

T.C
GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

METATARS BAŞLARI ALTINDAKİ YÜK DAĞILIMINI
ETKİLEYEN FAKTÖRLER

UZMANLIK TEZİ
DR. MURAT İLİKMEN

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. ULUNAY KANATLI

ANKARA 2008

Ortopedi ve Travmatoloji asistanlığım süresince yeterli bilgi ve beceriyi kazanmamı sağlayan, bilgi ve deneyimleri ile bana örnek olan, başta tez danışmanım Doç. Dr. Ulunay Kanatlı olmak üzere, değerli hocalarım Prof. Dr. Selçuk Bölükbaşı, Prof. Dr. Şahap Atik, Prof. Dr. Haluk Yetkin, Prof. Dr. Necdet Altun, Prof. Dr. Erdal Cila, Prof. Dr. Ertuğrul Şener, Prof. Dr. Sacit Turanlı, Prof. Dr. Aykın Şimşek, Doç. Dr. Alpaslan Şenköylü, Doç. Dr. Hamza Özer, Yrd. Doç. Dr. Akif Muhtar Öztürk ve Öğr. Gör. Dr. Hakan Selek'e sonsuz teşekkür ederim.

Eğitimim süresince her konuda yardım ve desteklerini gördüğüm tüm asistan arkadaşlarıma, poliklinik, servis ve ameliyathane hemşire, personel ve sekreterlerine, Uz. Ft. Funda Bülgin Kesici'ye ve tezimin oluşumundaki katkılarından dolayı yürüme analizi laboratuvarı sorumlusu Hem. Nesrin Tomruk'a ayrıca teşekkür ederim.

Hayatım boyunca ve gerek tıp fakültesi, gerekse uzmanlık eğitimim süresince bu zorlu maratonda desteklerini esirgemeyen babam Feridun İlikmen'e , annem Sevim İlikmen'e ve kardeşlerim Elif ve Taha İlikmen' e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
GENEL BİLGİLER	2
ANATOMİ	2
BİYOMEKANİK	7
- Ayak Ön Kısımının Desteği	7
- Yürüme Sırasında Metatarslar	10
METATARSALJİ	11
- Ayağın Ön Bölümünü Tutan Lokal Ve Sistemik Hastalıklar	12
Morton Nöroma	12
Freiberg Hastalığı	12
Romatoid Artrit	13
PATOMEKANİK	14
- Ön Desteğin Aşırı Yüklenmesi	14
- Metatarslara Binen Yükün Düzensiz Dağılımı.....	16
YÜRÜME ANALİZİ	21
YÜRÜME DÖNGÜSÜ	22
- Duruş Fazı	23
- Salınım fazı	25
- Statik denge	27
- Dinamik Denge	28
- Vücudun İlerletilmesinde Basma Fazındaki Ayağın Hareketleri	29
GEREÇ VE YÖNTEM	31
- Radyolojik Değerlendirme.....	31
- Klinik Değerlendirme.....	31
- Pedobarografik Değerlendirme	34
- İstatistiksel Değerlendirme	36
BULGULAR.....	37
TARTIŞMA	44
SONUÇ	47
ÖZET.....	48
KAYNAKLAR	51

GİRİŞ

Metatarsalji, metatars başlarının tekrarlayan yüklenmeleri sonrasında ortaya çıkan, toplumda yaygın olarak görülen bir sorundur. Metatars başlarının yürüme sırasında taşıdıkları yük kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Ortopedi polikliniklerine ayak ağrısı nedeniyle başvuran hastaların büyük bir bölümünü metatarsalji yakınmaları oluşturmaktadır.⁴⁸

Nedenleri arasında pes kavus, pes planus, halluks valgus, kapsülit, sinovit, periostit, stres kırıkları, plantar plak yırtıkları, nörinomlar, kallus, Freiberg hastalığı, yağ yastıkçığı atrofileri, fleksör tendinit gibi sorunlar sayılabilir. Yük dağılımındaki dengesizliklerin ve metatars başlarındaki yük artışının metatarsalji nedenlerinin başında geldiği bilinmektedir.^{22, 45}

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 problemlerinin anlaşılmasında ve tedavi protokollerinin belirlenmesinde kolaylık sağlayacaktır.⁴⁸

Son yıllarda ayak tabanı basınç ölçümünde geliştirilen yeni yöntemlerin giderek yaygınlaşması ile metatars başlarına düşen yükün nicel olarak ölçülmesi olası hale gelmiştir.^{16, 29} Bu cihazların gelişmesindeki hıza rağmen, metatars başlarındaki basınç dağılım biçimleri hakkında bilgiler hala tartışılmaktadır.^{8, 17, 20, 48}

Bu çalışmada amacımız, metatars başlarına binen yükü etkileyen faktörleri ortaya koymak ve bunlardan yola çıkarak başta metatarsalji olmak üzere ayağın mekanik problemlerini çözmede yeni tedavi seçenekleri için yol gösterici olmaktır.

GENEL BİLGİLER

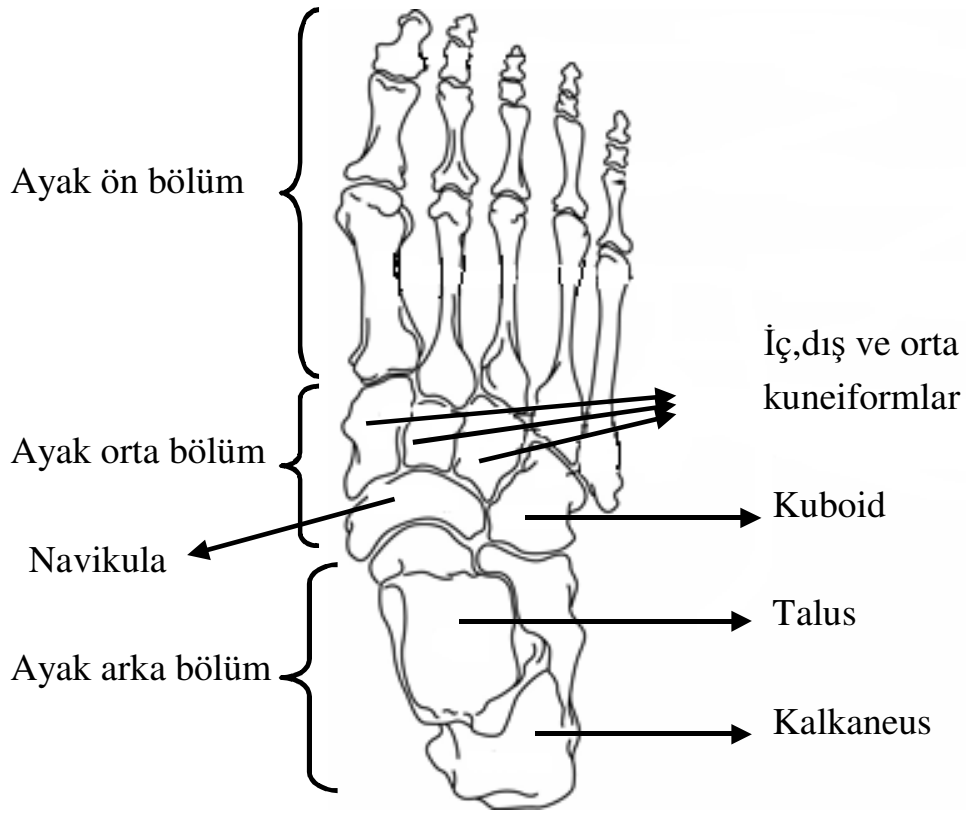
ANATOMİ :

Ayakta sesamoid kemiklerle birlikte 28 kemik vardır. Bu kemikler ligamentler tarafından birbirine bağlanır ve desteklenir. Kemiklerin üzeri kas, tendon, subkutan doku ve cilt ile kaplıdır. Plantar yüzey dorsal yüzeye göre çok daha gelişmiştir. Ayağın birincil görevi vücuda stabil bir destek sağlamak, hareket sırasında ekstremiteye binecek yükleri dengelemek ve vücudun öne doğru hareketine ivme kazandırmaktır. Bu amaca hizmet etmek için ayakta bulunan 28 kemik birbirleri ile çeşitli yarı oynar eklemler yapmıştır. Ayağın yapısal bütünlüğü artiküler geometrisine ve yumuşak doku desteğine bağlıdır. Ayaktaki tüm eklemler sinovyal eklemdir. Yumuşak doku desteği statik olarak ligamanlar tarafından dinamik olarak da muskületendinoz yapılar tarafından sağlanır.

Ayakta lateral, medial ve transvers olmak üzere üç ark olduğu düşünülür. Bu arkların fonksiyonu yükü iletmek, enerjiyi ve şoku absorbe etmektir.^{24, 29}

Lateral ark; kalkaneus, kuboid ve iki lateral sıradan oluşur. Medial ark; kalkaneus, talus, navikula, kuneiformlar ve 3 medial sıradan oluşur. Transvers ark ise metatarsların bazisleri, kuneiformlar ve kuboidden oluşur.⁵² Metatars başları seviyesinde bir diğer transvers arkın varlığı ise tartışmalıdır.²⁹ Son yıllarda yapılan yürüme analizi çalışmalarında fonksiyonel metatarsal transvers arkın olmadığı gösterilmiştir.²⁰

Ayağı ön, orta ve arka olmak üzere bölümlere ayırabiliriz (şekil-1);³⁸



Şekil -1: Ayağın ön, orta ve arka bölümleri

Arka bölüm; ayağın yaklaşık 1/3'ünü oluşturur. Ayakta bulunan en büyük iki kemik bu bölgede bulunur. Bunlardan büyük olan kalkaneustur ve talusu destekler. Aralarında subtalar eklemi oluştururlar. Talus ayak ve ayak bileği arasındaki tek kemik bağlantıdır.

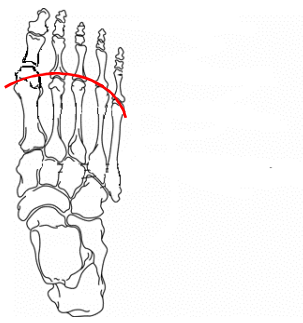
Orta bölüm; ayağın yaklaşık 1/6'sını oluşturur. Naviküla, kuboid ve üç kuneiform kemik olmak üzere beş tarsal kemikten oluşmuştur. Bu kemikler birbirlerine sıkı bir şekilde eklem yaparak transvers arkı oluşturmuşlardır. Ayağın arka bölümü ile eklemleşmedeki hareket yeteneği, ayağın sert ve düzensiz zeminlere uyum sağlamasını kolaylaştırır.

Ayağın ön bölümü; uzun kemiklerden oluşmuştur. Beş metatars ve on dört falankstan oluşur. Metatarslar ayağın ön bölümünde Lisfranc eklemine kadar uzanır ve parmakların tabanında falanslar ile eklemleşir. Her bir metatarsın diafizi silindirik yapıdadır ve medüller kanal içerir. Distal epifiz, plantar yüzde dorsale göre daha gelişmiş bir şekilde davul tokmağı şeklinde genişler ve metatars kondillerini oluşturur. Kıkırdak ile kaplı distal kısım ise metatarsofalangeal eklemi oluşturur. Falanksler sadece fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini yaparlar.³¹

Baş parmağın metatarsofalangeal ekleminin alt kısmında bulunan fleksör hallusis tendonunun içinde sesamoid kemikler bulunur. Bunların görevleri tendonlarda sivri ve sert kemik yüzeylerin üstünden geçerken oluşabilecek sürtünme kuvvetini azaltmak ve tendonların mekanik etkinliğini artırmaktır.

Birinci metatarsın uzunluğunun diğerleri ile ilişkisine göre 3 tip ayak tanımlanmıştır;³¹

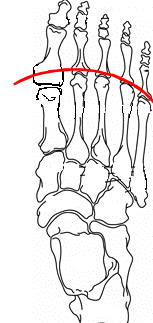
- 1) Index plus tip: Birinci metatars, ikinciden uzundur ve diğerlerinin uzunlukları beşinci metatarsa doğru giderek azalır. %16 oranında görülür.
- 2) Index plus minus tip: Birinci metatarsın uzunluğu ikinciye eşittir ve diğer üç metatarsın uzunluğu beşinci metatarsa doğru giderek azalır. %28 oranında görülür.
- 3) Index minus tip: Birinci metatarsın uzunluğu ikinciden kısadır ve diğerleri beşinci metatarsa doğru giderek azalır. %56 oranında görülür.



index plus



index plus minus



index minus

Şekil-2 : Ayak tipleri

Lake'e göre metatarslar, zeminle temas ettiği yerden başlayarak arkaya doğru genişleyen koni şeklinde bir segment oluşturur. Metatarsların aksı ile zemin arasındaki bu açı (inklinasyon açısı) birinciden beşinci metatarsa doğru giderek azalır. Birinci metatarsta 20° iken, ikinci metatarsta 15°, üçüncüde 10°, dördüncüde 8° ve beşincide 5° olup pratik olarak zeminle paralel hale gelir.^{26, 31}

Metatarslar birbirlerine basislerinden bağlıdır. Son dört metatars arasındaki eklemleşme birinci ve ikinci metatars arasındaki yapıya göre daha gevşektir. Metatarsların basislerinin ve Lisfranc eklemının ayrılmasını engelleyen dorsal ve plantar ligamentler vardır. Metatarslar distalde kondiller seviyesinde birbirleriyle eklem oluşturmazlar.³¹

Metatarsları birarada tutan ve ayrılmasını önleyen yapılar aşağıdaki gibi sıralanabilir;^{31, 39}

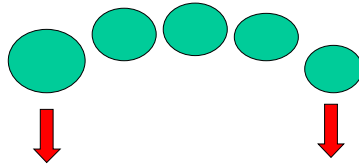
- 1) Lisfranc ligamenti: Birinci küneiformdan, ikinci metatars kaidesine uzanır.
- 2) Transvers metatarsal ligament: Derin plantar aponörozdan takviye alır metatarsların kondillerine yapışır.
- 3) İnterosseöz kaslar: Bu kasların proksimal bölümü metatarsların diafizlerine yapışır ve metatarsları birarada tutar .
- 4) Peroneus longus tendonu: Birinci metatars bazisine yapışır ve transvers plantar arkın oluşumuna katkıda bulunur.
- 5) Tibialis posterior tendonu: peroneus longus tendonunu parmak şeklinde çaprazlar ve metatars bazislerine yapışır.
- 6) Adduktor hallucis tendonu: Lateral sesamoid içinde birinci metatars bazisine yapışır ve birinci metatarsın ayrılmasını önler.

BİYOMEKANİK

Ayağın Ön Bölümünün Desteği :

Ayak ön bölümünün desteği hala tartışmalı bir konudur ve bu konuda farklı teoriler ve açıklamalar mevcuttur.³¹

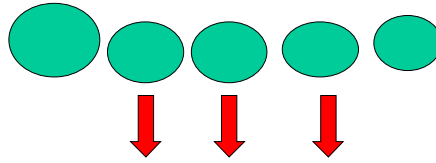
Teori 1: Ayak ön bölümü sadece birinci ve beşinci metatarsların başları tarafından desteklenir(şekil-3). Bu teoriyi savunan otörler metatarsların inferiorundaki konkaviteyi ayağın anterior arkı olarak adlandırmışlardır. Bu teori klasik anatomi kitaplarında da yer almıştır. Lelievre bu teoride değişiklik yapmış; birinci ve beşinci metatarsın doğrudan destek noktası olduğunu, santral metatarsların ise sadece ağırlık taşıma esnasında indirekt destek sağladığını söylemiştir.²⁷



Şekil-3 : Ağırlık birinci ve beşinci metatars başları tarafından taşınmaktadır.

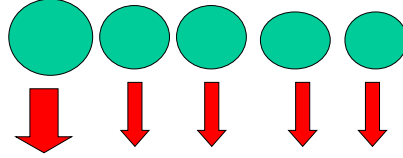
Kapandji'ye göre transvers metatarsal ark duruş fazında ikinci ve dördüncü metatars başlarını yukarıya doğru kaldırarak ayağın topuk, birinci ve beşinci metatars başları üzerinde üç noktada yere temas etmesini sağlamaktadır. Kapandji bunu tripod olarak tanımlamıştır.²⁴ Dickson ve Diveley 'de buna inanmışlar ve bu konfigürasyonun şok absorbsiyon fonksiyonu olduğunu düşünmüşlerdir. Hatta, transvers arkın düzleşmesinin anterior pes planus denilen patolojik bir duruma neden olduğu söylenmiştir.²⁰

Teori 2 : Sadece santral metatarslar yük taşır (şekil-4). Bazı otörler bu teoriyi ayak ön bölümünde plantar yüzeyin ortasında sık kallus oluşumuna dayandırır. Pisani, özellikle ayakta durma pozisyonunda dördüncü metatarsın ön destekteki öneminden bahsetmiştir.³¹



Şekil-4: Ağırlık sadece orta metatarslar tarafından taşınmaktadır.

Teori 3 : Bütün metatarslar ağırlık taşır. Morton, statikometre denilen bir gereçle ayak tabanındaki basıncı ölçmüş ve bütün metatarsların ağırlık taşıdığı sonucuna varmıştır. Ancak farklı olarak birinci metatarsın diğerlerine göre iki kat daha fazla destek sağladığını belirtmiştir. Bu son teori, ayak biyomekaniği ile ilgilenen birçok otör tarafından da desteklenmiştir (şekil-5).³¹

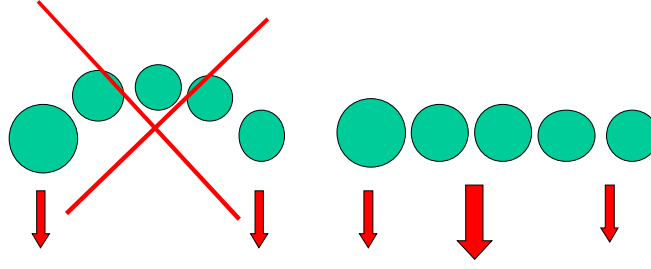


Şekil-5: Tüm metatarslar yük taşır ancak birinci metatars iki kat daha fazla yüklenir.

Sartoris donmuş kadavralarında yaptığı bilgisayarlı tomografi çalışmasında bütün metatarsların destek sağladığını bildirmiş ve bunun klinik ispatı olarak da santral sıranın yetersizliği sendromu denilen ve ağırlığın sadece birinci ve beşinci metatars başları tarafından taşındığı bir patolojik durumun varlığını göstermiştir.^{31, 41}

Amerikan Ortopedik Cerrahlar Birliği , transvers arkla ilgili görüşünü şu şekilde bildirmiştir; transvers ark, ayağa yük binmediği zaman mevcuttur, ancak ayak yük taşırken bulunmamaktadır.⁴³

Kanatlı ve arkadaşları, normal gönüllülerle yaptığı çalışmada da en yüksek basıncın ikinci ve üçüncü metatars başları altında ve ikinci en yüksek basıncın ise topukta oluştuğunu göstermiş ve Kapandji'nin tanımlamış olduğu transvers metatarsal ark ve tripod konfigürasyonunun normalde var olmadığını belirtmişlerdir (şekil-6).²⁰



Şekil-6 : Tüm metatarslar ağırlık taşımakla birlikte, santral metatarslar daha fazla yüklenir.

Normal basma pozisyonunda tüm metatarslar destek sağlar. Bu aşamada iki durum göz önünde tutulmalıdır. Birincisi; ayak daima statik basma pozisyonunda kalmaz. Topuk ve ayağın ön bölümü arasında dinamik bir denge vardır. Smith, dinamik basmanın statik basmaya göre daha gerçekçi ve önemli olduğunu söylemiştir. İkincisi ise; yük taşıma açısından parmakların fonksiyonun göz ardı edilemediğidir. Statik bakış açısından en fazla yükü metatars kondilleri taşır, ancak dinamik bakış açısından parmaklar en çok işi yapar. Parmakların fonksiyon bozukluğunda metatarsların aşırı yükleneceği düşünülebilir.³¹

Yürüme Sırasında Metatarslar :

Metatarsların hareketliliği birbirinden oldukça farklıdır. En az hareket iki ve üçüncü metatarslardır. Birinci metatars hareket genişliği en fazla olandır ve aşağı- dışa doğru yer değiştirir. Dört ve beşinci metatarslar ise aşağı ve içe doğru yer değiştirir. Metatarslara ağırlık verilince aynı seviyede horizontal olurlar. Pisani, çalışmalarında dördüncü metatarsın dorsifleksiyona en fazla direnen metatars olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni de dördüncü metatars bazisinin küboidin üzerine gelmesidir.³¹

Yapılan çalışmalarda, olguların önemli bir kısmında (%70) Lelievre'nin tanımladığı ritmin mevcut olduğu görülmüştür.²⁷ Ritm aşağıdaki gibidir;

- 1- Topuk vuruşu
- 2- Parmakların, metatars başlarının ve topuğun teması
- 3- Topuk ve ayağın ön kısmının desteğini devam ettirmesi
- 4- Metatars başları ve parmakların izole olarak yerle temasının devam etmesi
- 5- Son nokta olarak ayak havalanırken başparmak ve birinci metatarsın zeminden kalkmaya başlaması

METATARSALJİ

Metatarsalji, insan vücudunda en sık görülen ağrılardan biridir. Genelde ayağın ön kısmındaki ağrıyı tanımlamak için kullanılır ancak özgül bir tanı değildir.³³ Klinik olarak metatars başları altında nasır oluşumu ve özellikle yürüme sırasında ayağın ön bölümünde plantar yüzde ağrı vardır. Doğru bir teşhis için ayağın ön bölümündeki ağrı dikkatlice analiz edilmelidir. Nöritik semptom, dokunmakla bölgesel duyarlılık, yumuşak doku inflamasyonu gibi bulgular değerlendirilmelidir.³³ Biyomekanik değişikliğe neden olabilecek pes planus, pes kavus, metatars kısalığı olup olmadığı değerlendirilmelidir. Ayrıca bu bölgeyi tutan sistemik hastalıklara ait bulgular da araştırılmalıdır.

Metatarsalji nedenleri üç grupta sınıflandırılarak incelenebilir.³⁹

- 1- Ağrının bu bölgede yerleştiği lokalize hastalıklar (Morton nöroma, Freiberg hastalığı)
- 2- Ayağın ön bölümünü tutan sistemik hastalıklar (romatoid artrit)
- 3- Ayağın ön bölümündeki biyomekanik değişiklikler

AYAĞIN ÖN BÖLÜMÜNÜ TUTAN LOKALİZE VE SİSTEMİK HASTALIKLAR

Morton Nöroması

Morton metatarsaljişi olarak da bilinen bu sendrom 1876'da Thomas Morton tarafından tanımlanmıştır. Genellikle tek taraflıdır ve 25-50 yaş arası bayanlarda sık görülür. Tipik olarak en sık üçüncü n. digitalis plantaris communis'de görülür.^{31, 39} Bunun nedeni bu sinirin diğerlerine göre daha kalın olması ve yerleşimi itibarı ile diğerlerine göre makaslama kuvvetlerine ve mikrotravmalara daha fazla maruz kalmasıdır.³⁹ Tekrarlayan travmalar sonucu üçüncü intermetatarsal sinirin schwann kılıfında kollejenöz madde birikimi sonucu oluşan perinöral fibrozis nedeni ile sinirin genişlemesi Morton Nöroması olarak adlandırılmıştır.

Klinik olarak bıçak batar tarzda ağrı, yanma ve ayağın altında çakıl taşı olduğu hissi vardır. Ağrı olduğunda hastaların ayakkabılarını çıkarıp masaj yapmaları yine tipik bir bulgudur.³¹ Tedavi seçenekleri; ayakkabı modifikasyonu, ortezler, steroid enjeksiyonu ve nöromanın eksizyonudur.^{33, 39}

Freiberg Hastalığı

Freiberg ilk olarak 1914'de, daha sonra da Köhler 1924'de ikinci metatars başını tutan avasküler nekrozu tanımlamışlardır. Genellikle 16-20 yaşları arasında görülür ve kadınlarda dört kat daha sıktır. Daha çok ikinci metatars başını tutmakla birlikte diğer metatars başlarında da görülebilir. Etiyolojiden kesin olmamakla beraber, tekrarlayan mikrotravmalar ve yüksek topuklu ayakkabı giyilmesinin sorumlu olduğu düşünülmektedir.³⁹

Klinik olarak tutulan metatars başında hassasiyet ve ödem vardır. Parmak dorsifleksiyonu zayıf ve ağrılıdır. Ağrı istirahatle azalır. Metatarsofalangeal eklemden krepitasyon, hiperekstansiyon ve subluksasyon görülebilir. Konservatif tedavide akut evrede kısa bacak yürüme alçısı, metatarsal pedler, yük verdimeme uygulanabilir. Cerrahi olarak; rezeksiyon artroplastisi, dorsal kama osteotomileri ve protezler yapılabilir.³⁹

Romatoid Artrit

Romatoid artrit , ayağın ön bölümünde özellikle metatarsofalangeal eklemleri tutar. Kronik dönemde olguların yaklaşık %90'ında ayak tutulumu vardır¹³ ve halluks valgus, çekiç parmak veya pençe parmak deformiteleri ortaya çıkar. Sinovit ve effüzyon, metatarsofalangeal eklem kapsülleri ve kollateral ligamentlerin gerilmesine; oluşan pannus dokusu ise eklem kıkırdığının ve subkondral kemiğin erozyonuna neden olur.^{12, 46} Kapsülün ve kollateral ligamentlerin gerilmesine ve uzamasına bağlı eklem instabil hale gelir. Ayak kaslarının spazmı veya kontraktürü, yük stresi ve uygun olmayan ayakkabı kullanımının deforme edici etkisi sonucu metatarsofalangeal eklemden hiperekstansiyon, subluksasyon veya dislokasyon oluşurken; proksimal interfalangeal ve distal interfalangeal eklemden fleksiyon kontraktürü oluşur.³⁹

Klinik bulgular romatoid artrit evresine bağlıdır. Erken ve akut dönemde eklemlerde ısı artışı, hassasiyet ve şişlik görülür. Geç ve kronik evrede ise; metatarsofalangeal eklemlerde hiperekstansiyon, subluksasyon veya dislokasyon, ağrılı plantar nasır oluşumları, halluks valgus, metatarsus primus varus, ağrılı bunion ve pes planovalgus görülebilir. Yapılan çalışmalarda romatoid artritli hastalarda ayağın ön bölümünde temas alanının ve basıncın arttığı gösterilmiştir.^{1, 13, 15} Konservatif tedavi, ayakkabı modifikasyonu ve ortezleri içerir. Cerrahi tedavi seçenekleri arasında, rezeksiyon artroplastileri, artrodez ve protez uygulamaları bulunmaktadır.³⁹

AYAĞIN ÖN BÖLÜMÜNDEKİ BİYOMEKANİK DEĞİŞİKLİKLER

PATOMEKANİK

Bu bölgedeki biyomekanik değişiklikler ayağın ön bölümündeki ağrının en sık nedenidir ve daha çok bu problem üzerinde durulacaktır. Ayak ön bölümündeki biyomekanik değişiklikler ise iki ana grupta incelenebilir.

1- Ön desteğin aşırı yüklenmesi

- a) Çok yüksek topuklu ayakkabı giyilmesi
- b) Ekin deformitesi
- c) Kavus deformitesi

2- Metatarslara binen yükün düzensiz dağılımı

- a) Birinci sıra yetmezlik sendromu
- b) Birinci sıra aşırı yüklenme sendromu
- c) Santral sıra yetmezlik sendromu
- d) Santral sıra aşırı yüklenme sendromu

Ön Desteğin Aşırı Yüklenmesi :

- a) Çok yüksek topuklu ayakkabı giyilmesi:

Viladot ve Trakuo'nun yaptığı metatarsaljiden etkilenen 1000 'den fazla ayağı inceleyen çalışmada, kadınlarda görülme oranının, erkeklere göre çok daha yüksek olduğu (kadınlarda %88.5, erkeklerde %11.5) gösterilmiştir.⁵¹ Eğer, ayağa binen kuvvetlerle zemin arasında bir üçgen çizilir ve bu çok yüksek topuklu ayakkabı ile beraber tekrarlanırsa ayağın ön bölümünün topuğa göre aşırı yüklendiği görülür.³¹

Metatarsalji sadece çok yüksek topuklu ayakkabı giyenlerde ayağın ön bölümüne binen büyük yük sonucunda değil, sivri uçlu ayakkabı giyenlerde de oluşabilir. Bu tür ayakkabılar giyildiği zaman ayak parmakları birbiri üzerine toplanır ve dorsifleksiyona gider. Bu pozisyonda özellikle yürüme sırasında parmaklar ön desteği sağlamada metatars kondillerine yardım etmez ve bu durum pek çok kadında metatarsaljiye sonuçlanır.³¹

b) Ekin deformitesi:

Kontrakte aşıl tendonunun metatarsaljiye neden olduğu bilinmektedir. Ekin deformitesi poliyomyelite, spastisiteye bağlı veya konjenital olabilir. Hamilton, ekin deformitesinde dorsifleksiyonun sınırlandığını ve bunun da ön desteğin aşırı yüklenmesine neden olarak metatarsaljiyi tetiklediğini bildirmiştir.³¹

c) Kavus deformitesi:

Kavus ayakta plantar arkta anormal artış vardır. Bu deformite metatarsları daha vertikal hale getirerek aşırı yüklenmeye neden olur. Anterior kavus deformiteli ayağın temel biyomekanik bozukluğu şu şekilde özetlenebilir;³¹

- Kavus deformiteli ayakta destek sadece topuk ve metatars başlarıyla sağlanır. Eksternal arkın desteği ya yoktur ya da çok azalmıştır.

- Var olan eşitsizlik nedeniyle kuvvetler üçgeni de değişir ve ekin deformitesine benzer bir şekilde ayağın ön kısmının aşırı yüklenmesine neden olur.

- Kavus deformiteli ayaklarda ayak parmaklarında sıklıkla subluksasyon ve bazen de dislokasyon görülebilmektedir. Metatarsal destek uygun ayak parmağı yardımına sahip değildir. Bu nedenle bütün yük metatarsal kondiller tarafından taşınır ve bu da metatarsaljiye sonuçlanır.

- Kavus ayakta yürüme ritmi değişir,

1- Ayağın zeminle teması tam olmaz, metatarslar yerine topuk değır.

2- Ayağın zemindeki desteğini sadece topuk ve metatars kondilleri sağlar. Eksternal ark yada parmakların katkısı yoktur.

3- Yürümenin itme fazında, özellikle nörolojik kökenli kavus ayakta dorsale lukse olmuş parmakların yardımı olmaz.

Metatarslara Binen Yüğü Düzensiz Dağılımı :

Tüm metatars kondilleri ağırlık taşır. Morton'un çalışmasında da statik ayakta durma pozisyonunda birinci metatarsın diğerlerine göre iki kat daha fazla yük taşıdığından bahsedilmiştir. Dinamik evrede de, yürümenin itme fazında birinci sıranın diğerlerinden daha fazla yük taşıdığı düşünülmektedir. Bu denge bozulursa metatarsalji meydana gelir.³¹

a) Birinci Sıra Aşırı Yükleme Sendromu:

İki durumda oluşur;

1- Birinci metatarsın horizontal yüzeyinde hipertrofi olduğu durumlar. Bu çok uzun başparmağı sahip olanlarda görülür. Genellikle burun kısmı kapalı ayakkabı giyenlerde başparmaktaki sürtünmeler her adımda kuvveti geriye doğru ileterek metatarsofalangeal eklemdede dejenerasyonu tetikler. Bu olay sıklıkla halluks rijitusa neden olur.³¹

2- Frontal yük dengesizliğinin birinci metatars başı ve sesamoidlerde aşırı basınca neden olduğu durumlar. Travmatik , tekrarlayan mikrotravmalarla veya kronik aşırı yükleme sebebiyle olabilir. Travmatik form daha çok trafik kazalarında aniden frene basma sonucu, parmak ucunda düşme ile meydana gelir. Tekrarlayan mikrotravmalar ise parmak ucunda tekrarlayan zıplamalar yapmayı gerektiren bazı sporlar ve bale dansçılarında görülür.

Kronik aşırı yüklenmeden ise birinci metatars ile zemin arasındaki açının 25° üzerinde olduğu durumlarda bahsedilir. Bu durum birinci metatarsın daha vertikal olduğu kavus deformitesinin bazı formlarında ve çok yüksek topuklu ayakkabı giyenlerde görülür.³¹

b) Santral Sıra Yetmezlik Sendromu:

Bütün metatarslar fizyolojik olarak yere temas ederken anterior metatarsal ark yere temas etmez. Birinci ve beşinci metatarsların aşırı yüklenmesiyle sonuçlanan bu durum santral metatarslardaki değişiklikler sonucu oluşur. Bu değişiklikler konjenital, nörolojik ve idiopatik olabilir.³¹

1 - Konjenital: Bir veya daha fazla segmentte aplazi sonucu oluşur. Yalnızca ayak parmağı, metatars veya her ikisi birden etkilenebilir. En sık görülen şekli dördüncü metatarsın gelişimindeki eksikliklerdir. Erken çocuklukta sık olarak poliomyelit sekeline bağlı meydana gelir ve dördüncü metatarsın distal metafizinin oluşmaması şeklinde görülür. Ayak büyürken ayak parmağı daha geride kalır ve kalan boşluğu doldurmak için üçüncü ve beşinci metatarslar boşluğa doğru yönelirler. Böylece sekonder metatarsalji meydana gelir.

2 - Nörolojik: Pes kavus olgularının bazılarında longitudinal ark yüksekliğinde artış olurken transvers ark yüksekliğinde de artış olur. Birinci ve beşinci metatars başları santral sıradakilere göre daha aşağıda yerleşmişlerdir ve durum bir anterior ark oluşmasına neden olur. Bu ayak kaslarındaki dengesizliğin bir sonucudur. Peroneus longus ve adduktor hallucis transvers bölümü baskın hale gelmiştir. Bu iki kas santral metatarsları kaldırarak anterior arkı oluşturur. Klinik olarak birinci ve beşinci metatars başlarının altında ağrı ve hiperkeratotik değişiklikler görülür. Bazen trofik değişiklikler ve ülserasyonlar da olabilir.

3 - İatrojenik : Santral metatarsların aşırı yüklenmesine bağlı oluşan metatarsaljielerde bazı cerrahlar Hoffmann ameliyatını uyguladılar. Bu ameliyatla santral sıradaki üç metatarsın başları rezeke edilir. Ameliyat sonrası hastaların semptomlarında azalma olur ; ancak zamanla birinci ve beşinci metatars başlarındaki aşırı yüklenmeye bağlı olarak ağrı ve hiperkeratoz oluşmaya başlar.

c)Santral Sıra Aşırı Yüklenme Sendromu :

Birinci sıra yetmezlik sendromunda ikinciden dördüncüye doğru giderek azalan şekilde santral sırada bir aşırı yüklenme olur. Santral sıra metatarslarından birinde izole olarak aşırı yüklenme ise şu durumlarda oluşur;³¹

- 1- Konjenital olarak metatarsın komşu metatarslardan uzun olması
- 2- Metatarsın horizontal düzlemle oluşturduğu açının fizyolojik açıdan daha büyük olması
- 3- Dördüncü metatarsın görece sık görülen proksimal eklemden dorsifleksiyon kapasitesinde kayıp olması

d)Birinci Sıra Yetmezlik Sendromu :

Birinci metatars normal fonksiyonunu yerine getiremez ise, diğerlerinin, özellikle iki ve üçüncü metatarsın aşırı yüklenmesine neden olur. Bu sendromdan bir çok otör santral metatarsların düşmesi ve düzleşmesiyle ilişkili olarak anterior pes planus veya transvers pes planus olarak söz eder. Metatarslar paralel olmak yerine yelpaze şeklinde birbirlerinden ayrılmışlardır. Bu nedenle açık ayak, yaygın ayak, metatarsus latus gibi isimlerle de anılır.

Birinci metatars yetmezlik sendromu nedenleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;³¹

1- Konjenital karakter değişikliği: Morton'un çalışmasıyla tanımlandığı için Morton sendromu adıyla anılır. Birinci metatars kısadır ve ikinciden yaklaşık 2 cm geride sonlanır. Birinci metatars varusa yönelmiştir ve sesamoidler posteriora yerleşmiştir. Bu birinci metatarsın ksalmasının fonksiyonel sonucudur.

2 – Yumuşak doku gevşekliği: Birinci metatars fizyolojik olarak hareketlidir; ancak bunun normal ölçülerde ve yönde olması gereklidir. Zeminle temas halinde ligamentler ve plantar kaslar pozisyonu korur. Bu olmazsa ayak zemini desteklerken yeterli güce sahip olmaz ve metatars yukarı doğru bir piyano tuřu gibi eğilir. Courriades bu hastalığı birinci sıranın hipermobilité sendromu şeklinde adlandırmıştır ve Lisfranc ligamentinin laksitesine özel önem vermiştir.³¹

3 – Sesamoidlerin Dislokasyonu : Kelikian ve Roig Puerta; sesamoidlerin, metatars başları altında intersesamoid ligament ile birlikte laterale subluksasyonu ya da birinci ve ikinci metatarslar arasına tamamen yer değiştirmesini içeren sesamoid formül diye adlandırdıkları bir duruma dikkat çekmişlerdir.³¹ Diğer bir nokta da sesamoidlerin, plantar transvers ligament ve adduktörlerin transvers lifleri tarafından sabitlenmesi ve metatarsın varus ve iç rotasyonu sonucu intermetatarsal boşluk içine kaymalarıdır. Sesamoidofalangeal ligament falanksı çeker ve parmağın valgusa yönelmesine neden olur.

4 – Pes planus: Sıklıkla longitudinal arkın düzleşmesi metatarsaji ile birlikte dir. Muskuloligamentöz zayıflık gevşek pes planus olarak karakterize edilir, ancak pes planus oluşumu basit ark çökmesi değil topuğun valgusa yönelmesi ile olur.

5 – İatrojenik: Halluks valgus için yüzden fazla ameliyat tanımlanmıştır. Bunların birçoğu ayak ön bölümünün biyomekaniği yerine ayağın estetiği veya başparmağın hareketi düşünülerek yapılmıştır. Lelievre ayak ön bölümüne yapılan cerrahi girişimlerde normal biyomekaniğin rekonstrüksiyonunun temel alınmasının gerekliliğine dikkat çekmiştir.

Halluks valgus cerrahisinde önemli olan ayak ön bölümünün düzgün desteklenmesidir; estetik veya başparmağın hareketi ikinci sırada düşünülmelidir. İatrojenik olarak ayak ön bölümünün biyomekaniğini bozan başlıca cerrahi girişimler aşağıdaki gibidir.

a) Hueter-Mayo ameliyatı: Başparmağın metatarsofalangeal eklem artroplastisidir. Cerrahi olarak kısaltma yapılarak ayak ön bölümünün statik rolünün ortadan kaldırılmasına neden olur. Bu ameliyattan sonra diğer metatarslarda stres kırıkları görülebilir.

b) Metatarsal osteotomiler: Birinci metatarsın yönünü değiştiren birçok girişim mevcuttur. Metatars boyunda kısaltmaya neden olmazlarsa iyi sonuçlar alınabilir. Ancak birçok nedenle bu operasyonlar kemiğin kısalmasına neden olur ve Hueter-Mayo tekniğine benzer yetmezlik sendromuna neden olurlar. Bu durum başparmakta ağrının sorumlusu olan metatarsofalangeal eklem artrozuna yol açar. Ludloff osteotomisi ise birinci metatarsın oblik osteotomisidir. Bu prosedürün de eksikliği en iyi şekilde yapılmış olsa bile genellikle kısalığa neden olmasıdır.

c) Keller-Brandes ameliyatı: Bu ameliyatta falanksın yaklaşık 2/3'ü rezeke edilir ki bu başparmağın instabilitesine neden olur ve yere sağlam bir şekilde basmayı zorlaştırır. Ayrıca falanks bazisi rezeke edildiğinden sesamoidler posteriorda kalır. Bu Morton tarafından tarif edildiği gibi fonksiyonel bir kısalığa neden olur ve başparmağın plantar fleksiyon gücünü azaltır. Bu ameliyatın neden olduğu birinci sıra yetmezliği, Hueter –Mayo ameliyatına göre daha azdır, fakat yine de aşırı yüklenme kırıklarına neden olabilir.

Birinci sıra yetmezliğinde diğer metatarslar artan yüke giderek uyum sağlamaya başlarlar ve bu sendromunun kronik formuyla karakterize bir takım değişiklikler gösterirler. Bazı olgularda ise strese bağlı aşırı yüklenmeler akut formda gelişir. Bunun sonucunda ikinci metatarsta, daha nadiren üçüncü metatarsta Deutschlandler's hastalığı olarak anılan stres kırığı gelişir.³¹

Deutschlander's hastalığı yürüyüş kırığı (march) olarak da bilinir. Tipik olarak uzun bir yürüyüş sonrasında spontan kırık oluşur. İkinci ve üçüncü metatarslarda ani başlangıçlı yoğun bir ağrı şeklinde başlar. Kırık metatarsın orta-distal 1/3 birleşim yerindedir. Bir çok olguda periost reaksiyonu vardır.

Birinci sıra yetmezlik sendromunun kronik formu yavaş ve progresif bir seyir izler. Hastalarda santral metatarslar seviyesinde rahatsızlık hissi mevcuttur. Bu bölgede kalın bir kallus dokusu oluşur ve bazı olgularda enfeksiyon gelişebilir. Yetmezliğin bu bölgedeki bulguları şöyle özetlenebilir;³¹

- İki, üç ve dördüncü metatars başları altındaki ciltte hiperkeratotik lezyon oluşumu görülürken birinci ve beşinci metatars başları altındaki cilt normaldir. Bu durum olguların yaklaşık %75'inde görülür ve santral sıra metatars başları altındaki cildin yüksek basınç ve anoksiye maruz kalması nedeniyle oluşur.

- Metatars başlarını saran geniş higroma keseleri oluşur. Bunlar enfekte olabilir veya bursite dönüşebilir.

- İki ve üçüncü parmaklarda dorsale çıkık gelişebilir. Birinci sıra yetmezliği durumunda yürüme sırasında diğer metatars başlarına destek sağlamak için parmaklar pençe pozisyonuna gelir ve metatarslar normalden daha uzun süre yerle temas eder.

- Periost reaksiyonu orta diafiz seviyesindedir ve bu bölgede kemik yoğunluğu artmıştır.

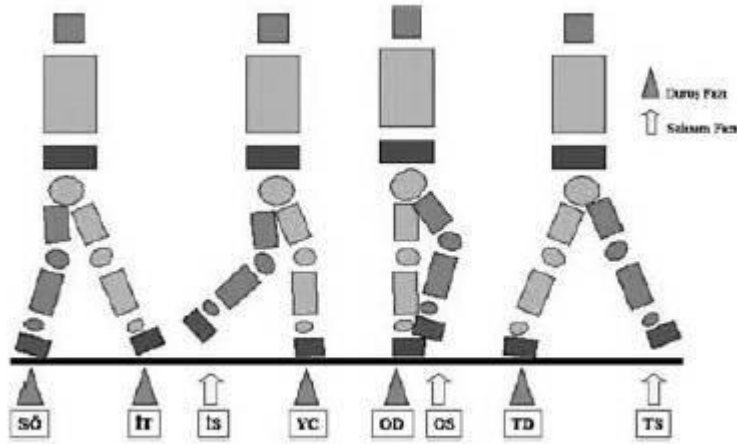
YÜRÜME ANALİZİ :

Yürüme, bir yerden bir yere hareket etme amacıyla ayağın yere değmesiyle başlayan ve aynı ayağın yeniden yere temas etmesiyle sonlanan bir hareketler zinciridir. Yürüme analizi yürümenin sayısal olarak değerlendirilmesi, tanımlanması ve yorumlanmasıdır.⁴²

Günümüzdeki teknolojik gelişimle, kas iskelet sistemindeki araştırma ve klinik uygulamada tanı, tedavi planlaması ve tedavinin sonucunu ölçme ve izleme amacıyla yürüme analizlerinin kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır.⁵⁰ Özellikle, nöromusküler hastalıklarda görülen kas iskelet sistemi sorunlarının tanı ve tedavisinde, yürüme analizi önemli bir yer tutmaktadır. Yürüme analizinin klinik kullanımı dışında kinetik ve kinematik ölçümler yapıp, bunlara basınç ölçümlerini de ekleyerek birçok eklem için biyomekanik çalışma yapılmaktadır. Özellikle alt ekstremitede, diz, kalça, ayak bileği eklemleri biyomekaniği ve bu eklemlere uygulanan rekonstrüksiyonların mekaniği konusunda yürüme analizi teknikleri kullanılarak yapılan çalışmalar giderek artmaktadır.⁵⁰

YÜRÜME DÖNGÜSÜ

Yürümenin temel olarak duruş ve salınım olmak üzere iki fazı vardır.^{42, 50} İnsan yürürken önce bir bacağı öne atar, onun üzerine bastıktan sonra diğerini yerden kaldırır ve ilerletir.



Şekil-7: Yürüme döngüsü

Yürüme döngüsünde bacağın havada olduğu süre salınım, yerde olduğu süre ise duruş fazı olarak tanımlanır. Bir alt ekstremitenin yere değdiği an duruş fazının başlangıcıdır. Bu ekstremita yerden ayrıldığında duruş fazı biter, salınım fazı başlar. Aynı ekstremita tekrar yere değdiğinde ise yürüme döngüsü tamamlanmış olur.^{42, 50}(şekil-7)

Duruş fazı yürüme döngüsünün %62'sini, salınım fazı ise %38'ini oluşturur. Duruş fazının ilk %12'lik bölümünde her iki ayak yerle temas eder. Daha sonra hareketin %50'si tamamlanana kadar kişi tek ayak üzerindedir. Hareketin %62'ye tamamlandığı son bölümde ise tekrar her iki ayak yere temas eder.⁴²

a) Duruş Fazı : Beş birimden oluşur. Bunlar; ilk temas(İT),yüklenmeye cevap (YC) , orta duruş fazı (ODF), terminal duruş (TD), salınım öncesi (SÖ) alt birimleridir.⁴² İlk temas ve salınım öncesi esnasında her iki ekstremita da yerle temas halindedir ki, buna çift destek adı verilir.⁵⁰

1. İlk Temas (Topuk Vuruşu)

Yürüme döngüsünün % 0-2 'sini oluşturur. Basma fazının başlangıcı olup ayağın yere değmesi ile başlar. Kalça 30° fleksiyonda, diz tam ekstansiyonda, ayak bileği nötral pozisyonunda ve ayak supinasyondadır. Topuk yere ilk vurduğu anda gövde ayağın gerisinde, vücut ağırlık merkezi en alçak noktasında ve en yüksek hızındadır. Yer tepki kuvveti kalçanın önünde olduğundan kalça stabilitesini korumak için gluteus maksimus ve hamstringler kasılır. Dizde yer tepki kuvvetinin oluşturduğu ekstansör moment hamstring kasılmasıyla dengelenir. Ayak bileği dorsifleksörlerin yardımı ile nötral pozisyonunda tutulur.⁴²

2. Yüklenece Cevap

Yürüme döngüsünün % 2-10 'unu oluşturur. Aynı zamanda birinci çift destek fazıdır. Diğer ayak yerden kaldırılana kadar gövde ağırlığı bu ayağa aktarılır. Kalça fleksiyoundan ekstansiyona gelmektedir. Diz 20° fleksiyoundadır. Ayak bileği 10 ° plantar fleksiyoundadır. Amaç, şok absorpsiyonu, tüm ayağın yere indirilmesi ve vücut ağırlığının üstlenilmesidir. Vücut ağırlık merkezi yükselmeye başlar. Yer tepki kuvvetinin oluşturduğu dış momentler kalçada ve dizde fleksiyon, ayak bileğinde plantar fleksiyoundur. Bunu dengelemek için kalçada gluteus maksimus ve hamstringler, dizde kuadriseps, ayak bileğinde dorsifleksörler kasılır.⁴²

3. Orta Duruş Fazı

Yürüme döngüsünün %10-30'unu oluşturur. Tek basma fazının başlangıcıdır. Kalça ve diz ekstansiyonda, ayak bileği dorsifleksiyoundadır. Salınım fazındaki bacak, basan bacağın yanından geçer. Amaç yerde sabit olan ayak üzerinde gövdeyi öne doğru ilerletmektir. Bu dönemde vücut ağırlık merkezinin öne doğru hızı en aza iner, yüksekliği en üst ve en dış yan noktaya ulaşır.

Yer tepki kuvveti kalçanın ortasından, dizin arkasından, ayak bileğinin önünden geçer. Dolayısıyla kalça kaslarının çalışmasına gerek yoktur, dizde kuadriseps, ayak bileğinde triseps kasları kasılır. Ayrıca pelvik düşme kalça abdükörlerinin kasılması ile azaltılır.⁴²

4. Terminal Duruş Fazı (Topuk Kalkışı)

Yürüme döngüsünün %30-50'sini oluşturur. Tek basma fazı bitmektedir. Kalça 10 ° ekstansiyondadır, diz ekstansiyondan fleksiyona gelir, ayak bileği plantar fleksiyoundadır. Amaç bacağın yerden kaldırılmasıdır. Vücut ağırlık merkezinin yüksekliği ve yana kayması azalır, denge alanı merkezinin önüne geçer. Yer tepki kuvveti kalçanın arkasında, dizin ve ayak bileğinin önündedir. Kalçada iliopsoas, dizde gastroknemius, ayak bileğinde triseps kasılırlar. Diğer ayak yere basana kadar kalça abdükörleri çalışmaya devam eder.⁴²

5. Salınım Öncesi (Parmak Kalkışı)

Yürüme döngüsünün %50-60'ını oluşturur. Basma fazının bitip salınım fazının başladığı dönemdir ve ikinci çift destek dönemini oluşturur. Karşı ekstremité yere değdiğinde başlar ve parmakların yere temasının kesilmesiyle sonlanır. Kalça ekstansiyonu, diz fleksiyonu ve ayak bileği plantar fleksiyonu artar. Bu dönemde gövde ağırlığı ekstremité üzerinden kalkar. Amaç bacağı salınıma hazırlamaktır. Ayak yeri terk etmeden önce yer tepki kuvveti dizin arkasına geçer, ayak parmakları yerden kalkınca yer tepki kuvveti azalır ve kaybolur. Kalçada iliopsoas, rektus femoris, addüktörler, ayak bileğinde triseps kasları çalışır, dizde fleksiyon pasif olarak gerçekleşir. Rektus femoris kası hem diz ekstansiyonunu kısıtlar hem de kalça fleksiyonuna yardımcı olur.⁴²

b) Salınım Fazı : Bu faz, salınım öncesi ile birlikte yürümenin ilerleme safhasını oluşturur. Salınım fazı üç birimden oluşur. Bunlar, ilk salınım (İS), orta salınım (OS), terminal salınım (TS) olarak sıralanabilir.^{42, 50}

1. İlk Salınım (Akselerasyon)

Yürüme döngüsünün %60-73'ünün oluşturur. Ayağın yerden kaldırılması ile başlar, ayak diğer ekstremitenin hizasına geldiğinde biter. Kalça ve dizde fleksiyon artmakta, ayak bileğinde dorsifleksiyon oluşmaktadır. Amaç havadaki bacağı hızla öne ilerletmektir. Kalça fleksörleri ve ayak bileği dorsifleksörleri çalışırlar, diz fleksiyonu ise pasif olarak oluşur.⁴²

2. Orta Salınım

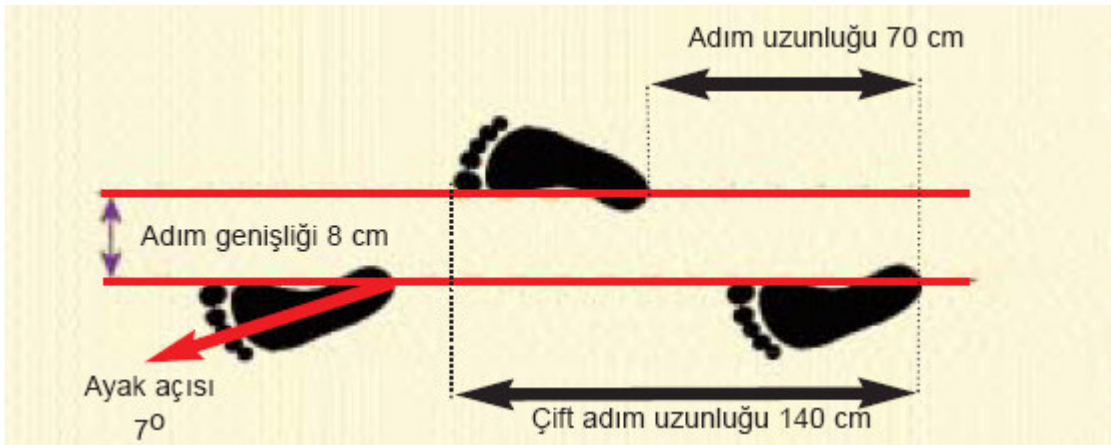
Yürüme döngüsünün %73-87'sini oluşturur. Salınan bacak basma fazındaki bacağın yanına gelir ve önüne geçer. Kalça ve dizde fleksiyon artar, ayak bileğinde dorsifleksiyon yapılır. Amaç ayağın yere değmeden aktarılmasıdır. Kalça ve diz fleksiyonu pasif olarak yapılırken, ayak bileği dorsifleksörleri kasılmaya devam ederler.⁴²

3. Terminal Salınım (Deselerasyon)

Yürüme döngüsünün %87-100'ünü oluşturur. Salınan bacak basan bacağın önüne geçtiğinde başlar, ayağın yere değdiği ana dek sürer. Kalça fleksiyonda, diz ekstansiyonda, ayak bileği ise nötral pozisyonundadır. Amaç ayağın yere basmaya hazırlanmasıdır. Dizin tam ekstansiyonu ile adım uzunluğu artar. Hamstringler eksantrik kasılarak kalçada fleksiyon ve dizdeki ekstansiyonu kısıtlar, ayak bileği dorsifleksörleri de kasılmayı sürdürürler.⁴²

Yürüme analizinde kullanılan birtakım terimler mevcuttur. Bu terimlerden kısaca bahsetmek uygun olacaktır.

Adım; bir ayağın yerle temas halinde iken diğer ayağın yerle temasa geçme eylemidir. Yürüme sırasında iki ayak arasındaki öne doğru mesafe adım uzunluğu, aynı ayağın iki topuk vuruşu arasındaki mesafe ise çift adım uzunluğu olarak tanımlanır. Yürüme bozukluklarında bazen adım uzunlukları birbirinden farklı olur. Adım genişliği iki ayak çizgisi arasındaki yana mesafedir. Topuk ortasından veya ayak bileği eklemi ortasından ölçülür. Ayak açısı gidilen yön ile ayağın ortasından geçen çizgi arasındaki açıdır. Kadans; birim zamanda atılan adım sayısı (adım/zaman)'dır. Yürüme hızı ise birim sürede kat edilen mesafe (uzaklık/zaman)'dır ve çift adım uzunluğunun dakikadaki adım sayısı (kadans) ile çarpılıp ikiye bölünmesi ile bulunur.^{42, 50} (şekil-8)



Şekil-8 : Yürümede mesafe ölçümleri

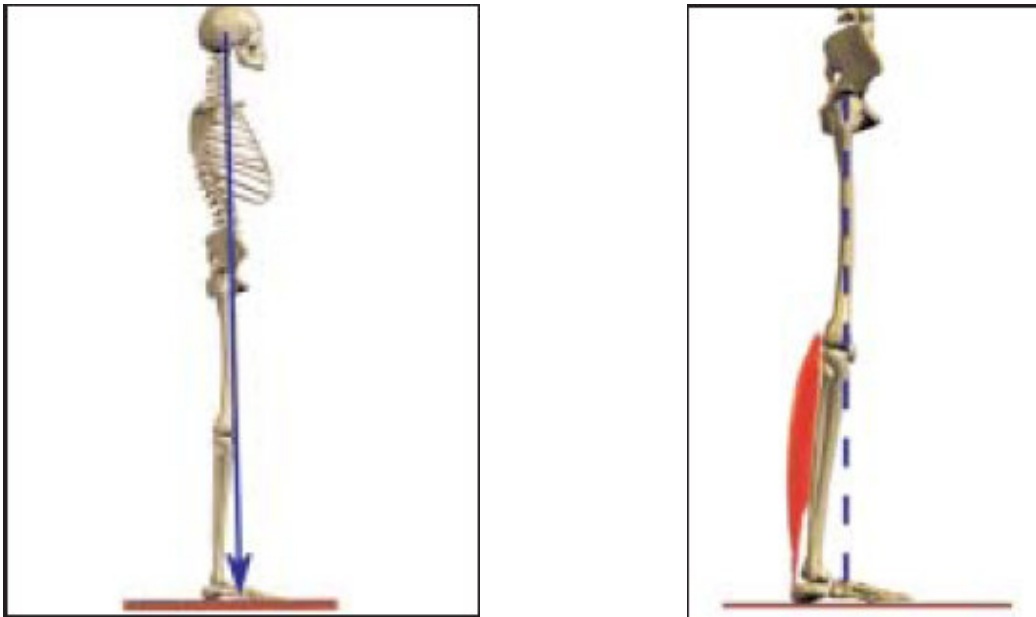
Bunların yanında, yürüme analiz sonuçlarının takip edilebilmesi için alt ekstremit ekle hareket düzenlerinin de bilinmesi gerekmektedir. Örneğin; ayak bileği, bir yürüme döngüsünde, biri orta duruş fazının geç döneminde, diğeri ise salınım fazının terminal salınım bölümünde olmak üzere iki kez dorsifleksiyon yapmaktadır.

Bu duruma bimodal hareket adı verilir. Bimodal hareket yapan bir diğ ekle ise diz eklemidir. Diz eklemi de, orta duruş fazında ve orta salınım fazında iki kez fleksiyon yapmaktadır. Kalça eklemi ise, terminal salınım fazında fleksiyon yapmaktadır. Bu nedenle unimodal bir harekete sahiptir.^{7, 9, 50}

Statik Denge:

İnsanın ayakta dik durabilmesi için vücut ağırlık merkezinden (VAM) yere doğru inen vektörün (yer tepki kuvveti vektörü = YTKV) destek alanı merkezinden (DAM) geçmelidir. Sagital düzlemde bu vektör kafada kulak kanalının, dördüncü lomber vertebranın önünden, kalçanın arkasından ve dizin önünden geçerek ayak bileğinin 1.5 ila 5 cm önüne iner.

Statik dengenin kurulmasında rol oynayan üç etken, gövde ağırlığı, bağ gerginliği ve kas kasılmasıdır. YTK vektörü kalça eklemine arkasından, dizin ise önünden geçer ve bu eklemleri ekstansiyona getirir.⁴²(resim-1)



Resim-1: Statik dengenin sağlanmasında vücut ağırlık merkezi ve kasların rolü

Dizde arka çapraz bağ, kalçada ise iliofemoral bağ adı verilen kapsül ön kısmı bu ekstansiyonu kısıtlar ve kas gücü harcamadan pasif stabilite sağlanır. Gerek ayak bileği gerekse subtalar ekleminde bağlar pasif stabiliteye katkıda bulunmaz. Ayrıca ayak bileği eklemi ayağın ortasında olmayıp topuğa çok daha yakındır. Önde ayağın kaldıraç kolu metatars başına kadar uzanır ve ayağın gerçek merkezi ayak bileği ekleminin 5 cm önüne düşer. Bu nedenle YTK vektörünü bu noktadan geçirmek için ayak bileğinde 5 ° dorsifleksiyon gerekir. Bu dorsifleksiyon hareketini soleus kası kontrol eder. Özetle, ayakta duran insan vücudunda kalça ve diz eklemlerinin pasif stabilitesi sayesinde bu eklemlerde dengeyi korumak için kas aktivitesi gerekmezken ayak bileği ekleminde soleus kas aktivitesi şarttır. Ayakta dik dururken dengenin sağlanmasında en önemli kas soleustur. Kişinin ayakta dik durma becerisi, yürüme için ön koşul olarak kabul edilir.⁴²

Dinamik Denge:

Yürüme denge ile dengesizlik dönemlerinin birbirini izlediği ritmik bir hareket zinciridir. Yürürken gövde ağırlığı arkadaki bacadan öndekine aktarılır. Aynı zamanda destek alanı merkezi (DAM) topuktan tabana ve ayak ön kısmına doğru değişir. Yani gövde ağırlığı bir süre topukta, bir süre tabanda ve bir süre de ayak ön bölümünde taşınır. Yer tepki kuvveti vektörü (YTKV) yürüme boyunca sürekli yer değiştirir. YTKV basan ayağın merkezinden geçtiği anda denge sağlanır, öne doğru ilerlerken bu vektör DAM dışına düştüğünde denge yitilir. Dolayısıyla yürüme döngüsü boyunca çift destek fazı, duruş fazı ortası, ikinci çift destek fazı ve salınım fazı ortası olmak üzere dört kez denge sağlanır. Bunlar dışındaki tüm dönemlerde YTKV ile DAM örtüşmez, dengesizlik hali vardır.⁴²

Basma fazı başlangıcında ayak gövdenin önündedir. Bu nedenle YTKV kalçanın önüne, dizin ise arkasına düşer. Her iki eklemdede fleksiyon momenti yaratır. Bu fleksiyonu önlemek için her iki eklemin ekstansör kasları kasılırlar. Basma fazı ortasında YTKV her iki eklemin de merkezinden geçtiğinden pasif ekstansiyon oluşur. Ancak basma fazı sonunda YTKV ayak bileği ekleminin önüne geçtiğinde öne düşmeyi engelleyen plantar fleksör kasların kasılması gerekir. Basma fazı boyunca kaslar YTKV nedeniyle oluşan kalça ve dizdeki fleksiyon, ayak bileğindeki dorsifleksiyon momentini yenmek için çalışırlar.⁴²

Vücudun İlerletilmesinde Basma Fazındaki Ayağın Hareketleri :

Topukta dönme :

Ayak yere değdiğinde vücut topuk üzerinden öne doğru dönmeye başlar. Bu dönemde topuk bir kaldıracın dayanak noktası gibi çalışır. Ayak bileğinde pasif plantar fleksiyon oluşur. Ayak bileği dorsifleksörleri kasılarak plantar fleksiyona gidişi yavaşlatırken tibia'yı da öne doğru çekerler. Tibia öne doğru ilerlediğinde kuadriseps gerilerek femuru öne çeker ve diz fleksiyonunu da önler. Bu sayede topuktaki dönme basan ekstremitenin tümünü ilerletir.⁴²

Ayak bileğinde dönme :

Ayağın tamamı yere değdiğinde topukta dönme biter, ayak bileğinden dönme başlar. Ayak yerde sabit durur, YTKV ayak bileği ekleminin önüne geçer ve pasif dorsifleksiyon oluşur, ayak yerde sabit olduğu için tibia öne doğru gelir. Bu aşamada soleus kası eksantrik olarak kasılır ve tibianın öne gidişini kontrol eder.⁴²

Ayak ön kısmında dönme :

YTKV ayağın ön kısmına ulaştığında topuk yerden kalkar, ayak bileğindeki dönme biter, ayağın ön kısmında dönme başlar. VAM destek alanı merkezinin önüne düşmeye başladığında ilerleme hızlanır. Triseps kasılarak ayak bileğinde plantar fleksiyon oluşturur, güçlü bir itici kuvvet sağlar. Burada artık gövde kütlesi uzun bir kaldıraç kolunun ucundaki pasif bir ağırlık gibidir ve diğer ayak yere basana kadar düşmesini önleyecek hiçbir kuvvet yoktur.⁴²

Yürüme analizinin bir tamamlayıcısı olarak plantar basınç ölçümü (pedobarografi), yürüme esnasında yer tepki kuvvetinin oldukça hassas bir şekilde ve noktasal olarak ölçülmesine olanak sağlar. Yere temas eden ayağın dinamik olarak ve objektif kriterler dahilinde oluşturduğu basıncın karşılaştırılmasını ve değerlendirilmesini sağlar. Klinikte sıklıkla, ayak mekaniğinin bozulduğu ve buna bağlı ayak tabanında ortaya çıkan patolojilerin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Ek olarak alt ekstremitenin aksiyel dizilimini etkileyen hastalıkların tanı, tedavi, ve takiplerinde de plantar basınç analizinin yeri vardır. Normal ayak mekaniğini araştırma amacıyla da pedobarografi yaygın olarak kullanılmaktadır.^{20, 21, 35, 37}

Örneğin, ayak ön bölümündeki basınç dağılımının belirlenmesi amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmış ve uzun yıllar ayağın temas noktalarının topuk, birinci ve beşinci parmaklar olarak kabul edilen Kapandji görüşü pedobarografi sayesinde çürütülmüş, iki ve üçüncü metatars başlarının daha fazla yük taşıdığı gösterilmiştir.²⁰

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma T.C Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Yerel Etik Kurulu'nun vermiş olduğu 25 Şubat 2008 tarihli ve 070 karar no'lu ilaç dışı klinik çalışmalar için etik kurul onayı ile yapılmıştır.

Çalışmaya ayak şikayeti olmayan 61 gönüllü dahil edilmiştir. Gönüllülerin 41'i bayan, 20'si erkek olup yaş ortalaması 44'dür. İleri derecede ayak deformitesi olanlar, hareket sistemini etkileyen nörolojik hastalığı ve periferik nöropatisi olanlar, daha önce ayak veya ayak bileği cerrahisi geçirenler ve bu bölgede daha önce kırığı olanlar çalışmaya dahil edilmemişlerdir.

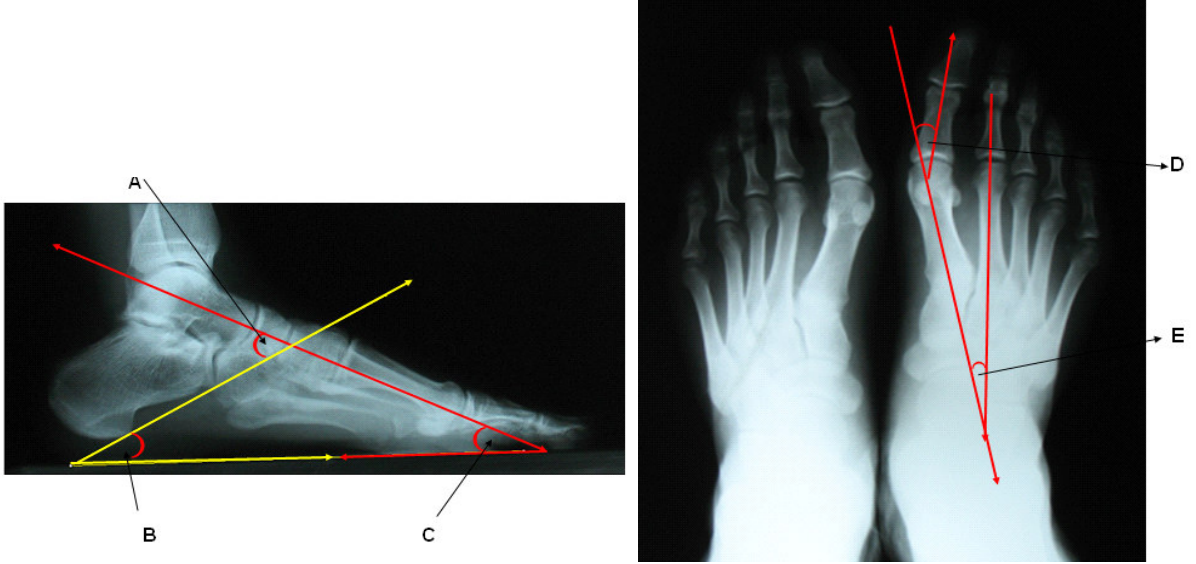
Çalışmaya alınan gönüllülere ön-arka ve yan ayak grafileri çekilmiştir. Klinik olarak Q açısı, hamstring gerginliği, ayak bileği eklem hareket açıklıkları değerlendirilmiş ve pedobarografik analizleri yapılmıştır.

Radyolojik Değerlendirme

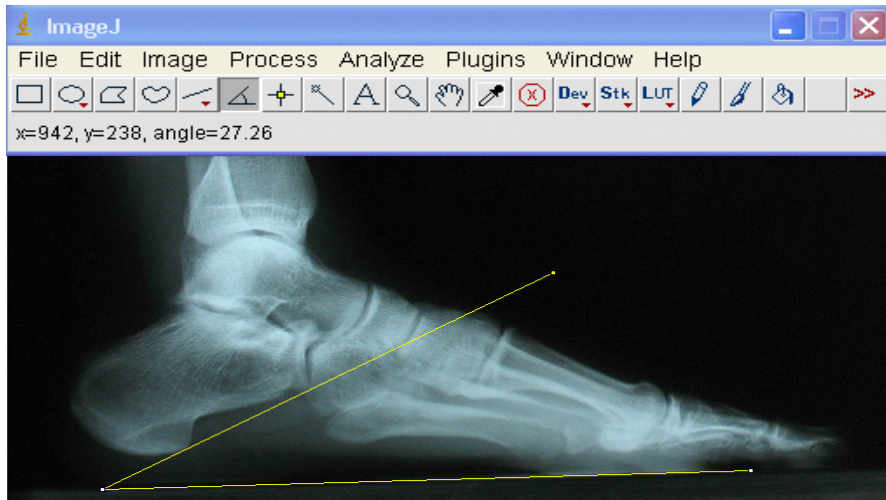
Ön-arka grafiler kişi kasetin üzerinde dik bir şekilde dururken, x-ray kaynağı ayağın orta kısmına odaklanarak ve ayak bileğine doğru 15° lik eğim verilerek çekilmiştir. Yan grafi ise kişi dik bir şekilde ayakta dururken kaset ayağın medialine yerleştirilerek 1 metre mesafeden navikular çıkıntı odaklanarak çekilmiştir.³²

Ön-arka grafide halluks valgus ve intermetatarsal açı ölçümleri yapıldı. Yan grafide ise talokalkaneal açı, talohorizontal açı, talus-1.metatars açısı, kalkaneal eğim açısı değerlendirildi (resim-2).

Çekilen ayak grafileri kliniğimizde bulunan fotoğraf laboratuvarında digital ortama aktarılmış ve radyografik ölçümler Image J isimli program (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>) kullanılarak yapılmıştır (resim-3)



Resim-2: A; Lateral talokalkaneal açısı B; Kalkaneal eğim açısı C; Talohorizontal açısı D; Halluks valgus açısı E; İntermetatarsal açısı



Resim-3: Image J programı ile açı ölçümü

Halluks valgus açısı; proksimal falanks ve birinci metatarsın uzunlamasına eksenlerinin arasında kalan açıdır. Normalde 15° nin altında olmalıdır, ancak normal yetişkin ayaklarında 32° ye kadar asemptomatik olabilir.^{32, 44}

İntermetatarsal açı; birinci ve ikinci metatarsların uzunlamasına ekseninin arasındaki açıdır. Normalde 10° nin altındadır.^{11, 32, 34}

Lateral talokalkaneal açı; talus ve kalkaneusun uzunlamasına eksenlerinin arasındaki açıdır. Normalde 25° - 50° arasındadır. Ayak arka bölümünün açılanma deformitesini gösterir.⁴⁹ Pes planusta bu açı artarken, pes kavusta azalır hatta talus ve kalkaneus birbirine paralel hale gelebilir.³²

Talohorizontal açı; talusun uzunlamasına ekseninin zeminle yaptığı açıdır. Talusun inklinasyon açısı olarak tanımlanır. Normalde 14° - 36° arasındadır (ort. 21°).^{32, 44}

Talus-1. metatars açısı; talusun uzunlamasına eksenini ile birinci metatarsı iki eşit parçaya bölen çizgi arasındaki açıdır. Herhangi bir yöne 4° üzeri açılanma anormaldir. Talar çizgi metatarsal çizginin altına düşerse pes planustan bahsedilirken, metatarsal çizgi talar çizginin altına düşerse pes kavustan söz edilir.^{11, 32}

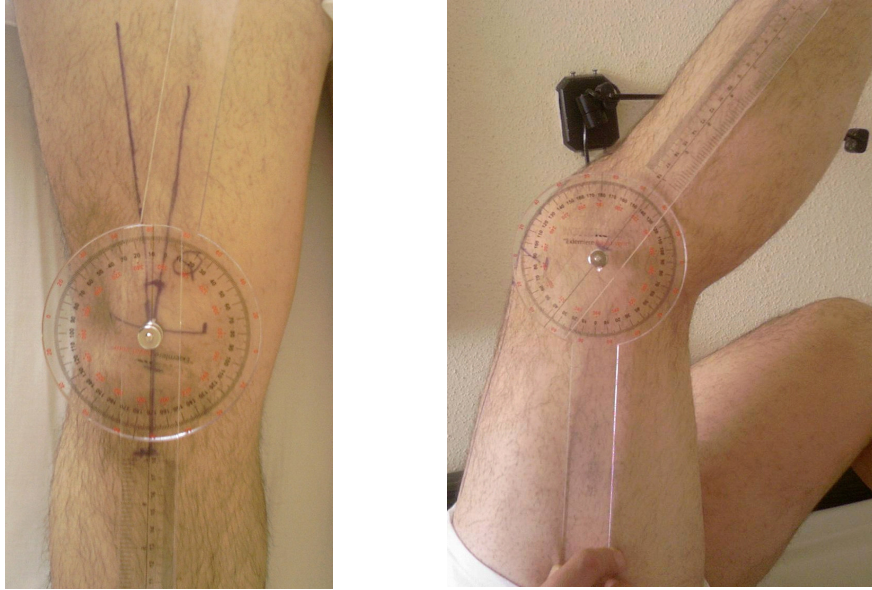
Kalkaneal eğim açısı; kalkaneusun inferior yüzeyinin en çıkıntılı iki noktasından geçen hat ile zemin arasındaki açıdır. 10° - 20° arası düşük, 20° - 30° arası normal, 30° üzeri yüksek olarak kabul edilir. Bu açı pes planusta azalırken, pes kavusta artar.^{32, 47}

Klinik Değerlendirme

Q açısı; spina iliaca anterior süperior ile patella ortası ve patella ortasından tuberositas tibiaya çizilen çizgiler arasındaki açıdır.^{3, 19, 28} Ölçüm yatarken, otururken ve ayakta iken yapılabilir. Biz çalışmamızda yatar pozisyonda ve gonyometre ile ölçüm yaptık. Farklı görüşler olmakla birlikte normal değerleri erkekte 8° - 10° , kadında 10° - 20° dir.^{4, 14, 19, 36}

Hamstring gerginliği; kişi kalça 90° fleksiyonda yatar pozisyonda iken dizin ekstansiyona getirilmesi sırasında popliteal açının gonyometre ile ölçülmesi ile değeriendirildi.³⁶

Ayak bileği plantar fleksiyon ve dorsifleksiyonu da diz tam ekstansiyonda ve diz 90° fleksiyonda iken ayrı ayrı gonyometre ile ölçüldü.



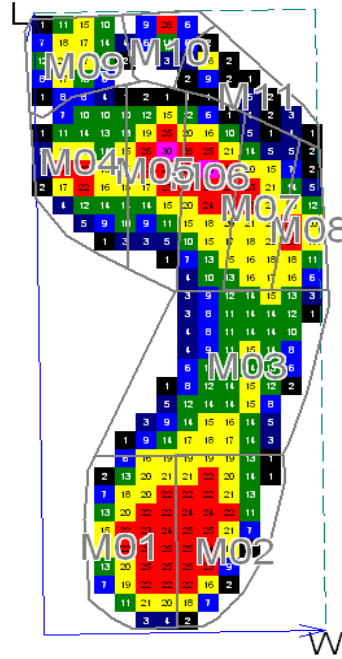
Resim-4: Q açısı ve popliteal açı ölçümü

Yürüme Analizi Değerlendirmesi

Pedobarografik analiz EMED-SF (Novel H, Münüh, Almanya) plantar basınç analiz sistemi kullanılarak yapıldı. Bu sistem, 7x1 m'lik ahşap platform üzerine monte edilmiş ve üzeri ince bir deri ile kaplanmış 71 Hz örnekleme hızı ve cm²'de iki alıcı içeren 44.4 x 22.5 cm boyutlarında bir platform içermektedir.

Gönüllülerin 7 metrelik yürüme bandında ayak pedobarografa denk gelmeden önce en az üç adım serbest olarak atılması sağlanmıştır. Ölçümler çıplak ayakla yapılmıştır ve her ayak için bir statik ve iki dinamik ölçüm yapılmıştır.

Ayak tabanı, mask adı verilen 11 adet bölgeye ayrılarak her bir bölge temas alanı (cm²), maksimum kuvvet (N), zirve basınç (N/ cm²), maksimum ortalama basınç (N/ cm²) ve basınç-zaman integrali [(N/cm²)*s] yönünden değerlendirilmiştir (resim-5).



Resim-5: Pedobarografide ayağın masklara bölünmüş görünümü (M01: topuk mediali, M02 : topuk laterali, M03: ayak orta kısmı, M04: birinci metatars başı, M05: ikinci metatars başı, M06: üçüncü metatars başı, M07: dördüncü metatars başı, M08: beşinci metatars başı, M09: başparmak M10: ikinci parmak, M11: üç, dört ve beşinci parmaklar)

İstatistiksel Değerlendirme

Verilerin analizi SPSS 16 paket programında yapıldı. Sürekli ölçümlü değişkenlerin dağılımının normale uygun olup olmadığı Shapiro Wilk testi ile araştırıldı. Tanımlayıcı istatistikler sürekli ölçümlü değişkenler için ortalama $\pm$ standart sapma veya ortanca (minimum - maksimum) olarak, niteliksel değişkenler içinse gözlem sayısı ve (%) olarak ifade edildi.

Cinsiyet grupları arasında normal dağılan sürekli ölçümlü değişkenler yönünden istatistiksel olarak anlamlı farkın olup olmadığı Student's t testi ile ayak tipleri arasında ise Tek Yönlü Varyans analizi ile incelendi. Tek Yönlü Varyans analizi sonucunun önemli görüldüğü durumlarda ise anlamlı farka neden olan grupları tespit etmek amacıyla Tukey çoklu karşılaştırma testi kullanıldı.

Normal dağılmayan sürekli ölçümlü değişkenler yönünden istatistiksel olarak anlamlı farkın olup olmadığı ise cinsiyet grupları arasında Mann Whitney U testi ile ayak tipleri arasında ise Kruskal Wallis testi ile incelendi. Kruskal Wallis test istatistiği sonucunun önemli görüldüğü durumlarda ise anlamlı farka neden olan grupları tespit etmek amacıyla Kruskal Wallis çoklu karşılaştırma testi kullanıldı.

Kategorik karşılaştırmalar için Pearson Ki-Kare testi kullanıldı. Sürekli ölçümlü değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin büyüklüğü Pearson'un r veya Spearman'ın rho katsayısı hesaplanarak incelendi.

Tek değişkenli test istatistikleri sonucunda sırasıyla; temas alanı, maksimum kuvvet, pik basınç, ortalama maksimum basınç, basınç- zaman integrali ve ark indeks ölçümleri ile klinik, radyolojik ve demografik değişkenler arasındaki korelasyon katsayısının önemlilik düzeyi 0.25'ten küçük bulunan bağımsız değişkenler, Çoklu Regresyon analizi için aday değişkenler olarak kabul edildi. Her bir bağımsız değişkene ait regresyon katsayısı, %95 güven aralığı ve önemlilik düzeyleri hesaplandı. Zirve basınç, basınç- zaman integrali ve ark indeks ölçümlerinin dağılımı normale uygun olmadığı için Çoklu Doğrusal Regresyon analizinde logaritmik dönüşümü yapılmış veriler kullanıldı.

$p < 0.05$ için sonuçlar istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

Çalışmaya, 41 bayan (%67) ve 20 erkek (%33) olmak üzere 61 gönüllü dahil edildi.

Ortalama yaş 44 (22-63) ve vücut kitle indeksi (BMI) 28,04 kg/m² idi. Q açısı ortalama 10,9° (8-16) ve hamstring gerginliği ortalama 13,8 ° (0-42) idi. Sağ ve sol ekstremiteler arasında klinik ve radyolojik ölçümler arasında anlamlı fark yoktu. Pedobarografik değerlendirmede de temas alanı ve plantar basınç ölçümleri açısından sağ ve sol ayaklar arasında fark yoktu.

Halluks valgus açısı ortalama 15,9° (±4,70) ve intermetatarsal açı ortalama 7,2°(±1,59) idi. Talokalkaneal açı 41,87°(±4,77) ve talohorizontal açı 23,25°(±1,92); talus- 1.metatars açısı 1,78°(±1,57) ve kalkaneal eğim açısı 18,55°(±4,58) olarak bulundu.

Tablo 1. Demografik Veriler

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Yaş	44.0	11.74	22.0	63.0
Boy (cm)	164.4	11.14	147.0	192.0
Kilo (kg)	75.7	12.90	49.0	110.0
BMI (kg/m ²)	28.0	4.31	18.4	40.0
Q açısı (°)	10.9	2.21	8.0	16.0
Hamsting gerginliği	13.8	12.15	0.0	42.0
Diz eks dorsifleks	12.1	4.04	5.0	20.0
Diz fleks dorsifleks	18.6	4.93	10.0	30.0
Halluks valgus açısı	15.9	4.70	6.4	28.3
İntermetatarsal açı	7.2	1.59	2.1	11.6
Talokalkaneal açı	41.9	4.78	33.9	53.6
Talohorizontal açı	23.3	1.92	18.1	27.6
Talus 1.met açısı	1.8	1.57	0.1	10.4
Kalkaneal eğim açısı	18.6	4.58	9.2	28.8

Gönüllülerin 42'sinde (%68) index minus, 15'inde (%25) index plus minus ve 4'ünde (%7) index plus tip ayak saptandı. Ayak tipi ile metatars başları altındaki basınç arasında anlamlı ilişki bulunamadı($p>0.05$)(tablo-2).

Tablo-2 . Ayak tipi grupları arasında metatars başları altındaki basınç ölçümlerinin dağılımı
(ZB: Zirve basınç MOB: Maksimum ortalama basınç)

Değişkenler	Tip 1 index plus	Tip 2 index plus minus	Tip 3 index minus	p
ZB – 1	29.7 (24.5-42.7)	22.7 (9.0-90.5)	23.5 (7.7-66.0)	0.322
ZB – 2	48.6 (35.2-57.7)	38.5 (13.7-60.0)	37.5 (24.0-110.5)	0.407
ZB – 3	45.2 (26.5-59.2)	35.5 (22.0-62.5)	36.7 (25.7-59.7)	0.621
ZB – 4	22.6 (16.7-35.7)	28.2 (10.2-39.0)	28.6 (21.7-75.2)	0.312
ZB – 5	20.9 (7.7-59.5)	18.7 (3.0-31.7)	22.6 (8.0-74.5)	0.218
MOB – 1	14.9 ± 5.52	13.7 ± 6.41	13.2 ± 4.36	0.797
MOB – 2	22.9 ± 4.26	20.9 ± 5.47	22.0 ± 5.60	0.735
MOB– 3	20.2 ± 5.18	20.8 ± 5.72	20.8 ± 3.00	0.951
MOB – 4	12.2 ± 4.83	14.2 ± 3.75	15.5 ± 2.86	0.094
MOB – 5	11.3 ± 6.47	9.3 ± 3.47	12.2 ± 3.60	0.063

Yaş; vücut kitle indeksi ile pozitif bir korelasyon gösterirken, ayak bileği dorsifleksiyonu ile arasında negatif korelasyon bulunmuştur. Yürüme analizi değerlendirmesinde ise yaş ile ikinci metatars başı üzerine binen basınç ve tüm metatars başları temas alanı arasında negatif korelasyon saptanmıştır ($p<0.05$).

Vücut kitle indeksi ark indeksi ile pozitif korelasyon göstermekteydi. Ancak vücut kitle indeksi 30 kg/m² üzerinde olanlar ile olmayanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı (tablo3).

Tablo 3. Şişman ve şişman olmayan gruplar arasında metatars başları altındaki basınç ölçümlerinin dağılımı

Değişkenler	BMI <30 (n=42)	BMI ≥30 (n=19)	p
ZB- 1	24.1 (9.0 – 66.0)	23.7 (7.7 – 90.5)	0.651
ZB- 2	37.7 (13.7 – 85.5)	38.5 (25.2 – 110.5)	0.815
ZB – 3	36.1 (22.0 – 62.5)	38.2 (28.0 – 57.7)	0.919
ZB – 4	28.0 (10.2 – 75.2)	29.5 (21.7 – 39.0)	0.680
ZB – 5	19.1 (3.0 – 74.5)	22.5 (13.2 – 46.5)	0.358
MOB- 1	13.4 ± 4.73	13.6 ± 5.48	0.866
MOB – 2	21.6 ± 5.29	22.1 ± 5.90	0.730
MOB – 3	20.4 ± 4.25	21.5 ± 2.89	0.309
MOB – 4	14.3 ± 3.24	16.5 ± 3.00	0.016
MOB – 5	10.9 ± 4.15	12.4 ± 3.19	0.169

Hamstring gerginliği; üç,dört ve beşinci metatars başı temas alanı ile ikinci metatars başı üzerindeki basınçla korele bulundu. Q açısı, tüm metatars başları temas alanı ile negatif korelasyon göstermekteydi.

Tablo-4 . Cinsiyet grupları arasında metatars başları altındaki basınç ölçümlerinin dağılımı

Değişkenler	Erkek	Kadın	p
ZB- 1	24.0 (15.5-90.5)	23.7 (7.7-66.0)	0.429
ZB - 2	48.2 (29.0-110.5)	37.5 (13.7-85.5)	0.045
ZB - 3	42.9 (26.5-62.5)	35.5 (22.0-59.2)	0.073
ZB - 4	28.9 (16.7-37.2)	27.5 (10.2-75.2)	0.776
ZB - 5	20.7 (7.7-38.0)	22.2 (3.0-74.5)	0.747
MOB - 1	14.3 ± 5.46	13.1 ± 4.67	0.375
MOB - 2	24.2 ± 6.21	20.6 ± 4.68	0.015
MOB - 3	21.9 ± 4.17	20.2 ± 3.68	0.128
MOB - 4	15.1 ± 2.83	14.9 ± 3.54	0.877
MOB - 5	11.2 ± 2.55	11.5 ± 4.45	0.682

Erkeklerde metatars başlarındaki basıncın kadınlara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir; ancak cinsiyet farklılığının istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmadığı görüldü (tablo-4).

Normal bireylerde halluks valgus açısı ve intermetatarsal açı aralarında pozitif korelasyon gösterirken metatars başları altındaki basınçla anlamlı ilişki kurulamadı. Talokalkaneal açı ile ark indeksi arasında negatif korelasyon saptanırken, ikinci metatars başı altındaki basınçla pozitif korelasyon olduğu görüldü. Talohorizontal ve talus-1.metatars açısı ile metatars başları altındaki basınç arasında istatistiksel olarak ilişki bulunamadı (tablo 5-6).

Kalkaneal eğim açısı ile ark indeksi arasında negatif korelasyon saptanırken, ikinci ve üçüncü metatars başları altındaki basınçla pozitif korelasyon olduğu görüldü.(tablo5-6) Ark indeksi ile ikinci ve üçüncü metatars başları altındaki basınç arasında da pozitif korelasyon bulundu($p<0,05$).

Yürüme analizi değerlendirmesinde gönüllülerin 51'inde (%83) zirve basıncın ve maksimum ortalama basıncın en fazla ikinci ve üçüncü metatars başlarında olduğu görüldü(tablo-5).

Tablo 5. Her bir metatars başı altındaki zirve basınç ve maksimum ortalama basınç düzeylerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişkenler	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
Zirve Basınç				
<i>1.Metatars</i>	27.1	13.96	7.8	90.5
<i>2.Metatars</i>	42.2	16.06	13.8	110.5
<i>3.Metatars</i>	39.1	9.63	22.0	62.5
<i>4.Metatars</i>	28.9	8.57	10.3	75.3
<i>5.Metatars</i>	24.0	12.46	3.0	74.5
Maksimum Ortalama Basınç				
<i>1.Metatars</i>	13.5	4.93	4.4	26.6
<i>2.Metatars</i>	21.8	5.45	8.6	40.2
<i>3.Metatars</i>	20.8	3.89	12.2	30.6
<i>4.Metatars</i>	15.0	3.30	4.9	22.7
<i>5.Metatars</i>	11.4	3.91	1.9	21.9

İki ve üçüncü metatars başları altındaki basıncın en fazla olduğu gönüllülerle, basıncın diğer metatars başları altında olduğu gönüllüler iki gruba ayrılıp bunu etkilediği düşünülen klinik, radyolojik ve demografik değişkenler istatistiksel olarak değerlendirildi.

Cinsiyet, yaş, vücut kitle indeksi, Q açısı, hamstring gerginliği, halluks valgus açısı, talokalkaneal açı, talohorizontal açı, talus-1.metatars açısı ve kalkaneal eğim açısı gibi parametreler açısından bu iki grup arasında anlamlı fark olmadığı görüldü ($p>0.05$).

Index minus ayak tipine sahip olanların 37'sinde (%88), index plus minus tip olanların 11'inde (%73) ve index plus tip olanların 3'ünde (%75) en yüksek pik basınç ve maksimum ortalama basınç değerlerinin ikinci ve üçüncü metatars başları altında olduğu görüldü. Farklı ayak tiplerinin de iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı fark oluşturmadığı görüldü($p>0,05$).

Tablo 6. Zirve basınç (ZB) ölçümleri ile diğer sürekli değişkenler arasındaki ilişki katsayıları ve önemlilik düzeyleri

Değişken	ZB-1		ZB-2		ZB-3		ZB-4		ZB-5	
	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p
Yaş	-0.323	0.011	-0.456	<0.001	-0.322	0.012	-0.140	0.283	-0.208	0.108
BMI	-0.030	0.816	-0.181	0.163	-0.135	0.299	0.076	0.558	0.040	0.759
Q açısı	-0.019	0.884	-0.044	0.739	-0.042	0.747	0.072	0.581	-0.072	0.584
Hamsting gerginliği	0.274	0.033	0.261	0.042	0.162	0.211	0.099	0.449	0.209	0.106
Diz_eks dorsifleks	-0.072	0.584	0.174	0.181	0.086	0.509	0.105	0.419	-0.035	0.791
Diz_fleks dorsifleks	-0.054	0.680	0.052	0.693	0.098	0.454	0.017	0.896	0.071	0.586
Halluks Valgusaçı	0.120	0.356	0.017	0.898	-0.070	0.593	-0.105	0.422	-0.173	0.184
İntermet aç	-0.094	0.473	-0.041	0.754	-0.008	0.949	-0.213	0.100	-0.257	0.046
Talokal kaneal aç	0.053	0.685	0.220	0.088	0.280	0.029	0.096	0.464	0.030	0.817
Talohori zontal aç	-0.007	0.958	0.098	0.454	0.193	0.136	-0.131	0.314	-0.216	0.094
Talus_1mt açısı	-0.022	0.869	0.068	0.603	0.092	0.481	0.255	0.047	-0.044	0.739
Kalkaneal eğim açısı	0.054	0.680	0.223	0.085	0.275	0.032	0.185	0.153	0.103	0.430

Tablo 7. Maksimum ortalama basınç (MOB) ölçümleri ile diğer sürekli değişkenler arasındaki ilişki katsayıları ve önemlilik düzeyleri

Değişken	MOB-1		MOB-2		MOB-3		MOB-4		MOB-5	
	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p	İlişki Kat sayısı	p
Yaş	-0.241	0.062	-0.534	<0.001	-0.283	0.027	0.036	0.784	0.028	0.833
BMI	0.047	0.722	-0.043	0.741	0.087	0.506	0.399	<0.001	0.175	0.176
Q açısı	-0.013	0.919	-0.110	0.398	0.037	0.776	0.120	0.357	-0.039	0.764
Hamsting gerginliği	0.197	0.129	0.237	0.066	0.145	0.265	0.015	0.908	0.096	0.461
Diz_eks dorsifleks	-0.092	0.478	0.141	0.278	0.087	0.504	-0.051	0.697	-0.062	0.633
Diz_fleks dorsifleks	-0.111	0.393	-0.007	0.958	0.016	0.904	-0.138	0.290	0.031	0.814
Halluks Valgus açısı	0.196	0.130	-0.083	0.527	-0.034	0.797	-0.213	0.100	-0.287	0.025
İntermet açısı	0.033	0.802	-0.129	0.323	-0.010	0.939	-0.241	0.062	-0.220	0.089
Talokal kaneal açısı	0.174	0.181	0.356	0.005	0.232	0.073	0.055	0.672	0.017	0.896
Talohori zontal açısı	-0.028	0.828	0.001	0.997	0.080	0.538	-0.105	0.419	-0.206	0.111
Talus_1.mt açısı	-0.036	0.781	0.094	0.472	0.190	0.144	0.295	0.021	0.001	0.999
Kalkaneal eğim açısı	0.161	0.215	0.343	0.007	0.213	0.099	0.142	0.274	0.041	0.756

TARTIŞMA

Metatars başlarındaki basınç artışı ile metatarsalji gelişimi arasında yakın ilişki olduğu düşünülmektedir.¹⁸ Aşıl kontraktürü, metatarslarda konjenital veya edinsel kısıklık, pes planus, pes kavus, periferik nöropati gibi klinik durumların metatars başları üzerindeki basınç dağılımını etkilediği bilinmektedir.³¹ Ancak literatürde sağlıklı insanlarda bu basınç dağılımını etkileyen faktörler üzerine yapılmış yeterli çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada klinik olarak yaş, cinsiyet, vücut kitle indeksi, Q açısı, hamstring gerginliği ve ayak bileği eklem hareket açıklığı değerlendirildi. Ayrıca radyografik olarak halluks valgus, intermetatarsal, talokalkaneal, talohorizontal, kalkaneal eğim, talus-1.metatars açıları ölçüldü ve bu klinik ve radyografik parametrelerin birbirleriyle ve pedobarografik analizde belirlenen metatars başlarındaki basınç dağılımıyla ilişkileri değerlendirildi.

Metatars başları seviyesinde transvers ark varlığı eskiden yaygın olarak inanılan bir kavramdı ve bu yapı enerji absorpsiyonunda major mekanizma olarak kabul edilirdi.^{23, 29, 52} Bu tanım birçok klasik kitapta da bu şekilde yer almıştır.⁵² Ancak çeşitli basınç platformlarının kullanımının yaygınlaşmasıyla transvers metatarsal arkin varlığı sorgulanmaya başlanmıştır.²⁹ İlk kez Becker ve Klenerman duruş fazında transvers metatarsal arkin olmadığını ortaya atmışlardır.^{5, 25} Luger ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada 720 ayak incelenmiş ve bunların sadece 22'sinde (%3) transvers arkin bulunduğu görülmüştür. Diğer tüm ayaklarda iki ve dördüncü metatars başlarına binen yükün, bir ve beşinci metatars başlarına binen yükten fazla olduğu gösterilmiştir. Bu 22 ayağın halluks valgus, diabet, periferik nöropati ve kavus ayakla ilişkili olduğu gözlenmiş ve dinamik transvers ark varlığının patolojik bir durum olabileceği bildirilmiştir.²⁹ Yine Kanatlı ve arkadaşları da sağlıklı gönüllülerde yaptığı çalışmada en fazla basıncın iki ve üçüncü metatars başları altında olduğunu göstermiştir.²⁰

Bizim çalışmamızda da en yüksek basınç, ikinci ve üçüncü metatars başları altında saptandı ve transvers arkın sadece 1 kişide (%1,6) olduğu görüldü.

Menz ve Morris'in yaşlılarda plantar yük dağılımı üzerine yaptığı çalışmada birinci metatarsofalangeal eklem hareketinin ve artmış halluks valgus açısının, birinci metatars başındaki basıncı artırdığını belirtmişlerdir.¹⁸ Bizim çalışmamızda ise gönüllülerin hiçbirinde birinci metatarsofalangeal eklem hareketinde kısıtlılık ve ileri derecede halluks valgus deformitesi yoktu. Bu yüzden yaşla birinci metatars başı altındaki basınç arasında ve halluks valgus açısı ile metatars başları üzerine binen yük arasında ilişki saptanmadı.

Vücut kitle indeksi 30 kg/m² üzerinde olan insanlar şişman kabul edilir.² Kanatlı ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada BMI 30kg/m² altında olanlarda orta duruş fazında vücut kitle indeksi ile metatars başları altındaki basıncın ilişkili olmadığını belirtmişler.⁴⁸ Şişman ve şişman olmayan yetişkinlerde plantar basınç farklılıklarının araştırıldığı bir diğer çalışmada da yürüme esnasında zirve basınç değerlerinin şişman olanlarda belirgin olarak yüksek bulunmuş.² Bizim çalışmamıza alınan gönüllülerin 42'sinde BMI<30kg/m² iken, 19'unda BMI>30kg/m² idi. Bu iki grup arasında, metatars başları altındaki basınç yönünden istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı (tablo-3).

Ayak bileği dorsifleksiyonu ile metatars başları altındaki basınç dağılımı arasında ilişki saptanmadı. Gönüllülerin hiçbirinde aşil gerginliği olmamasının bunun sebebi olabileceği düşünüldü.

Ark indeksi orta ayak temas alanının, toplam temas alanına bölünmesi ile bulunur ve medial longitudinal arkın yüksekliğini gösterir.³⁰ Ayak orta kısmındaki maksimum kuvvet ve zirve basınç, vücut ağırlığı ve ark indeksi ile ilişkilidir.¹⁸ Pes kavus mevcudiyetinin metatars başlarına binen yükü artırdığı bilinmektedir.³¹

Bu çalışmada ark indeksi ile kalkaneal eğim açısı ve ikinci ve üçüncü metatars başı altındaki basınç arasında negatif korelasyon saptandı. Bu da Morag ve Cavanagh'ın³⁵ kalkaneal eğim açısı ve ark indeksi arasında anlamlı ilişki bulduğu çalışmasıyla tutarlı bulundu.

Hamstringler dizin fleksörleridir. Yürümenin özellikle ilk temas ve terminal salınım fazlarında önemli rolleri vardır. Hamstring kısalığı parmak ucunda yürümeye ve ayak bileği eklem merkezinin yükselmesine neden olur.⁶ Bu nedenle ayağın ön bölümünde aşırı yüklenmeye neden olabileceği düşünülebilir. Ayrıca hamstring gerginliğinde adım uzunluğu ve yürüme hızı da azalır.^{6, 10, 40} Hamstring gerginliğinin etkileri değişkendir, bazı hastalarda fizik muayene sırasında belirgin gerginlik saptanırken yürümeye etkileri beklendiği kadar fazla olmayabilir. Normal bireylerde hamstring kısalığının etkilerini araştıran bir çalışmada, hamstring gerginliğinin ancak 85° üzerine çıktığında yürümenin etkilendiği gösterilmiştir.⁶ Çalışmamızda ortalama hamstring gerginliği 13,8°(±12,4) olarak bulundu. Hamstring gerginliği ile metatars başları altındaki basınçın ilişkisiz olması, gönüllülerin hiçbirinde gerginliğin yürüme paternini etkileyecek büyüklükte olmamasına bağlanabilir.

Q açısı, quadriceps femoris kasının pelvis, femur ve tibia üzerindeki diziliminin klinik ölçümüdür. Q açısının artması ekstensör mekanizma dizilim bozukluğunu gösterir ve ön diz ağrısı, patellar subluksasyon-dislokasyon gibi problemlere neden olabilir.^{4, 14, 28} Bu çalışmada Q açısının metatars başları üzerine binen yükü etkileyebileceği düşünüldü ve tüm metatars başları temas alanı ile negatif korelasyon göstermekteydi. Ancak regresyon analizi sonucunda Q açısı ile metatars başları altında istatistiksel olarak anlamlı ilişki kurulamadı. Bu da çalışmaya dahil edilen insanların normal bireyler olması ve Q açısı ölçümlerinin normal sınırlar da olması nedeniyle olduğu düşünüldü.

Kalkaneal eğim açısının artmasının, pes kavusta olduğu gibi ayağın ön bölümünde yüklenmeyi artıracığı düşünülebilir. Çalışmamızda da kalkaneal eğim açısı ile ark indeksi arasındaki negatif korelasyon bunu desteklemektedir. Yine kalkaneal eğim açısı ile iki ve üçüncü metatars başları altındaki basınçla pozitif korelasyon saptanmasına rağmen regresyon analizi sonucu anlamlı ilişki kurulamadı. Bu sonucun da gönüllülerin hiçbirinde pes kavus bulunmamasına bağlı olabileceği düşünülebilir.

SONUÇ

Bu çalışmada metatars başları altındaki zirve basınç ve maksimum ortalama basınç düzeyi ile bunları etkileyebileceği düşünülen kalkaneal eğim açısı, halluks valgus açısı, talokalkaneal açı, hamstring gerginliği, Q açısı, cinsiyet ve yaş gibi parametreler incelendi. Bu veriler ile metatars başları altındaki basınç arasında korelasyon saptanmasına rağmen, değişkenlerin çoklu etkileri incelendiğinde ikinci ve üçüncü metatarstan elde edilen zirve basınç ve maksimum ortalama basınç düzeyinin bu faktörlerden etkilenmediği görüldü ($p>0.05$). Patolojik değişikliklerin varlığı metatars başlarına binen yükü etkileyebilir. Farklı hasta gruplarıyla ve daha büyük örnek sayılarıyla yapılacak çalışmalar ayağın mekanik problemlerini çözmede yol gösterici olacaktır.

ÖZET

Amaç

Bu çalışmada amacımız, metatars başlarına binen yükü etkileyen faktörleri ortaya koymak ve bunlardan yola çıkarak başta metatarsalji olmak üzere ayağın mekanik problemlerini çözmede yeni tedavi seçenekleri için yol gösterici olmaktır.

Gereç Ve Yöntem

Çalışmaya ayak şikayeti olmayan 41'i bayan, 20'si erkek olmak üzere 61 gönüllü alındı ve yaş ortalaması 44 (22-63) ve ortalama vücut kitle indeksi 28,04 kg/m² idi. Ayak deformitesi olanlar, nörolojik hastalığı ve periferik nöropatisi olanlar, ayak veya ayak bileği cerrahisi geçirenler çalışmaya alınmamışlardır.

Gönüllülere ayak grafileri çekilmiştir, klinik olarak Q açısı, hamstring gerginliği, ayak bileği eklem hareket açıklıkları değerlendirilmiş ve pedobarografik analizleri yapılmıştır. Çalışmada klinik ve radyolojik verilerin, pedobarografik analizle ölçülen metatars başları altındaki yük dağılımı ile ilişkisi araştırıldı.

Bulgular

Q açısı ortalama 10,9° (8-16) ve hamstring gerginliği ortalama 13,8 ° (0-42) idi. Halluks valgus açısı ortalama 15,9° (±4,70) ve intermetatarsal açı ortalama 7,2°(±1,59) idi. Talokalkaneal açı 41,87°(±4,77) ve talohorizontal açı 23,25°(±1,92); talus- 1.metatars açısı 1,78°(±1,57) ve kalkaneal eğim açısı 18,55°(±4,58) olarak bulundu. Vücut kitle indeksi 30 kg/m² üzerinde olanlar ile olmayanlar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı.

Yürüme analizi değerlendirmesinde gönüllülerin 51'inde (%83) zirve basıncın ve maksimum ortalama basıncın en fazla ikinci ve üçüncü metatars başlarında olduğu görüldü.

SONUÇ

Bu çalışmada metatars başları altındaki zirve basınç ve maksimum ortalama basınç düzeyi ile bunları etkileyebileceği düşünülen klinik, radyolojik ve demografik parametreler incelendi. Bu veriler ile metatars başları altındaki basınç arasında korelasyon saptanmasına rağmen, değişkenlerin çoklu etkileri incelendiğinde ikinci ve üçüncü metatarstan elde edilen zirve basınç ve maksimum ortalama basınç düzeyinin bu faktörlerden etkilenmediği görüldü.

ABSTRACT

Introduction

Metatarsalgia is believed to be related with plantar pressure under metatarsal heads. However there is lack of information regarding normal pressure distribution patterns of healthy individuals. During this study we are aimed to find out factors effective on plantar pressures under metatarsal heads.

Patients and Methods

Both feet of 61 healthy volunteers examined(41 female and 20 male), with mean age of 44 years (22-63). The mean was BMI 28,04 kg/m². Physical examinations were carried out on subjects to ensure that none of them had evidence of foot deformity or diseases affecting the foot. Weight bearing A/P, and lateral foot radiographs, clinic Q angle, hamstring tightness, ROM at ankle joint and pedobarographic measurements were carried out for each patients.

Results

Mean Q angle was 10,9° (8-16) and mean hamstring tightness 13,8 ° (0-42). Measured mean hallux valgus angle was 15,9° (±4,70), intermetatarsal angle was 7,2°(±1,59), talocalcaneal angle was 41,87°(±4,77), talohorizontal angle was 23,25°(±1,92), talus-first metatarsal angle was 1,78° (±1,57) and calcaneal inclination (pitch) angle 18,55°(±4,58). There were no significant difference among obese (BMI > 30 kg/m²) and non obese subjects. Pedobarographic measurements revealed that peak pressures occurs under second and third metatarsal heads for 83 % of subjects.

Conclusion

This study demonstrates that; measured individual parameters have several effects on plantar pressures under metatarsal heads. As a result of regression analysis, due to complexity of foot biomechanics and variability of parameters these effects have not produced significant difference on overall pressure values.

KAYNAKLAR

1. Andreas Schmiegel DR, Annette Schorat, Arvid Hilker, Markus Gaubitz, Assessment of foot impairment in rheumatoid arthritis patients by dynamic pedobarography Gait & Posture 27 (2008) 110–114.
2. AP Hills EH, M McDonald, O Bar-Or., Plantar pressure differences between obese and nonobese adults: a biomechanical analysis. International Journal of Obesity (2001) 25, 1674–1679.
3. Aydın AT. Patellofemoral Eklem Hastalıkları, Semptomatoloji, Klinik Tanı ve Ayırıcı Tanı Acta Orthop Traumatol Turc.29:372, 1995.
4. Beaconsfield T PE, Mafulli N, Petri GF, . Radiological Measurements in Patellofemoral Disorders. Clin Orthop.;189-209, 1984.
5. Becker RF WJ, Gehweiler JA., The anatomical basis of medical practice. Baltimore: Williams & Wilkins Co.; 1971.
6. C.L. Whitehead SJH, A.M. Richardson,, M.E. Hazlewood JER. The effect of simulated hamstring shortening on gait in normal subjects. Gait & Posture 26 (2007) 90–96.
7. Chambers H.G. ve ark. A Practical Guide to Gait Analysis. J Am Acad Orthop Surg,.2002,10:222-231.

8. Daentzer D WN, Zimmermann U, Observations concerning the transverse metatarsal arch. *Foot Ankle Surg.*1997;3:15-20.
9. DeLuca PA DR ea. Alternations in surgical decision making in patients with cerebral palsy based on three dimensional gait analysis. . *J Ped Orthop.*1997, 17:608-614.
10. Gage JR. Gait analysis in cerebral palsy.
*Clinics in developmental medicine.*vol. 121. London: Mac Keith Press; 1991.
11. Gould N. Graphing the adult foot and ankle. *Foot Ankle.*2:213-219, 1982.
12. Haas C KB, Lott S, Weseloh G, Swoboda B, . Progression of foot deformities in rheumatoid arthritis—a radiologic follow-up study over 5 years.
Z Rheumatol.(1999) 58:351–357.
13. Tuna H, Taştekin N, Kokino S, Pedobarography and its relation to radiologic erosion scores in rheumatoid arthritis *Rheumatol Int.*(2005) 26: 42–47.
14. Harrison MM CV, Derek T, Fisher SB, Griffin MP, . Patterns of Knee Arthrosis and Patellar Subluxation. *Clin Orthop.*;309:56, 1994.
15. Hodge MC BT, Carter GM, Orthotic management of plantar pressure and pain in rheumatoid arthritis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* (1999) 14:567–575.
16. Hughes J CP, Linge K, Klenerman L, A comparison of two studies of the pressure distribution under the feet of normal subjects using different equipment.
*Foot Ankle Surg.*1993;14:514-9.
17. Hughes J JR, 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.
18. Hylton B. Menz ME, Morris , Clinical determinants of plantar forces and pressures during walking in older people. *Gait & Posture* 24 (2006) 229–236.(2006) 229–236.
19. Insall JN AP, Tria JA, Patellar Pain and Incongruence. II. Clinical Application
Clin Orthop.;176-225, 1983.

20. Kanatli U Yetkin H, Bolukbasi S., Evaluation of the transverse metatarsal arch of the foot with gait analysis. *Orthop Trauma Surg.*2003;123:148-50.
21. Kanatli U Yetkin H, Yalçın N, The relationship between accessory navicular and medial longitudinal arch: Evaluation with a plantar pressure distribution system. *Foot Ankle Int.*2003, June: 24 (6): 486-9
22. Kang JH CM, 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.).
23. Kapandji IA. The physiology of the joints: annotated diagrams of the mechanics of the human joints. . New York: Churchill Livingstone:.Vol 2, 1970.
24. Kapandji LA. The physiology of the joints. Edinburgh & London: E & S Livingstone,1970.
25. Klenerman L.. In: Klenerman L. The foot and its disorders. Functional anatomy. 2nd ed, Oxford, etc: Blackwell Scientific Publications.1982.
26. Lake N. The Foot. London: Balliere, Tindall andCox.1952.
27. LeLievre J. Pathologie du Pied. Paris: Masson et Cie.1967.
28. Lori A. L, Sandi J. Spaulding, . OPTOTRAK Measurement of the Quadriceps Angle Using Standardized Foot Positions *Journal of Athletic Training* 2002;37(3):252–255.
29. Luger EJ NM, Karpf A, Steinberg EL, Dekel S. Patterns of weight distribution under the metatarsal heads. *J Bone Joint Surg [Br]* 1999;81:199-202.
30. McCrory JL YM, Boulton AJM, Cavanagh PR., Arch index as a predictor of arch height. *Foot Ankle.*1997;7:79–81.
31. Melvin H. Jahss MD. The Metatarsals. *Disorders of the Foot & Ankle Medical and Surgical Management* Second Edition 1992.
32. Melvin H. Jahss MD. Radiographic analysis of the foot and ankle. *Disorders of the Foot & Ankle Medical and Surgical Management.*1992 second edition.
33. Michael J. Coughlin. Common Causes Of Pain In The Forefoot In Adults. *The Journal Of Bone & Joint Surgery (Br).*2000; 82-B : 781-90.

34. Montagne J CA, Galmiche JM, Atlas of Foot Radiology New York: Masson Pubs 1982
35. Morag E CP. Structural and Functional Predictors of Regional Peak Pressures Under the Foot During Walking. J Biomechanics 1999, 32: 359-370.
36. Tandoğan Reha. Patellofemoral Hastalıklar.
Diz cerrahisi Haberal Eğitim Vakfı. Ankara 1999.
37. Orlin MN MT. Plantar pressure assessment. Phys Ther 80: 399-409, 2000.
38. Richmond J SE. Sports Medicine for Primary Care.
Cambridge, MA: Blackwell Science; 1996:502
39. Ege Rıdvan, Önder Çetin, Metatars Hastalıkları.
Ayak ve Ayak Bileği Sorunları 2. Baskı. 1999; 20:399-420.
40. Rose J GJ, editors., Human walking. . 2nd ed., Baltimore: Williams & Wilkins; .1993.
41. Sartoris DJ RD. Computed Tomography of Podiatric Disorders: A Review.
J Foot Surg. 25; 394, 1986.
42. Yalçın Selim, Yavuzer Güneş, Gök Haydar, . Yürüme Analizi. 2001.
43. Simon SR AH, An K-N et al Kinesiology. In: Simon SR (ed) Orthopaedic basic science. . Am Acad Orthop Surg., (1994) pp 519–601.
44. Steel MW JK, DeWitz MA, . Radiographic Measurement of the Normal Adult Foot.
Foot Ankle. 1:151-158, 1980.
45. Stokes IA HW, Stott JR., . Forces acting on the metatarsals during normal walking.
J Anat. 1979;129(Pt 3): 579-90.
46. Stoop ND Surgery of the rheumatoid forefoot. . Curr Orthopaed (2002) 16:187–192.
47. Tachdjian MO. Fleksible pes planovalgus Tachdjian Pediatric Orthopaedics 2nd. ed
Philadelphia: WB Saunders, .1990: 2717-55.
48. Kanatlı U, Yetkin H, Simşek A, Öztürk Akif Muhtar, Esen Erdiñç, Beşli Köksal,
Sağlıklı kişilerde metatars başlarında dinamik basınç dağılım şekilleri.
Acta Orthop Traumatol Turc 2008;42(1):26-30.

49. Kanatlı U Yetkin H, Cila E, Footprint And Radiographic Analysis of the Feet. Journal of Pediatric Orthopaedics.21:225 -228, 2001.
50. Kanatlı U, Yetkin H, Songür M, Öztürk A, Bölükbaşı S, Yürüme Analizinin Ortopedik Uygulamaları. TOTBİD (Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği) Dergisi.2006, Cilt: 5 Sayı: 1-2.
51. Viladot A TJ. Metatarsalgia. Ponencia Oficial Congreso Secot Sevilla.1964.
52. Williams PL ea, . Gray's anatomy. . 38th Edition, New York, etc: Churchill-Livingstone, .1995.