" no pé dominante a fim de "marcar" a cadência, o equilíbrio e a direção da marcha.⁽²⁹⁾ Excluídos os dados referentes ao retropé, notamos, para todos os saltos (S1, S2 e S3) e em ambos os pés o predomínio da atividade do hálux e I metatársico, indicando importante perturbação da distribuição normal de cargas no antepé, na situação fisiológica nos pés descalços.^(27,5,26,12)

Procurando outros fatores que possam estar influenciando as alterações fisiopatológicas do pé durante a utilização de saltos altos, realizamos análise temporal do passo total e subdividida nas regiões retropé, antepé e mediopé, no pé direito e esquerdo e nas quatro condições de alturas do retropé (S0, S1, S2 e S3). Para facilitar a compreensão dos nossos resultados, construímos os gráficos V.2, V.3, V.4, V.5, V.6 e V.7 com os tempos relativos (%) à fase de apoio. A análise dos valores da duração do passo (tempo total) com os pés descalços é bastante consistente com os dados da literatura sendo de magnitudes semelhantes entre os dois pés.^(18, 20, 25)



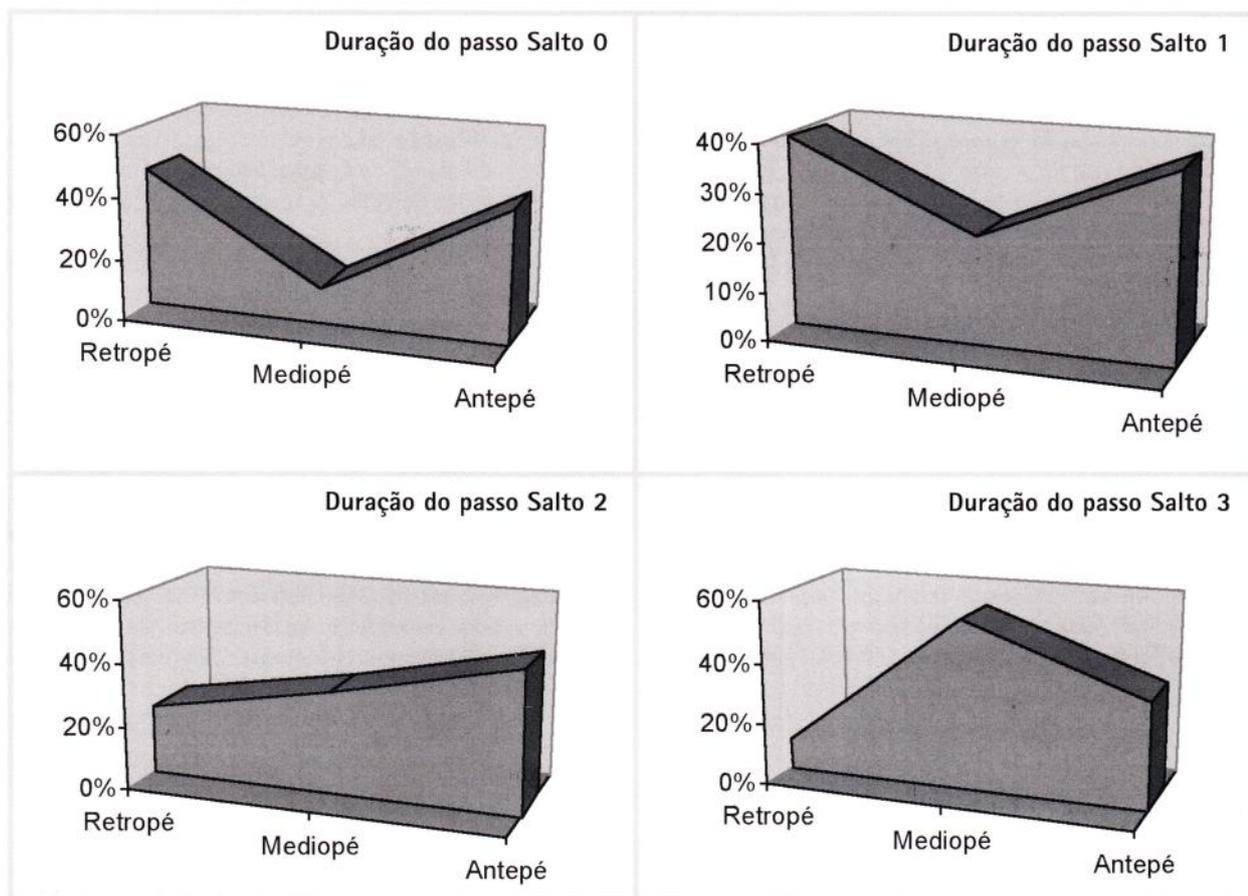
O aumento da altura do retropé, determinou elevação da duração do passo, independentemente do salto utilizado (gráfico 2). As alterações biomecânicas e de controle neuromuscular determinadas pelo uso de saltos altos acabam por produzir situação tal em que é necessária a permanência de mais tempo em determinada área do pé a fim de que se atinja o ponto de equilíbrio para a realização da tarefa desejada - marcha.^(28,29)

A fim de conhecer em que região do pé ocorrem as necessárias adaptações e alterações funcionais que permitam atingir esse objetivo, estudamos os tempos relativos a cada segmento e suas participações no tempo total do passo. Observamos a redução do tempo relativo ao retropé à medida que elevam-se as alturas dos saltos, indicando que, apesar de esta região não ter ficado livre da responsabilidade do suporte de carga, tem que fazê-la em tempos progressivamente menores. A combinação de pressões menos intensas com a redução da duração do tempo relativo a este segmento acaba por criar sistema compensatório evitando o aparecimento de distúrbios funcionais e, conseqüentemente, sintomatologia. O mediopé, por outro lado, apresenta aumento substancial de atividade em virtude do aumento do tempo do passo relativo a este segmento, à medida em que são utilizados saltos de alturas crescentes. Em que pese a diferença entre os lados direito e esquerdo quanto à duração, detectamos a quadruplicação deste parâmetro quando comparamos os resultados obtidos com os pés descalços com aqueles obtidos com o salto 3.

Analisando os dados referentes ao antepé, notamos a manutenção dos valores dentro da mesma magnitude apesar da mudança das alturas do retropé, com os diferentes saltos. Inexplicavelmente, o salto 0 se iguala ao salto 2, no lado direito e ao salto 1 no lado esquerdo. De forma semelhante, o salto 3 se iguala ao salto 1 no lado direito e ao salto 2 no lado esquerdo. Mais importantes do que estas diferenças é a pequena variação da duração do passo neste segmento indicando congruência com os achados relativos à pressão máxima. Analisados em conjunto, pico de pressão máxima e duração do passo (relativa ao antepé), podemos concluir que não houve sobrecarga exagerada ao antepé em virtude do aumento de altura do retropé.

Neste estudo, determinou-se em 43% a participação relativa do retropé na fase de apoio, 11% para o mediopé e do 46% para o antepé na situação de salto 0.^(26,5)

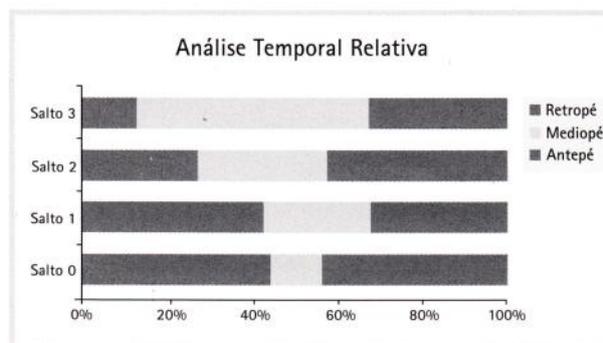
Quando analisamos o efeito dos saltos na participação temporal das três regiões estudadas (retropé, mediopé e antepé) em conjunto, notamos que o mediopé sofre aumento significativo e progressivo, à medida em que se elevam os saltos (gráfico 3). Tendência semelhante, porém no sentido inverso, é observada no retropé, enquanto a participação temporal do antepé permanece praticamente idêntica.



Gra.3 | Duração relativa (%) do passo nas regiões do retropé, mediopé e antepé, na condição descalço e com os saltos 1, 2 e 3

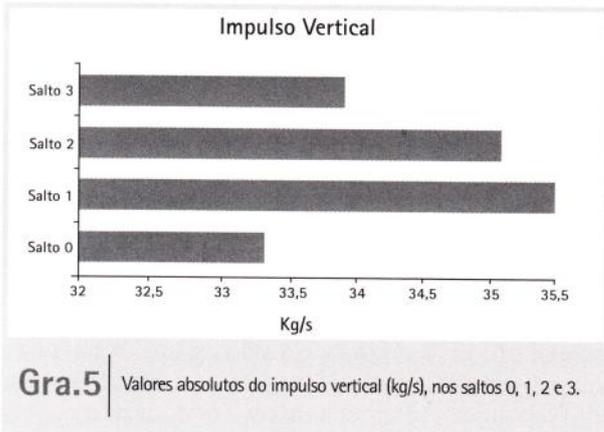
No mediopé, região na qual houve maior alteração temporal, concluímos que a duração do seu tempo relativo à fase de apoio, aumentou proporcionalmente à elevação dos saltos, onde ocupa 11% desta fase no salto 0, 24% com salto 1, 32% com o uso do salto 2 e 55% com o salto 3. No antepé, onde imaginávamos que haveria a maior variação temporal da fase de apoio com o uso de calçados de saltos altos, observamos os seguintes resultados: na condição descalço (S0), sua participação foi de 46%, com o uso do salto 1, houve pequena diminuição para 34%, no salto 2 elevou-se para 45% e finalmente 34%, com o uso do salto 3, notando-se assim, em ambos os pés, alterações de pequena monta na duração do tempo relativo a esta região com a utilização de saltos altos^{17,12}. No gráfico V.3, com dados do salto 0 e participação relativa da duração de tempo percentual à fase de apoio nas três regiões de interesse, notamos padrão de duplo pico (retropé e antepé) e um vale (mediopé). Elevando-se a altura do retropé em 3,0 cm (S1), encontramos no gráfico V.4 a manutenção deste padrão, porém o valor relacionado ao mediopé (vale) aumentou sua participação em 13%. Já com salto de 6,0 cm (S2), há no gráfico V.5, mudança de padrão quando comparado a condição descalço (S0), tornando-se linear e ascendente, isto é, diminuiu em 30% a participação relativa temporal do retropé, aumentou em 20% a do medio-

pé e mantendo-se praticamente com mesmo valor o antepé. Analisando os dados do gráfico V.6, referentes ao salto de 9,6 cm de altura (S3), nota-se total inversão de padrão quando comparado a condição descalço (S0), isto é, há aumento da participação de 32% do retropé, aumento de 44% do mediopé e pequeno aumento de 12% do antepé, do tempo relativo destas regiões durante a fase de apoio. No gráfico 4, tornam-se nítidas a diminuição de participação do retropé, o aumento drástico da participação do mediopé e as pequenas alterações do antepé, na duração relativa do tempo do passo, com a elevação dos saltos.



Gra.4 | Análise temporal relativa (%) da participação do retropé, mediopé e antepé com uso dos saltos 0, 1, 2 e 3

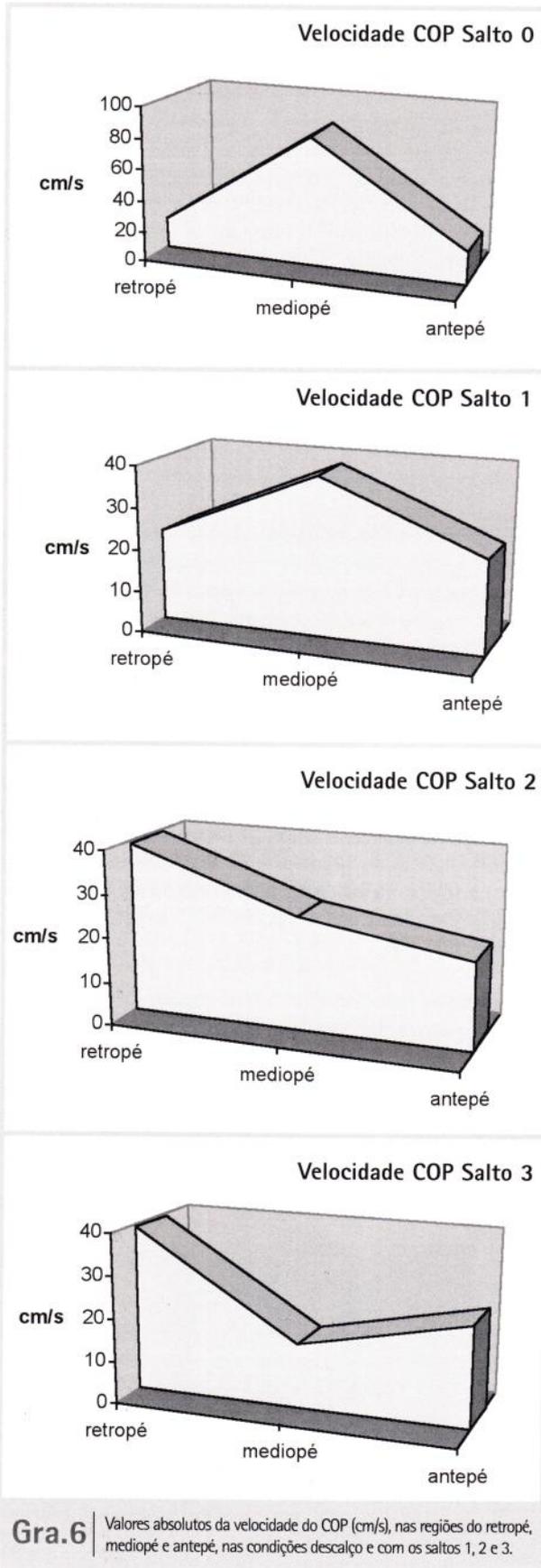
O impulso vertical⁽¹⁸⁾, definido como sendo o resultado do produto da força de reação do solo pelo tempo, indica a carga imposta ao pé em determinada circunstância, já que equilibra, através da integralização dos dados de força e tempo - cada qual já influenciado a seu modo pelas condições vigentes - reduzindo as variações inerentes a cada fator individualmente. Desta forma o achado de impulsos verticais aumentados correlacionam-se diretamente com a sobrecarga de esforço mesmo frente a situações de menores pressões ou tempo. No gráfico 5, observa-se o menor impulso vertical na condição descalço; a utilização de saltos elevados (S1, S2 e S3) determinou o aumento dos impulsos verticais, denotando o aumento de carga ao pé nestas circunstâncias. Embora não possamos explicar a redução do impulso vertical observada com o uso dos saltos 2 e 3, foi nítida a elevação deste parâmetro com o uso de calçados⁽⁵⁾.



Gra.5 | Valores absolutos do impulso vertical (kg/s), nos saltos 0, 1, 2 e 3.

Talvez o conjunto de parâmetros mais importantes na análise das pressões plantares dos pés seja aquele relativo ao baricentro. Sua velocidade e seu posicionamento, informam sobre os resultados de todos e quaisquer artifícios utilizados, pela deformidade ou condições de calçados, no sentido de tornar mais efetiva e produtiva a marcha e o deslocamento corporal. Essa efetividade se manifesta, a curto prazo, pelo desempenho do passo e, a médio e longo prazos, pelo surgimento ou agravamento de sintomatologia dolorosa e deformidades. Sabe-se que a velocidade de deslocamento do baricentro ("Center of Pressure"- COP) é semelhante, em magnitude, no retro e antepé, enquanto é muito maior na região do mediopé⁽¹⁸⁾. Estes autores relembram que, apesar disso, não se pode desprezar a atividade existente no mediopé apenas tomando por base a velocidade de deslocamento do COP nesta região. Em nossos resultados observamos condição semelhante à descrita por Katoh, 1983, para os indivíduos descalços. O gráfico 6, demonstra esse achado no qual a forma de "pico único" da curva obtida representa a maior velocidade do COP no mediopé (83,9 cm/s) contra as velocidades relativamente idênticas do retro e antepé (20,4 e 21,6 cm/s respectivamente) (gráfico 6).

Com a elevação de 3,0 cm no retro pé (S1), observamos inten-



Gra.6 | Valores absolutos da velocidade do COP (cm/s), nas regiões do retro pé, mediopé e antepé, nas condições descalço e com os saltos 1, 2 e 3.

sa redução da velocidade do COP no mediopé (38,5 cm/s), enquanto são mantidas as velocidades no ante e retropé (22,6 e 22,01 cm/s respectivamente). Apesar disso, o padrão de "pico único" da curva de velocidades se mantém.

O salto 2, de 6,0 cm, determinou o aumento da velocidade do COP no retropé para 39,4 cm/s, enquanto reduz-se ainda mais a velocidade no mediopé, mantendo-se a do antepé (26,1 e 19,8 cm/s respectivamente). O padrão da curva sofre alteração significativa passando a adquirir caráter linear e descendente.

As maiores alterações foram observadas na análise dos dados relativos ao uso do salto 3 (9,6 cm), segundo os quais a velocidade do COP no retropé mantém-se em 39,4 cm/s, reduz-se a 15,3 cm/s no mediopé, mantendo-se na casa dos 23,4 cm/s no antepé. Fica demonstrada a completa inversão de padrão da curva quando comparado ao gráfico relativo ao salto 0. Agora observamos o aparecimento de "dois picos e um vale" indicando as grandes alterações detectadas.

O COP desloca-se da região lateral para a central e daí para a medial à medida que observamos o choque do calcâneo e o apoio completo do pé no início do passo. Essa transição se dá de forma rápida sendo portanto privilegiada a região central. À medida que se inicia a elevação do calcâneo, até o desprendimento dos dedos, o COP transita entre as cabeças dos metatársicos centrais indo finalmente para a região entre o hálux e o segundo dedo, no desprendimento do passo. Este padrão, considerado como normal⁽¹⁸⁾, varia em pelo menos 30% da população, mas neste estudo, é considerado como adequado aos indivíduos analisados sem o uso de saltos. Esta é a razão pela qual observamos 37,5% de localização do COP na região lateral do pé, 61,6% na região central e apenas 0,9% na região medial, esta última representando a rápida transição das forças, em alta velocidade, na região do mediopé (gráfico 7).

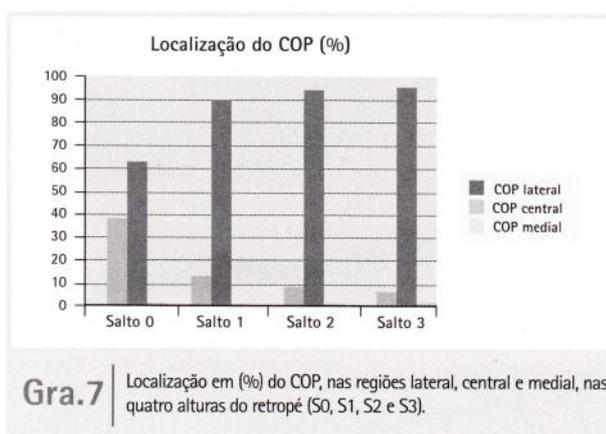
Analisando os dados relativos ao uso de saltos altos, observa-se nítido decréscimo da participação da porção lateral do pé, que é compensada com aumento correspondente da participação da porção central. A porção medial manteve a mesma percentagem nas diversas observações não sofrendo alteração em virtude da elevação do retropé. Desta forma, a

porção lateral decresceu de 37,5% nos pés descalços para 12,5% no salto 1, 7,8% no salto 2 e 5,7% no salto 3. A porção central elevou sua participação de 61,6% (S0) para 87,3%, 91,9% e 93,8% nos saltos 1, 2 e 3, respectivamente.

Essa "centralização" do COP demonstra o intenso esforço exercido pelas estruturas estáticas e dinâmicas dos pés, no sentido de manter equilibrados, sob progressivas condições de desfavorabilidade impostas pela elevação dos saltos dos calçados, o passo e a marcha. Acreditamos que, o antagonismo entre o eqüinismo progressivo e o deslocamento dos picos de pressões máximas sob o hálux e I metatársico esteja sendo compensado por esta tendência à centralização do COP que representaria o equilíbrio entre as forças nas diversas regiões do pé em um determinado instante⁽¹¹⁾. Das considerações que acabamos de apresentar destaca-se a substancial redução dos picos de pressão máxima durante o uso de calçados, contrariando o conceito do modelo mecânico teórico. Essa observação nos induz a imaginar ser possível a concepção de fôrmas de calçados capazes de, utilizando esse achado, retardar ou impedir o surgimento de sintomatologia e deformidades apesar da elevação dos saltos. Nesse mister, será necessária a compensação da concentração de forças sob o hálux e I metatársico reconduzindo-as à região central do antepé - cabeças do II e III metatársicos - ao mesmo tempo que garanta a flexibilidade dos dedos a fim de manter sua participação no desprendimento do passo. A construção desse calçado ideal, deverá estar baseada na restauração das relações entre médio e retropés, já que aí residem as mais substanciais alterações que acabam por produzir aumento da duração do passo, inversão das velocidades e centralização do baricentro, resultando em maior sollicitação e sobrecarga ao pé, na vigência do uso de saltos altos. Estas alterações do médio e retropés, determinam o surgimento dos sintomas e, finalmente, das deformidades, no antepé que, no mais das vezes, permanece com suas funções praticamente inalteradas pelos saltos altos. Acreditamos que estudos que combinem dados semelhantes aos que acabamos de apresentar a outros relativos à biomecânica, radiologia e anatomia funcional, contribuam com o esclarecimento destas importantes questões.

Conclusões

O uso de calçados reduz substancialmente os picos de pressão máxima nas plantas dos pés de indivíduos normais. Embora não haja correlação com a altura dos saltos ou lados, observam-se os padrões, do pico de pressão máxima, "distributivos" e "associativos" alternadamente. A utilização de saltos altos reduz a participação relativa do retro e mediopés, aumentando proporcionalmente a participação relativa do antepé e dedos no suporte de carga à medida que se eleva a altura do retropé e determinou o aumento de concentração dos picos de pressão máxima na região do hálux e sob a cabeça do primeiro metatársico.. A análise isolada dos níveis pressóricos máximos, nas plantas dos pés, não constitui



método seguro para a determinação de "condição de risco" para a integridade dos pés. O uso de calçados de saltos altos determinou o aumento do impulso vertical nas plantas dos pés. A utilização de saltos altos aumenta significativamente a duração total do passo, principalmente em virtude do aumento da atividade no mediopé. A fração relativa ao retro pé, na duração do passo, se reduz enquanto não se altera a fração rela-

tiva ao antepé. Com a elevação dos saltos dos calçados, observa-se a redução da velocidade de deslocamento do baricentro (COP) na região do mediopé acompanhada de aumento da velocidade do COP no retro pé. A velocidade do COP no antepé, independentemente da altura dos saltos, mantém-se constante. O aumento das alturas dos saltos dos calçados determina a "centralização" e "retificação" da trajetória do baricentro na planta dos pés.

Referencias Bibliográficas

1. PAUL JP. Gait Analysis. *Ann Rheum Dis*, 48: 179-81, 1989.
2. CARLET G. Sur la locomotion humaine. *Ann Sci Naturelles, Serie 5*: 1-92, 1872.
3. MAREY M. De la locomotion terrestre chez les bipedes et les quadrupedes. *J de L'Anat et de la Physiol*, 9: 42, 1873.
4. DONAGHE VM, VEVES A. Foot Pressure Measurement. *Ortho Phy Thera Clin North Am*, 6(1): 2-16, 1997.
5. ALEXANDER IJ, CHAO EYS, JOHNSON KA. The Assessment of Dynamic Foot-to-Ground Contact Forces and Plantar Pressure Distribution: A Review of the Evolution of Current Techniques Clinical Applications. *Foot Ankle*, 11(3): 152-165, 1990.
6. YOUNG CR. The F-Scan System of Pressure Analysis. *Clin Pod Med Et Surg*, 10(3): 455-461, 1993.
7. SANTAMBROGIO GC. Procedure for Quantitative Comparison of Ground Reaction Data. *IEEE Trans Biom Eng*, 36(2): 247-55, 1989.
8. KNACKFUSS IG. Contribuição ao estudo das pressões na região plantar durante a marcha. Rio de Janeiro, 1994. 72p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
9. NERY CAS. Osteotomia em "Chevron" para o tratamento do hálux valgo. Parte 2 - Avaliação baropodométrica. *Res Bras Ortop*, 30(6): 433-440, 1995.
10. IMAMURA M. Avaliação podobarométrica do pé do homem adulto normal. São Paulo, 1998. 175p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina - Universidade de São Paulo.
11. MORAES NETO GP. Registro da Pressão Plantar em mulheres, na Região do Antepé, com e sem salto. Rio de Janeiro, 1999. 86p. Tese (Mestrado) - Faculdade de Medicina - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
12. SNOW RE, WILLIAMS KR, HOLMES GB. The Effects of Wearing High Heeled Shoe on Pedal Pressure in Women. *Foot Ankle*, 13(2): 85-92, 1992.
13. XIA B, GARBALOSA JC, CAVANAGH PR. Error Analysis of two Systems to Measure In-Shoe Pressure. *Proc Am Soc Biomech*, 219-220, 1994.
14. SARNOW MR, VEVES A, GIURINI JM, ROSEMBLUM BI, CHRZAN JS, HABERSHAW GM. In-Shoe Pressure Measurements in Diabetic Patients With At-Risk Feet and in Healthy Subjects. *Diabetes Care*, 17(9): 1002-6, 1994.
15. LUO Z, BERGLUND LJ, NA K. Validation of F-Scan pressure sensors system: A technical note. *J Rehab Res Devel*, 35(2): 186-191, 1998.
16. SUMIYA T, SUZUKI Y, KASAHARA T, OGATA H. Sensing stability and dynamic response of the F-Scan in-shoe sensing system: A technical note. *J Rehab Devel*, 35(2): 192-200, 1998.
17. BRANSBY-ZACHARY MAP, STOT-HER IG, WILKINSON RW. Peak Pressure in The Forefoot. *J Bone Joint Surg*, 72-B: 718-21, 1990.
18. KATOH Y, CHAO EYS, LAUGHMAN RPT, SCHNEIDER E, MORREY BF. Biomechanical Analysis of Foot Function During Gait and Clinical Applications. *Clin Orthop*, 177: 23-33, 1983.
19. FLYNNNT, CANAVAN P, CHIANG J, GAVANAGH PR. Ground reaction force and plantar pressure reduction in an incremental weigh bearing system. *Clin Biomech* 12 (3), 512, 1997.
20. CAVANAGH PR, RODGERS MM, IIBOSHI A. Pressure Distribution Under Symptom- Free Feet During Barefoot Standing. *Foot Ankle*, 7(5): 262-76, 1987.
21. GRUNDY M, TOSH PA, McLEISH RD, SMIDT L. An Investigation of the Centers of Pressure While Walking. *J Bone Joint Surg (Am)*, 57(1): 98-103, 1975.
22. BAUMAN JH, BRAND PW. Measurement of Pressure Between Foot Shoe. *The Lancet*, 23: 629-32, 1963.
23. STOTT JRR, HUTTON WC, STROKES IAF. Forces Under the Foot. *J Bone Surg (Br)*, 55(2): 335-344, 1973.
24. DHANENDRAN M, HUTTON WC, PAKER Y. The distribution of the force under human foot an on- line measuring system. *Measur Et Control*, 11: 261-4, 1978.
25. BETTS RP, FRANKS CI, DUCKWORTH T, BURKE J. Static and dynamic foot-pressure measurements in clinical orthopaedics. *Med Et Bio Eng Et Comput*, 18: 674-84, 1980.
26. SOAMES RW, STOTT JRR, GOODBODY A, BLAKE CD, BREWERTON DA. Measurement of Pressure Under the Foot During Funcion. *Med Biol Eng Comput*, 20: 489-95, 1982.
27. GRIVE DW, RASHDI T. Pressure Under Normal Feet in Standing and Walking as Measured by Pedobarograph. *Ann Rheum Dis*, 43: 816-8, 1984.
28. PANDY MG, BERME N. Quantitative Assessment of Gait Determinants During Single Stance Via a Three-dimensional Model- Part 1. Normal Gait. *J Biomech*, 22(6-7): 717-24, 1989.
29. OPILA-CORREIA, KA. Kinematics of High-Heeled Gait. *Arch Phys Med Rehabil*, 71: 304-309, 1990.