



Sağlıklı kişilerde metatars başlarında dinamik basınç dağılım şekilleri

Pressure distribution patterns under the metatarsal heads in healthy individuals

Ulunay KANATLI, Haluk YETKİN, Aykın SİMŞEK, Akif Muhtar ÖZTÜRK, Erdiñç ESEN, Köksal BEŞLİ

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

Amaç: Sağlıklı bireylerde ayak tabanında oluşan normal yük dağılım biçimlerinin bilinmesi metatarsaljinin tanı ve tedavisinde yararlı olacaktır. Bu çalışmada sağlıklı kişilerde metatars başlarına düşen yük dağılımı EMED-SF ayak tabanı basınç sistemi kullanılarak araştırıldı.

Çalışma planı: Çalışmada, gönüllü ve sağlıklı 106 üniversite öğrencisinde (45 kadın, 61 erkek; ort. yaş 24; dağılım 20-35), EMED-SF sistemi kullanılarak yürüme sırasında ayak tabanı basınçları ölçüldü. Ayak izleri tarsometatarsal eklemin fonksiyonel kolonları ile eşleşecek şekilde, birinci metatars başı, ikinci ve üçüncü metatars başları, dördüncü ve beşinci metatars başları olmak üzere üç bölgeye ayrıldı. Her bir bölgede ölçülen en yüksek ve ortalama basınç değerleri kaydedildi.

Sonuçlar: Yük dağılım biçimleri açısından iki cinsiyet arasında ve sağ ve sol ayak tabanları arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0.05$). Orta kolonda orta duruş fazında kaydedilen ortalama ve en yüksek basınç değerleri, medial ve lateral kolonlarda kaydedilen değerlere göre daha yüksek bulundu ($p=0.000$). Medial ve lateral kolonda ölçülen basınç değerleri arasında belirgin fark gözlenmedi. Salınım öncesi fazda ise medial kolonda elde edilen basınç değerleri lateral kolon değerlerine göre anlamlı derecede yüksek idi. Kolonlara göre yüklenme ağırlığı açısından ön ayakta dört farklı yüklenme biçimi belirlendi. Tüm katılımcılarda vücut kütle indeksi (VKİ) şişmanlık sınırının altında idi ($<30 \text{ kg/m}^2$). Salınım öncesi fazda her bir bölgede elde edilen en yüksek basınç değerleri ile VKİ arasında anlamlı bağlantı olmasına karşın ($p<0.05$), orta duruş fazında ayak tabanı basınçları ile VKİ arasında anlamlı bağlantı yoktu ($p>0.05$).

Çıkarımlar: Bulgularımız, sağlıklı bireylerde yürümenin orta duruş fazında ayak tabanı basıncının çoğunlukla orta kolonda oluştuğunu, ancak belirgin derecede birbirinden farklı dört yük dağılım biçiminin var olduğunu göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Ön ayak/fizyoloji; yürüme/fizyoloji; metatars kemikleri; basınç; stres, mekanik.

Objectives: Recognition of plantar pressure distribution patterns of healthy individuals would be helpful in the management of metatarsalgia. We investigated plantar pressure distribution patterns under metatarsal heads in healthy individuals using the EMED-SF plantar pressure analysis system.

Methods: Plantar pressure measurements were performed in 106 healthy volunteers (45 females, 61 males; mean age 24 years; range 20 to 35 years) during walking on the EMED-SF platform. Footprints were divided into three areas based on the three functional columns of the tarsometatarsal joint, that is, the first metatarsal head, the second and third metatarsal heads, and the fourth and fifth metatarsal heads. The mean and peak pressures obtained in these areas were recorded.

Results: Pressure distribution patterns did not differ significantly between the two sexes and the right and left soles ($p>0.05$). The mean and peak pressures of the middle column during the mid-stance phase of the gait cycle were significantly higher than those recorded for the medial and lateral columns ($p=0.000$). There were no significant differences between the medial and lateral columns in this respect. At the pre-swing phase, pressures were significantly greater in the medial column compared to the lateral column. Four different patterns were noted with respect to the distribution of pressures among the three columns. Body mass index (BMI) was below the limit for obesity ($<30 \text{ kg/m}^2$) in all the participants. Peak pressure values obtained from each column at the pre-swing phase were significantly correlated with BMI ($p<0.05$); however, no correlation existed between the plantar pressures and BMI at the mid-stance phase ($p>0.05$).

Conclusion: Our data show that there are four distinct pressure distribution patterns, but the greatest plantar pressure occurs in the middle column of the foot in the majority of healthy individuals.

Key words: Forefoot/physiology; gait/physiology; metatarsal bones; pressure; stress, mechanical.

Metatarsalji, metatars başlarının tekrarlayan yüklenmeleri sonrasında ortaya çıkan ve toplumda yaygın olarak görülen bir sorundur. Nedenleri arasında pes kavus, pes planus, halluks valgus, kapsülit, sinovit, periostit, stres kırıkları, ayak tabanı plak yırtıkları, nörinomlar, kallus, Freiberg hastalığı, yağ yastıkçığı atrofileri, fleksör tendinit gibi sorunlar sayılabilir.^[1-4] Yük dağılımındaki dengesizliklerin ağrı nedeni olduğu ve stres kırıklarının da metatarsların aşırı yüklenmesi sonucu ortaya çıktığı ileri sürülmektedir.

Sağlıklı kişilerde metatars başlarına düşen yük miktarının ve basınç dağılımının bilinmesi metatarsaljinin tanı ve tedavi programlarının belirlenmesinde yardımcı olacaktır. Ayrıca, farklı yürüme biçimlerinin tanımlanması, bunların oluşumuna neden olan mekanizmaların açıklanmasında, klinikte karşılaştığımız ayak sorunlarının anlaşılmasında ve tedavi protokollerinin belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır.

Son yıllarda ayak tabanı basınç ölçümünde geliştirilen yeni yöntemlerin giderek yaygınlaşmasıyla metatars başlarına düşen yükün nicel olarak ölçülmesi mümkün hale gelmiştir.^[5-7] Bu cihazlardaki hızlı gelişmeye rağmen, metatars başlarındaki basınç dağılım biçimleri hakkında bilgilerimiz hala tartışılmaktadır.^[6,8,9]

Bu çalışmada, EMED-SF (Novel GmbH, Münih, Almanya) ayak tabanı basınç ölçüm sistemini kullanarak sağlıklı gönüllülerde metatars başlarına düşen yük dağılımını incelemeyi amaçladık.

Olgular ve yöntem

Ölçümler gönüllü ve sağlıklı 106 üniversite öğrencisi (45 kadın, 61 erkek; ort. yaş 24±2; dağılım 20-35) ile yapıldı. Gönüllülere izlenecek yöntem ve çalışma özellikleri ayrıntılı olarak anlatıldı, bilgilendirilmiş onayları alındı.

Katılımcıların ortalama vücut ağırlığı 66.1±13.2 kg (dağılım 42-115 kg), boy ortalaması 171± 9.4 cm (dağılım 148-196 cm) idi. Ayak sorunları olup olmadığının belirlenmesi için gönüllülerin tamamına fizik muayene yapıldı.

Ayak tabanı basınç ölçümü

Ayak tabanı basınç ölçümleri, yüzeyi ince bir deri ile kaplanan ve 7x1 m'lik ahşap platform üzerine monte edilen EMED-SF (44.4 x 22.5 cm etkin alan, 71 Hz örnekleme hızı ve santimetre karede iki

alıcı) platformu ile yapıldı. Ölçümler normal yürüme hızında, çıplak ayakla yürürken yapıldı. Ölçüm alanına gelmeden önce katılımcıların en az üç kez normal yürüme döngüsünü tamamlamaları sağlandı. Ölçümler her ayak için üç kez tekrarlandı. Değerlendirmelerde birbirine en yakın iki ölçüm seçilerek bunların ortalama değerleri alındı.

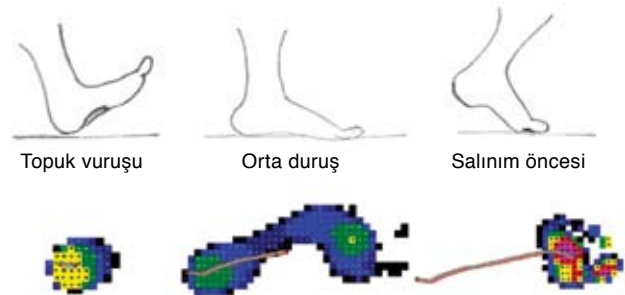
Ayak izleri tarsometarsal eklemin fonksiyonel kolonları ile eşleşecek şekilde bölgelere ayrıldı. Bunlar, birinci metatars başı, ikinci ve üçüncü metatars başları, dördüncü ve beşinci metatars başları olarak belirlendi. Bu bölgelerde kaydedilen basınç değerleri Novel-Ortho yazılımı kullanılarak değerlendirildi (Şekil 1).

Her bir bölgede kaydedilen en yüksek ve ortalama basınç değerleri, yürüme döngüsünde orta duruş ve transvers arkı daha iyi gösteren salınım öncesi fazlar için ayrı ayrı hesaplandı (Şekil 2). Bölgelerin ortalama basınç değerleri, ilgili alanda algılayıcıların kaydettiği basınç toplamlarının temas alanına bölünmesiyle elde edildi. İlgili bölgede kaydedilen en büyük basınç değeri, en yüksek basınç değeri olarak kabul edildi.

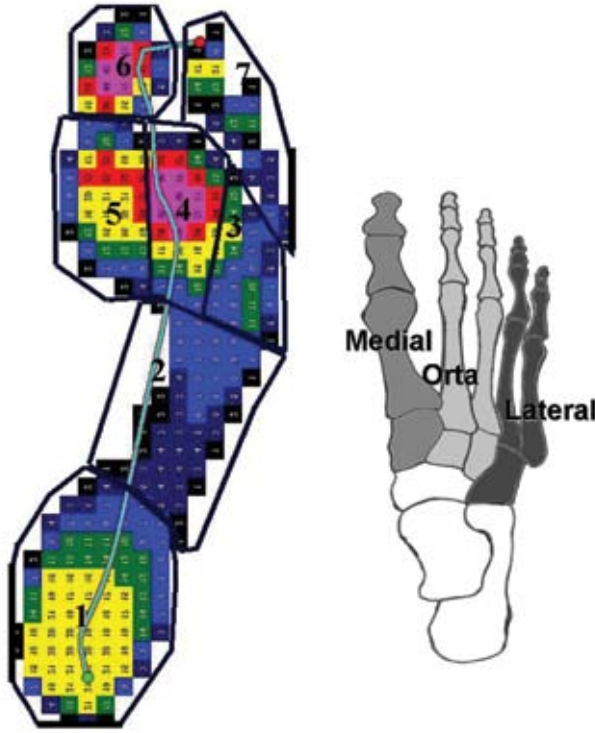
Yürüme döngüsü sırasında, belirli bir bölgeye seçilen zaman diliminde etki eden toplam basınç değerini doğru olarak belirleyebilmek için, seçilen alanda kaydedilen basınç değerlerinin ortalaması alındı. Bu değerler kullanılarak basınç dağılım biçimleri belirlenmeye çalışıldı. Her bir olgu için vücut kütle indeksi (VKİ), vücut ağırlığının (kg) boy uzunluğunun karesine (m²) bölünmesiyle hesaplandı.

İstatistiksel değerlendirme

Katılımcıların her iki ayak izlerinin değerlendirilmesinden elde edilen veriler için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplandı. Sağ ve sol ayak basınç dağılımları arasında fark olup olmadığı "paired sample t-



Şekil 1. Yürümenin "orta duruş" ve "salınım öncesi" fazlarında elde edilen ayak basınç değerlerini değerlendirmek için ayak tabanı yedi farklı bölgeye ayrıldı. Metatarsal bölge ayağın fonksiyonel kolonları dikkate alınarak üç farklı bölgede incelendi.



Şekil 2. "Orta duruş" fazında gözlenen ayak tabanı basınç izi. Bu fazda elde edilen veriler metatars başı basınç dağılımını değerlendirmek için kullanıldı.

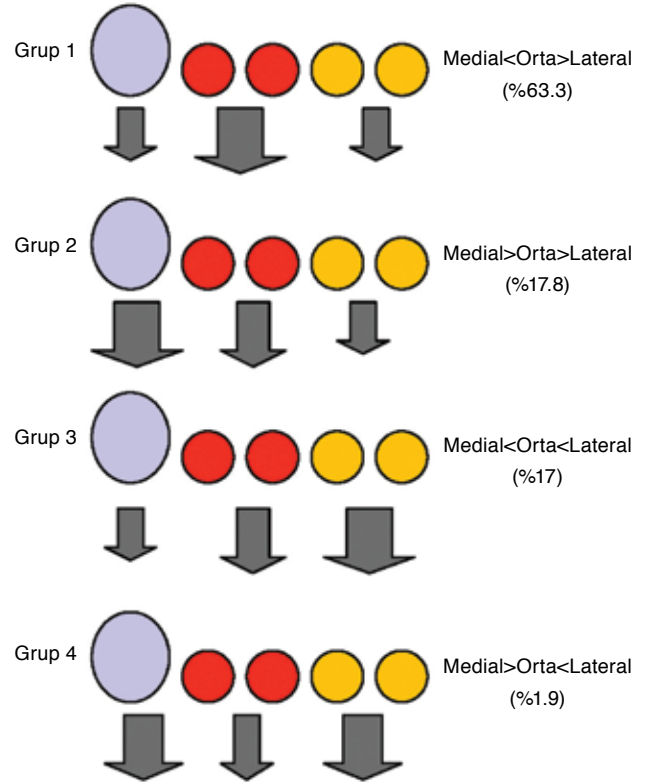
testi", tanımlanan bölgelerde kaydedilen basınç değerleri arasındaki farklar "two-sided t-testi" kullanılarak analiz edildi. Ayağın ön kısmında elde edilen basınç dağılımları ile VKİ arasında olabilecek bağıntılar araştırıldı. İstatistiksel hesaplamalar bilgisayar ortamında SPSS 13.0 programı kullanılarak yapıldı.

Sonuçlar

Yük dağılım biçimleri açısından erkek ve kadın katılımcılar arasında ve sağ ve sol ayak tabanları arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0.05$). Bu nedenle, değerlendirmeyi kolaylaştırmak için sadece sol ayak tabanından elde edilen veriler değerlendirmeye alındı. Yürümenin orta duruş ve salınım öncesi fazlarında kaydedilen ortalama ve en yüksek basınç değerleri Tablo 1'de sunuldu.

Tablo 1. Yürümenin "orta duruş" ve "salınım öncesi" fazlarında medial ve lateral kolonlarda elde edilen ortalama ve en yüksek basınç değerleri (N/cm²)

	Orta duruş fazı		Salınım öncesi fazı	
	Ortalama basınç	En yüksek basınç	Ortalama basınç	En yüksek basınç
Medial kolon	5.69± 2.82	11.66± 11.05	12.23± 4.49	25.49± 13.04
Orta kolon	7.75±2.57	13.24±6.52	17.65±4.39	31.81±11.10
Lateral kolon	6.18±1.88	11.44±4.27	8.75±2.99	22.74±8.51



Şekil 3. Dört farklı yüklenme biçimi ve görülme sıklıkları.

Orta kolonda (ikinci ve üçüncü parmak) orta duruş ve salınım öncesi fazlarında kaydedilen ortalama ve en yüksek basınç değerlerinin, medial ve lateral kolonlarda kaydedilen değerlere göre daha yüksek olduğu gözlemlendi ($p=0.000$).

Orta duruş fazında medial ve lateral kolonda ölçülen basınç değerleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmedi. Salınım öncesi fazda ise medial kolonda elde edilen basınç değerlerinin lateral kolondan elde edilen değerlere göre anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü. Bu bulgular, orta duruş fazında en çok yüklenmenin orta kolonda oluştuğunu, salınım öncesi fazda ise yükün ağırlıklı olarak medial ve orta kolon tarafından taşındığını, en belirgin yüklenmenin ise orta kolonda gerçekleştiğini göstermektedir.

Tablo 2. Vücut kütle indeksi ve ayağın ön kısmında medial, orta ve lateral kolonlarda kaydedilen en yüksek basınç değerleri arasında hesaplanan bağıntı katsayıları

Orta duruş fazı (<i>p</i>)	Salınım öncesi fazı (<i>p</i>)
0.594	0.008
0.668	0.003
0.607	0.040

Katılımcıların ayak tabanı basınç dağılım şekilleri incelendiğinde, sabit bir yüklenme biçiminin oluşmadığı, büyük çoğunluğunda orta kolonda belirgin yüklenme oluşurken, bir kısmında en yüksek yüklenmenin medial veya lateral kolonlarda olduğu da görüldü. Verilerin analizi sonrasında ön ayakta dört farklı yüklenme biçimi gösterildi. Bu yüklenme biçimleri ve bunların görülme sıklıkları Şekil 3'de sunuldu.

Katılımcıların tamamında VKİ şişmanlık sınırının altında idi (VKİ <30 kg/m²). Vücut kütle indeksi ile ayak tabanı basınç dağılım biçimleri arasında bağıntı olup olmadığı orta duruş ve salınım öncesi evrelerinde değerlendirildi (Tablo 2). Salınım öncesi fazda her bir bölgede elde edilen en yüksek basınç değerleri ile VKİ arasında anlamlı bağıntı olmasına karşın (*p*<0.05), orta duruş fazında ayak tabanı basınçları ile VKİ arasında anlamlı bağıntı yoktu (*p*>0.05). Bu bulgular, şişmanlık sınırının altında (VKİ <30 kg/m²) olan olgularda VKİ'nin ayak tabanı basınçlarını orta duruş evresinde artırmadığını gösterir.

Tartışma

Normal yürüyüş sırasında, duruş fazında metatars başlarının normal yüklenme biçimlerinin bilinmesi, metatarsalji ve diğer birçok ayak sorunlarının nedenlerinin belirlenmesinde yarar sağlayacaktır. Ayrıca, bu bilgiler ışığında yeni tedavi seçeneklerinin oluşturulması mümkün olabilecektir.^[2,3,10,11]

Yürüyüş sırasında metatars başlarına düşen yük dağılım biçimleri ortopedinin tartışmalı konuları arasında yer almaktadır.^[5,9,12,13] Bankart, mükemmel bir ayağın yük taşıırken tamamen çöktüğüne inanırdı; Morton ise metatarsların tamamının yük taşıdığını, birinci metatarsın ise diğerlerine göre iki kat daha fazla yük taşıdığını düşünmekteydi.^[12] Dickson ve Diveley ise, ön ayağa binen yükün birinci ve ikinci metatarslar tarafından taşındığını ve transvers metatarsal arkın ise sadece yük taşınırken ortaya çıktığına inanıyorlardı.^[8,13,14]

Tarihsel olarak, transvers metatarsal arkın ayakta anatomik ve fonksiyonel olarak bulunduğu kabul edilmekteydi.^[13,14] Ancak, geliştirilen modern teknikler ile nicel olarak yapılan değerlendirmeler, fonksiyonel transvers metatarsal arkın normal kişilerde oluşmadığını göstermiştir.^[5,7-9]

EMED-SF sistemiyle yapılan çalışmalarda, yürümenin duruş fazında en yüksek basınç değerlerinin ayağın merkezinde ve ayağın ön kısmında olduğu gösterilmiştir.^[5-8]

Ayrıca, bu çalışmalar ayağın ön kısmında farklı basınç dağılım biçimlerinin oluştuğunu da ortaya koymuştur.^[7,10,11] Hughes ve ark.^[7] ayağın ön kısmında medial (16%), medial santral (14%), santral (53%) ve lateral (4%) olarak tanımladıkları dört farklı yüklenme biçiminden söz etmişlerdir. Yamamoto ve ark.^[11] halluks valguslu olgularda üç farklı dağılım biçimi tanımlamışlardır: (a) En yüksek basınç değerlerinin birinci metatars başında olduğu tip; (b) ikinci ve/veya üçüncü metatars başlarında olduğu tip; (c) birinci ve ikinci metatars ve/veya üçüncü metatars başlarında olduğu tip.

Tarsometatarsal eklem üç farklı fonksiyonel kolondan oluştuğu kabul edilir. Bu bağlamda, ayağın ön kısmı üç fonksiyonel kolona ayrılabilir.^[15] Çalışmamızda, metatars başlarında oluşan basınç dağılım biçimlerini ve transvers metatarsal arkın varlığını araştırırken bu fonksiyonel kolonların var olduğu varsayımından hareket ettik. Biz transvers metatarsal arkın yürüme döngüsünün orta duruş fazında daha doğru olarak görüntülenebileceğini düşünüyoruz. Bu amaçla, yürüme döngüsünde orta duruş ve salınım öncesi fazlarında elde edilen veriler, fonksiyonel bölgelere ayrılarak değerlendirilmiştir.

Karmaşık anatomisi ve biyomekaniği nedeniyle normal ayak ile anormal ayak arasındaki çizgiyi çekmek kolay değildir. Mevcut çalışma sonuçlarına göre, yürümenin orta duruş ve salınım öncesi fazlarında elde edilen ortalama ve en yüksek basınç değerlerinin orta kolonda (ikinci ve üçüncü parmak) gerçekleşmesi, fonksiyonel metatarsal arkın normal yürüme sırasında oluşmadığının bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Ayrıca, elde edilen ayak izleri, tek bir basınç dağılım biçiminin olmadığını; aksine, fonksiyonel olarak belirlenebilen dört farklı basınç dağılım biçimi bulunduğunu göstermiştir. Görülme sıklığı açısından, yüklenmenin orta metatarslarda olduğu dağılım biçimi en yaygın olandır (%63). Ça-

lişmamızda, transvers metatarsal ark katılımcıların sadece ikisinde (%1.9) gösterilebilmiştir.

Ayak tabanı basınç ölçüm cihazlarına olan ilgi giderek artmaktadır. Ancak, bunların klinik kullanımları yaygın değildir.^[6-8,16] Bu cihazlarla yapılan ölçümlerin sağlıklı değerlendirilebilmesi için ayağın ön kısmında oluşan farklı yüklenme biçimlerinin olduğu unutulmamalıdır. Bu çalışmada da gösterildiği gibi, sağlıklı normal bireylerde sağ ve sol ayakların yüklenme biçimleri özdeş kabul edilebilir ($p>0.05$). Klinik uygulamalarda, ayak tabanı basınç ölçüm değerlerinin yorumlanması sırasında mutlaka diğer ayaktan elde edilen veriler de göz önüne alınmalıdır.

Ayak basınç dağılım biçimleri, yürümenin değişik evrelerinde (orta duruş ve salınım öncesi faz) farklılıklar göstermektedir. Metarsal yüklenme biçimleri incelenirken, orta duruş ve salınım öncesi fazlar ayrı ayrı değerlendirilmeli; salınım öncesi fazda ölçülen en yüksek basınç değerinin VKİ ile ilişkili olduğu unutulmamalıdır. Orta duruş fazında ayak esnek bir şekil aldığından üzerine binen yükü tümüyle soğurabilir. Salınım öncesi fazda ise ayak sert bir kaldıraç şeklini alır; bu nedenle, üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü yere transfer eder. Salınım öncesi fazda VKİ ile metatars başlarına binen yük arasında bulduğumuz bağının bu nedenle oluştuğunu düşünüyoruz.

Gelecekte, alt ekstremitede yapılacak antropometrik ve biyomekanik ölçümlerden elde edilecek verilerin basınç dağılımı ve yüklenme biçimlerine daha çok açıklık kazandıracağı; ayrıca, bu ölçümlerin belirli hastalık gruplarına ve farklı yaş gruplarına odaklandırılarak yapılmasının yeni bilgilerin ortaya çıkmasında yararlı olacağı düşünüyoruz.

Kaynaklar

1. Stokes IA, Hutton WC, Stott JR, Lowe LW. Forces under the hallux valgus foot before and after surgery. *Clin Orthop Relat Res* 1979;(142):64-72.
2. Anderson EG, Harrison D. Foot pressure patterns in normal feet. *Ann R Coll Surg Eng* 1988;70:176-7.
3. Viladot A. The metatarsals. In: Jahss MH, editor. *Disorders of the foot and ankle: medical and surgical management*. 2nd ed. Philadelphia: W. B. Saunders; 1991. p. 1229-68.
4. Kang JH, Chen MD, Chen SC, Hsi WL. Correlations between subjective treatment responses and plantar pressure parameters of metatarsal pad treatment in metatarsalgia patients: a prospective study. *BMC Musculoskelet Disord* 2006;7:95.
5. Luger EJ, Nissan M, Karpf A, Steinberg EL, Dekel S. Patterns of weight distribution under the metatarsal heads. *J Bone Joint Surg [Br]* 1999;81:199-202.
6. Hughes J, Jagoe R, Clark P, Klenerman L. Pattern recognition of images of the pressure distribution under the foot from the pedobarograph. *Journal of Photographic Science* 1989;37:139-42.
7. Hughes J, 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;14:514-9.
8. Daentzer D, Wülker N, Zimmermann U. Observations concerning the transverse metatarsal arch. *Foot Ankle Surg* 1997;3:15-20.
9. Kanatlı U, Yetkin H, Bolukbasi S. Evaluation of the transverse metatarsal arch of the foot with gait analysis. *Arch Orthop Trauma Surg* 2003;123:148-50.
10. Stokes IA, Hutton WC, Stott JR. Forces acting on the metatarsals during normal walking. *J Anat* 1979;129(Pt 3): 579-90.
11. Yamamoto H, Muneta T, Asahina S, Furuya K. Forefoot pressures during walking in feet afflicted with hallux valgus. *Clin Orthop Relat Res* 1996;(323):247-53.
12. Barnett CH. The phases of human gait. *Lancet* 1956;271: 617-21.
13. Kapandji IA. The physiology of the joints: annotated diagrams of the mechanics of the human joints. Vol 2, New York: Churchill Livingstone; 1970.
14. Soames RW. Appendicular skeleton. In: Williams PL, Bannister LH, Berry MM, Collins P, Dyson M, Dussek JE, et al. editors. *Gray's anatomy: the anatomical basis of medicine and surgery*. 38th ed. New York: Churchill Livingstone; 1995. p. 733-4.
15. Myerson MS. The diagnosis and treatment of injury to the tarsometatarsal joint complex. *J Bone Joint Surg [Br]* 1999;81:756-63.
16. Rosenbaum D, Becker HP. Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. *Foot Ankle Surg* 1997;3:1-14.