

ORIGINAL ARTICLE

Tip 2 diyabette plantar ülser varlığı plantar basınç dağılımı parametrelerini değiştirir mi?

Does the presence of plantar ulcer in type 2 diabetes alter plantar pressure distribution parameters?

Hakan AYDIN¹, Esra Nur TÜRKMEN², Osman SÖYLER³, Nilgün BEK⁴

Öz

Amaç: Tip 2 diabetes mellituslu (DM) hastalarda diyabetik ayak ülseri (DAÜ) varlığının statik/dinamik plantar basınç dağılımına etkisini ve ayakların antropometrik/biyomekanik verileriyle DAÜ ilişkisini belirlemek amaçlandı.

Yöntem: Statik/dinamik plantar basınç analizi ve bilgisayarlı podoscan analizi yapılan, 45-80 yaş aralığında 79 DM tanılı hastanın verileri retrospektif olarak incelendi. DAÜ olan 31 ve DAÜ olmayan 48 DM'li hasta çalışmaya dahil edildi. Hastaların statik ve dinamik plantar basınç dağılımı parametreleri ile bilgisayarlı podoscan analiz cihazından alınan veriler toplandı. Hastaların plantar basınç dağılımı Pedar-X sistemi kullanılarak değerlendirildi. Plantar tarama ise Dijital Diagnostik Baropodometre Tarama Sistemi ve Milletrix yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi.

Bulgular: Statik analizde DAÜ olan hastalarda iki ayağın zemine uyguladığı maksimum ve ortalama basıncın, sağ ön ayağa aktarılan ağırlığın sol arka ayak temas alanının daha yüksek olduğu; dinamik analizde ise sağ ayak basınçlarının ve ayak eksenini açısının arttığı tespit edildi ($p<0,05$) (Pedar-X sistemi). Bilgisayarlı podoscan verilerinde (Dijital Diagnostik Baropodometre Tarama Sistemi ve Milletrix yazılımı) DAÜ olan olguların ayak, orta ayak ve topuk uzunluğu, ayakkabı numarası, topuk genişliği ve topuk çevresi verilerinin daha yüksek olduğu belirlendi ($p<0,05$).

Sonuç: Tip 2 diyabetli bireylerde plantar ülser varlığı, statik ve dinamik plantar basınç dağılımı parametrelerinde anlamlı değişikliklere yol açarak özellikle sağ ön ayakta basınç artışına neden olmuştur.

Anahtar kelimeler: Basınç, diabetes mellitus, plantar ülser, yürüme analizi.

Abstract

Purpose: The aim was to determine the effect of diabetic foot ulcer (DFU) presence on static/dynamic plantar pressure distribution and its relationship with foot anthropometric/biomechanical data in patients with Type 2 diabetes mellitus (DM).

Method: Data from 79 DM patients aged 45-80, who underwent static/dynamic plantar pressure analysis and computerized podoscan analysis, were retrospectively reviewed. The study included 31 DM patients with DFU and 48 without DFU. Patients' static and dynamic plantar pressure distribution parameters and data obtained from the computerized podoscan device were collected. Plantar pressure distribution was assessed using the Pedar-X system, and plantar scanning was performed with the Digital Diagnostic Baropodometric Scanning System and Milletrix software.

Results: In the static analysis, it was determined that patients with DFU had higher maximum and average pressures applied by both feet to the ground, increased weight transfer to the right forefoot, and a larger contact area in the left rearfoot ($p<0.05$) (Pedar-X system). Computerized podoscan data (Digital Diagnostic Baropodometric Scanning System and Milletrix software) indicated that patients with DFU had greater foot, midfoot, and heel lengths, shoe size, heel width, and heel circumference values ($p<0.05$).

Conclusion: The presence of plantar ulcer in individuals with Type 2 diabetes has led to significant changes in static and dynamic plantar pressure distribution parameters, particularly causing increased pressure on the right forefoot.

Keywords: Pressure, diabetes mellitus, plantar ulcer, gait analysis.

1: Lokman Hekim University, Institute of Health Sciences, Ankara, Türkiye.

2: Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Vocational School of Health Services, Kahramanmaraş, Türkiye.

3: European University of Lefke, Vocational School of Health Services, Lefke, Northern Cyprus TR-10 Mersin, Türkiye.

4: Lokman Hekim University, Faculty of Health Sciences, Ankara, Türkiye

Corresponding Author: Esra Nur Türkmen: e.nur5313@hotmail.com

ORCID IDs (order of authors): 0000-0003-2761-7935; 0000-0002-0597-9444; 0000-0002-2798-0649; 0000-0002-2243-5828

Received: October 23, 2024. Accepted: November 11, 2024.



GİRİŞ

Diabetes mellitus (DM), yüksek glisemik düzeyin mikrovasküler ve makrovasküler komplikasyonlara yol açarak kardiyovasküler hastalık, nöropati, retinopati, nefropati, diyabetik ayak ve ayak ülseri gibi sorunlara neden olan metabolik bir hastalıktır.² Dünya genelinde DM'li birey sayısı yaklaşık 415 milyondur ve 2040 yılında 642 milyona kadar artış beklenmektedir. DM prevalansı dünyada ortalama %9 iken ülkemizde ise %13,7'dir.² Tip 2 DM hastalarında hastaneye yatışın en önemli sebeplerinden biri olan diyabetik ayak, DM ye bağlı nöropatinin majör komplikasyonları arasında ilk sıralarda yer almaktadır.³ Dünya Sağlık Örgütü'ne göre diyabeti olan bireylerde diyabetik ayak ülseri (DAÜ) oluşma riski %15-20 oranında görülmekte ve artış göstermektedir.⁴ DAÜ, hasta ve sağlık sistemleri için ciddi sonuçlar doğuran, sosyoekonomik ve çevresel faktörlere bağlı önemli bir sağlık sorunudur; ülkemizde nöropati insidansı %0,1, diyabetik ayak yarası insidansı %0,4'tür.⁵ Ülkemizde yaklaşık beş yüz bin diyabetik ayak ülseri tanılı hasta olduğu kaydedilmiştir.⁶

Pedobarografik analiz, plantar basıncı ölçmeye olanak sağlayan fonksiyonel bir yöntemdir ve ayak hastalıklarının tanı ve tedavisinde etkin olarak kullanılabilir.⁷ Özellikle DM hastalarında ülserasyon riskinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bu analizler, plantar basınç dağılımını objektif olarak değerlendirmeye olanak sağlar.⁸ Bu analizler, sensörlü platform ile yapılarak yazılımla kaydedilir; normal plantar basınç 80-500 kPa iken diyabetik nöropatide 1000-3000 kPa'ya ulaşabilir. Yüksek basınç alanlarının tespiti ve deformite değerlendirmesi için önemlidir.⁹ Bilgisayarlı podoscan analizi ise ayak tabanının uzunluk, genişlik ve açı gibi antropometrik verilerini sağlar; ülser, nasır, deformite ve aşırı basınç alanlarını görsel olarak tespit eder.¹⁰ 2019 yılında 153 Tip 2 diyabetes mellituslu hastanın podoscan ile incelendiği bir çalışmada, bu hastalarda medial ark düşüklüğünün yaygın olarak görüldüğü belirlenmiştir.¹¹ Pedobarografik analiz ve bilgisayarlı podoscan analizleri, zaman zaman birbirine alternatif ya da elde edilen verileri desteklemek amacıyla birlikte kullanılabilirler.

Diyabetik nöropati oluşumuyla birlikte

DM'li hastaların ayak tabanının belirli bölgelerinde plantar basınç artışları gözlenmektedir.¹² Plantar basınç değişimlerinin diyabetik nöropatiye bağlı ülserasyonda önemli etkisi gösterilmektedir.¹³ Diyabetik ayak sendromlu hastalarda artan plantar basınç bölgelerinde ülserasyonların daha sık görülmesi, basınç artışının ülserasyon riskini yükselttiğini göstermektedir.¹⁴ Ledoux vd., çalışmalarında, Tip 2 DM hastalarında plantar basınç artışının özellikle metatars başları altındaki ülserasyonlarla ilişkili olduğu ve ülserlerin en sık topuk, metatars başları ve başparmakta görüldüğü belirtilmiştir.¹⁵ Tip 2 DM'li hastalarda eklem mobilite kaybının artmış plantar basınca, ayak bileği dorsifleksiyonunun azalmasının ise ön ayak basıncında ve ülserasyon riskinde artışa yol açtığı gösterilmiştir.¹⁶⁻¹⁸ Bir çalışmada, ayak bileği ekin deformitesi nedeniyle artan ön ayak plantar basıncının ülserasyon riskini artırdığı gösterilmiştir.¹⁹ Tip 2 DM'li bireylerde ülserlerin gangren, morbidite ve amputasyonlara sebep olabildiği bilinmektedir.²⁰ Bir meta-analiz, geçmişte ülser öyküsü olan diyabet hastalarında tepe plantar basınçlarının anlamlı derecede yüksek olduğunu göstermiştir.²¹ Bir çalışmada, Tip 2 DM'li hastalarda 1. metatarsofalangeal eklem altındaki plantar basıncın, periferik nöropati veya vasküler hastalığı olanlara göre belirgin şekilde arttığı bulunmuştur.²² Caselli vd., 238 DM hastasında ön ve arka ayak basınçlarının arttığını tespit etmiştir.²³ Bacarin vd., iyileşmiş DAÜ'lü diyabetik nöropatili hastalarda plantar basıncın kontrol grubuna göre daha yüksek olduğunu bulmuştur.²⁴ Bu çalışmalar, diyabetik ayak ülserinin plantar basıncı etkileyerek ülserasyon riskini artırdığını göstermektedir.

Çalışmamız, Tip 2 DM'li hastalarda ayağa ilişkin antropometrik ve biyomekanik verilerle statik ve dinamik plantar basınç dağılımı parametrelerinin plantar ülser varlığından etkilenip etkilenmediğini araştırmak ve DAÜ oluşumunu önlemek için bu yöntemlerin klinikte nasıl kullanılabileceğini belirlemek amacıyla planlandı.

YÖNTEM

Katılımcılar

Çalışmamız, Ocak 2019-Aralık 2022 tarihleri arasında Tip 2 DM tanısı ile

kliniğimize (Bilimop ortez, protez uygulama merkezi) başvuran, statik ve dinamik plantar basınç analizi ve bilgisayarlı podoscan analizi yapılan 45-80 yaş aralığında 79 hastanın verilerinin retrospektif olarak kliniğin veri tabanından alınarak analiz edilmesiyle yapıldı. Çalışmaya dahil edilme kriteri olarak, Tip 2 DM tanısı almış olmak ve 45 yaş üzerinde olmak kriterleri belirlenirken; çalışmadan dışlanma kriterleri ise alt ekstremitte amputasyonu olmak ve protez kullanmak, DM dışında romatizmal hastalıklar gibi sistemik bir hastalığı olmak ve iletişim, algı ve kognisyon problemine sahip olmak olarak belirlendi. Eksik verisi olan olgular çalışmanın başında dışlandı.

Tip 2 DM olan, ayak ülseri olan ve olmayan hastaların sözel ve yazılı onamları ve ilgili klinik araştırmalar etik kurul onayı alındı (LHÜ, 10.01.2023 tarihli etik onayı, protokol no: 2023008).

Çalışmaya dahil edilen tüm hastaların bilgisayarlı podoscan görüntüleri incelenerek DAÜ olan 31 ve DAÜ olmayan 48 hasta şeklinde iki gruba ayrıldı. Hastaların statik plantar basınç dağılımı parametreleri, dinamik plantar basınç dağılımı parametreleri ve bilgisayarlı podoscan analiz cihazından alınan verileri toplandı. Değerlendirmeler retrospektif olarak ve tek kör şekilde yapıldı; bu süreçte veri analizi ve değerlendirmeleri yapan kişi, hastaların DAÜ olup olmadığını bilmeden verileri analiz etti.

Plantar basınç değerlendirmesi

Çalışmamızda DIASU® Dijital Baropodometre Sistemi ve Milletrix yazılımı kullanılarak retrospektif plantar basınç dağılım analizi verileri elde edildi.²⁵ Platform, 40 cm genişliğinde, 5 metre uzunluğunda olup 40 cm x 160 cm'lik yürüme yolunda 300 MHz frekanslı 4024 sensörle yürüme ve ayakta durma sırasında basınç verilerini toplar. Veriler bilgisayara aktarılarak plantar basınç dağılım analizi yazılımında statik ve dinamik olarak değerlendirilir.²⁶ Bu sistem aracılığıyla bireylerin statik ve dinamik olarak plantar basınç/ yük dağılımı hakkında sayısal ve görsel veriler elde edilmektedir.

Statik Plantar Basınç Dağılımı ve Verileri: Pedobarografi cihazı üzerine çıplak ayak ile bir dakika hareketsiz şekilde ayakta durmasıyla elde edildi. Elde edilen tüm veriler içinden, bilateral global verileri (yüzey, maksimum basınç, ortalama basınç, ayakların açısı ve CoF),

ön ayak verileri (yüzey, yük, ağırlık oranı), arka ayak verileri (yüzey, yük, ağırlık oranı) ve toplam verileri (yüzey ve yük) retrospektif olarak yazılımdan alındı. Ayrıca katılımcıların ayak açısı ve ayak açısı eksen verileri de sistemden elde edildi. Statik plantar basınç analizi verileri ve açıklamaları aşağıda belirtildi.

Bilateral Global Veriler

- **Yüzey (cm²):** Ayakların platforma temas ettiği toplam alan.

- **Maksimum Basınç (g/cm²):** Ayak tabanındaki maksimum yük/temas yüzeyi oranı.

- **Ortalama Basınç (g/cm²):** İki ayağın toplam yükü/temas yüzeyi oranı.

- **Ayaklar Arası Açı (°):** Dominant ve non-dominant ayak eksenleri arasındaki açı.

- **Ayak Merkezi (CoF) (°):** Ayağın merkez basınç noktalarının açısı; proksimal rotasyonu gösterir.

Ön Ayak ve Arka Ayak Verileri

- **Yük (%):** Ön veya arka ayak yükünün toplam yüke oranı (sağ/sol ayrı).

- **Ağırlık Oranı (%):** Ön veya arka ayak yükünün aynı ayağın toplamına oranı.

Toplam Veriler

- **Ayak Temas Açısı (°):** Ayağın yere temas eden kenarlarının oluşturduğu açı.

- **Eksen Açısı (°):** Her ayağın ekseninin sagittal düzlemle yaptığı açı (sağ/sol ayrı).

Dinamik Plantar Basınç Dağılımı ve Verileri:

Statik plantar basınç analizi yapıldıktan sonra, olgular standart sandalyede 5 dakika dinlendirildi. Ardından, sensörlü platform üzerinde çıplak ayakla ve normal hızda aralıksız 5 tur yürüdüler. Dinamik durumda elde edilen veriler arasında yüzey, yük, maksimum basınç, ortalama basınç, hız, adım, kadans, adım genişliği, ayak açısı, ayak eksen, ön ve arka ayak yükleri yer aldı. Dinamik plantar basınç analizi verileri, sağ ve sol ayak için ayrı verildi.

Bilgisayarlı Podoscan Verileri:

3-D Podoscanalyzer® sistemi (DIASU®, Diasu Companu, Roma, İtalya) ve Milletrix yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçlarından alındı. Bu analiz, pedobarografik analizlerin tamamlanmasını takiben 10 dk standart sandalyede oturularak dinlendirildikten sonra, çıplak ayakla platform üzerinde hastaların bir dakika sabit ayakta durmasıyla elde edilmektedir. Bu sistemden

sağlanan antropometrik ve biyomekanik veriler; ayak uzunluğu, orta ayak uzunluğu, metatarsal genişlik, lateral genişlik, topuk uzunluğu, topuk genişliği, topuk çevresi, ayakkabı numarası, ayak açısı, ayrılma açısı, tarsal dış merkez, merkez, subtalar eklemin ortalama açısı ve subtalar eklemin lateral açısı olarak belirlendi.²⁴ Verilerin yorumlanmasına yönelik bilgiler aşağıda açıklandı.

- **Ayak Açısı (°):** Ayağın yere temas eden kenarlarından çizilen teğetlerin oluşturduğu açı; sağ ve sol ayak için ayrı değerlendirilir.

- **Ayrılma Açısı (°):** Metatarsal ve topuk genişliği eksenleri arasındaki açı.

- **Tarsal Dış Merkez (%):** Metatarsal ve topuk genişliği eksenlerinin ortaları arasında çizilen hatların, ayak ekseninde % kaçlık kısma denk geldiğini gösterir.

- **Merkez (Topuk Sonu Mesafesi):** Ayak merkezinden (CoF) topuk temas alanının bitimine kadar olan mesafe.

- **Medial Subtalar Açı (°):** CoF noktasından 1. metatars başına ve topuğun mediali arasındaki açı.

- **Lateral Subtalar Açı (°):** CoF noktasından 5. metatars başına ve topuğun laterali arasındaki açı.

İstatistiksel analiz

Çalışmamız için gereken olgu sayısının hesaplanması için, Galvao's vd., DM olan ve olmayan olguların podobarografik analizi parametrelerini karşılaştırdıkları çalışma baz alınarak²⁷ ve G-Power programı kullanılarak yapılan örneklem analizi sonucuna göre, α hata 0,05, β hata 0,05 (güç: 0,80) olarak varsayıldığında gerekli minimum örneklem büyüklüğü grup 1 için 40 ve grup 2 için 40 olarak saptandı.

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 26.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, ABD) paket programı kullanılarak yapıldı. Tanımlayıcı istatistikler; nominal ve ordinal değişkenler için frekans ve yüzde değerleri ile numerik değişkenler için ortalama, standart sapma, medyan ve persantil değerleri ile verildi. Görsel (histogram ve olasılık grafikleri) ve analitik yöntemler (Shapiro-Wilk testi, çarpıklık ve basıklık değerleri, varyasyon katsayısı) kullanılarak numerik değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu incelendi. Bağımsız iki nominal değişkenin kıyaslanmasında Ki-Kare Testi kullanılırken, gözlerdeki beklenen değerlerin durumuna göre Pearson Ki-Kare ya

da Fisher'in Kesin Test istatistiklerinden birinin kullanımı tercih edildi. Gruplar arası numerik değişkenlerin karşılaştırılmasında non-parametrik test olarak 'Mann-Whitney U Testi', parametrik test olarak ise 'Bağımsız Gruplar T Testi' kullanıldı.

BULGULAR

Tip 2 DM nedeniyle kliniğe başvurmuş ve sistemde verileri kayıtlı olan 85 hasta bilgisi incelendi. Bu hastalardan tip 2 DM tanısı alan, çalışmaya dahil edilme kriterlerine uyan ve onam formunu okuyup/ dinleyip imzalayarak çalışmaya katılmayı kabul eden, diyabetik ayak ülseri olan ve olmayan toplam 79 hasta çalışmaya dahil edildi. Çalışmaya dahil edilmeyen 6 hastanın biri unilateral protez kullandığı için; 2'si ayakta parsiyel amputasyonu olduğu için; 3'ü de verileri eksik olduğu ve ulaşamadığı için dışlandı. Çalışmaya dahil edilen olgular DAÜ olmayan (DAÜ-) 48 ve DAÜ olan (DAÜ+) 31 birey olmak üzere iki grup olarak incelendi. Olgulardan sadece DAÜ- grubunda 3 bireyin sol alt ekstremitesi dominant olduğundan sağ taraf verileri dominant taraf, sol taraf verileri non-dominant veriler olarak değerlendirilebilir. Bu hastaların demografik verileri ve istatistik sonuçları Tablo 1'de gösterildi.

Çalışmamızda Tip 2 DM erkeklerin ayak tabanında kadınlara göre daha fazla DAÜ görüldüğü tespit edildi. Bununla birlikte beden kütle indeksi (BKİ) $\geq 30 \text{ kg/cm}^2$ olan yani obez hastalarda daha fazla DAÜ görüldüğü saptandı. DAÜ olan hastaların, BKİ'nin daha yüksek olduğu ve ayakkabı numaralarının daha büyük olduğu belirlendi.

DAÜ olan hastalarda görülen ülserlerin lokalizasyonları Tablo 2'de verildi.

DAÜ olan 31 hastanın, %45,2'sinin yarısı sağ ayağında, %35,5'inin sol ayağında ve %19,4'ünün her iki tarafta ülseri olduğu; bu ülserasyonların %74,2'sinin ön ayak, %19,4'ünün orta ayak ve %6,5'inin arka ayak lokalizasyonlu olduğu saptandı (Tablo 1).

DAÜ olan ve olmayan hastalardan statik ve dinamik olarak elde edilen plantar basınç dağılımı verileri Tablo 2 ve 3'te sunuldu.

Statik plantar basınç analizi verilerine göre, statik ayakta durma pozisyonunda diyabetik ayak ülseri olan hastaların iki

ayağının toplamda zemine uyguladığı maksimum basınç ve ortalama basıncın ülseri olmayanlara göre daha fazla olduğu; sağ ön ayak ağırlık aktarma oranının ülseri olmayanlara göre daha fazla olduğu; sağ arka ayak ağırlık oranının ülseri olmayanlara göre azaldığı; sol arka ayağın yere temas yüzey alanının ülseri olmayanlara göre daha fazla olduğu; yere verilen toplam yükün hem sağ hem de sol ayakta ülseri olmayanlara göre daha fazla olduğu tespit edildi ($p<0,05$) (Tablo 2).

Olguların, dinamik plantar basınç analizi verilerine göre, yürüme sırasında DAÜ olan hastaların, sağ ayak tabanında oluşan maksimum ve ortalama basınçların, ülseri olmayanlara göre arttığı; dinamik ayak ekseninin ise ülseri olmayan hastalara göre hem sağ hem de sol tarafta eksternal rotasyonun daha fazla olduğu tespit edildi ($p<0,05$) (Tablo 3).

DAÜ olan ve olmayan hastalardan çıplak ayakla statik ayakta duruş pozisyonunda elde edilen bilgisayarlı podoscan parametrelerine ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri değerleri ile gruplar arası karşılaştırma sonuçları Tablo 4'te verildi.

Bireylerden elde edilen podoscan verilerine göre, DAÜ olan olguların, ayak uzunluğu (sol), orta ayak uzunluğu (sol), ayakkabı numarası (sol), topuk uzunluğu (sağ), topuk genişliği (sol), topuk çevresi (sol) ve merkez (sol) verilerine

ilişkin değerlerin, DAÜ olmayan olgulardan daha yüksek olduğu belirlendi ($p<0,05$) (Tablo 4).

TARTIŞMA

Çalışmamız Tip 2 diyabet hastalarında bilgisayar destekli pedobarografi cihazı ile ölçülebilen statik ve dinamik plantar basınç dağılımları ve bilgisayarlı podoskop ile ölçülebilen ayağa ilişkin antropometrik ve biyomekanik verilerin plantar ülser varlığından etkilenip etkilenmediğini belirlemek ve kullanılan analiz yöntemlerinin sonuç ölçümleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla yapılmıştır. Çalışmamızın sonuçları, Tip 2 DM'li DAÜ olan hastaların DAÜ olmayan hastalara göre ayakta statik dururken maksimum ve ortalama plantar basıncının daha fazla olduğunu, sağ ön ayağa daha fazla ağırlık aktarıldığını, sağ arka ayağa ağırlık aktarımının azaldığını; sol arka ayak temas yüzeyinin arttığını ve yere aktarılan toplam yükün daha fazla olduğunu göstermiştir. Yürüme sırasında ise DAÜ olan hastaların sağ ayak tabanında maksimum ve ortalama basıncın daha fazla olduğunu, dinamik ayak ekseninin açısının hem sağ hem de sol ayakta arttığını (dominant ve non-dominant alt ekstremitenin eksternal rotasyonunun arttığı)

Tablo 1. Diyabetik ayak ülseri olan (DAÜ +) ve olmayan (DAÜ -) bireylerin demografik verileri ve gruplar arası karşılaştırma sonuçları.

	DAÜ - (N=48)	DAÜ + (N=31)	p
	X±SD	X±SD	
Yaş (yıl)	60,06±12,97	57,87±13,66	0,475
BKİ (kg/m ²)	27,76±4,88	31,39±5,97	0,004*
Ayakkabı numarası	40±2	42±2	<0,001*
	n (%)	n (%)	
Cinsiyet (Kadın /Erkek)	31/17 (65/35)	8/23 (26/74)	0,001*
Dominant (Sağ/Sol)	45/3 (94/6)	31/- (100/0)	0,276
Diyabetik ayak ülser lokalizasyonu			
Sağ ayakta		14 (45,2)	
Sol ayakta		11 (35,5)	
Her iki ayakta		6 (19,4)	
Ön ayak		23 (74,2)	
Orta ayak		6 (19,4)	
Arka ayak		2 (6,5)	

BKİ: Beden Kütle İndeksi.

Tablo 2. Diyabetik ayak ülseri olan (DAÜ +) ve olmayan (DAÜ -) bireylerin statik plantar basınç dağılımı verileri ve gruplar arası karşılaştırılması.

		DAÜ -	DAÜ +	p
		X±SD	X±SD	
Bilateral Global				
Yüzey alanı (cm ²)		164,77±166,7	144,09±36,56	0,813
Maksimum basınç (gr/cm ²)		1416,01±503,44	1664,49±423,56	0,047*
Ortalama basınç (gr/cm ²)		578,53±163,12	660,62±111,52	0,036*
Ayakların açısı (°)		27,78±13,03	94,34±356,24	0,148
Center of Force (CoF) (°)		4,97±6,93	5,24±7,36	0,240
Ön Ayak				
Yüzey (cm ²)	Sol	29,93±11,24	29,86±12,94	0,733
	Sağ	39,37±15,18	37,81±11,84	0,752
Yük (kg)	Sol	15,75±4,79	16,47±6,8	0,393
	Sağ	22,85±6,33	24,89±6,73	0,470
Ağırlık oranı (%)	Sol	36,23±10,65	36,3±12,37	0,853
	Sağ	40,72±9,51	46,21±11,33	0,031*
Arka Ayak				
Yüzey (cm ²)	Sol	31,37±9,99	36,39±9,73	0,027*
	Sağ	40,55±11,81	40,03±11,3	0,666
Yük (kg)	Sol	28,3±8,38	28,91±8,93	0,511
	Sağ	32,88±7,17	29,73±9,82	0,063
Ağırlık oranı (%)	Sol	62,83±13,49	63,76±12,42	0,932
	Sağ	59,24±9,5	53,69±11,56	0,023*
Toplam				
Yüzey (cm ²)	Sol	70,64±65,69	66,25±20,29	0,265
	Sağ	79,93±26,29	77,84±21,22	0,802
Yük (kg)	Sol	33,16±9,76	42,1±13,26	0,001*
	Sağ	43,06±13,52	49,42±10,11	0,046*
Ayak açısı (°)	Sol	9,99±6,75	10,88±8,1	0,849
	Sağ	9,62±6,12	12,14±12,96	0,248
Ayak açısı eksenini (°)	Sol	12,89±8,68	14,72±6,81	0,213
	Sağ	12,84±6,67	15,12±7,19	0,139

*: p<0,05.

belirlenmiştir. Bununla birlikte statik, dinamik pedobarografik analizler ve bilgisayarlı podoscan analizlerinin sonuç ölçümlerinin bir kısmının orta düzeyde, bir kısmının da zayıf düzeyde korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen Tip 2 DM'li hastaların %39'unda DAÜ tespit edildi. DAÜ'nün erkeklerde, obezlerde (BKİ \geq 30 kg/cm²) ve ayakkabı numarası büyük olanlarda daha fazla olduğu görülmüştür. Aynı zamanda DAÜ'nün daha çok sağ ayakta (%45,2) ve ön ayakta (%74,2) lokalize olduğu tespit edilmiştir. 2022 yılında yayınlanan ve 250 DM'li hasta ile yapılan bir çalışmada, bizim sonuçlarımızla paralel olacak şekilde DM'li hastaların %36'sında DAÜ olduğu; DAÜ'nün erkeklerde

(%63,3) daha fazla görüldüğü, DAÜ olan hastaların %63,3'ünün fazla kilolu olduğu (BKİ \geq 25 kg/m²) tespit edilmiştir.²⁸

2013 yılında yayınlanan başka bir çalışmada DM'li hastalarda plantar basıncın arttığı ve bu artışın özellikle metatars başlarının altındaki (ön ayakta) ülserasyonlar ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.¹⁵ Çalışmamızda analiz edilen pedobarografik analiz ve podoscan sonuçlarına göre DM'li hastalarda DAÜ oluşumunu önlemek amacıyla klinikte özellikle dominant taraf alt ekstremitede ön ayağtaki basıncı arka ayağa aktarmaya ve genel olarak taban basıncını azaltmaya yönelik egzersiz, ortotik destek ve hasta bilgilendirmeyi içeren profilaktik tedavi yaklaşımlarının

Tablo 3. Diyabetik ayak ülseri olan (DAÜ +) ve olmayan (DAÜ -) bireylerin dinamik koşullarda elde edilen plantar basınç dağılımı verileri ve gruplar arası karşılaştırılması.

		DAÜ -	DAÜ +	p
		X±SD	X±SD	
Yüzey (cm ²)	Sol	1810,94±12126,45	60,92±23,82	0,908
	Sağ	1272,37±8373,22	59,44±25,05	0,280
Yük (kg)	Sol	51,36±13,58	55,13±14	0,163
	Sağ	50,4±9,17	49,02±7,36	0,476
Maksimum. basınç (gr/cm ²)	Sol	2599,56±1221,41	3032,94±1297,79	0,137
	Sağ	2403,4±989,69	3006,96±1557,89	0,041*
Ortalama basınç (g/cm ²)	Sol	1408,43±589,97	1687,2±715,79	0,062
	Sağ	1341,44±630,18	1796,49±915,63	0,003*
Hız (cm/s)	Sol	66,79±20,43	108,22±278,23	0,282
	Sağ	64,82±22,06	116,37±338,44	0,169
Adım uzunluğu (cm)	Sol	41,95±12,48	38,01±13,5	0,193
	Sağ	41,43±11,48	36,45±14,82	0,196
Kadans (adım/dk)	Sol	44,45±13,4	43,89±10,46	0,798
	Sağ	46,36±10,14	43,92±7,87	0,377
Adım genişliği (cm)	Sol	12,03±6,78	13,83±7,85	0,379
	Sağ	12,16±4,89	13,07±7,99	0,960
Ayak Açısı (°)	Sol	12,95±6,93	13,94±8,26	0,948
	Sağ	12,61±6,49	17,77±30,65	0,748
Ayak eksenini (°)	Sol	12,54±8,56	18,82±12,8	0,007*
	Sağ	14±8,69	23,41±17,54	0,004*
Ön ayak yüzey alanı (cm)	Sol	32,31±14,25	32,98±14,23	0,840
	Sağ	33,52±14,07	31,05±17,09	0,550
Arka ayak yüzey alanı (cm)	Sol	28,83±10,83	29,1±11,82	1,000
	Sağ	30,81±11,48	29,44±9,52	0,584
Yüzey oranı (%)	Sol	4,67±23,73	8,33±19,13	0,473
	Sağ	6,15±28,2	-1,03±28,95	0,740
Ön ayak yükü (kg)	Sol	48,94±14,16	50,13±14,34	0,984
	Sağ	62,38±93,09	45,85±18,06	0,699
Arka ayak yükü (kg)	Sol	47,22±13,59	46,75±14,01	0,948
	Sağ	47,81±12,92	49,89±17,62	0,956
Yük oranı (%)	Sol	-3,29±23,86	-4,03±25,07	0,703
	Sağ	1,35±26,57	-3,6±26,25	0,952

*: p<0,05.

planlanmasının faydalı olabileceğini görülmektedir. 2014 yılında ülkemizde 84 DM'li hasta ile yapılan bir pedobarografi çalışmasında arka ayak ortalama plantar basınç değerlerinin düşük olduğu ve sol ön ayakta plantar basıncın arttığı ifade edilmiştir.²⁹

2014 yılında yapılan bir çalışmada, pedobarografinin DAÜ risk değerlendirmesinde kullanılabilirliği incelenmiş; diyabetli, DAÜ'lü ve diyabetik nöropatili gruplar arasında dinamik plantar basınç parametrelerinde (ön ayak yükü, arka ayak yükü, yüzdelik değer) belirgin farklılıklar bulunmuştur. Bizim

çalışmamızda ise sağ ayağın maksimum ve ortalama plantar basıncının arttığı tespit edilirken, 2014 çalışmasında DAÜ'lü grupta ön ayak yükü ve yüzdelik değerlerin yüksekliği ülserasyon riskini artıran faktörler olarak saptanmıştır.³⁰ Stess vd. 97 hasta ile yaptıkları çalışmada diyabetik ayak ülserasyonu olan hastalarda yapılan dinamik ayak analizi sonuçlarına göre, basıncın en yüksek olduğu 4. ve 5. metatars başları altında önemli derecede artış olduğu bulunmuştur.³¹ Sawacha vd. 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada dinamik analiz sonuçlarına göre, ülser oluşumu için

Tablo 4. Diyabetik ayak ülseri olan (DAÜ +) ve olmayan (DAÜ -) bireylerin bilgisayarlı Podoskop/Podoscan verileri ve gruplar arası karşılaştırılması.

		DAÜ -	DAÜ +	p
		X±SD	X±SD	
Ayak uzunluğu (cm)	Sol	25,29±1,59	25,82±2,48	0,025*
	Sağ	25,17±1,73	24,45±5,3	0,598
Metatarsal genişlik (cm)	Sol	10,17±0,84	10,64±3,08	0,530
	Sağ	10,41±0,73	11,21±3,01	0,056
Orta ayak uzunluk (cm)	Sol	13,55±0,85	13,96±1,02	0,019*
	Sağ	13,48±0,91	13,48±1,17	0,609
Lateral genişlik (cm)	Sol	9,06±5,33	11,32±5,54	0,104
	Sağ	12,33±7,77	13,19±7,73	0,356
Topuk genişliği (cm)	Sol	7,01±0,71	7,87±2,02	0,013
	Sağ	6,85±0,55	7,62±2,69	0,009*
Topuk uzunluğu (cm)	Sol	6,95±0,44	7,32±6,95	0,007*
	Sağ	6,92±0,47	6,96±0,53	0,428
Topuk çevresi(cm)	Sol	11,05±0,98	11,45±1,32	0,028*
	Sağ	10,82±0,69	10,96±1	0,180
Ayakkabı numarası (punt)	Sol	40,01±2,07	40,37±5,76	0,022*
	Sağ	39,83±2,26	39,31±5,78	0,417
Ayak açısı (°)	Sol	11,87±4,79	11,38±7,06	0,314
	Sağ	14,1±3,47	15,01±6,61	0,657
Tarsal dış merkez (%)	Sol	35,83±1,8	36,13±5,08	0,228
	Sağ	35,04±1,24	34,51±4,14	0,983
Merkez (%)	Sol	40±0	40,07±0,25	0,029*
	Sağ	40±0	39,99±0,08	0,213
Subtalar ortalama açısı (°)	Sol	132,19±3,36	133,02±4,56	0,739
	Sağ	131,62±2,73	130,62±3,8	0,176
Subtalar lateral açısı (°)	Sol	127,71±3,41	128,29±4,55	0,598
	Sağ	127,27±2,82	126,12±3,74	0,530

* p<0,05.

daha kritik bölgeler olan orta ayak ve ön ayak için hemen hemen her parametrede önemli değişikliklerde ortaya çıktığı fark edilmiştir.³² Caselli vd. diyabetik ayak ülseri olan hastalarla yaptıkları çalışmada, dinamik pedobarografik ölçümlerde ön ayak ve arka ayak plantar basınçları ile ön ayak/arka ayak oranlarını değerlendirmiş ve önyak ile arka ayak plantar basınçlarında artış tespit etmişlerdir.²² Drerup vd. yaptığı çalışmada diyabetik hastalarda pedobarografik değerlendirme sonucunda artan hız ile birlikte özellikle topuk bölgesinde değerlerin %20 oranında arttığını, bununla birlikte orta ayak basıncında azalma olduğu belirlenmiştir.³³

Khachat vd. 2016 yılında 50 hasta ile yaptıkları çalışmada podoscan ile değerlendirilen 18 kişide topuk, 22 kişide 2. metatars başı, 11 kişide 2. ve 3. metatars başı, 2

kişide orta ayak ve 26 kişide topuk bölgelerinde lokalize basınç artışı bulunmuştur.³⁴ Çalışmamızdaki podoscan sonuçlarına göre, DAÜ olan olguların, ayak uzunluğu, orta ayak uzunluğu, ayakkabı numarası, topuk uzunluğu, topuk genişliği, topuk çevresi ve merkez verilerine ilişkin değerlerin, DAÜ olmayan olgulardan daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Diyabetik ayak ülserlerinin yönetiminde, maksimum basınç, ortalama basınç ve ayak eksenli açısı gibi plantar basınç parametrelerinin incelenmesi önemlidir. Çalışmamızda yüksek maksimum basınç bölgelerinin ülserasyon riskini artırdığı, dinamik analizlerin ise yara büyümesiyle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin erken tespiti ve yönetimi, DAÜ'nün önlenmesi ve tedavisinde etkili bir strateji sunmaktadır. Ayrıca, podoscan analizlerinde ayak uzunluğu,

yapısal risklerin belirlenmesinde faydalıdır.

Limitasyonlar

Çalışmamızın limitasyonu ise örnekleme polinöropati varlığının sistematik olarak araştırılmamış olmasıdır. Polinöropati, plantar basınç dağılımı ve diyabetik ayak ülseri gelişiminde etkili olabilecek kritik bir risk faktörüdür. Bu durum, plantar basınç dağılımı sonuçlarımızın polinöropatiye sahip hastalar için genelleştirilebilirliğini kısıtlayabilir. Polinöropati varlığına göre alt grupların ayrıntılı analizinin yapılması, diyabetik ayak ülseri risk faktörlerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Çalışmanın bir diğer limitasyonu ise, yara lokalizasyonu kayıt altına alınmış olmakla birlikte yara büyüklüğüne dair bir sınıflandırma bulunmamaktadır. Gelecek çalışmalarda, yara büyüklüğüne dair ayrıntılı bir sınıflandırma eklenmesi elde edilen verilerin daha kapsamlı analizine katkı sağlayacaktır.

Sonuç

Sonuç olarak, Tip 2 diyabetli bireylerde plantar ülser varlığı hem statik hem de dinamik plantar basınç dağılımı parametrelerinde anlamlı değişikliklere yol açmıştır. Özellikle sağ ön ayağa aktarılan basıncın artması, diyabetik ayak ülseri riskinin arttığını göstermektedir. Ayrıca, podoscan analizlerinde elde edilen ayak uzunluğu ve topuk genişliği gibi antropometrik parametreler, ülserasyon gelişme riskinin değerlendirilmesinde önemli veriler sunmaktadır. Bu bulgular, diyabetik ayak ülseri yönetiminde erken tespit ve müdahale stratejilerinin önemini vurgulamaktadır.

Teşekkür: Yazarlar, veri toplama anlamında çalışmamıza destek olan BİLİMOP Ortez Protez Uygulama Merkezi çalışanlarına teşekkür ederler.

Yazarların Katkı Beyanı: HK, ENT, OS, NB: Fikir ve kavramsal örgü, literatür tarama, veri toplama, verilerin analizi, bulgular, tartışma ve yorum.

Finansal Destek: Yok

Çıkar Çatışması: Yok

Etik Onay: Araştırmanın etik kurul izni Lokman Hekim Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 10/01/2023 tarih 2023/1 sayılı kararı ile alınmıştır.

KAYNAKLAR

1. Ibrahim A. IDF Clinical Practice Recommendation on the Diabetic Foot: A guide for healthcare professionals. *Diabetes Res Clin Pract.* 2017;127:285-287.
2. Satman İ, TURDEP-II Grubu. Türkiye Diyabet, Hipertansiyon, Obezite ve Endokrinolojik Hastalıklar Prevalans Çalışması (TURDEP-II) sonuçları. 2011.
3. NICE Recommends tighter blood sugar control in diabetes to reduce risk of complications. *BMJ.* 2015;351:h4905.
4. Kadanalı A, Saltoğlu N, Ak Ö, et al. Diyabetik ayak yarası ve infeksiyonunun tanısı, tedavisi, önlenmesi ve rehabilitasyonu: ulusal uzlaşma raporu, 2024. *Klimik Derg.* 2024;37:1-43
5. Boulton AJ, Vileikyte L, Ragnarson-Tennvall G, et al. The global burden of diabetic foot disease. *Lancet.* 2005;366:1719-1724.
6. Batın S, Gürbüz K, Ekinci Y, et al. Diyabetik Ayak enfeksiyonlarının tedavisine dair şehir hastanesi modelinde klinik sonuçlarımız: diyabetik yara servisinde multidisipliner yaklaşım. *J Anatolian Med Res.* 2020;5:5-10.
7. Ünver B, Bek N. Tabanlı kullanımının plantar temas alanları ve basınç dağılımına etkisi. *Türk J Physiother Rehabil.* 2014;25:1-7.
8. Fernando ME, Crowther RG, Pappas E, et al. Plantar pressure in diabetic peripheral neuropathy patients with active foot ulceration, previous ulceration and no history of ulceration: a meta-analysis of observational studies. *PLoS One.* 2014;9:e99050.
9. Lee G, Pollo FE. Technology overview: the gait analysis laboratory. *J Clin Eng.* 2001;26:129-135.
10. Pataky Z, Assal JP, Conne P, et al. Plantar pressure distribution in Type 2 diabetic patients without peripheral neuropathy and peripheral vascular disease. *Diabet Med.* 2005;22:762-767.
11. Gonzalez-Martin C, Pertega-Diaz S, Seoane-Pillado T, et al. Structural, dermal and ungual characteristics of the foot in patients with type II diabetes. *Medicina.* 2019;55:639.
12. Koyuncu M. Tip 1 diabetes mellitus tanılı çocuk ve ergenlerde, hastalığın ayak taban basınç değerleri üzerine etkisi. Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı. Uzmanlık tezi. Edirne; 2013.
13. Canter Hİ, Sönmez E, Kayıkçıoğlu A, et al. Diyabetik ayak ve cerrahi tedavisi. *Türk J Plast Surg.* 2015;11.
14. Özdemir Ü, Kurban B, Bayraktaroğlu T. Diabetes mellituslu hastalarda podolojik açıdan ayak değerlendirmesi. *Türkiye Diyabet ve Obezite Dergisi.* 2019;3:51-62.
15. Ledoux WR, Shofer JB, Cowley MS, et al.

- Diabetic foot ulcer incidence in relation to plantar pressure magnitude and measurement location. *J Diabetes Complications*. 2013;27:621-626.
16. Mueller MJ, Diamond JE, Delitto A, et al. Insensitivity, limited joint mobility, and plantar ulcers in patients with diabetes mellitus. *Phys Ther Rehabil*. 1989;69:453-459.
 17. Zimny S, Schatz H, Pfohl M. The role of limited joint mobility in diabetic patients with an at-risk foot. *Diabetes Care*. 2004;27:942-946.
 18. Lavery LA, Armstrong DG, Boulton AJ. Ankle equinus deformity and its relationship to high plantar pressure in a large population with diabetes mellitus. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2002;92:479-482.
 19. Yurt Y, Mihçioğlu S, Malkoç M, et al. Ayak bileği ekin deformitesi olan tip 2 diyabet hastalarında germe egzersizinin ayak taban basıncına akut etkisi. *Turk J Physiother Rehabil*. 2019;30:176-182.
 20. Fernando M, Crowther R, Lazzarini P, et al. Biomechanical characteristics of peripheral diabetic neuropathy: A systematic review and meta-analysis of findings from the gait cycle, muscle activity and dynamic barefoot plantar pressure. *Clin Biomech*. 2013;28:831-845.
 21. Sutkowska E, Sutkowski K, Sokolowski M, et al. Distribution of the highest plantar pressure regions in patients with diabetes and its association with peripheral neuropathy, gender, age, and BMI: one centre study. *J Diabetes Res*. 2019;2019:7395769.
 22. Caselli A, Pham H, Giurini JM, et al. The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. *Diabetes Care*. 2002;25:1066-1071.
 23. Bacarin TA, Sacco IC, Hennig EM. Plantar pressure distribution patterns during gait in diabetic neuropathy patients with a history of foot ulcers. *Clinics*. 2009;64:113-120.
 24. Talpos-Niculescu C, Kulcsar RM, Argesanu A, et al. Investigation of postural status using a podoscanalyzer. *Annals of DAAAM & Proceedings*. 2010;21:1-2.
 25. Çerezci S, Uzun A, Pekyavaş NÖ, et al. Plantar basınç dağılımı ile stabilite ve koordinasyon arasındaki ilişki: Milli Olimpik Yelken Takımı örneği. *Başkent Üniv Sağlık Bilim Fak Derg-BÜSBİD*. 2017;2:135-150.
 26. Şahan TY, Türker D, Söyler O. Comparison of plantar pressure distribution in underweight, normal, overweight, and obese adolescents: A cross-sectional study evaluation of plantar pressure in adolescents. *Prosthet Orthot Int*. 2023;47:101-106.
 27. Galvão LC, Kravuttschke RM, Gomes RZ, et al. Comparison of static podobarography between diabetic and non-diabetic neuropathy patients. *Res Soc Dev*. 2022;11:e228111436044.
 28. Yekta Z, Pourali R, Ghasemi-Rad M. Comparison of demographic and clinical characteristics influencing health-related quality of life in patients with diabetic foot ulcers and those without foot ulcers. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2011;4:393-399.
 29. Tuna H, Birtane M, Güldiken S, et al. The effect of disease duration on foot plantar pressure values in patients with type 2 diabetes mellitus. *Turk J Phys Med Rehab*. 2014;60:231-235.
 30. Fawzy OA, Arafa AI, Wakeel MAE, et al. Plantar pressure as a risk assessment tool for diabetic foot ulceration in Egyptian patients with diabetes. *Clin Med Insights Endocrinol Diabetes*. 2014;7:31-39.
 31. Stess RM, Jensen SR, Mirmiran R. The role of dynamic plantar pressures in diabetic foot ulcers. *Diabetes Care*. 1997;20:855-858.
 32. Sawacha Z, Guarneri G, Cristoferi G, et al. Integrated kinematics-kinetics-plantar pressure data analysis: A useful tool for characterizing diabetic foot biomechanics. *Gait Posture*. 2012;36:20-26.
 33. Drerup B, Hafkemeyer U, Möller M, et al. Effect of walking speed on pressure distribution of orthopedic shoe technology. *Orthopade*. 2001;30:169-175.
 34. Nait Khachat A, Amrani N, Meftah S, et al. Plantar hyperpressure and diabetic foot: Place of podoscopic assesment and preventive equipment. *Médecine des Maladies Métaboliques*. 2016;10:270-274.