

# Fotopodometria “moiré” quantitativa na avaliação do arco plantar longitudinal medial\*

ALBERTO HAMRA<sup>1</sup>, JOSÉ B. VOLPON<sup>2</sup>

## RESUMO

Foi desenvolvida uma metodologia para avaliar quantitativamente o arco plantar medial, usando-se a técnica topográfica *moiré*. De 30 adultos normais, foram obtidos moldes gessados positivos do pé direito que serviram como objetos de estudo. Esses moldes, após serem traçados com linhas referenciais, foram posicionados de maneira padronizada atrás de uma tela construída com fios de náilon espaçados 0,5mm entre si. Esse conjunto foi iluminado com uma fonte de luz de modo a formar padrões de franjas *moiré* na superfície plantar do molde, que foram fotografadas. As figuras das fotografias foram analisadas segundo fórmula geométrica dos padrões *moiré*, de modo a calcular a profundidade do arco plantar em uma linha referencial. Essas medidas foram comparadas com as medidas diretas obtidas no molde por meio de um paquímetro e tomando por referência o plano formado por uma placa de acrílico apoiada de maneira padronizada na superfície plantar. Os resultados obtidos com as duas medidas foram comparados subjetivamente pela análise visual de gráficos cartesianos, bem como objetivamente por regressão linear. Houve alto coeficiente de correlação entre as medidas obtidas com as duas técnicas e as curvas cartesianas apresentaram a mesma forma e praticamente se superpuseram. Foi concluído que o método topográfico *moiré* foi adequado na caracterização da forma e quantificação do arco plantar medial do pé. Entretanto, o posicionamento do objeto de estudo e a padronização dos parâmetros geométricos devem ser seguidos criteriosamente.

## SUMMARY

### *“Moiré” topography to evaluate the medial plantar arch*

A method allowing quantitative evaluation of the medial plantar arch was developed using the *moiré* topography. The study was conducted in positive plaster molds obtained from the right foot of thirty normal adult individuals. Such molds, after being drawn with referential lines on the plantar surfaces, were placed behind a screen manufactured with nylon threads. A properly placed light source gave rise to a pattern of *moiré* fringes on the mold surface that was photographed. The analysis was carried out in the pictures. Applying an equation, it was possible to calculate the plantar arch high. Such figures were compared with the results obtained from the direct measurement. Objective evaluation of the results was performed with regression analysis, and subjective evaluation was done with the comparison of the Cartesian lines obtained with both methods. A high coefficient of correlation was found between the two methods, and the visual comparison of the graphs showed very similar curves. It was concluded that the *moiré* topography was as an adequate and sensitive method to evaluate the plantar arch, but strict placement of the object and observation of the referential parameters are of the utmost importance.

## INTRODUÇÃO

A superfície plantar do pé é uma região altamente especializada e, freqüentemente, reflete distúrbios funcionais desenvolvendo hiperqueratose ou atrofia da pele e do coxim gorduroso. Esse fato demonstra como a distribuição de forças é crítica para o bom funcionamento do pé. Baseados nesse fato, os autores sempre se preocupam com as alterações do arco plantar, pois de todos os elementos do pé talvez seja aquele que mais apresente alterações individuais.

Dos vários métodos já usados para avaliação do arco plantar medial, destacamos a avaliação clínica<sup>(11,13)</sup>, impressões

\* Trab. realiz. no curso de Pós-grad. de Ortop. e Traumatol. da Fac. de Med. de Ribeirão Preto – USP.

1. Pós-graduando.  
2. Prof. Associado.

fotográficas<sup>(11)</sup>, radiografia<sup>(2)</sup>, ultra-sonografia<sup>(8)</sup> e impressão plantar<sup>(3)</sup>.

Recentemente, uma série de trabalhos<sup>(3,14,15,19)</sup> tentou caracterizar a evolução do arco plantar no período de crescimento e, da análise destas investigações, constata-se que não há, até o momento, metodologia quantitativa simples e direta para avaliar a altura real do arco plantar medial<sup>(1,2,7,10,19)</sup>.

A topografia de franjas *moiré* é um método para análise de superfície de um objeto. Decorre de um fenômeno óptico em que franjas são geradas na superfície de um objeto e representam uma informação tridimensional à semelhança de linhas de contorno usadas em mapas topográficos, em que cada linha corresponde a uma profundidade.

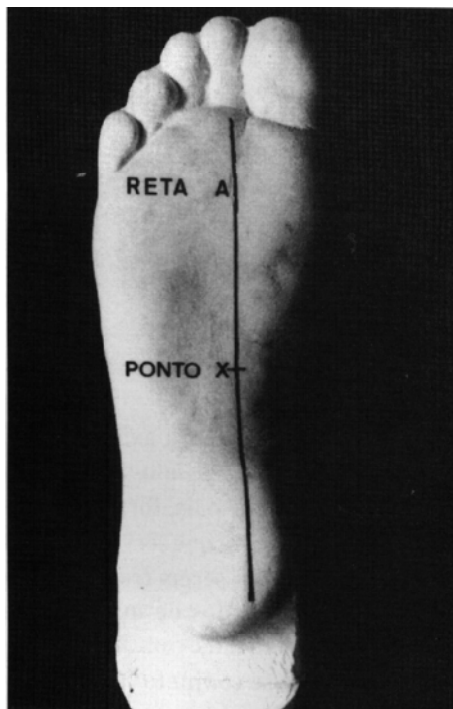
As franjas *moiré* podem ser geradas, por exemplo, pela iluminação de uma tela formada por linhas paralelas e sua sombra projetada em um objeto. A interferência entre as duas estruturas periódicas, tela e sombra projetada, produz imagens de franjas, sendo que cada uma delas representa uma profundidade. As áreas colocadas em um mesmo nível pertencem à mesma franja.

Takasaki<sup>(16,17)</sup> foi o responsável pelo desenvolvimento do método para análise de contornos de corpos vivos. Gould & col.<sup>(6)</sup>, aparentemente, foram os primeiros a empregar a técnica *moiré* para o estudo da superfície plantar, porém o fizeram sem os controles necessários, de modo que o método foi empregado mais como ilustração do que como avaliação. Volpon & Watanabe<sup>(18)</sup> realizaram um estudo mais objetivo com a finalidade de explorar as potencialidades do método. Concluíram que o método era simples, sensível e adequado às investigações clínicas. Entretanto, reconheceram que a grande limitação era a falta de quantificação. Citando o trabalho de França<sup>(4)</sup>, que conseguiu um método *moiré* semiquantitativo para estudar escolioses, e os cálculos matemáticos de Frobin & Herholtzer<sup>(5)</sup>, aqueles autores anteviram a possibilidade de desenvolver um método *moiré* quantitativo.

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um método quantitativo de avaliação do arco plantar usando a técnica de topografia *moiré*.

## CASUÍSTICA E MÉTODO

A população que participou deste estudo constituiu-se de 15 adultos hígidos do sexo masculino e 15 adultos hígidos do sexo feminino, com idades compreendidas entre 20 e 48 anos (média, 43 anos; mediana, 30 anos). Previamente, foram examinados sumariamente em relação ao aparelho locomotor



**Fig. 1** – Ilustração do molde positivo em gesso da planta do pé e o traçado da reta A, em alinhamento com o segundo artelho e do ponto X correspondendo à máxima elevação do arco sobre a reta

e minuciosamente em relação aos pés. Foram excluídos aqueles que referissem alguma queixa quanto aos pés ou com exame físico que indicasse alguma anomalia. De cada um desses sujeitos, avaliou-se apenas o pé direito. O estudo da superfície plantar foi realizado em moldes de gesso, obtidos segundo técnica a ser descrita a seguir.

### Obtenção dos moldes gessados

Material plástico, usado para confecção de moldes dentários (*Jeltrade*®), disponível em pó, foi misturado em água corrente na proporção aproximada de 30g de pó para 50ml de água. A mistura foi homogeneizada e vertida na cuba metálica até o preenchimento da metade da sua capacidade. Em seguida, o indivíduo, comodamente sentado em uma cadeira, mergulhou vagarosamente o pé direito na cuba, aprofundando-o igualmente, até que o gel atingisse pouco acima do limite do arco plantar medial. Neste momento, o pé foi mantido em posição neutra, relaxado e imóvel até que a massa endurecesse (aproximadamente dois minutos). Depois disso, ele foi retirado vagarosamente, produzindo o molde negativo da superfície plantar em gel endurecido. Desse molde negativo, foi obtido um molde positivo em gesso de granulação fina.

A partir desse momento, todo o estudo foi realizado apenas na superfície plantar do molde e as referências serão dadas em relação ao pé na posição anatômica.

Foi traçada uma linha longitudinal na face plantar do mol-

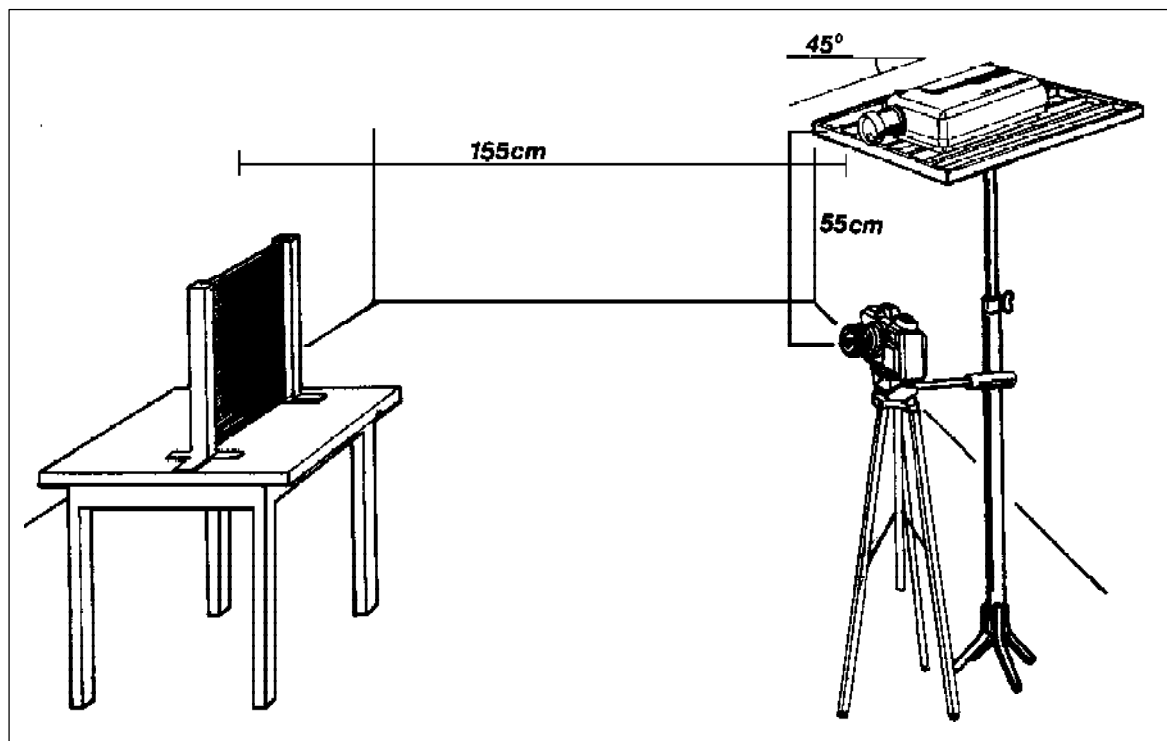


Fig. 2 – Desenho esquemático mostrando a montagem usada para obtenção dos fotopodogramas

de, correspondendo ao segundo artelho (reta A) e, na região de máxima altura do arco plantar, foi marcado um ponto "X" (fig. 1).

Foi confeccionada uma tela com fio de náilon de 0,5mm de diâmetro e espaçamento de 0,5mm entre os fios, que foram pintados com tinta *spray* preta.

Para obtenção dos fotopodogramas, a tela foi colocada em posição vertical, sobre uma mesa. O molde de gesso, também fixado em um suporte na posição vertical, foi aproximado da tela até que as saliências correspondentes ao calcâneo e às cabeças do primeiro e do quinto ossos metatarsais a tocassem levemente. Foi colocada uma câmara fotográfica do outro lado da tela, com objetiva de 105mm e distante 155cm.

Um fecho de luz, gerado por um projetor convencional de diapositivos colocado no mesmo plano da câmara fotográfica e a 55cm acima dela, foi regulado de modo a iluminar o molde gessado com inclinação de 45°, de cima para baixo e com inclinação de 30 graus do centro para a lateral (fig. 2). Com a sala escurecida, foi possível avistar-se as franjas de padrão *moiré*, formadas na superfície plantar (fig. 3).

As fotografias foram realizadas em filme branco e preto, ASA 400, com abertura F16mm e velocidade de um segundo. O filme foi revelado segundo técnica de rotina e copiado de modo a reproduzir o tamanho real do objeto.



Fig. 3 Exemplo de um fotopodograma com as linhas "moiré"

### Medida do arco pelas franjas "moiré"

Em cada fotografia foram identificadas as franjas correspondentes ao ponto de apoio do molde na tela (calcânhar e antepé) que foram nomeadas  $n_1$ . Em seguida, identificou-se a segunda franja ( $n_2$ ) e, assim, sucessivamente ( $n_n$ ). A profundidade de cada franja foi determinada mediante a fórmula de

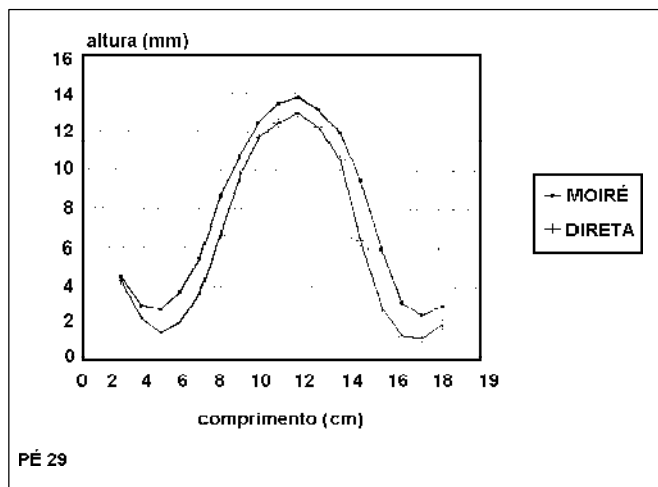


Fig. 4 – Gráfico das figuras representativas das alturas dos arcos plantares mediais realizadas com a medida direta e a técnica “moiré”. Nota-se sobreposição satisfatória das curvas.

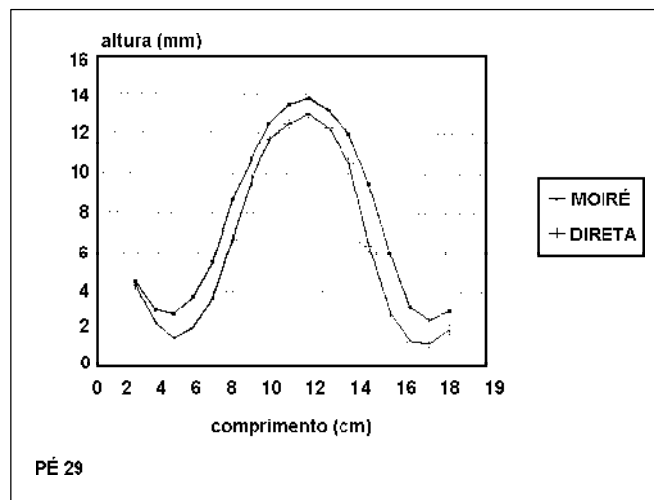


Fig. 5 – Gráfico das curvas representativas das alturas dos arcos plantares mediais realizadas com a medida direta e a técnica “moiré”. Nos casos em que as curvas se afastavam, os valores da medida direta colocaram-se abaixo dos valores da medida “moiré”.

Takasaki<sup>(16,17)</sup>:

$$h_n = \frac{n.l}{\frac{d}{s} - n}, \text{ em que:}$$

- h* – profundidade da franja em relação à tela
- n* = ordem da franja
- l* = distância da câmara à tela
- d* = altura da fonte de luz à câmara
- s* = distância entre os fios da tela

resultando os valores de profundidade:

$h_1 = 2,8\text{mm}$ ;  $h_2 = 5,6\text{mm}$ ;  $h_3 = 8,5\text{mm}$ ;  $h_4 = 11,3\text{mm}$ ;  $h_5 = 14,2\text{mm}$ ;  $h_6 = 17,2\text{mm}$ ;  $h_7 = 19,2\text{mm}$  e  $h_8 = 22,8\text{mm}$ .

**Medida direta do arco plantar no molde**

Para servir como parâmetro de comparação, foi tomada a medida direta do arco plantar, tendo como referência a linha longitudinal traçada previamente.

Uma placa de acrílico foi colocada na superfície plantar do molde, com apoio na região do calcanhar e cabeça do primeiro e do quinto metatarsais. Esta placa tinha uma fenda longitudinal, marcada em milímetros, que foi posicionada de modo que a fenda ficasse projetada sobre a linha “A” e o ponto “X” do molde. Nesta régua foram identificados os pontos correspondentes à intersecção das franjas *moiré* com a reta “A” obtidos com a medida anterior e determinadas as profundidades do arco nestas localizações.

**Análise dos dados**

Para cada arco foram construídos gráficos cartesianos com

as medidas dos arcos pelas duas técnicas que foram analisadas visualmente e comparadas por meio de regressão linear.

As medidas obtidas com a técnica *moiré* na reta B e seus pontos correspondentes medidos diretamente no molde foram comparadas por meio de regressão linear.

**RESULTADOS**

A análise visual para cada par de curvas mostrou que elas apresentavam a mesma forma e praticamente se sobrepunham, na maioria dos casos (fig. 4). Entretanto, quando as curvas se afastavam, os valores de medida direta colocaram-se, mais freqüentemente, abaixo dos valores obtidos com o método *moiré* (fig. 5). Constatou-se, também, maior tendência para o afastamento das duas curvas nas extremidades.

Para a comparação entre as medidas diretas e medidas pelo método *moiré*, calculou-se inicialmente o coeficiente de correlação entre as duas variáveis, obtendo-se  $r = 0,99$ , estatisticamente significativa, indicando boa correlação entre as duas medidas.

A seguir, foram calculados os coeficientes da reta de regressão entre as duas variáveis, obtendo-se a seguinte equação:

$$y = 0,95 x - 0,68$$

em que *y* = medida direta e *x* = medida pelo método *moiré*. Para a intersecção, o intervalo de confiança de 95 por cento obtido foi: 0,60 – 0,76 e, para o coeficiente angular, obteve-se 0,94 – 0,96, sendo, portanto, estatisticamente significantes ambos os coeficientes (fig. 6).

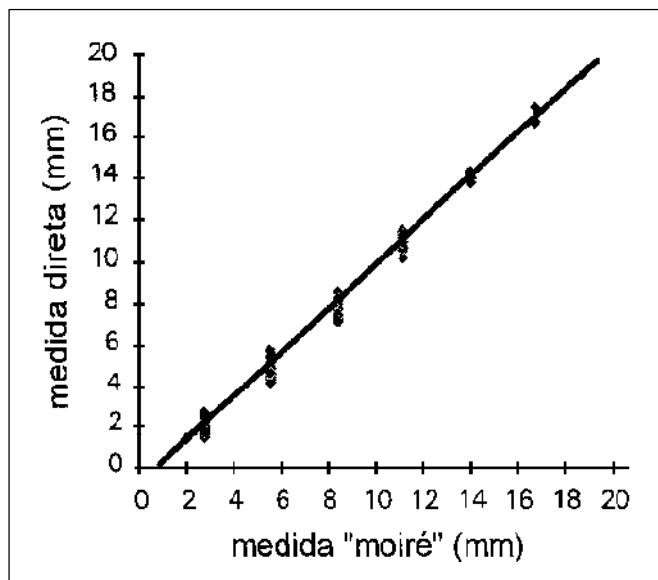


Fig. 6

## DISCUSSÃO

Segundo Willner & Willner<sup>(20)</sup>, os critérios para aceitação de um método de registro devem ter as seguintes propriedades: 1) possibilidade de diagnóstico, mesmo para as pequenas deformidades; 2) número mínimo de falsos-positivos e falsos-negativos; 3) técnica simples, com risco mínimo de erros humanos e com possibilidade de investigação de muitos pacientes num período de tempo curto; 4) possibilidade de documentar os achados para comparação de exames subsequentes.

De nossa experiência com esta investigação, verificamos que o fundamental na metodologia é a padronização de detalhes técnicos, pois, de outra forma, o erro cometido será muito grande.

Optamos pelo estudo em moldes gessados para facilitar a manipulação, traçado de linhas, posicionamento e pela disponibilidade do objeto. Verificamos que os moldes eram cópias fiéis dos pés, registrando minúcias extremas, como os dermatóglifos, pregas e cicatrizes.

A grade da técnica *moiré* deve ter eficiência como meio de difusão da luz e estrutura periódica que emita sombras na superfície a ser estudada, em espaçamentos nítidos nas profundidades requeridas, e não deve interferir na qualidade das fotos. No caso do pé, após avaliação preliminar, escolhemos uma tela de fios de 0,5mm de espessura espaçados 0,5mm de distância um do outro, originando fendas de 0,5mm que possibilitaram eficientemente o fenômeno de interferência.

A fonte de luz deve estar a uma distância muito maior do

observador do que a distância entre os fios da tela, podendo assim ser considerada teoricamente puntiforme e no infinito. A abertura da câmara deve ser pequena, apenas o suficiente para incluir dentro do campo visual a grade e sua sombra. A distância entre câmara e tela foi escolhida com base em várias tentativas e observando o posicionamento que fornecesse uma profundidade de foco adequada e que melhor produzisse um padrão de franjas.

Pela fórmula empregada, verifica-se que há maior número de franjas quando se aumenta a distância da fonte de luz à câmara. Contrariamente, uma distância ( $d$ ) muito pequena faria surgir um intervalo de franjas muito grande, com escasso número de franjas representando uma mesma área. A distância estabelecida em nosso estudo fez surgir um número não excessivo de franjas que facilitou a interpretação e obtenção de profundidade da superfície estudada, sem o inconveniente do excesso ou falta de franjas representativas.

Como já ressaltado por outros investigadores<sup>(9,12,17)</sup>, o posicionamento do objeto em relação à tela é fundamental. Pela fórmula que rege a criação da imagem *moiré*, apresentada anteriormente, a partir da primeira franja, que tem  $h = 1$ , são definidas todas as demais. Portanto, há que se assegurar que o objeto fique em contato padronizado com a tela. No caso do pé, isso foi facilmente obtido aproximando-o de modo que as saliências correspondentes ao calcanhar e às cabeças dos metatarsianos tocassem levemente a tela.

Após estas considerações, pode-se resumir dizendo que a nitidez das franjas é função da capacidade e intensidade da fonte de luz, da largura e espaçamento das linhas da tela, penumbra destas linhas, difusão da luz na superfície do objeto e da abertura do sistema de observação, que deve ser pequena para se obter nitidez das linhas da grade e de suas sombras.

Nossos resultados indicaram claramente que houve correspondência satisfatória entre as medidas obtidas com a técnica *moiré* e aquelas tomadas diretamente do molde. O coeficiente de correlação e os coeficientes da reta de regressão entre as duas medidas foram estatisticamente significativas. Assim, o objetivo da investigação foi atingido e, com pequenas adaptações, a metodologia desenvolvida nesta investigação pode ser usada para outras regiões do corpo humano.

Entretanto, este trabalho apenas inicia uma etapa. Toda nossa análise foi baseada em moldes obtidos do pé sem carga e isso pode satisfazer quando o pé tem características rígidas. Entretanto, o arco plantar sofre influência do peso do corpo e é melhor estudado com carga. Assim, propõe-se que seja desenvolvida uma metodologia para aplicação do método *moiré* nestas condições. Sente-se, também, necessidade de se

testar o pé em situações patológicas e com deformidades variadas. Após estas fases, poder-se-á estabelecer as qualidades e limitações do fotopodograma *moiré*.

## REFERÊNCIAS

1. Cavanagh, R. & Rodgers, M.M.: The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech* 20: 547-551, 1987.
2. Cobey, J.C. & Sella, E.: Standardizing methods of measurement of foot shape by including the effects of subtalar rotation. *Foot Ankle Int* 2: 30-36, 1981.
3. Forriol, F. & Pascual, J.: Footprint analysis between three and seven years of age. *Foot Ankle Int* 11: 101-104, 1990.
4. França, V.: *Validade da topografia "moiré" no diagnóstico precoce da escoliose vertebral*, dissertação (mestrado), Fac. de Med. de Ribeirão Preto, Univ. de São Paulo, Ribeirão Preto, 1991.
5. Frobin, W. & Herholtzer, E.: Analysis of human back shape using surface curvatures. *J Biomech* 15: 379-390, 1982.
6. Gould, M., Moreland, M., Alvarez, R., Trevino, S. & Fenwick, J.: Development of the child's arch. *Foot Ankle* 9: 241-245, 1989.
7. Hawes, M.R., Nachbauer, W., Sovak, D. & Nigg, B.: Footprint parameters as a measure of arch height. *Foot Ankle* 13: 22-26, 1992.
8. Hennig, E.M. & Cavanagh, P.R.: "Ultrasonic quantification of the arch of the weight-bearing foot", in Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, K.C. & Patia, A.E. (eds.): *Biomechanics*, Champaign, Human Kinetics Publishers, 1990. p. 211-216.
9. Jaerisch, W. & Marosch, G.: Optical contour mapping of surfaces. *Appl Opt* 12: 1552-1557, 1973.
10. Jones, B., Cowan, D., Robinson, J., Polly, D. & Berrey, H.: Clinician assessment of medial longitudinal arch from photographs. *Med Sci Sports Exerc* 21: 245, 1989.
11. Lelièvre, J.: *Patologia del pie*, Barcelona, Toray Masson, 1984.
12. Oster, G. & Nishijima, Y.: "Moiré" patterns. *Sci Am* 208: 54-63, 1963.
13. Rose, G.K., Welton, E.A. & Marshall, T.: The diagnosis of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg [Br]* 67: 71-78, 1985.
14. Staheli, L.T., Chew, D.E. & Corbett, M.: The longitudinal arch. *J Bone Joint Surg [Am]* 69: 426-429, 1987.
15. Staheli, L.T., Corbett, M., Wyss, C. & King, H.: Lower-extremity rotational problems in children. Normal values to guide management. *J Bone Joint Surg [Am]* 67: 39-47, 1985.
16. Takasaki, H.: "Moiré" topography. *Appl Opt* 9: 1467-1472, 1970.
17. Takasaki, H.: "Moiré" topography. *Appl Opt* 12: 845-850, 1973.
18. Volpon, J.B. & Watanabe, A.T.: A técnica topográfica "moiré" aplicada ao estudo da superfície plantar do pé. *Rev Bras Ortop* 26: 119-123, 1991.
19. Volpon, J.B.: Footprint analysis during the growth period. *J Pediatr Orthop* 14: 83-91, 1994.
20. Willner, S. & Willner, E.: The role of "moiré" photography in evaluating minor scoliotic curves. *Int Orthop* 6: 55-60, 1982.