



T.C.

AFYONKARAHİSAR SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ

TIP FAKÜLTESİ

**İLERİ EVRE OSTEOARTRİT NEDENLİ UYGULANAN PRİMER TOTAL DİZ
ARTROPLASTİSİ CERRAHİSİNİN PLANTAR BASINÇ ÜZERİNE ETKİSİNİN
AYAK TABAN ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

TIPTA UZMANLIK TEZİ

Arş. Gör. Dr. Oğuz ŞİMŞEK

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANA BİLİM DALI

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Recep ALTIN

AFYONKARAHİSAR 2025

T.C.

AFYONKARAHİSAR SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

İLERİ EVRE OSTEOARTRİT NEDENLİ UYGULANAN
PRİMER TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ CERRAHİSİNİN
PLANTAR BASINÇ ÜZERİNE ETKİSİNİN AYAK TABAN
ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Dr. Oğuz ŞİMŞEK

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Recep ALTIN

Bu çalışma; Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma
Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 24.TUS.011 kodlu proje ile
desteklenmiştir.

2025-AFYONKARAHİSAR

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Tezi Hazırlayanın

Adı Soyadı: Oğuz ŞİMŞEK

İmza:

Danışmanın

Ünvanı Adı Soyadı: Dr.Öğr.Üyesi Recep ALTIN

İmza:

KABUL VE ONAY

T.C.

AFYONKARAHİSAR SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Başlığı : İleri Evre Osteoartrit nedenli uygulanan Primer Total Diz Artroplastisi cerrahisinin Plantar Basınç üzerine etkisinin Ayak Taban Analizi ile değerlendirilmesi

Tezi Hazırlayan : Arş. Gör. Dr. Oğuz ŞİMŞEK

Tez Savunma Tarihi : 20.11.2025

Tez Kabul Tarihi : 20.11.2025

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Recep ALTIN

İş bu çalışma, jürimiz tarafından ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANA BİLİM DALI'nda TIPTA UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan

Prof. Dr. Özal ÖZCAN

Üye

Doç. Dr. Murat YEŞİL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Recep ALTIN

ONAY DEKAN

Prof. Dr. Necip BECİT

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimi sürecimde tecrübe ve bilgisinden yararlanmaktan onur duyduğum, aynı zamanda tez danışmanım olan Dr. Öğr. Üyesi Recep ALTIN'a; uzmanlık eğitimimde büyük emekleri olan, eğitim süresince bilgi ve deneyimlerini daima benimle paylaşan değerli hocalarım Prof. Dr. Özal ÖZCAN'a, Prof. Dr. Gökhan MARALCAN'a, Prof. Dr. Mehmet Nuri KONYA'ya, Doç. Dr. Murat YEŞİL'e ve Dr. Öğr. Üyesi Bilge Kağan YILMAZ'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma hayatımda bana her zaman destek olan uzman Dr. Mohammed Salah Ahmed Ali, Dr. Çağlar Tuna Issı, Dr. İbrahim Ethem Bütüner, Dr. Erdal Keskin, Dr. Sakhi Ahmad Fazlı, Dr. Serkan Savaş, Dr. Osman Emre Tosun, Dr. Halil Sami Postallı'ya; araştırma görevlisi arkadaşlarım, Dr. Mevlüt Özbahçe, Dr. Fatih Ay, Dr. Musa Can Çelikbaş, Dr. Osman Şan, Dr. Ramazan Kaplan, Dr. Yunus Candaş, Dr. Fatih Kan, Dr. Oğulcan Göz, Dr. Mehmet Batuhan Tunca, Dr. Fazlı Tosun, Dr. Serkan Özdemir, Dr. Muhammed Fatih Koşar, Dr. Alican Tuna, Dr. Enes Osman Deliktaş, Dr. Orkun Aşçı, Dr. Enes Tok, Dr. Tuğrul Akçeşme'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hastanemiz bünyesinde birlikte çalışma fırsatı bulduğum tüm doktor arkadaşlarıma; ameliyathane, poliklinik ve yataklı servisimizde çalışan tüm sağlık personeline teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu günlere gelmemde en büyük emek sahibi canım ailem; babam Bayram ŞİMŞEK'e, annem Fatma ŞİMŞEK'e, kardeşim Elif Vildan ŞİMŞEK'e; bu zor, yorucu ve stresli süreçte her zaman yanımda olan tüm dostlarıma teşekkürü borç bilirim.

Dr. Oğuz Şimşek

Afyonkarahisar, Kasım 2025

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

KABUL VE ONAY	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. DİZ ANATOMİSİ.....	3
2.1.1. Kemik Yapılar	3
2.1.2. Kemik Dışı – Eklem Dışı Yapılar.....	5
2.1.3. Dizin Kanlanması ve İnervasyonu.....	6
2.1.4. Diz Biyomekaniği.....	7
2.1.5. Ayak Tabanı Anatomisi.....	9
2.2. TOTAL DİZ PROTEZLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	10
2.2.1. Unikompartmantal Diz Protezleri.....	10
2.2.2. Bikompartmantal Diz Protezleri	10
2.2.3. Trikompartmantal Diz Protezleri.....	10
2.3. DİZ OSTEOARTRİTİ.....	11
2.3.1. Osteoartritte Klinik Bulgular ve Prezantasyon	12
2.3.2. Osteoartritte Sınıflama.....	12
2.3.3. Osteoartritte Etiyoloji ve Risk Faktörleri	12
2.3.4. Osteoartrit Tedavisi	13
2.4. TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ.....	14
2.4.1. Total Diz Artroplastisinin Etiyolojisi ve İnsidansı	14
2.4.2. Total Diz Artroplastisi Cerrahisi	14
2.4.3. Total Diz Artroplastisi Komplikasyonları	15
2.5. PLANTAR BASINÇ ANALİZİ (PEDOBAROGRAFİ)	17

2.6. TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ SONRASI ALT EKSTREMİTE YÜK DAĞILIMI	17
3. GEREÇ VE YÖNTEM	18
3.1. ÇALIŞMA GRUBUNUN OLUŞTURULMASI.....	18
3.2. VERİLERİN TOPLANMASI	20
3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	33
3.3.1. Örneklem Büyüklüğü ve Güç Analizi	34
3.3.2. Verilerin Analizi	35
4. BULGULAR.....	36
5. TARTIŞMA	48
6. SONUÇ	66
7. KAYNAKLAR	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

AÇB	: Arka Çapraz Bağ
AM	: Anteromedial
AP	: Antero-posterior
COP	: Basınç merkezi
HTO	: Yüksek Tibial Osteotomi
KA	: Kinematik Hizalama
LCL	: Lateral Kollateral Ligament
MA	: Mekanik Aks
MCL	: Medial Kollateral Ligament
NSAI	: Non-Steroidal Antiinflamatuar İlaçlar
OA	: Osteoartrit
ÖÇB	: Ön Çapraz Bağ
PL	: Posterolateral
PM	: Posteromedial
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PPI	: Proton Pompa İnhibitörü
PRP	: Platelet Zengin Plazma
VKİ	: Vücut Kitle İndeksi
VTE	: Venöz Tromboemboli
TDA	: Total Diz Artroplastisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No:

Şekil 1.	Diz Kemik Yapısı	3
Şekil 2.	Menisküs Üstten Görünüm	4
Şekil 3.	Ön ve Arka Çapraz Bağın Görünümü	5
Şekil 4.	Diz İç Ve Dış Yan Bağ Görünümü	6
Şekil 5.	Diz Eklemine Kanlanması ve İnervasyonu	7
Şekil 6.	Q Açısının Ölçümü	8
Şekil 7.	Plantar Arkus'u Oluşturan Bağlar	9
Şekil 8.	Preoperatif Q Açısı Ölçümü	21
Şekil 9.	Postoperatif Q açısı ölçümü.....	22
Şekil 10.	Preoperatif Mekanik Aks Ölçümü	22
Şekil 11.	Postoperatif Mekanik Aks Ölçümü	23
Şekil 12.	Preoperatif Fleksiyon Kontraktürü Değerlendirilmesi	24
Şekil 13.	Preoperatif Fleksiyon Kısıtlılığının Değerlendirilmesi	24
Şekil 14.	Uygun kemik kesileri sonrası diz eklemi fleksiyon görünümü	25
Şekil 15.	Uygun kemik kesileri sonrası diz eklemi ekstansiyon görünümü	25
Şekil 16.	Protez yerleştirilmesi sonrası diz eklemi fleksiyon görünümü.....	26
Şekil 17.	Protez yerleştirilmesi sonrası diz eklemi ekstansiyon görünümü.....	26
Şekil 18.	Protez yerleştirilmesi sonrası fleksiyon kısıtlılığı değerlendirilmesi.....	27
Şekil 19.	Protez yerleştirilmesi sonrası fleksiyon kontraktürü değerlendirilmesi ...	27
Şekil 20.	Postoperatif 1.ay kontrolünde fleksiyon kısıtlılığı muayenesi	28
Şekil 21.	Postoperatif 1.ay kontrolünde fleksiyon kontraktürü muayenesi	28
Şekil 22.	Statik Ayak Taban Analizi uygulama alanı	31
Şekil 23.	Statik Ayak Taban Analizi Uygulanması	32
Şekil 24.	Normal Plantar Basınç Noktaları.....	32
Şekil 25.	Statik Ayak Taban Analizi Ölçüm Formu	33

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No:

Tablo 1. Vücut Kitle İndeksi karşılaştırmaları	36
Tablo 2. Q açısı ölçümlerinin cinsiyete göre karşılaştırılması	38
Tablo 3. Aks değişkenlerinin preoperatif ve postoperatif karşılaştırması	39
Tablo 4. Non-operatif ayak basınç yüzdelerinin cinsiyete göre karşılaştırması	40
Tablo 5. Operatif ayak basınç yüzdelerinin cinsiyete göre karşılaştırılması	41
Tablo 6. MA değişimi ile plantar basınç parametreleri arasındaki korelasyonlar	43
Tablo 7. Hastaların sistemik hastalık (komorbidite) dağılımı	44
Tablo 8. Fleksiyon kontraktürü preoperatif ve postoperatif verileri	45

İLERİ EVRE OSTEOARTRİT NEDENLİ UYGULANAN PRİMER TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ CERRAHİSİNİN PLANTAR BASINÇ ÜZERİNE ETKİSİNİN AYAK TABAN ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Dr. Oğuz Şimşek

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı Tıpta Uzmanlık Tezi
Kasım 2025
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Recep Altın

ÖZET

Amaç: Bu prospektif çalışma, total diz artroplastisi (TDA) uygulanan hastalarda diz mekanik hizalanması ile statik plantar basınç dağılımı arasındaki ilişkiyi değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Metod: Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniğinde TDA yapılan 60 hastanın preoperatif ve postoperatif dönem verileri karşılaştırıldı. Demografik özellikler, vücut kitle indeksi (VKİ), Q açısı, mekanik aks (MA) değeri ve statik plantar basınç parametreleri incelendi. Veriler operatif ve non-operatif ayaklar için ayrı ayrı analiz edildi.

Bulgular: Çalışmada preoperatif VKİ erkeklerde $33,01 \pm 5,71$ kg/m², kadınlarda $33,22 \pm 5,32$ kg/m² olup postoperatif dönemde anlamlı fark saptanmadı ($p > 0,05$). Q açısı erkeklerde preoperatif $4,44 \pm 1,92^\circ$ iken postoperatif $6,99 \pm 2,10^\circ$ 'ye ($p = 0,006$); kadınlarda $1,93 \pm 3,91^\circ$ 'den $6,40 \pm 2,14^\circ$ 'ye yükseldi ($p < 0,001$). Mekanik aks değerleri her iki cinsiyette de anlamlı olarak düzeldi (kadın $p < 0,001$; erkek $p = 0,001$). Operatif ayakta plantar basınç parametrelerinde anlamlı fark bulunmazken, erkeklerde total basınçta sınırda azalma eğilimi izlendi. Non-operatif tarafta anlamlı değişiklik saptanmadı.

Sonuç: TDA sonrası diz hizalanmasında belirgin düzelme sağlanmasına karşın plantar basınç dağılımında tam simetri elde edilememiştir. Özellikle kadınlarda non-operatif ayakta görülen yük artışı, cerrahi sonrası alt ekstremité yük dağılımının dinamik adaptasyon sürecinin devam ettiğini göstermektedir. Bu bulgular, TDA sonrası rehabilitasyon programlarında plantar basınç analizlerinin ve denge egzersizlerinin dikkate alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ayak taban analizi, Diz osteoartriti, Mekanik aks, Total diz artroplastisi, Statik plantar basınç

**VALUATION OF THE EFFECT OF PRIMARY TOTAL KNEE
ARTHROPLASTY PERFORMED FOR ADVANCED-STAGE
OSTEOARTHRITIS ON PLANTAR PRESSURE USING PLANTAR PRESSURE
ANALYSIS**

Res. Asst. Dr. Oğuz Şimşek

**Afyonkarahisar Health Sciences University
Faculty of Medicine Department of Orthopedics and Traumatology Medical
Specialization Thesis**

November 2025

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Recep Altın

ABSTRACT

Object: This prospective study aimed to evaluate the relationship between knee mechanical alignment and static plantar pressure distribution in patients undergoing total knee arthroplasty (TKA).

Methods: A total of 60 patients who underwent TKA at the Department of Orthopedics and Traumatology, Afyonkarahisar Health Sciences University, were included. Preoperative and postoperative demographic data, body mass index (BMI), Q angle, mechanical axis (MA), and static plantar pressure parameters were analyzed separately for the operated and non-operated feet.

Results: The mean preoperative BMI was 33.01 ± 5.71 kg/m² in males and 33.22 ± 5.32 kg/m² in females, with no significant postoperative change ($p > 0.05$). Q angle increased significantly after surgery, from $4.44 \pm 1.92^\circ$ to $6.99 \pm 2.10^\circ$ in males ($p = 0.006$) and from $1.93 \pm 3.91^\circ$ to $6.40 \pm 2.14^\circ$ in females ($p < 0.001$). Mechanical axis values improved significantly in both sexes (female $p < 0.001$; male $p = 0.001$). While no significant change was observed in plantar pressure parameters of the operated foot, a borderline decrease in total pressure was noted among males. No significant change was detected on the non-operative side.

Conclusion: Despite the significant improvement in knee alignment following TKA, complete symmetry in plantar pressure distribution could not be achieved. The increased load observed on the non-operative foot, particularly in women, indicates that the dynamic adaptation process of lower limb load distribution continues after surgery. These findings highlight the necessity of incorporating plantar pressure analyses and balance exercises into post-TKA rehabilitation programs.

Keywords: Knee osteoarthritis, Mechanical axis, Plantar pressure analysis, Static plantar pressure, Total knee arthroplasty

1. GİRİŞ

Total diz artroplastisi (TDA), diz eklemine ait hastalıkların tedavisinde en sık başvuru ve etkinliği kanıtlanmış cerrahi yöntemlerden biridir. Özellikle osteoartrit (OA), romatoid artrit ve diğer dejeneratif eklem hastalıkları sonucunda gelişen ağrı ve fonksiyon kaybı bulunan bireylerde, bu operasyon yaşam kalitesini artırmada kritik bir rol üstlenmektedir. Bununla birlikte, TDA'nın ipsilateral ayak bileği üzerindeki etkileri ile bu bölgede ortaya çıkabilecek klinik ve radyolojik değişiklikler yeterince aydınlatılamamıştır.

Alt ekstremitte yüklenmesi kalça ekleminden başlayarak diz, ayak bileği ve ayak yapısına kadar devam eden bir zincir şeklindedir; bu nedenle alt ekstremitenin genel dizilimi, büyük ölçüde kemik yapılar ile kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin uyumuna bağlıdır (1,2).

Son yıllarda yapılan bazı çalışmalar, dizde gelişen varus deformitesinin ayak bileği ve subtalar eklemlerde kompensatuvar değişikliklere yol açarak bu eklemleri valgus yönünde kaydırıldığını ortaya koymuştur (3,4). Ayrıca, çeşitli araştırmacılar arka ayağın valgus pozisyonunun, TDA ile varus deformitesinin düzeltilmesinden sonra varus yönünde değiştiğini rapor etmiştir (5,6). Ancak, bu kaymanın hangi derecede gerçekleştiği ve nasıl bir biçim izlediği konusunda literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Mevcut literatürde, TDA sonrasında ortaya çıkan biyomekanik değişimlerin hangi anatomik bölgelerde en belirgin şekilde meydana geldiği ve bu değişimlerin özellikle varus diz deformitesinin düzeltilme derecesiyle nasıl bir ilişki gösterdiği tam olarak ortaya konulamamıştır. Varus deformitesinin cerrahi olarak düzeltilmesi, dizin koronal düzlemdeki mekanik aksını yeniden hizalamayı hedefler; ancak bu düzeltmenin alt ekstremitenin geri kalan kinematik zinciri üzerindeki etkileri yeterince açıklığa kavuşturulamamıştır.

Diz eklemine koronal diziliminde meydana gelen değişikliklerin alt ekstremitte boyunca uzanan mekanik yük hattına ve buna bağlı olarak plantar basınç dağılımına nasıl yansıdığının ayrıntılı biçimde anlaşılması, TDA sonrasında gelişebilecek

biyomekanik dengesizliklerin ve kompensatuvar yüklenmelerin öngörülmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu ilişkinin net olarak ortaya konulması, postoperatif dönemde görülebilecek komplikasyonların önlenmesine de katkı sağlayabilir.

Ayrıca bu tür analizler, alt ekstremitenin genel hizalanmasını belirleyen kinematik ve kinetik mekanizmaların daha iyi anlaşılmasına olanak tanıyarak, diz-ayak bileği-ayak kompleksinin bütüncül biyomekanik davranışını açıklamaya yardımcı olacaktır. Bu bağlamda, mevcut çalışmanın amacı; TDA uygulanan hastalarda plantar basınç dağılımını ve ayak taban analizini sistematik biçimde inceleyerek, literatürdeki mevcut bilgi eksikliğini gidermek, diz hizalanması ile ayak biyomekaniği arasındaki ilişkiyi daha net biçimde ortaya koymak ve bu doğrultuda gelecekte yapılacak araştırmalara sağlam bir bilimsel temel oluşturmaktır.

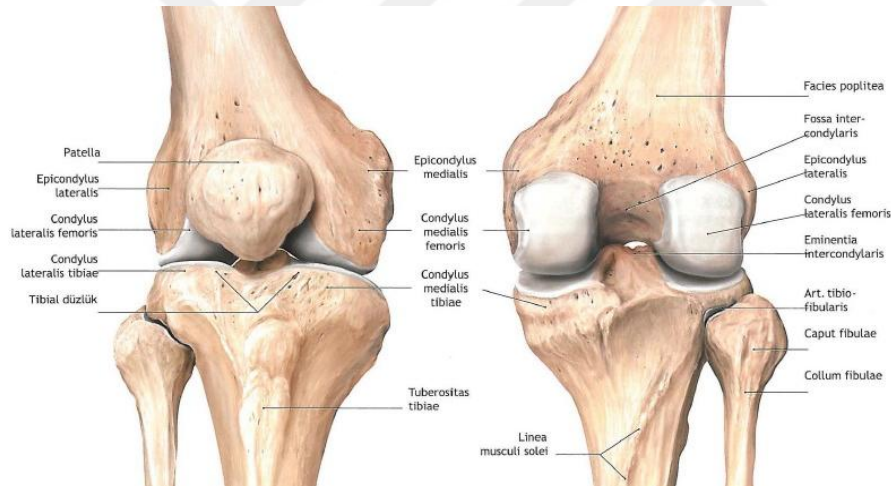
2. GENEL BİLGİLER

2.1. DİZ ANATOMİSİ

Diz eklemi, insan vücudunun en büyük eklemlerinden biridir menteşe tipi bir eklemdir. Fleksiyon sırasında sınırlı rotasyon, abduksiyon-adduksiyon ve femurun tibia üzerinde yuvarlanma hareketlerine de izin verir (7). Diz eklemi anatomisi üç ana başlık altında incelenebilir;

2.1.1. Kemik Yapılar

Diz ekleminde statik stabilite kemikler, menisküs, eklem kapsülü ve ligamentler ile sağlanırken; kaslar ve tendonlar eklem dinamik destek sağlar. Troklear oluktaki patella diz ekleminin fonksiyonelliği için temel bir yapıdır (8).



Şekil 1. Diz Kemik Yapısı (9)

Tibia platosunun arka kısmı yaklaşık 7°–10° arasında bir eğim göstermekte olup, bu özellik TDA sırasında gerçekleştirilen kesilerde dikkate alınmalıdır. Femur distal ucu ile tibia proksimalinin tam bir uyum sergilemediği görülmektedir. Medialde femur, tibia üzerinde daha düz bir yüzeyle temas eder; lateralde ise kubbe benzeri bir eklemleşme yapısı mevcuttur. Bu morfolojik farklılıklar, diz eklemi stabilitesinde özellikle ligamentler ve diğer yumuşak doku yapılarına olan gereksinimi artırmaktadır (7).

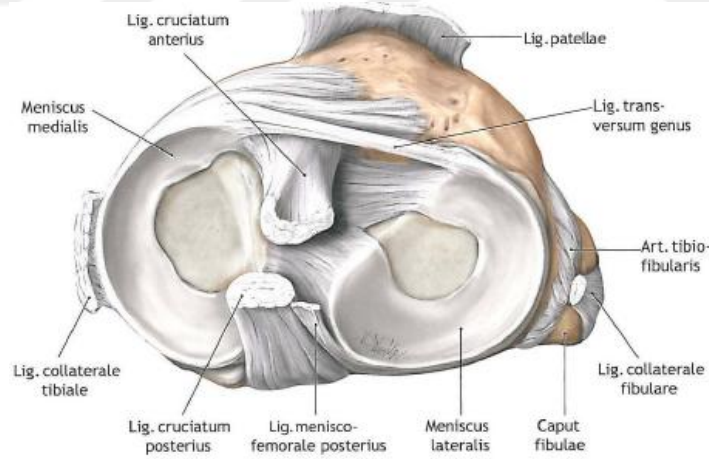
Patella, insan vücudundaki en büyük sesamoid kemik olup dizin ekstansör mekanizmasını güçlendirerek kaldıraç kolunun etkinliğini artırmaktadır. Femur ile

patella arasındaki eklem yüzeyi değerlendirildiğinde, temas alanının patellanın üçte birinden daha fazla olmadığı görülmektedir. En geniş temas yüzeyi ise diz yaklaşık 45° fleksiyon pozisyonundayken ortaya çıkmaktadır (7,8,10).

2.1.2. Kemik Dışı – Eklem İçi Yapılar

2.1.2.1. Menisküsler

Menisküsler, tibia platosunun çevresinin yaklaşık üçte ikisini kaplayan yarım ay biçiminde fibro-kıkırdak yapılardır. Medial menisküs, “C” şeklinde ve laterale göre daha geniştir. Lateral menisküs ise daha dairesel yapıda olup ön boynuzu interkondiler çentiğinin önünde tibianın medial yüzeyine, arka boynuzu ise çentiğinin arka kenarının medialine tutunur. Arka boynuz, Wrisberg ve Humphrey bağları aracılığıyla femura bağlanır (11) (Şekil 2). Lateral menisküs, medial menisküse göre daha küçük ama gövdesi geniştir; bu nedenle daha hareketlidir ve yaralanmalara daha az maruz kalır. Menisküslerin kanlanması, medial ve lateral genikulat arterler ile sağlanır. Bu damar ağı menisküslerin periferik dörtte birlik kısmını besler.



Şekil 2. Menisküs Üstten Görünüm (9)

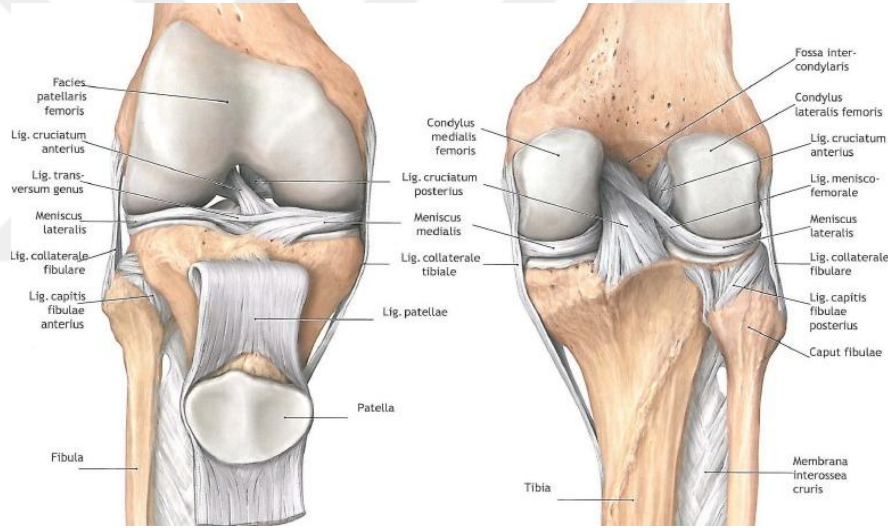
2.1.2.2. Ön Çapraz Bağ ve Arka Çapraz Bağ

Çapraz bağlar, tibia üzerindeki tutunma noktalarına göre adlandırılır. Ön çapraz bağ (ÖÇB), tibianın eminentia interkondilaris bölgesinin ön-dış kısmından başlayıp femurun lateral kondilinin arka-iç yüzeyine uzanır (12). ÖÇB, tibianın femur altında

öne kaymasını engelleyen temel yapıdır ve tibianın iç rotasyonunu sınırlayarak diz stabilitesine katkı sağlar (13).

Diz fleksiyonda iken ön çapraz bağın anteromedial (AM) ve posterolateral (PL) lifleri çapraz konumda, ekstansiyonda ise paralel uzanır. Ekstansiyon sırasında PL, fleksiyonda ise AM lifleri gerilerek eklem stabilitesini destekler.

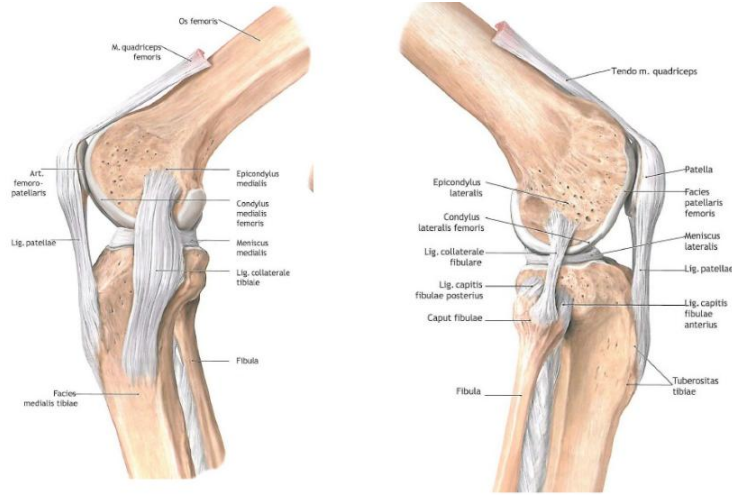
Arka çapraz bağ (AÇB), tibianın posterior yüzeyinden başlayarak femurun medial kondilinin lateral tarafına uzanır (Şekil 3). AÇB, ÖÇB'den yaklaşık iki kat daha güçlüdür. Posteromedial bandı hiperfleksiyonda tibianın femur altında arkaya kaymasını, anterolateral bandı ise orta fleksiyonda posterior translasyonu sınırlar. Ayrıca femoral roll-back mekanizmasında temel rolü üstlenir (14,15).



Şekil 3. Ön ve Arka Çapraz Bağın Görünümü (9)

2.1.2. Kemik Dışı – Eklem Dışı Yapılar

Diz ekleminin dış stabilitesi, eklem kapsülü ve yan bağlarla sağlanır. Ön yüzde quadriceps uzantılarıyla çevrili kapsül; kollateral bağlar, hamstringler, popliteus kası ve iliotibial bant tarafından desteklenir. Stabilitede medial ve lateral kompleksler rol oynar. Medial kompleks medial kollateral ligament (MCL), semimembranosus, pes anserinus tendonları ve oblik popliteal ligamenti; lateral kompleks ise iliotibial bant, lateral kollateral ligament (LCL), popliteus tendonu ve biceps femoris kasıdır (11) (Şekil 4).



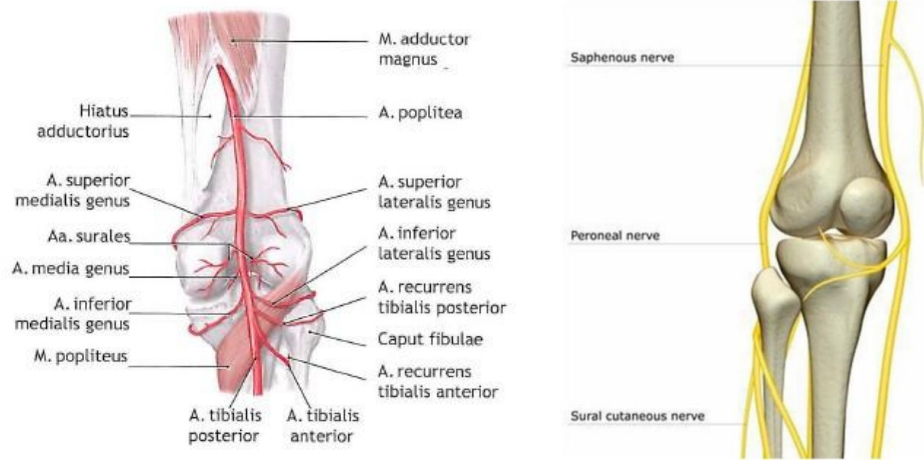
Şekil 4. Diz İç ve Dış Yan Bağ Görünümü (9)

PM bölge ve medial kapsüler yapılar dizin valgus ve rotasyonel stabilitesinde, LCL ise varus stresine karşı temel stabilizatör olarak görev yapar. Proksimalde lateral femoral kondile, distalde fibula başına tutunan LCL'nin direnci ekstansiyonda artar, fleksiyonda azalır. Bu yapılar diz stabilitesinin korunmasında kritik öneme sahiptir.

2.1.3. Dizin Kanlanması ve İnervasyonu

Diz eklemi kanlanması femoral arterden köken alan, superior, orta ve inferior geniküler arterlerin oluşturduğu anastomoz ağıyla sağlanır. Ayrıca inen geniküler arter, patellanın başlıca beslenme kaynağıdır (16,17) (Şekil 5).

Diz ekleminin ön yüzeyi; safen, rekürren peroneal ve ortak peroneal sinirler ile superior ve inferior geniküler sinirlerin medial ve lateral dalları, ayrıca vastus medialis, lateralis ve intermedius kas dallarıyla innerve edilir. Superomedial bölgeyi femoral sinirden ayrılan vastus medialis ve intermedius dalları ile tibial sinirin superior medial geniküler dalı, inferomedial bölgeyi ise tibial sinirin inferior medial geniküler dalı ve safen sinirin infrapatellar dalı uyarır (18).



Şekil 5. Diz Eklemine Kanlanması (9) ve İnnervasyonu (19)

Diz anterior bölgesi, femoral sinirden ayrılan vastus lateralis ve intermedius dalları ile ortak peroneal sinir ve superior lateral geniküler, inferior lateral geniküler ve rekürren peroneal sinirlerle innerve edilir. Posterior bölge, siyatik, tibial, ortak peroneal ve obturator sinirlerin posterior dallarıyla uyarılır (19).

2.1.4. Diz Biyomekaniği

Diz eklemi, kemiklerin yanı sıra bağlar, tendonlar, kaslar ve eklem kapsülünün uyumlu etkileşimiyle çok yönlü bir işlevsellik gösterir (20).

Vücut ağırlığının büyük kısmını taşır, fleksiyon-ekstansiyonun yanı sıra iç ve dış rotasyon hareketlerine de olanak tanır. Menteşe tipi yapısı; yuvarlanma, kayma ve dönme hareketlerine dayanır. Dönme, fleksiyon-ekstansiyon, rotasyon ve varus-valgus yönlerini kapsar. Ayrıca kompresyon, distraksiyon ve anterior-posterior ile medial-lateral translasyon hareketlerine izin verir. Bu altı hareketin birleşimi dizin çok yönlü işlevselliğini oluşturur (21).

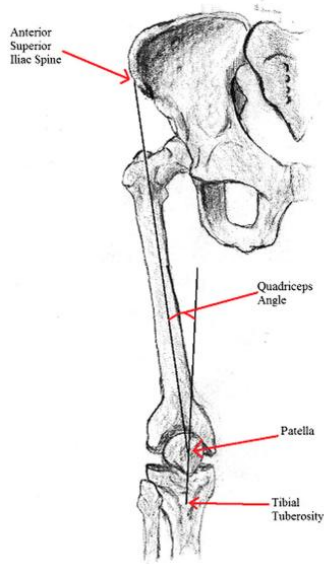
Sagittal düzlemde diz kinematiki esas olarak yuvarlanma ve kayma hareketlerinden oluşur. Crossed four-bar modeline göre santral pivot, ön ve arka çapraz bağlar ile meniskofemoral bağlardan oluşur (20). Bağlar dizde dişli bir mekanizma gibi çalışırken, menisküsler kapsüler yapılarla birlikte “genişletilmiş santral pivot” olarak çevresel fren sistemi görevi görür. Menisküsler kaldıraç kolu boyunca hareket ederek

rotasyonel stabiliteyi destekler. Kollateral bağlar varus-valgus hareketleri ile iç ve dış rotasyona karşı birincil pasif stabilizatörlerdir (22).

Fleksiyonun ilk 20 derecesinde hareket ağırlıklı olarak yuvarlanma, 30 dereceden sonra ise kayma şeklinde gerçekleşir. Lateral kondilin ön-arka çapı medialden daha kısa olduğundan, lateral plato daha belirgin posterior kayma gösterir ve bu da fleksiyon ilerledikçe tibianın iç rotasyonuna neden olur (23).

Menisküs kökleri proprioseptif duyuyu destekler; medial menisküsün arka boynuzu, posterior oblik ligament bağlantısı sayesinde ön çapraz bağa sekonder destek sağlar ve arka çapraz bağla paralel konumu stabiliteye katkı verir. Lateral menisküs daha hareketli olup popliteus kasının etkisiyle fleksiyonda posteriora çekilir. Tibianın dış rotasyonunda lateral menisküs öne, medial arkaya; iç rotasyonda ise ters yönde hareket eder (13).

Patella, kuadriseps tendonuna makara işlevi kazandırarak ekstansiyon kuvvetinin yönünü değiştirir. Bu mekanik etki, ekstansiyon arttıkça belirginleşir. Huberti ve Hayes, patellanın ekstansiyonun son 30 derecesinde kritik rol oynadığını bildirmiştir (22).



Şekil 6. Q Açısının Ölçümü (24)

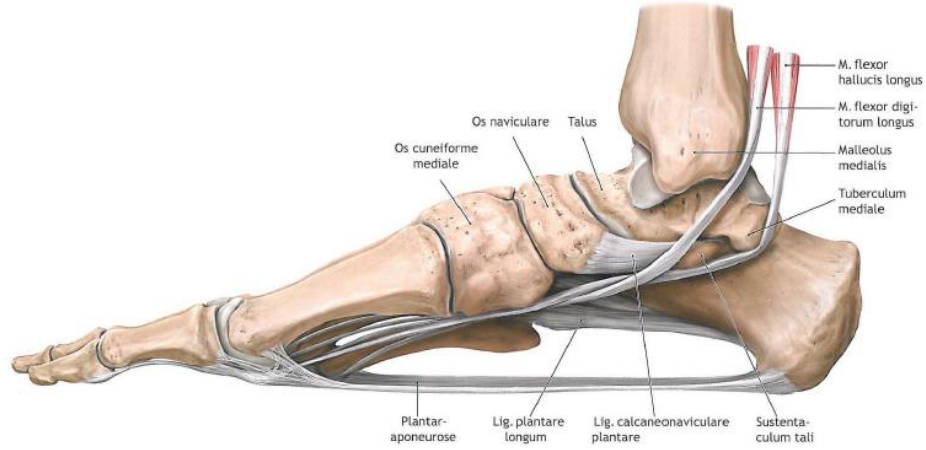
Q açısı, kuadriseps çekiş hattını gösterir ve ön superior iliak çıkıntı–patella merkezi ile patella merkezi–tibial tüberkül çizgileri arasındaki açıyla tanımlanır.

Normalde erkeklerde 10–13°, kadınlarda 15–17°'dir (Şekil 6). Bu açının artması, patella üzerinde aşırı lateral yönlü kuvvetlere neden olabilmektedir (25,26).

2.1.5. Ayak Tabanı Anatomisi

Ayak tabanı, alt ekstremitenin yük taşıma ve denge fonksiyonlarının merkezidir. Bu kompleks yapı; medial, lateral ve transvers arklar aracılığıyla vücut ağırlığının statik ve dinamik olarak dengeli dağılımını sağlar (27,28).

Plantar fasya, kalkaneustan parmaklara uzanan fibröz bir bant olup ayak arklarının korunmasında temel rol oynar (Şekil 7). Yürüme ve koşma sırasında plantar fasyanın gerilmesiyle oluşan “windlass mekanizması”, ayağın itme fazında rijitlik kazandırır. Basınç dağılımını düzenleyip enerji verimliliğini artırır (29,30).



Şekil 7. Plantar Arkus'u Oluşturan Bağlar (9)

Ayak tabanındaki intrinsik kaslar parmak hareketlerini kontrol ederken arkların devamlılığını sağlar; ekstrinsik kas tendonları ise plantar bölgeye etki ederek denge ve stabiliteyi artırır (31).

Klinik olarak, diz dizilimindeki değişiklikler plantar yük dağılımını doğrudan etkiler. TDA sonrası mekanik aksın yeniden düzenlenmesiyle özellikle medial ve lateral ark bölgelerindeki basınç paternleri değişir (32). Bu durum, plantar basınç analizinin TDA sonrası fonksiyonel değerlendirmede değerli bir yöntem olduğunu göstermektedir. Ayak tabanı anatomisi, statik destekten öte diz biyomekaniğiyle yakından ilişkilidir. Bu

nedenle plantar basınç dağılımının incelenmesi, TDA sonrası fonksiyonel sonuçların ve rehabilitasyon sürecinin değerlendirilmesine önemli katkı sağlar.

2.2. TOTAL DİZ PROTEZLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Uygulama alanına göre unikompartmantal, bikompartmantal ve trikompartmantal; tasarım özelliklerine göre sınırlandırılmamış, yarı sınırlandırılmış ve tam sınırlandırılmış; fiksasyon yöntemine göre ise sementli, sementsiz, poroz kaplı veya pres-fit tiplerine ayrılır (33).

2.2.1. Unikompartmantal Diz Protezleri

Yalnızca patolojik kompartman değiştirilir. Genellikle ileri yaşta tercih edilir (34). Altmış yaş altı hastalarda medial kompartman osteoartritinde genellikle HTO tercih edilir. Ancak lateral kompartman tutulumunda benzer başarı sağlanamadığından, bu olgularda da unikompartmantal diz protezi uygun bir tedavi seçeneği olarak değerlendirilmektedir (34,35). 90°'nin altında hareket açıklığı, belirgin fleksiyon kontraktürü, ön çapraz bağ yetersizliği, karşı kompartman veya patellofemoral osteoartriti ile geçirilmiş eklem enfeksiyonu da başlıca kontrendikasyonlardır (36).

2.2.2. Bikompartmantal Diz Protezleri

Patellar komponent içermez. Ancak patellofemoral eklemin eklem bütünlüğündeki rolü nedeniyle, bu protezler yerini her iki eklemi kapsayan trikompartmantal protezlere bırakmıştır (37).

2.2.3. Trikompartmantal Diz Protezleri

Günümüzde en sık kullanılan protez tipi trikompartmantal diz protezleridir. Bu alandaki en önemli gelişme, 1973'te Insall tarafından geliştirilen Total Kondiler Diz Protezi olup, modern TDA'nın temelini oluşturmuştur (37).

2.2.3.1. Tam Sınırlandırılmış Protezler

Bu protezler, fleksiyon ve ekstansiyona izin verirken abduksiyon, adduksiyon ve rotasyonu büyük ölçüde sınırlar. Bu protezler; instabil dizlerde, özellikle revizyon

cerrahilerinde tercih edilir. Üç tipi vardır: sabit akslı, rotasyona izin veren menteşeli ve menteşesiz tasarımlar. Sabit modeller rotasyonu tamamen engeller, rotasyona izin veren tipler ağır deformite ve ileri instabilite olgularında daha uygundur (38).

2.2.3.2. Yarı Sınırlandırılmış Protezler

Günümüzde diz protezlerinin çoğu yarı kısıtlayıcı gruptadır. Uygun protez seçimi ve dengeli yumuşak doku serbestleştirilmesiyle, ileri derecede fikse deformiteler dahi düzeltilebilir. Böylece eklem stabilitesi ve anatomik bütünlük sağlanır. Klinik olarak bu protezler, 45°'ye kadar fleksiyon kontraktürü ve 20–25° varus-valgus deformitelerinde etkili bir tedavi seçeneğidir (39).

Bu protezler, arka çapraz bağı koruyan, bağ kesen veya fonksiyonunun protezle taklit edilmesine göre üç alt gruba ayrılır. Bağ kesen modeller, yarı kısıtlayıcı grubun en sınırlayıcı tipidir. Bu protezlerde femoral rollback mekanizması, femoral komponentteki mil desteğiyle eklemleşen tibial çıkıntı sayesinde taklit edilerek hareket açıklığı artırılır ve kuadriseps kuvvet kolu güçlendirilir (40–42).

2.2.3.3. Sınırlandırılmamış Protezler

Stabiliteleri çevre yumuşak dokulara bağlı olduğundan, minimal deformitesi ve sağlam bağ yapısı olan olgularda tercih edilir. Asimetrik femoral ve tibial komponentler, vida-yuva mekanizması ve aktif rotasyonla doğal diz kinematiğine yaklaşılarak torsiyonel stresi azaltır. Mobil menisküs destekli tibial komponentler de bu grupta yer alır ve eklem uyumunu artırır (42). Menisküs işlevini üstlenen polietilen insert, femoral kondillerle uyum sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Böylece fleksiyon sırasında fizyolojik femoral rollback ve rotasyon hareketleri korunur. Bu biyomekanik avantajlar, sınırlandırılmamış protezlerin klinik tercihlerde öne çıkmasını sağlar (41,43).

2.3. DİZ OSTEOARTRİTİ

Osteoartrit (OA), inflamatuvar süreçlerden bağımsız olarak eklem yapılarının dejenerasyonu ve subkondral kemik yeniden şekillenmesiyle karakterize, ağrılı ve kronik bir eklem hastalığıdır. En yaygın dejeneratif eklem patolojisi olan OA, ağrı ve

fonksiyon kaybının başlıca nedenidir. Primer OA genellikle lomber omurga, kalça, diz ve el eklemlerinde görülür ve yaşam kalitesini belirgin biçimde düşürür (44).

OA, eklemin tüm bileşenlerini etkileyen kompleks bir hastalıktır. Kıkırdakta dejenerasyon, kemikte şekil bozukluğu ve çevre dokularda inflamasyon gelişir. Klinik genellikle yavaş seyirli olup, bazı olgularda hızla ilerleyebilir. OA sıklığı yaşla artar ve özellikle 50 yaş üstünde yaygındır; ancak travma öyküsü olan genç bireylerde de risk belirgin şekilde yüksektir (45).

2.3.1. Osteoartritte Klinik Bulgular ve Prezantasyon

OA, genellikle fiziksel aktiviteyle artan eklem ağrısı ile karakterizedir. İnaktivite sonrası gelişen ve genellikle 30 dakikadan kısa süren tutukluk tipiktir. Ayrıca hareket kısıtlılığı, kilitlenme ve instabilite görülebilir. Muayenede ağrı, krepitasyon, osteofit, şişlik, deformite ve hareket kısıtlılığı sık bulgulardır (46).

2.3.2. Osteoartritte Sınıflama

En sık kullanılan yöntem Kellgren–Lawrence sınıflamasıdır. Radyolojik bulgulara dayanır ve böylece şiddet ile ilerleyiş objektif olarak belirlenir (47). Kellgren–Lawrence sınıflamasına göre diz osteoartriti beş evrede değerlendirilir;

- Evre 0: Normal eklem görünümü, daralma veya reaktif değişiklik yoktur.
- Evre 1: Şüpheli eklem aralığı daralması ve olası osteofit oluşumu.
- Evre 2: Kesin osteofit varlığı ve olası eklem aralığı daralması.
- Evre 3: Belirgin osteofitler, eklem aralığı daralması ve subkondral skleroz.
- Evre 4: Geniş osteofitler, ileri düzey daralma ve belirgin subkondral skleroz ile karakterizedir.

2.3.3. Osteoartritte Etiyoloji ve Risk Faktörleri

Primer osteoartritin kesin nedeni bilinmemektedir. Sekonder osteoartrit ise genellikle travma, dizilim bozukluğu, septik artrit öyküsü, tekrarlayan hemartroz,

inflatuar eklem hastalıkları ve eklem aşırı yük bindiren mesleki aktivitelere bağlı gelişir. Primer osteoartritte en önemli risk faktörü yaştır. Özellikle 45 yaş üzerindeki bireylerde sıklığı artar, yaş ilerledikçe radyografi bulgular daha da belirginleşir (48).

OA, kadınlarda erkeklere göre daha sık görülür. Hastalık, cinsiyetin yanı sıra ırksal farklılıklar da gösterir. Ayrıca obezite ve periartiküler kas gücü azalması, osteoartritin gelişimi ve ilerlemesinde etkili risk faktörlerindendir (44).

2.3.3.1. Osteoartritte Diğer Risk Faktörleri

OA gelişiminde biyomekanik faktörler, tekrarlayan mekanik yüklenmeler, varus-valgus dizilim bozuklukları, bağ veya menisküs yaralanmaları, kıkırdak hasarı ve mikrotravmalar dejeneratif süreci hızlandırır (45,48,49). Metabolik faktörler arasında diyabet, hiperlipidemi ve metabolik sendrom da osteoartrit riskini artıran sistemik etkenlerdir (44).

2.3.4. Osteoartrit Tedavisi

2.3.4.1. Nonfarmakolojik Tedavi

OA tedavisinde hasta eğitimi ve yaşam tarzı değişiklikleri önemlidir. Düzenli egzersiz ve lokal kas güçlendirme çalışmaları, yaş veya hastalık evresinden bağımsız olarak ağrıyı azaltır ve fonksiyonel iyileşme sağlar (50). Obez bireylerde kilo verme, eklem yükünü düşürerek ağrıyı hafifletir ve fonksiyonel kapasiteyi artırır. Bu nedenle diyet ve yaşam tarzı düzenlemeleri, özellikle diz osteoartritte tedavi planının ayrılmaz parçasıdır (51). Fizik tedavi, ağrıyı azaltmak ve eklem fonksiyonlarını iyileştirmek için sıkça uygulanır. Mekanik instabilitesi olan hastalarda breys veya eklem destekleri, stabiliteyi artırarak ağrı kontrolü ve fonksiyonel iyileşmeye katkı sağlar (52).

2.3.4.2. Farmakolojik Tedavi

İlk basamak genellikle oral NSAİ ilaçlardır, gastrointestinal yan etkiler nedeniyle PPI ile birlikte kullanılmalıdır. Diz ve el osteoartritte topikal NSAİ'ler oral tedaviye alternatifken, kalçada etkileri sınırlıdır. Asetaminofen düşük etkinliği

nedeniyle kullanımı sınırlıdır. Opioidler tedavilerin yetersiz kaldığı, cerrahiye uygun olmayan ve şiddetli ağrısı olan hastalarda tercih edilmelidir (53).

İntraartiküler steroid enjeksiyonları, özellikle diz ve kalça osteoartritinde kısa süreli (4–8 hafta) ağrı kontrolü sağlar. Uzun dönemde eklemden bozulma riskini artırabileceği bildirilmiştir. Hyalüronik asit enjeksiyonları rutin önerilmemekle birlikte, diğer tedavilere yanıt vermeyen hastalarda alternatif olabilir. Platelet zengin plazma (PRP) uygulamalarıyla ilgili kanıtlar ise sınırlıdır (54,55).

2.3.4.3. Cerrahi Tedavi

Artroskopik girişimler, osteotomiler, mozaikoplasti ve osteokondral allogreftler erken evrelerde uygulanabilirken; ileri olgularda diz artroplastisi tercih edilir. Her cerrahi yöntem, uygun endikasyonda seçilerek yaşam kalitesini artırmayı amaçlar.

2.4. TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ

2.4.1. Total Diz Artroplastisinin Etyolojisi ve İnsidansı

OA insidansındaki artış; yaşlanma, obezite ve sedanter yaşam gibi proinflatuar faktörlerle ilişkilidir. Konservatif tedaviler arasında fizik tedavi, NSAİİ, intraartiküler steroid ve hyalüronik asit enjeksiyonları, PRP ve geniküler sinir blokajları yer alır. Ancak bu yöntemlerle sonuç alınamayan olgularda TDA en etkili tedavi seçeneğidir. Bu nedenle TDA uygulamaları dünya genelinde giderek artmaktadır (56).

ABD’de TDA insidansının 2012’ye kıyasla 2050’ye kadar %69 artması öngörülmektedir. Bu artış; yaşlanan nüfus, obezite prevalansındaki yükseliş ve sedanter yaşam tarzının osteoartrit sıklığını artırmasıyla ilişkilidir (57).

2.4.2. Total Diz Artroplastisi Cerrahisi

TDA, ilk kez 1968’de uygulanmış olup günümüzde oldukça başarılı bir tedavi yöntemi haline gelmiştir. TDA; femur, tibia ve patelladaki dejeneratif eklem yüzeylerinin osteotomi sonrası uygun protezlerle yeniden yapılandırılmasıdır. Cerrahi sırasında aşınmış kıkırdak ve ince kemik tabakası uzaklaştırılır; seçilen protez bileşenleri polimetilmetakrilat (PMMA) esaslı kemik çimentosu ile yüzeylere sabitlenir.

TDA'da en sık kullanılan ve standart kabul edilen yöntemler medial parapatellar artrotomi ve anteromedial yaklaşımdır. Uygulanan tekniğin seçimi, cerrahi sonrası iyileşme süreci ve hasta memnuniyetini doğrudan etkiler (58).

2.4.3. Total Diz Artroplastisi Komplikasyonları

TDA hastalarının çoğu ileri yaş grubunda olup, hipertansiyon, kalp yetmezliği ve KOAH gibi komorbiditeler sıktır. Bu durum cerrahiye bağlı mortalite ve morbiditeyi artırır. Erken postoperatif mortaliteyi Berstock ve ark. %0,2 olarak bildirmiştir. Literatürde revizyon TDA'larda mortalitenin primer olgulara göre daha yüksek olduğu, komorbidite sayısı ve bilateral cerrahilerin de ölüm riskini artırdığı belirtilmektedir (59).

TDA sonrası yara iyileşmesindeki gecikme enfeksiyon riskini artırır. Bu nedenle uygun insizyon seçimi, yumuşak doku korunması ve hasta risk faktörlerinin dikkatle değerlendirilmesi önemlidir. Postoperatif dönemde kesi hattının düzenli izlenmesi, komplikasyonların erken saptanmasını ve önlenmesini sağlar (60). Diz çevresindeki yumuşak dokuların ince olması, protezin dış ortamla temasını önlemenin önemini artırır. Seröz akıntı, hematoma ve yara kenarı nekrozu gibi komplikasyonlar %10–15 oranında görülür. Seröz akıntılar genellikle steril olsa da derin enfeksiyon gelişen olguların %20–50'sinde öyküde bu bulguya rastlanmıştır (61). Yüzeysel enfeksiyonlarda genellikle intravenöz ya da oral antibiyotik tedavisi yeterliyken, bazı olgularda daha ileri müdahaleler gerekebilir (62). Derin enfeksiyon ileri tedavi gerektirir. Diz çevresindeki yumuşak dokuların ince olması, enfeksiyonun proteze yayılımını kolaylaştırır. Yumuşak dokuların korunması, kanama kontrolü ve cilt kapatılmasının fleksiyonda yapılması önemlidir. Yüzeysel enfeksiyon geliştiğinde nekrotik dokuların temizlenmesi, hematoma drenajı ve uygun antibiyoterapi uygulanmalıdır (45). Tedavide ilk adım, eklem aspiratının analizidir. Erken dönemde kültüre uygun intravenöz antibiyotik ve debridman uygulamalarıyla yaklaşık %90 başarı sağlanabilir. Ancak geç dönemde genellikle protezin çıkarılması gerekir; protez korunarak antibiyotik tedavisi ve debridmanların başarı oranı yalnızca %10–20'dir (62).

Venöz tromboemboli (VTE), alt ekstremitte artroplastilerinde en sık görülen majör komplikasyonlardan biridir (41,42). İleri evre diz ve kalça eklem replasman cerrahileri, belirgin VTE riski taşır. Bu nedenle postoperatif dönemde profilaktik

antikoagulan tedavi zorunludur. Erken mobilizasyon ile anti embolik çorap veya elastik bandaj kullanımı profilaksinin etkinliğini artırır (63). Ameliyat sonrası sinir felci geliştiğinde, bandajın hemen gevşetilmesi ve dizin yaklaşık 20° fleksiyona alınması önerilir. Bu pozisyon sinir basısını azaltır. Üç ay içinde spontan iyileşme olmazsa, cerrahi sinir dekompresyonu değerlendirilmelidir (64).

TDA sırasında popliteal arter veya dallarının yaralanma riski yaklaşık %0,2'dir, çoğunlukla ekartasyon veya kemik kesileri sırasında meydana gelir. Popliteal arter hasarı ekstremité kaybına ve yaşamı tehdit eden komplikasyonlara yol açabilir (65).

Periprostetik kırıklar, protez çevresinde gelişen kırıklardır. İleri yaş, düşük kemik mineral yoğunluğu, uzun süreli steroid kullanımı ve romatoid artrit, bu kırıkların görülme riskini yaklaşık %37 artırır (66). Periprostetik kırıklar en sık femurun suprakondiler bölgesinde görülürken, tibia da görülme olasılığı oldukça düşüktür. Ayrıca anterior femoral korteksteki çentikleşme (notching), artrofibrozis, ipsilateral kalça protezi ve revizyon artroplastisi de kırık riskini artıran ek faktörlerdir (49).

Protez gevşemesi, TDA'nın en önemli komplikasyonlarından biridir ve en belirgin bulgusu ağrıdır. Komponent çevresinde 2 mm'den geniş radyolüsen alanlar veya mevcut çizgilerin progresyonu tanısız kabul edilir. Septik ya da aseptik kökenli olabilir; septik olgularda enfeksiyon bulguları, aseptik olgularda ise protezin kemiğe tutunmasının kaybı izlenir. Hatalı dizilim aseptik gevşeme riskini artırır. Bu komplikasyonun önlenmesinde yeterli spongiyöz kemik desteği, uygun çimentolama tekniği ve protezin doğru açılarla yerleştirilmesi kritik öneme sahiptir. (67).

Eklem instabilitesi, genellikle bağ dengesi sağlanamaması, bağ yaralanmaları, hatalı kemik kesileri veya protezin yanlış pozisyonu sonucu ortaya çıkar. TDA sonrası en az 90° fleksiyon hedeflenmelidir. Literatürde, preoperatif hareket açıklığının postoperatif sonuçların en güçlü belirleyicisi olduğu bildirilmektedir. Dennis ve ark., artroskopik incelemelerde eklemden kalan yumuşak doku ve menisküs artıklarının hareket kısıtlılığına yol açabileceğini göstermiştir (68).

2.5. PLANTAR BASINÇ ANALİZİ (PEDOBAROGRAFİ)

Ayak tabanındaki yük dağılımı; ayağın yapısı, postüral denge, kas kuvveti ve eklem dizilimine bağlı olarak değişir. Normalde yük, topuk, metatars başları ve parmaklar arasında dengeli dağılır. Ancak osteoartrit, pes planus, pes kavus gibi deformiteler veya TDA sonrası bu denge bozulabilir (69).

Plantar basınç ölçümünde pedobarografik sistemler kullanılır. Basınç sensörleriyle donatılmış tabanlıklar veya platformlar aracılığıyla yapılan bu ölçümler; maksimum ve ortalama basınç, temas alanı, yük dağılım yüzdesi ve basınç merkezi hareketi gibi parametreleri değerlendirir (70). Statik analizde birey sabit dururken ayak tabanına dağılan yük ölçülürken, dinamik analizde yürüyüş veya koşu sırasındaki yük dağılımı kaydedilir. Statik analiz alt ekstremité dizilim bozukluklarının, dinamik analiz ise yürüyüş biyomekaniğinin değerlendirilmesinde önem taşır (71). Plantar basınç analizi, diz eklemi cerrahisi sonrası alt ekstremité biyomekaniğini değerlendirmede de değerli bir yöntemdir.

2.6. TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ SONRASI ALT EKSTREMİTE YÜK DAĞILIMI

TDA sonrası diz ekleminde yapılan yapısal değişiklikler, alt ekstremité biyomekaniğini önemli ölçüde etkiler. Özellikle koronal ve sagittal düzlemdeki yeniden hizalanma, yük aktarımını doğrudan değiştirir (72).

TDA sonrasında yük dağılımındaki değişim yalnızca diz eklemiyle sınırlı kalmaz; ayak, ayak bileği ve plantar yüzey de bu süreçten etkilenir. Cerrahiyle mekanik aksın düzeltilmesi, özellikle varus veya valgus deformitelerinin giderilmesi, plantar basınç dağılımında yeniden düzenlenmeye neden olur (73). Bu değişim, ayağın medial veya lateral bölgelerine binen yükün farklılaşmasına, basınç merkezinin yer değiştirmesine ve bazı hastalarda yeni semptomların ortaya çıkmasına yol açabilir (74).

Literatürde medial kompartman osteoartritine bağlı varus deformitesi bulunan hastalarda, cerrahi sonrasında yükün medialden laterale kaydığı ve buna bağlı olarak plantar basınç dağılımında denge eğiliminin geliştiği gösterilmiştir (75,76).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu prospektif çalışma, TDA sonrası statik ayak tabanı basınç dağılımındaki değişiklikleri incelemek ve cerrahi müdahalenin plantar yük aktarımı üzerindeki etkilerini objektif olarak değerlendirmek amacıyla planlanmıştır. Çalışma, alt ekstremité biyomekaniğinde TDA'nın neden olduğu olası değişiklikleri anlamaya ve bu değişikliklerin klinik sonuçlara yansımalarını ortaya koymaya yönelik olarak tasarlanmıştır. Etik onay, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakóltesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından 01.11.2024 tarih ve 2024/9 sayılı karar ile alınmıştır. Araştırma, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakóltesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı bünyesinde yürütölen rutin klinik takiplerin bir parçası olarak gerçekleştirilmiş olup, tüm hastaların değerlendirmeleri standart klinik protokoller çerçevesinde yapılmıştır. Ayrıca çalışma süresince elde edilen veriler gizlilik ilkelerine uygun biçimde kaydedilmiş ve yalnızca bilimsel amaçla kullanılmıştır.

3.1. ÇALIŞMA GRUBUNUN OLUŞTURULMASI

Araştırmaya, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakóltesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı'nda, 01.11.2024 – 01.08.2025 tarihleri arasında ileri evre gonartroz tanısı konularak primer TDA uygulanan hastalar dahil edilmiştir. Çalışmaya alınacak olgular, operasyon öncesinde detaylı klinik muayene ve radyolojik değerlendirmeler sonucunda endikasyonu net olarak belirlenmiş bireyler arasından seçilmiştir. Katılımcıların seçiminde gönüllölük esas alınmış olup, tüm hastalara araştırmanın amacı, yöntemi, potansiyel yararları ve olası riskleri hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bilgilendirilmiş onam formu, her hastaya yüz yüze görüşme yoluyla açıklanmış ve yazılı onamları alınmıştır. Ayrıca, çalışmaya dahil edilen hastalardan elde edilen tüm verilerin gizliliğı korunmuş, kişisel bilgiler anonim hale getirilerek yalnızca bilimsel analiz amacıyla kullanılmıştır.

Dâhil edilme kriterleri;

- 50–80 yaş aralığında olmak,
- Primer veya sekonder gonartroz tanısı ile TDA uygulanmış olmak,
- Preoperatif ve postoperatif dönemde (1. ay) statik ayak taban analizi yapılmasına onam vermek
- Poliklinik kontrollerine düzenli olarak katılmak.

Dışlama kriterleri;

- 50 yaşın altında veya 80 yaşın üzerinde olmak,
- Aynı dizde daha önce diz artroplastisi öyküsü bulunması,
- Aynı ekstremitede kırık, belirgin deformite ya da ileri düzey nörolojik veya musküler hastalık varlığı,
- Nöropati ya da plantar basıncı etkileyebilecek sistemik hastalıkların mevcut olması
- Preoperatif ve postoperatif dönemde (1. ay) statik ayak taban analizi yapılmasına onam vermemek
- Planlanan tarihte poliklinik kontrollerine gelmemek.

Belirlenen dâhil edilme kriterlerini karşılayan ve bilgilendirilmiş gönüllü onam formunu imzalayan toplam 60 hasta (60 diz) çalışma grubuna dâhil edilmiştir. Bu katılımcılar, cerrahi öncesi ve sonrası değerlendirmeleri eksiksiz tamamlanan, takip sürecinde düzenli kontrollerine devam eden olgulardan oluşmaktadır.

Örneklem büyüklüğü, çalışmanın istatistiksel gücünü sağlamak amacıyla önceden yapılan güç analizi doğrultusunda belirlenmiş olup, 60 olgu sayısının elde edilen verilerin istatistiksel açıdan anlamlı ve güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayacağı öngörülmüştür. Böylece hem klinik hem de pedobarografik analiz sonuçlarının karşılaştırmalı olarak yorumlanabilmesi için yeterli veri seti oluşturulmuştur. Ayrıca tüm ölçümler aynı merkezde, aynı cihaz ve standart protokoller kullanılarak gerçekleştirilmiş, böylece metodolojik tutarlılık korunmuştur.

3.2. VERİLERİN TOPLANMASI

TDA uygulanan hastalarda rutin klinik takip protokolü kapsamında preoperatif ve postoperatif dönemlerde diz eklemine değerlendirmeye yönelik radyografik incelemeler yapılmaktadır. Bu kapsamda tüm hastalardan ameliyat öncesi ve sonrası dönemde dizin AP, lateral ve alt ekstremitte telemetrik grafipleri alınmıştır. Bu radyolojik değerlendirmeler hem eklem aralıklarının korunma durumunu hem de mekanik aksın doğruluğunu objektif biçimde ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır.

Çalışmamızda bu rutin görüntüleme protokolüne ek olarak, operasyon yapılan tarafın preoperatif dönemde ve postoperatif 1. ayda statik ayak tabanı basınç analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçümler aynı cihaz, aynı zemin koşulları ve standardize edilmiş hasta pozisyonları altında yapılmıştır. Böylece TDA sonrası alt ekstremitte biyomekaniğinde meydana gelen yük aktarım değişiklikleri nicel verilerle değerlendirilmiş, plantar basınç dağılımındaki olası yeniden organizasyon objektif olarak izlenebilmiştir.

Çalışmaya dâhil edilen tüm hastaların preoperatif ve postoperatif dönemlerine ait radyografik verileri ile statik ayak tabanı analiz sonuçları ayrıntılı olarak kaydedilmiştir. Tüm ölçümler standardize edilmiş çekim protokolleri ve sabit pozisyonlama koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen görüntüler dijital arşiv sistemine aktarılmış ve ölçümler kalibre edilmiş dijital ölçüm yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Radyografik incelemelerde değerlendirilen parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Kellgren–Lawrence skoru: Osteoartritin radyolojik evresinin belirlenmesi için kullanılmıştır.
- Varus/valgus dizilimi: Alt ekstremitenin koronal düzlemdeki mekanik aks uyumunu değerlendirmek amacıyla ölçülmüştür.
- Preoperatif Q açısı: Kuadriseps kasının çekiş hattının patellanın konumu üzerindeki etkisini göstermek için kaydedilmiştir.
- Preoperatif mekanik aks açısı: Cerrahi öncesi deformite tipinin ve derecesinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

- Postoperatif Q açısı: Cerrahi sonrası patellofemoral dizilimin yeniden değerlendirilmesi için ölçülmüştür.
- Postoperatif mekanik aks açısı: TDA sonrası mekanik aks restorasyonunun başarısını objektif olarak belirlemek amacıyla analiz edilmiştir.

Bu parametrelerin karşılaştırılması, cerrahi sonrası elde edilen dizilimin fonksiyonel sonuçlarla ilişkilendirilmesine ve plantar basınç değişikliklerinin mekanik aks düzeltimi ile korelasyonunun incelenmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 8. Preoperatif Q Açısı Ölçümü



Şekil 9. Postoperatif Q açısı ölçümü



Şekil 10. Preoperatif Mekanik Aks Ölçümü



Şekil 11. Postoperatif Mekanik Aks Ölçümü

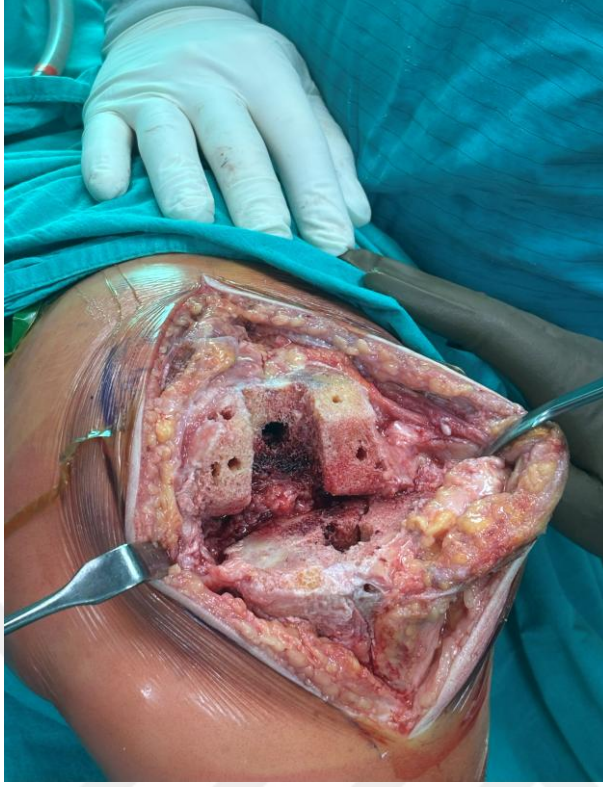
Ayrıca, tüm hastalarda preoperatif ve postoperatif dönemlerde diz eklem hareket açıklığı klinik olarak değerlendirilmiştir. Hastalar, supin pozisyonunda iken yapılan fizik muayene sırasında, özellikle fleksiyon kontraktürü varlığı açısından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ameliyat öncesinde, hastalar anestezi altındayken pasif hareket açıklığı değerlendirilmiş ve olası fleksiyon kontraktürü derecesi kaydedilmiştir. Aynı değerlendirme, postoperatif 1. ayda yapılan poliklinik kontrollerinde de tekrarlanarak cerrahi sonrasında eklem hareket açıklığında meydana gelen değişiklikler objektif biçimde karşılaştırılmıştır.



Şekil 12. Preoperatif Fleksiyon Kontraktürü Değerlendirilmesi



Şekil 13. Preoperatif Fleksiyon Kısıtlılığının Değerlendirilmesi



Şekil 14. Uygun kemik kesileri sonrası diz eklemi fleksiyon görünümü



Şekil 15. Uygun kemik kesileri sonrası diz eklemi ekstansiyon görünümü



Şekil 16. Protez yerleştirilmesi sonrası diz eklemleri fleksiyon görünümü



Şekil 17. Protez yerleştirilmesi sonrası diz eklemleri ekstansiyon görünümü



Şekil 18. Protez yerleştirilmesi sonrası fleksiyon kısıtlılığı değerlendirilmesi



Şekil 19. Protez yerleştirilmesi sonrası fleksiyon kontraktürü değerlendirilmesi



Şekil 20. Postoperatif 1.ay kontrolünde fleksiyon kısıtlılığı muayenesi



Şekil 21. Postoperatif 1.ay kontrolünde fleksiyon kontraktürü muayenesi

Fleksiyon kontraktürünün varlığı veya yokluğu değerlendirilirken 5°'in üzerindeki kontraktürler klinik olarak anlamlı kabul edilmiştir. Bu ölçümler, ameliyatın eklem yumuşak doku dengesine ve hareket kapasitesine olan etkisini ortaya koymak amacıyla analiz edilmiş ve sonuçlar plantar basınç verileriyle korelasyonlu biçimde değerlendirilmiştir.

Çalışmaya dâhil edilen tüm hastalara preoperatif ve postoperatif dönemlerde statik ayak tabanı analizi uygulanmıştır. Ölçümler, aynı pedobarografik sistem olan Gait Scan AS-120 kullanılarak, sert zemin koşullarında, çıplak ayakla ve standart ayakta duruş pozisyonunda gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan bakışlarını karşıya sabitleyip ellerini gövde boyunca serbest bırakmaları istenmiş; böylece postüral dengeye bağlı değişkenlikler en aza indirilmiştir.

Cihaz, 120×40 cm ölçülerinde, matrix sensör teknolojisine sahip olup 6864 sensör içermektedir ve 8 mm mekânsal çözünürlük ile 12 bit veri kalitesi sunmaktadır. Ölçümler, 100 Hz örnekleme hızında kaydedilmiş, her hastadan üç tekrar ölçüm alınmış ve bu ölçümlerin ortalaması istatistiksel değerlendirmede kullanılmıştır. Cihaz, 0.5–100 psi (yaklaşık 3.4–689 kPa) aralığında basınç ölçümü yapabilmektedir. Elde edilen veriler yazılım aracılığıyla 10 anatomik bölgeye (5 metatars, topuk medial-lateral, orta ayak medial-lateral ve parmaklar) ayrılarak analiz edilmiştir. Tüm plantar basınç verileri Excel formatında dışa aktarılmış ve istatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

Elde edilen plantar basınç parametreleri, yalnızca cerrahi uygulanan taraf için değil, aynı zamanda kontralateral (ameliyat edilmeyen) alt ekstremitayla de karşılaştırılmıştır. Böylece TDA'nın plantar yük dağılımı, alt ekstremiteler arası yük paylaşımı ve basınç simetrisi üzerindeki etkileri objektif biçimde ortaya konmuştur.

Analizler, cihazın bilgisayar destekli yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş olup aşağıdaki parametreler değerlendirilmiştir:

1. Ön–arka yük dağılımı (%): Ayağın ön (metatarsal) ve arka (kalkaneal) bölgelerine aktarılan yük oranını göstermektedir.
2. Sağ–sol yük dağılımı (%): Her iki alt ekstremitte arasındaki yük paylaşımını ortaya koymaktadır.
3. Toplam temas alanı (cm²): Zemine temas eden plantar yüzeyin büyüklüğünü ifade etmektedir.
4. Maksimum basınç (kPa): Ayak tabanında ölçülen en yüksek noktasal basınç değeridir.
5. Ortalama basınç (kPa): Ayağın genel yük dağılımını temsil eden ortalama basınç değeridir.
6. Basınç merkezi (Center of Pressure (COP)): Ağırlık merkezinin konumunu gösteren ve yük aktarımının mekânsal dağılımını tanımlayan koordinat noktasıdır.

Bu parametreler, TDA sonrası alt ekstremitte biyomekaniğinde meydana gelen değişikliklerin nicel ve karşılaştırmalı biçimde incelenmesine olanak sağlamıştır.

Elde edilen tüm veriler, her ölçüm sonrası dijital ortamda hasta kimlik bilgileriyle eşleştirilerek düzenli biçimde kaydedilmiş ve analiz sürecinde standardizasyonun sağlanması amacıyla aynı araştırmacı tarafından kontrol edilmiştir.

Preoperatif ve postoperatif ölçümler arasındaki farklar karşılaştırmalı olarak incelenmiş; böylece TDA'nın plantar yük dağılımı, temas alanı, basınç merkezi ve yük paylaşımı üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Ayrıca, ameliyat sonrası dönemde elde edilen parametrelerin preoperatif verilerle korelasyonu analiz edilerek, cerrahiyle sağlanan mekanik aks restorasyonunun alt ekstremitte biyomekaniğine yansması objektif biçimde ortaya konmuştur.

Tüm ölçümler non-invaziv yöntemlerle gerçekleştirilmiş olup, hiçbir hastaya rutin klinik uygulamaların dışında ek bir girişim yapılmamıştır. Böylece çalışma, hasta konforu ve güvenliği ön planda tutularak, klinik takip sürecinin doğal akışı içinde

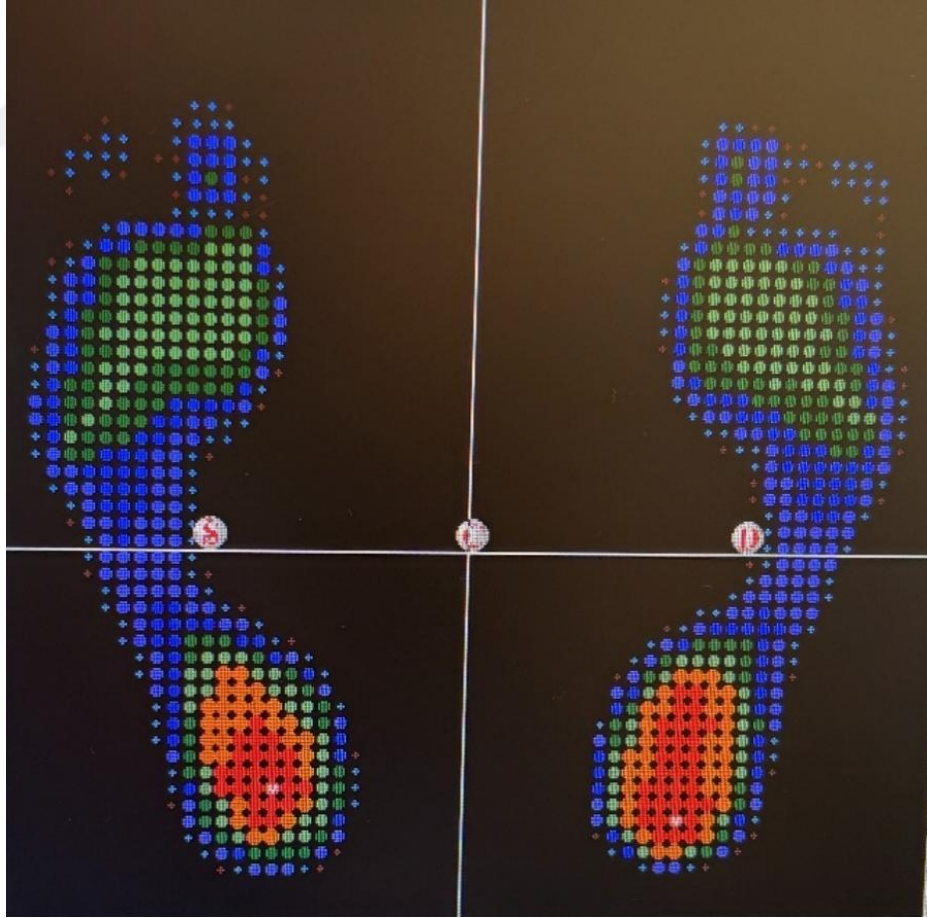
yürütölmüştür. Ölçüm protokolü, olası yorgunluk veya adaptasyon etkilerini azaltmak için dinlenme aralıkları içerecek şekilde planlanmış; tüm değeriendirmeler aynı ekipman, aynı ortam koşulları ve aynı araştırma ekibi tarafından tekrarlanabilirlik ilkesine uygun biçimde yapılmıştır.



Şekil 22. Statik Ayak Taban Analizi uygulama alanı



Şekil 23. Statik Ayak Taban Analizi Uygulanması



Şekil 24. Normal Plantar Basınç Noktaları

Static Examination Report

First Name: XX

Last Name: XX

Phone:

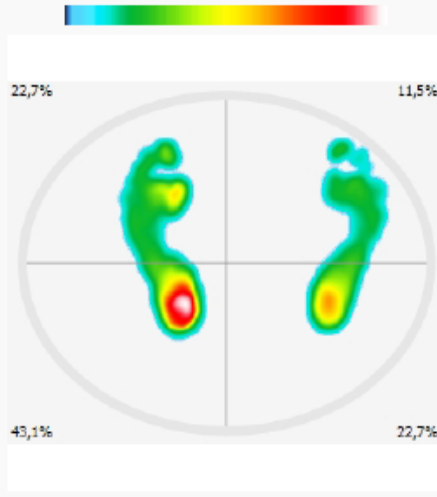
Shoe Size: XX

Weight: XX

Gender: XX

Age: XX

Pressure Percentage

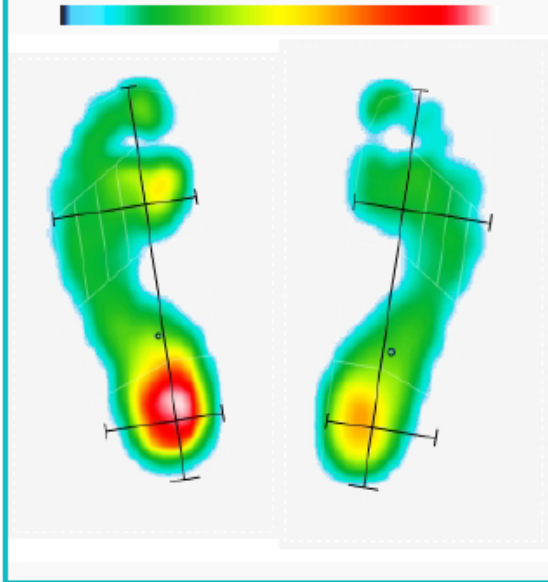


LEFT		RIGHT
65,52%	Pressure %	34,48%
22,65%	ForeFoot %	11,54%
43,12%	RearFoot %	22,68%
130,34	Surface (CM2)	105,94
0,42	Total Avg	0,27
0,23	ForeFoot Avg	0,15
0,74	RearFoot Avg	0,48

Body Mass Index

BMI :	36,72	Obesity
Note : BMI = W(KG) / (H(M) * H(M))		

Foot Dimensions



LEFT		RIGHT
249,0mm	Foot Length	240,4mm
91,3mm	Foot Width	83,0mm
74,7mm	Heel Width	66,4mm

Foot Type

Flat Foot		Flat Foot
Note: Foot Type calculation in Static Examination is just a rough estimation of real foot type. for more accurate result please use dynamic examination.		

Şekil 25. Statik Ayak Taban Analizi Ölçüm Formu

3.3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Çalışmada elde edilen sürekli değişkenler ortalama $\pm$ standart sapma ve ortanca değerleriyle tanımlanmıştır. Tanımlayıcı istatistikler oluşturulurken, verilerin dağılım özellikleri göz önünde bulundurulmuş ve olası uç değerlerin analiz sonuçlarını etkilememesi amacıyla veri seti dikkatle gözden geçirilmiştir. Verilerin normal dağılıma uygunluğu, örneklem büyüklüğü ve değişken türleri dikkate alınarak Shapiro–Wilk testi ile değerlendirilmiştir. Normal dağılım gösteren değişkenlerin analizinde parametrik

testler, normal dağılım göstermeyenlerin değerlendirilmesinde ise non-parametrik testler kullanılmıştır.

3.3.1. Örneklem Büyüklüğü ve Güç Analizi

Çalışmanın örneklem büyüklüğü, araştırmanın istatistiksel olarak yeterli güce ulaşmasını sağlamak amacıyla G*Power 3.1 (77,78) yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Güç analizi, *a priori* (önceden belirlenmiş) yöntemle yapılmış olup, bu yaklaşım istatistiksel testlerin uygulanmasından önce örneklem büyüklüğünün belirlenmesine olanak tanır. Analizde, parametrik olmayan testler arasında yer alan Wilcoxon işaretli sıralar testi (tek örneklem durumu) dikkate alınmıştır. Bu test, normal dağılım varsayımı tam olarak karşılanmadığında veya örneklem büyüklüğünün nispeten sınırlı olduğu durumlarda tercih edilen, güçlü ve yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Analizde α hata olasılığı (Type I error) 0,05, test gücü ($1-\beta$; Power) 0,90, etki büyüklüğü (Cohen's d) ise 0,40 olarak belirlenmiştir. Cohen tarafından tanımlanan bu etki büyüklüğü, ortalama farkın standart sapmaya oranı olarak hesaplanmakta ve orta düzeyde bir etkiyi temsil etmektedir (79). Literatürde, klinik ortopedik araştırmalarda fonksiyonel ve biyomekanik değişkenler için orta düzeyde etki büyüklüklerinin klinik olarak anlamlı kabul edildiği bildirilmektedir (80). Bu nedenle çalışmada $d=0,40$ değeri, klinik olarak anlamlı ve beklenen değişimi temsil edecek düzeyde bir büyüklük olarak tercih edilmiştir.

Yapılan analiz sonucunda, testin noncentrality parametresi (δ) 2,97; kritik t değeri 1,67 ve serbestlik derecesi (df) 54,39 olarak hesaplanmıştır. Bu parametrelerle elde edilen toplam minimum örneklem büyüklüğü 58 birey olup, çalışmanın istatistiksel gücünün %90,2 (Power=0,902) düzeyinde olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, çalışmanın öngörülen etki büyüklüğünü yakalamak için yeterli istatistiksel güce sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, güç analizi bulguları doğrultusunda toplamda en az 58 olgu gerektiğinden örneklem büyüklüğünü artırarak 60 hasta çalışmaya dahil edilmiştir. Bu örneklem büyüklüğü, araştırmanın ana hipotezlerini test edebilmek ve istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmak için yeterli gücü sağlayacak şekilde planlanmıştır.

3.3.2. Verilerin Analizi

Gruplar arası karşılaştırmalarda (örneğin cinsiyet farklılıkları veya cerrahi taraf ile karşı taraf arasındaki plantar basınç parametreleri) normal dağılım gösteren veriler için Bağımsız Örneklem t-testi, normal dağılım göstermeyen değişkenler için ise Mann–Whitney U testi uygulanmıştır. Grup içi karşılaştırmalarda (örneğin preoperatif–postoperatif ölçümler arasında) normal dağılım gösteren değişkenlerde Eşleştirilmiş Örneklem t-testi, normal dağılım göstermeyenlerde ise Wilcoxon İşaretli Sıralar testi kullanılmıştır.

Ayrıca, gruplar arası varyans farklılıklarını değerlendirmek amacıyla Levene testi uygulanmış, varyansların eşit olmadığı durumlarda ise Welch düzeltmesi yapılmıştır. Kategorik değişkenlerin karşılaştırılmasında Ki-kare testi kullanılmıştır. Gerektiğinde, düşük frekanslı hücrelerde Fisher’in Kesin Testi tercih edilerek istatistiksel güvenilirlik sağlanmıştır.

Tüm istatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bulgular, yalnızca istatistiksel anlamlılık temelinde değil, aynı zamanda klinik anlamlılık açısından da değerlendirilmiştir. Böylece verilerin sayısal sonuçları, klinik pratikteki karşılıklarıyla birlikte yorumlanmıştır. Tüm analizler, IBM SPSS Statistics 30.0 paket programı kullanılarak yürütülmüş ve verilerin güvenilirliği çoklu kontrol aşamalarıyla doğrulanmıştır.

4. BULGULAR

Bu bölümde, TDA uygulanan olguların preoperatif ve postoperatif dönemlerine ait klinik ve biyomekanik parametrelerin istatistiksel analiz sonuçları sunulmuştur. Bulgular demografik verilerden başlayarak, vücut kitle indeksi (VKİ), eklem açısı parametreleri ve yük dağılımı analizlerine kadar sistematik biçimde değerlendirilmiştir.

Çalışmaya dahil edilen toplam 60 hastanın yaş ortalaması $67,8 \pm 7,3$ yıl olup, katılımcıların %68,3'ü kadın, %31,7'si erkektir.

VKİ değerleri incelendiğinde hem erkek hem de kadın hastalarda preoperatif ve postoperatif dönemler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır. Cinsiyetler arası VKİ farkı açısından da preoperatif ve postoperatif dönemlerde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Cerrahi öncesi ve sonrası dönemlerde kilo değişimleri minimal düzeyde olup, operasyonun vücut ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi saptanmamıştır. Ameliyat sonrası erken dönemde diyet veya fiziksel aktivite değişikliklerinin VKİ değerlerine anlamlı bir yansıması bulunmamıştır. Elde edilen veriler, TDA uygulanan olgularda postoperatif erken dönemde kilo parametrelerinde anlamlı bir değişim saptanmadığını göstermiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Vücut Kitle İndeksi karşılaştırmaları

VKİ (kg/m ²)	Erkek (Ort $\pm$ SS)	Kadın (Ort $\pm$ SS)	p
Preop	33,01 $\pm$ 5,71	33,22 $\pm$ 5,32	0,891
Postop	32,79 $\pm$ 5,29	33,03 $\pm$ 4,92	0,869
P (pre–post)	0,165	0,323	—

Q açısı ölçümleri incelendiğinde hem erkek hem de kadın hastalarda postoperatif dönemde preoperatif değerlere göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış saptanmıştır. Bu artış, TDA uygulanan tüm olgularda belirgin olup, her iki cinsiyet grubunda da istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmıştır.

Preoperatif dönemde erkek hastalarda ortalama Q açısı $4,44 \pm 1,92^\circ$, kadın hastalarda $1,93 \pm 3,91^\circ$ olarak ölçülmüştür. Postoperatif ölçümler sonrasında erkeklerde ortalama değer $6,99 \pm 2,10^\circ$, kadınlarda ise $6,40 \pm 2,14^\circ$ olarak belirlenmiştir. Erkek hastalarda preoperatif ve postoperatif Q açıları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p = 0,006$). Kadın hastalarda da benzer şekilde anlamlı bir artış saptanmıştır ($p < 0,001$).

Cinsiyetler arası karşılaştırmalarda, preoperatif dönemde Q açısı açısından sınırdaki istatistiksel anlamlılık gözlenmiştir ($p = 0,059$). Ancak postoperatif dönemde cinsiyetler arasındaki fark ortadan kalkmış ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p = 0,512$). Bu bulgu, postoperatif ölçümlerde erkek ve kadın hastaların Q açısı değerlerinin birbirine yakın seyrettiğini göstermektedir.

Elde edilen ölçümler değerlendirildiğinde, her iki cinsiyet grubunda da preoperatif döneme göre Q açısında artış gözlenmiş, bu artışın her iki grup için de anlamlı olduğu belirlenmiştir. Postoperatif dönemde ölçülen Q açısı değerlerinin ortalamalarının yakın düzeyde seyretmesi, cinsiyet temelli farkın cerrahi sonrasında azaldığını ortaya koymuştur.

Çalışma grubundaki tüm olgular birlikte değerlendirildiğinde, TDA sonrasında ortalama Q açısında artış olduğu, bu artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde gerçekleştiği belirlenmiştir. Analiz sonuçları, erkek ve kadın hastalarda benzer yönde değişim olduğunu ve cinsiyet faktörünün postoperatif ölçümlerde anlamlı bir farklılık oluşturmadığını ortaya koymuştur (Tablo-2).

Tablo 2. Q açısı ölçümlerinin cinsiyete göre karşılaştırılması

Ölçüm (°)	Erkek (Ort ± SS)	Kadın (Ort ± SS)	p
Preop Q açısı	4,44 ± 1,92	1,93 ± 3,91	0,059
Postop Q açısı	6,99 ± 2,10	6,40 ± 2,14	0,512
p	0,006*	<0,001*	—

Preoperatif dönemde ortalama mekanik aks açısı $7,35 \pm 4,39^\circ$ varus yönünde ölçülmüştür. Postoperatif dönemde bu değer $0 \pm 4,39^\circ$ valgus yönüne düzelmiş olup, bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Elde edilen veriler doğrultusunda ortalama toplam aksal düzelme miktarı $7,35^\circ \pm 4,39^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, cerrahi uygulama sonrasında frontal düzlemde belirgin bir mekanik aks düzeltmesi sağlandığını göstermektedir.

Aks düzelmesi ile Q açısındaki değişim arasındaki ilişki incelendiğinde, pozitif yönlü istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon saptanmıştır ($r = 0,43$; $p = 0,018$). Bu sonuç, mekanik aks düzeltmesi ile Q açısı artışı arasında paralel bir değişim olduğunu ortaya koymaktadır.

Postoperatif dönemde fleksiyon kontraktürü açısında da artış izlenmiştir. Ortalama fleksiyon kontraktürü artış miktarı $5,3^\circ$ olarak hesaplanmış ve bu değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0,001$). Preoperatif varus deformitesi bulunan olgularda aksal düzelmenin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu belirlenmiştir ($p = 0,034$). Buna karşın, preoperatif valgus deformitesi olan olgularda postoperatif değişim istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p > 0,05$).

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, TDA sonrasında mekanik aks hizalanmasında belirgin bir düzelme olduğu, bu düzelmenin fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış ile birlikte seyrettiği belirlenmiştir. Ayrıca, aks düzelmesi ile Q açısındaki artış arasında anlamlı bir korelasyonun mevcut olduğu tespit edilmiştir (Tablo-3).

Tablo 3. Aks değişkenlerinin preoperatif ve postoperatif karşılaştırması

Ölçüm (°)	Preop Ort ± SS	Postop Ort ± SS	p
Mekanik aks	7,35 ± 4,39 (varus)	0 ± 4,39 (valgus)	<0,001*
Fleksiyon kontraktürü	—	Ort 5,3° artış	<0,001*
Q açısı	2,18 ± 1,9	6,73 ± 2,1	0,018*

Preoperatif ve postoperatif plantar basınç analizleri karşılaştırıldığında, operatif ve non-operatif ayaklar arasında toplam basınç, ön ayak ve arka ayak yüklenme oranları açısından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Elde edilen bu sonuçlara göre, TDA uygulanan olgularda erken postoperatif dönemde plantar basınç dağılımı genel olarak preoperatif değerlere benzer şekilde seyretmiştir.

Cinsiyet değişkenine göre yapılan analizlerde, non-operatif ayakta toplam basınç değerlerinde kadın hastalarda ve erkek hastalarda preoperatif ve postoperatif dönemler arasında toplam basınç değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). Arka ayak ortalama basınç değerleri ve ön ayak basınç yüzdeleri incelendiğinde, cinsiyetler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Bu veriler doğrultusunda, postoperatif dönemde arka ayak ve ön ayak yüklenme yüzdelerinin her iki cinsiyette de benzer düzeyde kaldığı belirlenmiştir.

Operatif ayak analizleri değerlendirildiğinde, toplam basınç, ön ayak ve arka ayak yüklenme oranları bakımından hem cinsiyetler arası hem de zaman içi karşılaştırmalarda istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Bu sonuçlar ile, operasyonun uygulandığı tarafta plantar basınç dağılımının postoperatif dönemde preoperatif değerlere benzer şekilde korunduğu bulunmuştur. Toplam yük aktarımı, ön ayak ve arka ayak basınç oranları açısından operasyon öncesi ve sonrası ölçümler arasında anlamlı bir değişiklik kaydedilmemiştir.

Non-operatif ayak değerlendirmelerinde, preoperatif döneme kıyasla postoperatif dönemde toplam basınç değerlerinde kadın ve erkek grubunda istatistiksel olarak bir değişim gözlenmemiştir. Ön ayak ve arka ayak basınç yüzdelerinde de her iki cinsiyet grubunda da postoperatif dönemde anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$).

Operatif ve non-operatif ayaklar birlikte değerlendirildiğinde, genel plantar basınç paterninin TDA sonrasında büyük ölçüde korunduğu belirlenmiştir. Her iki ayakta da toplam, ön ayak ve arka ayak basınç oranlarının benzer seyir göstermesi, erken postoperatif dönemde yük aktarımının dengeli şekilde sürdüğünü göstermektedir. (Tablo-4, Tablo-5).

Tablo 4. Non-operatif ayak basınç yüzdelerinin cinsiyete göre karşılaştırması

Parametre		Erkek	Kadın	p
Total (%)	Preop	51,93 ± 10,19	55,63 ± 10,32	0,283
	Postop	53,26 ± 8,41	57,00 ± 9,93	0,472
	p	0,368	0,142	—
Ön Ayak (%)	Preop	22,90 ± 6,36	23,70 ± 5,46	0,629
	Postop	23,82 ± 5,80	24,15 ± 5,41	0,649
	p	0,523	0,834	—
Arka Ayak (%)	Preop	29,07 ± 8,21	32,14 ± 8,29	0,204
	Postop	29,54 ± 9,16	32,54 ± 8,39	0,756
	p	0,835	0,229	—

Tablo 5. Operatif ayak basınç yüzdelerinin cinsiyete göre karşılaştırılması

Parametre		Erkek	Kadın	p
Total (%)	Preop	48,07 ± 10,19	44,37 ± 10,32	0,283
	Postop	46,74 ± 8,41	43,72 ± 10,15	0,778
	p	0,368	0,268	—
Ön Ayak (%)	Preop	22,71 ± 5,56	19,73 ± 5,62	0,068
	Postop	22,38 ± 4,78	19,25 ± 6,74	0,675
	p	0,844	0,086	—
Arka Ayak (%)	Preop	25,25 ± 7,94	24,50 ± 6,81	0,715
	Postop	24,27 ± 8,16	24,34 ± 7,01	0,708
	p	0,435	0,954	—

Çalışmaya dahil edilen toplam 60 olgunun 58'i primer TDA uygulanan hastalardan, 2'si ise daha önce HTO öyküsüne sahip olgulardan oluşmuştur. HTO olgu sayısının sınırlı olması nedeniyle bu grup için istatistiksel karşılaştırma yapılmamıştır.

Gözlemsel değerlendirmelerde, primer TDA uygulanan olgularda mekanik aks ve Q açısı düzelmelerinin HTO öyküsü bulunan olgulara göre daha belirgin olduğu izlenmiştir. HTO grubunda önceden uygulanmış osteotominin neden olduğu geometrik değişiklikler ve kortikal adaptasyonların, aksal düzeltmenin kısmen sınırlı kalmasına yol açtığı gözlenmiştir. Fleksiyon kontraktürü değişimi açısından yapılan incelemelerde, her iki grupta da benzer bir seyir izlenmiş ve eklem hareket açıklığındaki artışın önceki cerrahi öyküden bağımsız olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. Plantar basınç parametreleri değerlendirildiğinde, primer TDA ve HTO öyküsü bulunan olgular arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Her iki grupta da yük transfer yüzdelerindeki değişim benzer şekilde seyretmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda, TDA sonrasında mekanik aks hizalanması ve Q açısı parametrelerinde iyileşme eğilimi gözlenmiş; buna karşın fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış saptanmıştır. Plantar basınç dağılımı açısından ise gruplar arasında anlamlı bir farklılık belirlenmemiştir.

Mekanik aks değişimi (Δ AKS) ile plantar basınç parametreleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, pozitif yönde ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan korelasyonlar saptanmıştır ($p>0,05$). Elde edilen bulgulara göre, TDA sonrasında mekanik aks düzeltmesi ile plantar basınç değerleri arasında doğrudan anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Analiz sonuçlarında Δ AKS ile Δ total basınç ortalaması arasında zayıf pozitif bir korelasyon belirlenmiştir ($r = 0,191$; $p = 0,144$). Δ AKS ile Δ total basınç yüzdesi arasındaki ilişki de benzer şekilde zayıf pozitif yönde olup, istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşmamıştır ($r = 0,201$; $p = 0,123$). Bu iki parametre arasındaki korelasyon katsayılarının düşük olması, mekanik aks değişimi ile toplam plantar yük aktarımı arasındaki ilişkinin sınırlı düzeyde olduğunu göstermektedir.

Diğer parametrelerde, yani Δ AKS ile Δ n basınç ortalaması, Δ arka basınç ortalaması, Δ n basınç yüzdesi ve Δ arka basınç yüzdesi arasındaki ilişkiler incelendiğinde, korelasyon değerlerinin oldukça düşük olduğu saptanmıştır. Δ AKS ile Δ n basınç ortalaması arasındaki korelasyon $r = 0,018$ ($p = 0,892$), Δ AKS ile Δ arka basınç ortalaması arasındaki korelasyon $r = 0,030$ ($p = 0,817$), Δ AKS ile Δ n basınç yüzdesi arasındaki korelasyon $r = 0,138$ ($p = 0,294$) ve Δ AKS ile Δ arka basınç yüzdesi arasındaki korelasyon $r = 0,138$ ($p = 0,294$) olarak hesaplanmıştır.

Tüm bu parametreler birlikte değerlendirildiğinde, mekanik aks değişimi ile plantar basınç parametreleri arasındaki ilişkilerin genel olarak pozitif yönde, ancak zayıf düzeyde olduğu belirlenmiştir. Korelasyon katsayılarının düşük olması, aksal düzeltme miktarının plantar basınç değerlerindeki değişimi istatistiksel olarak anlamlı biçimde etkilemediğini ortaya koymuştur.

Verilerin genel dağılımı, TDA sonrasında mekanik eksen düzelmesi ile plantar yük aktarımı arasında erken postoperatif dönemde güçlü bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. Bulgulara göre, mekanik aks parametresi ile plantar basınç ölçümleri arasında belirgin bir korelasyon saptanmamıştır (Tablo-6).

Tablo 6. MA değişimi ile plantar basınç parametreleri arasındaki korelasyonlar

İlişki	r	p
Δ AKS – Δ Total Basınç Ort	0,191	0,144
Δ AKS – Δ Ön Basınç Ort	0,018	0,892
Δ AKS – Δ Arka Basınç Ort	0,030	0,817
Δ AKS – Δ Total Basınç %	0,201	0,123
Δ AKS – Δ Ön Basınç %	0,138	0,294
Δ AKS – Δ Arka Basınç %	0,138	0,294

Çalışmaya dahil edilen toplam 60 hastanın %80,0'inde en az bir sistemik hastalık, %40,0'ında ise birden fazla komorbidite saptanmıştır. Elde edilen bu oranlar, çalışma grubundaki bireylerin önemli bir kısmında kronik sistemik hastalık varlığını göstermektedir. Katılımcıların çoğunun ileri yaş grubunda olması, sistemik hastalık prevalansının yüksekliğiyle paralellik göstermiştir.

En sık rastlanan sistemik hastalık hipertansiyon olup, hastaların %53,3'ünde tespit edilmiştir. Bunu %31,7 oranı ile diabetes mellitus izlemiştir. Daha az sıklıkla hipertiroidi (%6,7), astım (%6,7), guatr (%5,0) ve kalp yetmezliği (%3,3) gibi sistemik hastalıklar belirlenmiştir. Birden fazla sistemik hastalığı bulunan hastalar, komorbidite yükü yüksek grup olarak sınıflandırılmıştır. Bu grup, toplam hasta popülasyonunun %40,0'ını oluşturmaktadır (Tablo 7).

Komorbidite varlığı ile mekanik aks değişimi, plantar basınç parametreleri ve fleksiyon kontraktürü değerleri arasındaki ilişkiler incelendiğinde, istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Tekli veya çoklu komorbiditeye sahip hastalar arasında aksal hizalanma, Q açısı, plantar basınç oranları ve eklem hareket açıklığı parametreleri açısından belirgin bir farklılık izlenmemiştir.

Hipertansiyon, diyabetes mellitus, tiroid hastalıkları, astım ve kalp yetmezliği bulunan hastaların alt grup analizlerinde de aksal düzeltme, plantar yüklenme oranları ve fleksiyon kontraktürü değerleri açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0,05$). Bulgular, sistemik hastalıkların TDA sonrası erken postoperatif dönemde alt ekstremit

biyomekanik parametreleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuştur.

Komorbidite yükü yüksek olan hastalar ile tekli sistemik hastalığı bulunan hastalar karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Her iki grupta da postoperatif dönemde mekanik aks değerlerinde anlamlı düzelme izlenirken, plantar basınç dağılımı stabil seyretmiş ve fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış eğilimi gözlenmiştir.

Tablo 7. Hastaların sistemik hastalık (komorbidite) dağılımı

Komorbidite	% (n=60)
Hipertansiyon	53,3
Diabetes Mellitus	31,7
Kalp Yetmezliği	3,3
Hipertiroidi	6,7
Hipotiroidi	1,7
Guatr	5,0
Astım	6,7
Vertigo	3,3
KOAH	3,3
Hiperlipidemi	1,7
Romatoid Artrit	1,7
KBY	1,7
Aritmi	1,7
Kapak Yetmezliği	1,7
Kompleks (>1 hastalık)	40,0
Komorbidite yok	20,0

Çalışmada fleksiyon kontraktürü, TDA uygulanan olgularda preoperatif ve postoperatif dönemler arasında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ölçümler 0°, 5°, 10°, 15° ve 20° düzeylerinde gruplandırılmış, her iki döneme ait dağılımlar istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

Preoperatif dönemde olguların 58'inde fleksiyon kontraktürü saptanmamış, yalnızca 2 olguda 10° düzeyinde fleksiyon kontraktürü belirlenmiştir. Postoperatif dönemde ise fleksiyon kontraktürü derecelerinde artış gözlenmiştir. Buna göre 22 olguda fleksiyon kontraktürü bulunmazken, 4 olguda 5°, 16 olguda 10°, 10 olguda 15° ve 8 olguda 20° düzeyinde fleksiyon kontraktürü tespit edilmiştir.

Preoperatif ve postoperatif dönemler arasındaki fark istatistiksel olarak ileri düzeyde anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Analiz sonuçları, operasyon sonrasında fleksiyon kontraktürü derecelerinde artış yönünde anlamlı bir değişim olduğunu göstermiştir.

Fleksiyon kontraktürü artışının dağılımı incelendiğinde, 0° düzeyinde olan olgu sayısının postoperatif dönemde azaldığı, buna karşılık 10° ve üzeri değerlerde artış olduğu belirlenmiştir. Bu durum, operasyon sonrası erken dönemde bazı olgularda diz ekstansiyon hareket açıklığında sınırlılık geliştiğini ortaya koymuştur. Fleksiyon kontraktürü değişimi ile mekanik aks, Q açısı ve plantar basınç parametreleri arasındaki korelasyon analizinde istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($p>0,05$).

Tablo 8. Fleksiyon kontraktürü preoperatif ve postoperatif verileri

	0°	5°	10°	15°	20°	n
Pre-op fleksiyon kontraktürü	58	–	2	–	–	60
Post-op fleksiyon kontraktürü	22	4	16	10	8	60

Postoperatif plantar basınç analizlerinin ortalama kontrol zamanı $27,3 \pm 5,4$ gün olarak belirlenmiştir. Ölçümler, cerrahi sonrası üçüncü ile altıncı haftalar arasında, 21 ile 42 gün aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu zaman aralığı, çalışmada erken postoperatif dönemi temsil etmektedir.

Ölçüm zamanlarının dağılımı incelendiğinde, olguların büyük çoğunluğunun dördüncü haftada değerlendirildiği, az sayıda hastada ise ölçümün üçüncü veya altıncı haftada yapıldığı görülmüştür. Bu durum, örneklem içinde ölçüm zamanlamasında sınırlı varyasyon bulunduğunu göstermiştir.

Yapılan istatistiksel analizlerde, postoperatif kontrol zamanı ile plantar basınç parametreleri arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($p>0,05$). Aynı şekilde, kontrol zamanı ile mekanik aks değerleri arasındaki ilişki de istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0,05$). Analiz sonuçlarına göre, ölçüm tarihindeki farklılıklar ile plantar yük dağılımı parametreleri veya aksal hizalanma değerleri arasında korelasyon tespit edilmemiştir.

Bu bulgular, ölçüm zamanlamasındaki değişkenliğin çalışmada elde edilen biyomekanik veriler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunmadığını ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlara göre, postoperatif ölçümlerin 21–42 gün aralığında yapılması, plantar basınç ve aksal hizalanma değerlerinin tutarlılığını etkilememiştir.

Çalışmamızın bulgularını kısaca özetleyecek olursak; TDA sonrasında diz ekleminin frontal düzlem parametrelerinde anlamlı değişim elde edilmiştir. Mekanik aks ölçümlerine göre, preoperatif dönemde ortalama $7,35^\circ \pm 4,39^\circ$ varus yönünde olan aks, postoperatif dönemde $0^\circ \pm 4,39^\circ$ valgus yönüne düzelmiş ve bu fark istatistiksel olarak ileri düzeyde anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Q açısı ölçümlerinde hem erkek hem de kadın hastalarda postoperatif dönemde anlamlı artış saptanmıştır ($p<0,05$). Cinsiyetler arası fark preoperatif dönemde sınırda anlamlılık göstermiş, postoperatif dönemde ise bu fark ortadan kalkmıştır. Fleksiyon kontraktürü değerlendirmesinde, preoperatif dönemde olguların büyük çoğunluğunda 0° değerinde ölçüm saptanırken, postoperatif dönemde kontraktür derecelerinde artış görülmüştür. Bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p<0,001$). Plantar basınç analizlerinde, operatif ve non-operatif ayaklar

arasında toplam basınç, ön ayak ve arka ayak yüklenme oranlarında anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0,05$). Mekanik aks değişimi (Δ AKS) ile plantar basınç parametreleri arasındaki korelasyon analizlerinde pozitif yönde ancak istatistiksel olarak anlamlı olmayan ilişkiler saptanmıştır ($p>0,05$). HTO öyküsü bulunan olgularda aksal düzeltme miktarı primer TDA grubuna göre daha sınırlı kalmıştır. Ancak fleksiyon kontraktürü ve plantar basınç parametreleri açısından iki grup arasında belirgin fark saptanmamıştır. Komorbidite varlığı, yaş, cinsiyet ve postoperatif ölçüm zamanı gibi değişkenler ile aksal hizalanma, plantar basınç veya fleksiyon kontraktürü parametreleri arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır ($p>0,05$). Postoperatif ölçüm zamanının ortalaması $27,3 \pm 5,4$ gün olup, ölçümler 21–42 gün aralığında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm zamanı ile mekanik aks ve plantar basınç parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki saptanmamıştır ($p>0,05$). Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, TDA sonrasında mekanik aks hizalanmasında anlamlı düzelme sağlandığı, Q açısında artış gözlemlendiği, fleksiyon kontraktürünün postoperatif dönemde arttığı ve plantar basınç dağılımında genel olarak anlamlı değişiklik oluşmadığı belirlenmiştir. Elde edilen bu bulguların klinik ve fonksiyonel yansımaları, çalışmanın tartışma ve sonuç bölümlerinde ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada preoperatif ve postoperatif dönemde vücut kitle indeksi, Q açısı, mekanik aks ve plantar basınç parametreleri karşılaştırılarak cerrahi müdahalenin alt ekstremitte biyomekaniği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, mekanik aksın her iki cinsiyette anlamlı biçimde düzeldiğini, Q açısında ise postoperatif dönemde belirgin artış olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, plantar basınç dağılımındaki değişimlerin cinsiyetler arasında farklılık gösterebildiği saptanmıştır.

Güven ve ark. çalışmalarında, medial kompartman osteoartriti bulunan olgularda pedobarografik ölçümlerde medial ayak bölgesinde anlamlı basınç artışı ve lateral bölgede rölatif azalma tespit etmişlerdir (81). Bu bulgular, diz düzeyindeki mekanik sapmanın distal segmentlere kadar uzanan bir yük aktarım değişikliğine neden olduğunu göstermektedir. Uzun süreli medial yüklenmenin devam etmesi, plantar yapılar üzerinde kompensatuvar değişimlere neden olabilir. Özellikle medial arkın çökmesi, plantar fasya geriliminin artması ve tibialis posterior kasının aşırı aktivasyonu gibi sekonder biyomekanik adaptasyonlar zaman içinde pes planus benzeri deformitelere zemin hazırlayabilmektedir. Bunun yanında, lateral ayak bölgesindeki rölatif yük azalması, fibular kas gruplarında fonksiyonel zayıflığa ve ayak bileği stabilitesinde azalmaya neden olabilmektedir.

Güven ve ark. bu yüklenme paterninin diz eklemine ait dejeneratif sürecin yalnızca bir sonucu değil, aynı zamanda hastalığın ilerleyişini hızlandıran bir geri besleme mekanizması oluşturduğu da bildirilmektedir. Varus deformitesiyle birlikte medial kompartmanda artan stres, kıkırdak yıkımını daha da hızlandırmakta; böylece yük dağılımındaki asimetri giderek derinleşmektedir. Bu kısır döngü hem diz eklemi hem de ayak-plantar basınç kompleksinde kalıcı biyomekanik değişikliklerin gelişmesine zemin hazırlar. Medial kompartman osteoartriti yalnızca diz çevresindeki eklem yüzeylerini değil, tüm alt ekstremitte biyomekaniğini etkileyen zincirleme bir yük aktarım bozukluğu yaratmaktadır. Bu nedenle plantar basınç analizinin, diz osteoartritli olguların değerlendirilmesinde hem patomekanizmayı anlamak hem de cerrahi sonrası düzelmenin fonksiyonel yansımalarını objektif biçimde incelemek için önemli bir araç olduğu söylenebilir (81). Bu adaptasyonun uzun süre devam etmesi, plantar yapılar

üzerinde kompensatuvar değişimlere, kas-tendon dengesinde bozulmalara ve yürüyüş paterninde kalıcı değişikliklere neden olabilir.

Güven ve ark. tarafından yapılan pedobarografik değerlendirmede, TDA sonrasında ameliyatlı ekstremitede yüklenme paterninin anlamlı biçimde değiştiği, özellikle ön ve orta ayak bölgelerinde yük azalmasına karşın arka ayakta artış eğilimi olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar bu bulguyu, dizin mekanik ekseninin düzeltilmesiyle birlikte yük hattının yeniden merkezlenmesi ve posteriora doğru kaymasıyla açıklamışlardır. Bu durum, cerrahiyle elde edilen mekanik düzeltmenin hemen ardından plantar bölgedeki yük dağılımında fizyolojik dengeye yakın bir reorganizasyon başladığını, ancak kısa dönemde tam simetrik bir yük paylaşımının oluşmadığını göstermektedir (81).

Bizim çalışmamızda, TDA sonrasında mekanik aksın anlamlı biçimde düzeldiği, Q açısının arttığı ve fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış gözlendiği belirlenmiştir. Bu bulgular, cerrahi hizalamanın yalnızca diz ekleminde değil, alt ekstremitenin genel biyomekaniğinde de etkili bir yeniden yapılanma oluşturduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, plantar basınç analizlerinde erken dönemde tam fizyolojik simetriye ulaşamadığı saptanmıştır. Özellikle postoperatif 1. ayda non-operatif ayağın ortalama basınç değerlerinde artış izlenmesi, cerrahi tarafın yüklenmeden geçici olarak korunmasına bağlı kompensatuvar bir yük aktarımı şeklinde değerlendirilebilir. Bu durum, özellikle kadın hastalarda belirginleşen non-operatif ayakta toplam basınç artışı ve arka ayak yük dağılımındaki cinsiyet farklarıyla da paralellik göstermektedir. Bulgularımız, Güven ve ark. nın medial kompartman osteoartriti bulunan olgularda tarif ettiği yük aktarım değişikliklerinin cerrahi sonrası erken dönemde tamamen dengelenemediğini düşündürmektedir. Dolayısıyla diz eklemindeki aksal düzelme plantar bölgeye yansıyan yük dağılımını kısmen iyileştirse de kompensatuvar mekanizmaların ve kas-tendon adaptasyonlarının normalleşmesi için daha uzun süreli rehabilitasyon ve takip gerekebileceği sonucuna varılabilir.

TDA, diz ekleminin mekanik eksenini yeniden yapılandırarak ağrıyı azaltmak, fonksiyonel kapasiteyi artırmak ve hastanın yaşam kalitesini iyileştirmek amacıyla uygulanan en etkili cerrahi yaklaşımlardan biridir. Cerrahi işlemle mekanik aksın nötral

konuma getirilmesi, diz eklemi üzerindeki yük dağılımını fizyolojik sınırlara yaklaştırsa da bu değişiklik yalnızca diz düzeyinde kalmayıp alt ekstremitenin tamamını kapsayan zincirleme bir biyomekanik yeniden yapılanmayı tetikler. Dizdeki aksal düzeltme, pelvis–kalça–diz–ayak hattında yeni bir yük aktarım eksenini oluşturur; bu da özellikle plantar bölgedeki yük paternlerinde kısa dönemde adaptif dengesizliklere neden olabilir.

Wang ve ark. tarafından yapılan randomize kontrollü çalışmada, modifiye kinematik hizalamanın, geleneksel mekanik hizalamaya kıyasla plantar basınç dağılımını daha etkin biçimde restore ettiği gösterilmiştir. Bu çalışmada, mekanik olarak nötral aks elde edilmesine rağmen bazı olgularda medial-lateral yük dağılımında tam simetri sağlanamadığı, buna karşın kinematik hizalama yaklaşımında plantar basınç değerlerinin fizyolojik değerlere daha yakın olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar bu farkı, kinematik hizalamanın bireyin doğal anatomik varyasyonlarını daha iyi korumasına ve dizin fonksiyonel rotasyon merkezini bozmadan eklem yüzeylerini yeniden hizalamasına bağlamıştır. Bu bulgular, TDA sonrasında biyomekanik dengenin yalnızca aksal hizalanma ile değil, aynı zamanda çevre kas-tendon kompleksinin nöromüsküler adaptasyonu ile de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Dizdeki mekanik eksen düzeltilmesi, ayak bileği kinematiklerinde mikroskobik düzeyde yeniden düzenlemelere neden olabilir. Bu süreçte, özellikle gastroknemius–soleus kompleksi ve plantar fasya üzerindeki yük aktarımı geçici olarak değişmekte, bu da postoperatif erken dönemde plantar basınç dengesinde geçici adaptasyon bozukluklarına yol açmaktadır (82).

Bizim çalışmamızda, TDA sonrasında mekanik aksın anlamlı biçimde nötral hatta hafif valgus yönüne düzeldiği, Q açısının arttığı ve fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış gözlemlendiği belirlenmiştir. Bu bulgular, cerrahiyle sağlanan aksal hizalanmanın diz ekleminde mekanik düzenlenmeyi sağlasa da erken postoperatif dönemde yumuşak doku gerginliği ve rehabilitasyon kısıtlılığına bağlı olarak ekstansiyon kaybının görülebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, kısa dönem plantar basınç analizlerinde özellikle kadın hastalarda non-operatif ayakta toplam basınç artışı ve arka ayak yük dağılımında cinsiyet farkı saptanması, Wang ve ark. nın çalışmasında vurgulanan erken dönem adaptif dengesizliklerle paralellik göstermektedir. Mekanik olarak nötral aks elde edilmesine rağmen plantar yüklenme

paterninde tam simetri oluşmaması, kas-tendon kompleksinin ve nöromüsküler sistemin yeni hizalanmaya uyum sürecini yansıtmaktadır. Dolayısıyla, TDA sonrasında aksal düzelmenin fonksiyonel sonuçlarının optimal hale gelmesi için daha uzun takip süresi ve hedefe yönelik rehabilitasyonun önemli olduğu düşünülmektedir.

Klinik açıdan bakıldığında, mekanik hizalamanın sağlanması TDA'nın başarısı için temel bir hedef olmakla birlikte, yük aktarım zincirinin distal segmentlerdeki etkilerinin göz ardı edilmemesi gerekir. Özellikle erken postoperatif dönemde plantar basınç dengesindeki geçici asimetri, yürüme paterninde kompensatuvar değişiklikler ve yavaşlamış yük aktarımı şeklinde gözlenebilir. Ancak literatürde, bu adaptasyonun genellikle 3–6 ay içinde nöromüsküler yeniden eğitim ve rehabilitasyonla dengelendiği bildirilmiştir. TDA sonrası mekanik aksın yeniden düzenlenmesi, yalnızca dizin eklem biyomekaniğini değil, alt ekstremitenin fonksiyonel bütünlüğünü etkileyen dinamik bir süreçtir. Bu nedenle postoperatif plantar basınç analizleri, cerrahi hizalamanın distal etkilerinin değerlendirilmesinde ve erken dönemde asimetric yüklenmenin tespitinde değerli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Dizdeki aks değişimi, pelvis–kalça–diz–ayak zincirinde yeni bir yükleme hattı oluşturur ve buna bağlı olarak plantar basınç değerleri kısa dönemde dengesiz bir şekilde yeniden organize olabilir (82).

Ravijara ve ark. varus deformitesi nedeniyle opere edilen olgularda yaptıkları pedobarografik analizlerde, postoperatif dönemde arka ayak basıncında azalma ve ön ayakta artış gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar bu değişimi, medial-lateral kompensatuvar adaptasyon sürecinin bir sonucu olarak yorumlamış ve TDA sonrasında alt ekstremitte biyomekaniğinin yeni aksa uyum sağlamasının zaman aldığını vurgulamışlardır. Her iki çalışma da TDA'nın yalnızca diz eklemi düzeyinde değil, aynı zamanda ayak tabanının fonksiyonel yüklenme paternlerinde de belirgin etkiler oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Ravijara ve ark. nın ön ayak yüklenmesindeki artış yönündeki bulguları ise, bizim çalışmamızdaki ön ayak basınç yüzdelerinde anlamlı değişim izlenmemesiyle bir miktar farklılık göstermektedir. Bu fark, çalışmalarda kullanılan ölçüm zamanlaması ve metodolojik yaklaşım farklılıklarından kaynaklanıyor olabilir. Bizim analizlerimiz statik koşullarda ve erken postoperatif dönemde gerçekleştirilmişken, Ravijara ve ark. dinamik yürüyüş fazında ölçüm yapmışlardır. Statik analiz, erken dönemde cerrahi dizin nötralizasyonunu yansıtırken; dinamik analiz,

kas kuvvet dengesinin ve yürüyüş mekaniğinin devreye girmesiyle farklı basınç paternleri gösterebilmektedir (83).

Ravijara ve ark. ile bizim çalışmamız birlikte değerlendirildiğinde, TDA'nın diz eklemi hizalanmasını başarıyla düzelttiği ancak plantar yük dağılımında erken dönemde geçici adaptasyon süreçlerine yol açtığı görülmektedir. Bu adaptasyon süreci; kas kuvvet dengesinin yeniden sağlanması, proprioseptif mekanizmaların yeniden eğitilmesi ve yeni aksal yük hattına nöromüsküler uyumun gelişmesiyle ilerleyen dönemlerde dengeye ulaşmaktadır. Dolayısıyla, plantar basınç analizleri yalnızca cerrahi başarının değil, aynı zamanda rehabilitasyon sürecinin etkinliğinin de objektif bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Ravijara ve ark. çalışmasında, varus deformitesi ile opere edilen hastalarda postoperatif dönemde arka ayak basıncında azalma, ön ayakta ise artış gözlenmiş ve bu değişimin medial-lateral kompensatuvar adaptasyonun bir sonucu olduğu belirtilmiştir (83). Bu bulgular, TDA'nın alt ekstremité yük aktarımını doğrudan etkilediğini ve cerrahi sonrası nöromüsküler sistemin yeni mekanik eksene uyum sağlaması için belirli bir süreye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Bizim çalışmamızda da total yük, ön ayak ve arka ayak basınç oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamış olmakla birlikte, postoperatif dönemde ön ayağa doğru yük aktarım eğilimi izlenmiştir. Bu durum, TDA sonrasında yük hattının nötral pozisyona kaydığını ancak plantar yapılar düzeyinde adaptasyonun henüz tamamlanmadığını göstermektedir. Erken postoperatif dönemde gözlenen bu kısmi asimetri, büyük olasılıkla kas kuvvet dengesizliklerinin, proprioseptif kontrolün tam olarak yeniden sağlanmamış olmasının ve yumuşak doku rijiditesinin devam etmesinin bir sonucudur.

Saito ve ark., medial kompartman osteoartriti bulunan olgularda yaptıkları ayrıntılı pedobarografik analizde, diz hareket açıklığı kısıtlı olan bireylerde ayak basınç merkezinin lateral tarafa kayma eğilimi gösterdiğini bildirmiştir. Araştırmacılar bu bulguyu, diz fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerindeki kısıtlılığın alt ekstremité kinematikini bozarak yük hattının dinamik stabilizasyonunu engellemesiyle ilişkilendirmiştir. Özellikle fleksiyon kısıtlılığının artması, alt ekstremitéde

kompansevar stratejilerin gelişmesine ve buna bağı olarak plantar yük dengesinde lateralizasyon eğilimine yol açmaktadır. Bu sonuç, diz eklem hareket açıklığının yalnızca eklem mobilitesi açısından değil, aynı zamanda plantar basınç dengesinin korunması açısından da kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır (84).

Bizim çalışmamızda da benzer yönde bir ilişki gözlenmiştir. Preoperatif dönemde fleksiyon kontraktürü minimal düzeyde iken, postoperatif erken dönemde ortalama 5,31°'lik anlamlı bir artış saptanmıştır ($p<0,001$). Bu artış, cerrahi sonrası erken dönemde diz çevresinde gelişen ödem, yumuşak doku gerginliği ve rehabilitasyon sürecinde ekstansiyon egzersizlerinin henüz yeterince tamamlanmamış olmasından kaynaklanıyor olabilir. Fleksiyon kontraktüründeki bu geçici artış, dizin ekstansiyon kapasitesini sınırlayarak alt ekstremitte yük aktarım paternini etkilemekte ve plantar basınç merkezinin tam olarak normalize olmasını engellemektedir.

Mekanik aksın nötral konuma getirilmiş olmasına rağmen fleksiyon kontraktüründeki artış, alt ekstremitte segmentleri arasındaki biyomekanik uyumun tam olarak sağlanamamasına yol açabilir. Bu durum, özellikle stance fazı sırasında topuk teması ve mid-stance döneminde yük aktarımının gecikmesine neden olabilir. Saito ve ark. nın bulgularında da vurgulandığı üzere, diz ekstansiyonundaki kısıtlılık yürüyüş döngüsünün kinetik zincirini bozarak plantar dengeyi lateral yöne kaydırmakta, bu da kompansevar stratejilerin gelişmesine neden olmaktadır. Bizim çalışmamızda da erken postoperatif dönemde plantar basınç değerlerinin özellikle non-operatif ayakta artış göstermesi, bu geçici adaptasyon sürecinin bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Bununla birlikte, plantar basınç parametrelerindeki değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı olmaması, adaptasyonun devam ettiğini göstermektedir. Erken dönemde elde edilen bu bulgular, nöromüsküler sistemin yeni mekanik hizalanmaya tam olarak uyum sağlayabilmesi için daha uzun bir rehabilitasyon sürecine ihtiyaç olduğunu düşündürmektedir. Rehabilitasyon süreci ilerledikçe yumuşak doku esnekliğinin artması, kas kuvvet dengesinin yeniden sağlanması ve proprioseptif mekanizmaların güçlenmesiyle birlikte fleksiyon kontraktürünün azalacağı ve plantar yük dengesinin normalize olacağı öngörülebilir.

Hem literatür bulguları hem de çalışmamızın verileri, diz hareket açıklığındaki kısıtlanmanın plantar basınç merkezinin fizyolojik konumuna yeniden yaklaşmasını geciktiren önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle postoperatif rehabilitasyon programlarının yalnızca kas gücünü artırmaya değil, aynı zamanda eklem ekstansiyon kapasitesini yeniden kazandırmaya, yumuşak doku esnekliğini artırmaya ve plantar dengeyi optimize etmeye yönelik bileşenler içermesi uzun dönem fonksiyonel iyileşmeyi destekleyecektir. Özellikle erken dönemde saptanan fleksiyon kontraktürü artışının, rehabilitasyonun ilerleyen evrelerinde dikkatle izlenmesi ve ekstansiyon egzersizleriyle dengelenmesi, plantar yük paterninin normalleşmesi açısından kritik önem taşımaktadır (84).

Wang ve ark. tek taraflı diz osteoartriti bulunan bireylerde yaptıkları pedobarografik analizde, ayak postür asimetrisinin bilateral osteoartrit olgularına kıyasla belirgin şekilde fazla olduğunu bildirmiştir. Araştırmacılar bu durumu, tek taraflı deformitenin kompensatuvar bir mekanizma olarak vücut ağırlığının sağlam ekstremiteye aktarılmasına yol açmasıyla açıklamışlardır. Bu adaptif süreç, yalnızca diz seviyesinde değil, ayak ve ayak bileği segmentlerinde de dengesiz yük paylaşımıyla sonuçlanmakta; zamanla alt ekstremitte biyomekaniğinde kalıcı postüral değişikliklere zemin hazırlamaktadır. Wang ve arkadaşlarının bulguları, özellikle unilateral osteoartrit olgularında mekanik aks kaymasına paralel olarak plantar yük merkezinin karşı tarafa doğru yer değiştirdiğini ve bu durumun yürüyüş paterninde belirgin bir asimetri oluşturduğunu göstermektedir (85).

Bizim çalışmamızın sonuçları, bu literatür bulgularını destekler niteliktedir. Preoperatif dönemde operasyon planlanan ekstremitede yük dağılımının karşı tarafla kıyaslandığında daha fazla varyasyon göstermesi, tek taraflı dejeneratif sürecin alt ekstremitte biyomekaniğini kompensatuvar yönde etkilediğini göstermektedir. Cerrahi öncesinde ağrının azaltılması ve stabilitenin korunması amacıyla ağırlığın sağlam tarafa kaydırılması, plantar basınç dengesinin bozulmasına ve karşı ekstremitede yük artışına neden olmaktadır. Bu bulgu, Wang ve ark. nın sağlam ekstremitede artan yük taşıma yüzdesiyle ilgili gözlemleriyle doğrudan paralellik göstermektedir.

Postoperatif dönemde mekanik aksın düzeltilmesiyle birlikte bu farkın belirgin şekilde azaldığı gözlenmiştir. Aksal hizalanmanın nötral hatta getirilmesi hem tibiofemoral hem de patellofemoral eklemlerde yük dağılımının daha simetrik hale gelmesine katkı sağlamıştır. Bununla birlikte, plantar basınç analizlerinde erken dönemde tam fizyolojik dengeye ulaşılamamış; özellikle kadın hastalarda non-operatif ayakta toplam basınç artışı ve arka ayak yük oranında farklılık devam etmiştir. Bu durum, cerrahiyle sağlanan aksal düzeltmenin biyomekanik olarak etkili olmasına karşın, kas kuvvet dengesi ve proprioseptif adaptasyonun henüz tamamlanmamış olduğunu göstermektedir.

Wang ve ark. çalışmasında, unilateral osteoartritli hastalarda yük hattının sağlam tarafa kayması, postoperatif dönemde nöromüsküler kontrol mekanizmalarının yeniden eğitilmesiyle kademeli olarak dengelendiği bildirilmiştir (85). Bizim çalışmamızda da benzer biçimde, preoperatif dönemde operatif tarafta yüklenme oranlarının daha düşük, karşı ekstremitede ise kompensatuvar artış eğiliminde olduğu görülmüştür. Postoperatif birinci ayda bu farkın azalması, cerrahiyle sağlanan aksal düzeltmenin erken dönemde bile plantar yük simetrisini kısmen yeniden tesis ettiğini göstermektedir. Ancak, her iki çalışmada da vurgulandığı üzere, kısa dönemde elde edilen bu simetrikleşme tam fizyolojik dengeyi temsil etmemektedir.

Erken dönemde elde edilen bu sonuçlar, TDA sonrası biyomekanik iyileşmenin çok aşamalı bir süreç olduğunu göstermektedir. Cerrahiyle sağlanan mekanik aks restorasyonu, yük hattını yeniden düzenlese de yumuşak doku gerginliği, fleksiyon kontraktüründeki artış ve nöromüsküler adaptasyon sürecinin devam etmesi nedeniyle tam dengeye ulaşmak zaman almaktadır. Bu süreçte özellikle kas kuvvetinin yeniden dengelenmesi, proprioseptif duyarlılığın artması ve yürüyüş paterninin yeniden eğitilmesi büyük önem taşımaktadır.

Hem Wang ve ark. hem de bizim çalışmamız, unilateral diz osteoartritinde yük aktarım asimetrisinin TDA sonrasında belirgin biçimde azaldığını, ancak tam fizyolojik simetriye ulaşmanın zamana, kas kuvvet dengesine ve hedefe yönelik rehabilitasyon programlarına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, TDA sonrası klinik başarının yalnızca diz ağrısının giderilmesiyle değil, alt ekstremitte genelinde simetrik

yük aktarımının yeniden sağlanmasıyla değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, mekanik aksın düzeltilmesiyle birlikte yük dengesinin erken dönemde kısmen iyileştiği, ancak tam nöromüsküler adaptasyonun ve plantar denge stabilitesinin sağlanması için daha uzun süreli rehabilitasyon ve fonksiyonel izlem gerektiği söylenebilir.

Kamenaga ve ark., kinematik hizalama (KA) ile yapılan TDA uygulamalarında plantar basınç dağılımının daha fizyolojik olduğunu, yükün medial ve lateral ayak bölgelerine daha dengeli yayıldığını göstermiştir. Buna karşın, mekanik hizalama (MA) uygulanan olgularda arka ayakta medial yüklenme eğiliminin daha belirgin olduğu rapor edilmiştir (86). Benzer şekilde Wang ve ark. da KA grubunda klinik fonksiyonel skorların anlamlı düzeyde daha iyi olduğunu ve plantar basınç dağılımında daha homojen bir görünüm elde edildiğini bildirmiştir (82). Bu bulgular, diz hizalamasının yalnızca frontal düzlemdeki aksal restorasyonla sınırlı bir kavram olmadığını, aynı zamanda alt ekstremité kinematiği, kas dengesi ve proprioseptif kontrol gibi çoklu biyomekanik unsurlarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Literatürde Kamenaga ve ark. nın vurguladığı gibi, KA yaklaşımı dizin bireysel anatomik eksenine ve doğal kinematik paternine daha fazla uyum gösterdiğinden, plantar yüklerin dağılımı açısından daha fizyolojik sonuçlar sunabilmektedir. Buna karşılık, MA tekniği ekstremitéyi global mekanik hatta hizalamayı hedeflediği için dizin dinamik hareketinde küçük sapmalara neden olabilir (86). Bu durum özellikle tibial rotasyon, femoral rollback ve patellofemoral uyum gibi faktörleri etkileyerek ayak tabanı düzeyinde mikroskobik dengesizliklerin sürmesine yol açabilmektedir.

Bizim çalışmamızda mekanik aks arasındaki düzelme ile plantar basınç parametreleri arasında zayıf ancak pozitif yönlü bir ilişki saptanmıştır ($r=0,191$; $p=0,144$). Bu bulgu, diz hizalanmasının plantar yük dağılımını etkilediğini, ancak bu ilişkinin multifaktöriyel bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Yani mekanik aksın nötral hatta getirilmesi, yük hattının simetrikleşmesine katkı sağlasa da plantar basınç dengesinin tamamen fizyolojik hale gelebilmesi için kas kuvveti, yumuşak doku esnekliği ve nöromüsküler koordinasyon gibi ek faktörlerin de rol oynadığı anlaşılmaktadır.

Bizim çalışmamızda kullanılan mekanik hizalama yaklaşımıyla postoperatif dönemde aksal hizalanma başarılı biçimde sağlanmasına rağmen, plantar yüklenme dengesinin tam olarak fizyolojik simetriye ulaşmadığı görülmüştür. Özellikle erken dönemde non-operatif ayakta artan yüklenme eğilimi ve cinsiyetler arası farklar, Kamenaga ve arkadaşlarının MA grubunda tanımladığı medial ağırlıklı yüklenme eğilimiyle paralellik göstermektedir. Cerrahiyle dizin mekanik eksenini nötralize edilse de tibial rotasyon ve femoral rollback gibi kinematik parametrelerin bireysel farklılık göstermesi, plantar düzeyde küçük asimetrielerin sürmesine neden olmuş olabilir.

Bununla birlikte, literatürde MA ile elde edilen uzun dönem sonuçların stabilite açısından oldukça başarılı olduğu, erken dönemde gözlenen bu hafif dengesizliklerin zamanla azaldığı bildirilmektedir. Bu durum, kas kuvvet dengesinin yeniden sağlanması, proprioseptif kontrolün gelişmesi ve yumuşak doku adaptasyonunun ilerlemesiyle ilişkilendirilmiştir. Dolayısıyla, erken dönemde gözlenen plantar yük asimetrisi, cerrahi başarısızlık olarak değil, biyomekanik yeniden yapılanma sürecinin doğal bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

Hem Kamenaga ve ark. hem de bizim çalışmamız, TDA sonrası plantar yüklenmenin cerrahi hizalama stratejisinden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Kinematik hizalama, yük dağılımında daha fizyolojik bir patern sağlarken; mekanik hizalama, aksal stabiliteyi optimize etmekle birlikte erken dönemde medial ağırlıklı yük aktarımı eğilimine neden olabilmektedir. Bu bulgu, cerrahi planlamada hastanın diz anatomisi, preoperatif deformite tipi ve postoperatif rehabilitasyon hedefleri göz önünde bulundurularak hizalama stratejisinin bireyselleştirilmesi gerektiğini güçlü biçimde desteklemektedir. Ayrıca, çalışmamızda postoperatif dönemde fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış saptanmıştır. Bu durum, dizin ekstansiyon fazındaki hareket açıklığını sınırlayarak yük aktarımının medial ve posteriora yönelmesine katkıda bulunmuş olabilir. Dolayısıyla, mekanik aksın nötral hatta getirilmesine rağmen plantar basınç dağılımında tam simetri sağlanamaması, erken dönemdeki bu ekstansiyon kısıtlılığının bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Butler ve ark. tarafından yapılan sistematik derlemede, TDA sonrasında arka ayak valgus açısında belirgin bir azalma olduğu ve bu değişimin dizin mekanik

ekseninin nötral konuma yaklaşmasıyla doğrudan ilişkili bulunduğu bildirilmiştir. Araştırmacılar, dizin frontal düzlemde yeniden hizalanmasının yalnızca diz eklemine değil, aynı zamanda ayak bileği ve subtalar eklem seviyelerine kadar uzanan bir biyomekanik zincir etkisi yarattığını vurgulamışlardır. Bu mekanik düzenleme, özellikle varus deformitesiyle opere edilen hastalarda arka ayakta valgus açısının azalması ve ayağın daha nötral bir pozisyona yönelmesiyle sonuçlanmaktadır (87).

Bizim çalışmamızda da mekanik aksın postoperatif dönemde anlamlı düzeyde nötral konuma geldiği (ortalama aksal düzelme $7,35^{\circ}$; $p<0,001$) görülmüştür. Bu aksal iyileşmenin plantar basınç dağılımına yansımaları incelendiğinde, arka ayak yüklenme oranlarında cinsiyetler arası anlamlı fark saptanmış ancak genel olarak yükün daha dengeli bir şekilde dağıldığı gözlenmiştir. Bu sonuç, Butler ve arkadaşlarının belirttiği şekilde, mekanik eksen düzeltmesinin distal segmentlere kadar uzanan dengeleyici bir etkisi olduğunu desteklemektedir. Özellikle arka ayak valgus açısındaki azalmanın, ayağın medial bölgesine binen yükün azalmasına ve plantar basınç merkezinin daha nötral bir hatta toplanmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

Butler ve ark. nın analiz ettiği çalışmalarda, TDA sonrasında arka ayak pozisyonundaki değişimin dizin varus deformitesinin derecesiyle korele olduğu belirtilmiştir. Buna göre, preoperatif dönemde daha belirgin varus dizilimi bulunan hastalarda, postoperatif düzeltmenin ardından arka ayak valgusundaki azalma daha fazla olmaktadır (87). Bizim örneklemimizde de benzer bir eğilim gözlenmiştir; preoperatif dönemde varus deformitesi olan olgularda aksal düzelme istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p=0,034$), valgus dizilimli olgularda bu fark anlamlı olmamıştır. Bu durum, dizin mekanik ekseninin yeniden hizalanmasının özellikle varus deformitelerinde plantar yük dengesini normalize etmede daha etkili olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, erken postoperatif dönemde subtalar eklem adaptasyon kapasitesinin sınırlı olduğu ve alt ekstremitenin distal segmentlerinde nöromusküler yeniden yapılanmanın zaman aldığı unutulmamalıdır. Butler ve ark. da benzer şekilde, erken postoperatif dönemde plantar yüklenmede tam fizyolojik simetriye ulaşmanın zor olduğunu, subtalar eklem uyumunun zaman içinde geliştiğini belirtmiştir (87). Bizim çalışmamızda da postoperatif birinci ayda plantar basınç değerlerinde istatistiksel olarak

tam anlamlı bir denge sağlanamaması bu görüşle uyumludur. Subtalar eklem, diz hizalanmasındaki değişimlere uyum sağlarken proprioseptif geri bildirim, kas-tendon gerilimi ve ayak bileği stabilizasyonu süreçleri birkaç aylık bir adaptasyon süreci gerektirmektedir.

Ayrıca, çalışmamızda postoperatif dönemde fleksiyon kontraktürü değerlerinde artış saptanmıştır. Bu durum, dizin ekstansiyon fazındaki hareket açıklığını kısıtlayarak yük aktarımının posteriora ve medial bölgelere yönelmesine katkıda bulunmuş olabilir. Dolayısıyla, mekanik aks düzeltilmesine rağmen plantar yük dağılımında tam simetri sağlanamaması, erken dönemdeki bu ekstansiyon kısıtlılığının bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Fleksiyon kontraktüründeki bu artışın, cerrahi sonrası ödem, yumuşak doku gerginliği ve erken rehabilitasyon evresinde sınırlı ekstansiyon egzersizlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hem Butler ve ark. hem de bizim çalışmamız, TDA sonrası dizin mekanik ekseninin düzeltilmesinin yalnızca diz fonksiyonunu değil, aynı zamanda arka ayak pozisyonu ve plantar yüklenme paternini de olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Bununla birlikte, erken postoperatif dönemde gözlenen plantar basınç asimetrisi, yumuşak doku adaptasyonu ve kas kuvvet dengesinin tam olarak sağlanmamasına bağlı geçici bulgular olarak değerlendirilmelidir. Bu sonuçlar, diz cerrahisinin ayak biyomekaniği üzerindeki etkilerinin dikkate alınması gerektiğini ve postoperatif rehabilitasyonun yalnızca diz odaklı değil, alt ekstremitenin bütüncül dizilim ve yük aktarım dengesini hedefleyecek şekilde planlanmasının önemini vurgulamaktadır.

Hadi ve ark. ileri varus veya valgus deformitesi bulunan hastalarda TDA sonrasında yalnızca diz eklemine değil, alt ekstremitenin distal segmentlerinde de kompensatuvar hizalanma değişiklikleri meydana geldiğini göstermiştir. Araştırmada, dizin mekanik ekseninin cerrahiyle düzeltilmesinin ardından, özellikle kalkaneal ve subtalar bölgede belirgin rotasyonel ve açısal adaptasyonlar izlendiği, bunun da diz-ayak bileği biyomekanik zincirinin bütüncül bir sistem olarak çalıştığını ortaya koyduğu bildirilmiştir. Yazarlar, dizdeki mekanik düzeltmenin, alt ekstremitte boyunca yük hattını yeniden tanımlayarak distal segmentlerde ikincil denge ayarlamalarına yol açtığını vurgulamıştır (88). Bu bulgu, bizim çalışmamızda gözlenen sonuçlarla yakından

örtüşmektedir. Bizim olgularımızda da cerrahi sonrasında mekanik aks ortalama 7,35 derece oranında nötral konuma düzelmiş olmasına karşın, plantar yük dağılımında tam fizyolojik simetri elde edilememiştir. Bu durum, Hadi ve ark. nın da belirttiği gibi, aksal düzeltmenin mekanik zincirin tüm halkalarını etkilediğini ancak en distal segment olan ayak tabanının adaptasyonunun gecikmeli gerçekleştiğini düşündürmektedir. Özellikle plantar basınç analizlerinde gözlenen minimal lateral kaymalar, nöromüsküler sistemin yeni aksal hizaya uyum sürecinin halen devam ettiğini göstermektedir.

Ayrıca Hadi ve ark. deformite tipi (varus veya valgus) ne olursa olsun, cerrahi sonrası alt ekstremité hizalanmasının dinamik süreçlerle zaman içinde stabilize olduğunu, bu nedenle erken postoperatif dönemde yapılan ölçümlerde asimetri gözlenmesinin beklenen bir adaptasyon evresi olduğunu belirtmiştir (88). Bizim çalışmamızda da postoperatif ölçümler ortalama 27. günde yapılmış olup, erken dönemde plantar yük simetrisinin tam olarak sağlanamaması bu geçici adaptasyon mekanizmasıyla açıklanabilir.

Hadi ve ark. nın bulguları, diz düzeltmesinin yalnızca lokal bir cerrahi müdahale değil, alt ekstremitenin tamamını etkileyen global bir biyomekanik yeniden yapılanma süreci başlattığını göstermektedir. Bizim verilerimiz de bu görüşü desteklemekte; TDA sonrasında diz hizalanmasının başarılı biçimde sağlandığını, ancak nöromüsküler sistemin distal adaptasyonunun zamana yayıldığını ortaya koymaktadır (88). Bizim bulgularımızda aks düzelmesine rağmen plantar yük simetrisinin tam olarak sağlanamaması, bu zincirin en distal halkası olan ayak tabanı düzeyinde adaptasyonun nöromüsküler gecikmeyle gerçekleştiğini düşündürmektedir.

Frigg ve ark. alt ekstremité hizalanması ile ayak taban basınç dağılımı arasındaki ilişkiyi radyografik değerlendirme ve dinamik pedobarografik analiz kombinasyonu ile incelemiştir. Çalışmalarında, hindfoot (arka ayak) açısının diz hizalanmasındaki değişimlere duyarlı bir şekilde yanıt verdiğini ve dizdeki mekanik aks kaymasının ayak tabanı üzerindeki yük aktarım dengesini doğrudan etkilediğini göstermişlerdir. Özellikle varus deformitesi bulunan olgularda, mekanik eksenin medial tarafa kaymasıyla birlikte ayak tabanının medial bölgesine binen yükün arttığı, lateral bölgedeki yükün ise azaldığı bildirilmiştir. Bu sonuç, alt ekstremitéde diz–ayak bileği–subtalar eklemler

zincirinin bir bütün olarak çalıştığını, diz düzeyindeki hizalanma değişimlerinin distal segmentlere kadar uzanan biyomekanik etkiler yarattığını göstermektedir (89).

Bizim çalışmamızda da benzer şekilde, preoperatif dönemde varus dizilimi gösteren olgularda medial ağırlıklı yüklenme paterninin bulunduğu, cerrahi sonrası mekanik aksın nötral konuma getirilmesiyle birlikte plantar yük dağılımında denge eğilimi olduğu gözlenmiştir. Postoperatif dönemde total plantar yük simetrisinde anlamlı bir fark saptanmamış olsa da yük merkezinin laterale kayma eğilimi, Frigg ve arkadaşlarının ortaya koyduğu “aksal düzeltmeye bağlı kompensatuvar dengeleme” hipotezini desteklemektedir. Bu bulgu, dizde yapılan mekanik düzeltmenin yalnızca ağrıyı azaltmakla kalmayıp, alt ekstremitte boyunca yük aktarım paternini yeniden organize ettiğini göstermektedir. Frigg ve ark. ayrıca ayak bileği ve subtalar eklemlerinde görülen adaptif değişimlerin TDA sonrası birkaç ay içinde gerçekleştiğini ve bu sürecin bireyler arasında değişkenlik gösterebileceğini vurgulamıştır. Bu nedenle erken postoperatif dönemde tam fizyolojik denge beklenmemesi gerektiğini, plantar basınç analizlerinin uzun dönem takiplerde daha anlamlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir (89). Bizim çalışmamızda postoperatif ölçüm ortalama $27,3 \pm 5,4$ gün sonra yapılmıştır; dolayısıyla kısa dönem verilerde tam fizyolojik denge sağlanmamış olması, literatürdeki bu adaptasyon süreciyle uyumlu görünmektedir.

Frigg ve ark. nın bulguları, bizim çalışmamızın sonuçlarını destekler niteliktedir. Her iki çalışmada da dizin mekanik ekseninin düzeltilmesiyle medial yüklenmenin azaldığı, plantar yük merkezinin daha nötral bir konuma yöneldiği, ancak kısa dönemde bu değişimin tam simetriye ulaşmadığı görülmüştür. Bu paralellik, TDA'nın yalnızca diz düzeyinde değil, alt ekstremitenin tamamında dinamik bir biyomekanik yeniden yapılanma başlattığını göstermektedir (89).

Gao ve ark. dizdeki varus ve valgus dizilimlerinin alt ekstremitte genel hizalanması üzerindeki etkilerini radyografik ölçümlerle incelemiş ve dizin mekanik aksındaki sapmanın alt ekstremitte boyunca yük aktarım hattını belirgin biçimde etkilediğini ortaya koymuştur. Çalışmalarında, özellikle medial kompartman osteoartriti bulunan olgularda mekanik aksın medial yönde sapmasının, yükün daha çok iç kompartman üzerinden taşınmasına yol açtığı ve bu dengesizliğin ilerleyici kıkırdak

dejenerasyonuna zemin hazırladığı belirtilmiştir. Mekanik aksın nötral konuma getirilmesiyle birlikte, alt ekstremitte boyunca yük dağılımının yeniden dengelendiği ve daha simetrik bir yük aktarım hattı oluştuğu vurgulanmıştır (90).

Bizim çalışmamızda da benzer şekilde, preoperatif dönemde varus dizilimi bulunan olgularda aksın medial sapma gösterdiği, postoperatif dönemde ise ortalama 7,35°'lik düzelme ile mekanik eksenin nötral konuma geldiği saptanmıştır ($p<0,001$). Bu aksal iyileşme, plantar basınç analizlerinde de kendini göstermiş; cerrahi sonrası dönemde yük dağılımı daha dengeli hale gelmiştir. Gao ve ark. nın ortaya koyduğu üzere, aksal düzeltme yalnızca diz eklemine özgü bir değişim değil, alt ekstremitte boyunca yük aktarım zincirinin yeniden yapılanmasıdır. Bu biyomekanik düzenleme, plantar basınç merkezinin daha nötral hatta toplanmasına katkıda bulunarak uzun dönemde daha fizyolojik bir yürüme paterninin oluşmasını desteklemektedir.

Gao ve ark. ayrıca varus deformitesinin düzeltilmesiyle birlikte frontal düzlemdeki yük hattının normalize olmasının, alt ekstremitte kas kuvvet dengesinin yeniden kurulmasını kolaylaştırdığını ve fonksiyonel iyileşmeyi hızlandırdığını belirtmiştir (90). Bu görüş, bizim çalışmamızda gözlenen fleksiyon kontraktürü değerlerindeki artış eğilimi ve aksal düzeltme ile Q açısındaki artış arasındaki pozitif korelasyon bulgularıyla birlikte değerlendirildiğinde, cerrahi sonrası alt ekstremitenin statik hizalanmasının başarılı biçimde sağlandığını ancak dinamik adaptasyon sürecinin erken dönemde henüz tamamlanmadığını göstermektedir. Gao ve ark.'nın çalışmasıyla uyumlu olarak, bizim verilerimiz de TDA'nın dizin mekanik eksenini başarılı biçimde nötralize ettiğini ve bu aksal iyileşmenin plantar yüklenme dengesine doğrudan yansıdığını göstermektedir. Bu bulgular, dizin frontal düzlemdeki hizalanmasının yalnızca eklem seviyesinde değil, alt ekstremitenin genel yük aktarım mekanizmasında belirleyici bir rol oynadığını desteklemektedir.

Sehgal ve ark. instabilite bulguları gösteren TDA hastalarında yürüyüş analizi ve pedobarografik ölçümlerle alt ekstremitte yüklenme paternlerini incelemiş ve ameliyatlardan önceki dönemde belirgin bir “off-loading” yani yükten kaçınma davranışı gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada özellikle heel-strike (topuk teması) ve toe-off (itme) fazlarında yük transferinin azaldığı, yüklenmenin sağlıklı ekstremiteye kaydığı

belirtilmiştir ($p<0,05$). Bu bulgu, TDA sonrası hastalarda eklem stabilitesinin yeniden sağlanmasına rağmen, dinamik denge kontrolü ve proprioseptif geri bildirimin tam olarak restore olamayabileceğini ortaya koymaktadır. Yazarlar, pedobarografinin yalnızca basınç ölçüm aracı değil, aynı zamanda fonksiyonel dengesizliklerin objektif olarak saptanmasında değerli bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır (91).

Bizim çalışmamızda da benzer biçimde, postoperatif dönemde hastaların büyük kısmında klinik ve fonksiyonel olarak belirgin iyileşme sağlanmasına rağmen, plantar yük dağılımındaki asimetrinin tamamen ortadan kalkmadığı görülmüştür. Bu durum, Sehgal ve ark. nın fonksiyonel denge adaptasyonu gecikmesi hipotezini desteklemektedir. Özellikle plantar analizde toplam basınç yüzdelerinde ve ön–arka yük paylaşımında küçük farklılıkların devam etmesi, diz stabilitesinin cerrahi olarak sağlanmasına rağmen alt ekstremité kas-tendon zincirinin ve proprioseptif sistemin yeni aksal düzene henüz tam uyum sağlayamadığını düşündürmektedir.

Sehgal ve ark. ayrıca pedobarografik analizlerin, TDA sonrası rehabilitasyonun yönlendirilmesinde de kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Çünkü erken dönemde tespit edilen yüklenme asimetrisi, hedefe yönelik kas güçlendirme ve denge egzersizleriyle düzeltilebilir (91). Bizim bulgularımız da bu görüşle paralel olup, kısa dönemde ölçülen plantar parametrelerin tam fizyolojik simetriye ulaşmamasının, rehabilitasyon sürecinin henüz tamamlanmamış olmasından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla pedobarografik analiz, yalnızca postoperatif izlemde değil, aynı zamanda bireyselleştirilmiş rehabilitasyon protokollerinin planlanmasında da önemli bir araç olarak değerlendirilebilir. Bu bulgu, pedobarografinin TDA sonrası fonksiyonel dengesizliklerin objektif olarak değerlendirilmesinde değerli bir araç olduğunu göstermektedir. Bizim çalışmamızda da postoperatif dönemde semptom skorlarında belirgin iyileşme olmasına karşın plantar yük asimetrisinin tamamen ortadan kalkmaması, diz instabilitesinin ortadan kalkmasına rağmen alt ekstremité proprioseptif sisteminin yeni aksa henüz tam uyum sağlayamadığını düşündürmektedir.

Paterson ve ark. medial diz osteoartriti bulunan hastalarda yaptıkları kapsamlı analizde, statik ayak postürünün diz ağrısı ile doğrudan ilişkili olmadığını, buna karşın dinamik plantar kuvvetlerin ağrının şiddetiyle anlamlı korelasyon gösterdiğini

bildirmiştir. Araştırmada yürüyüş sırasında ölçülen ayak içi basınç kuvvetleri, özellikle medial kompartmandaki yük artışıyla paralel seyretmiş ve ağrının fonksiyonel komponentlerle ilişkili olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuç, alt ekstremité biyomekaniğinin dinamik süreçlerle şekillendiğini ve statik postür analizlerinin diz patolojilerinin değerlendirilmesinde sınırlı kaldığını göstermektedir (92).

Benzer şekilde Metcalf ve ark. da medial diz osteoartriti olan bireylerde statik ölçümlerin diz biyomekaniğini açıklamada yetersiz olduğunu, dinamik plantar kuvvetlerin ise hem eklem yüklenmesi hem de ağrı ile daha güçlü bir ilişki gösterdiğini belirtmiştir. Yazarlar, diz osteoartritinin yalnızca statik dizilim bozukluklarından değil, aynı zamanda yürüyüş sırasındaki yük aktarım paternlerindeki bozulmalardan kaynaklandığını vurgulamışlardır. Bu nedenle, plantar analizlerde yürüyüş fazları boyunca değişen basınç dinamiklerinin değerlendirilmesi hem ağrının patofizyolojisinin hem de cerrahi sonrası iyileşmenin anlaşılması açısından kritik önem taşımaktadır (93).

Bizim çalışmamızda elde edilen bulgular, Paterson ve Metcalf'in sonuçlarıyla büyük ölçüde paralellik göstermektedir. Her ne kadar analizler statik koşullarda yapılmış olsa da postoperatif dönemde ağrı skorlarında belirgin iyileşme ile plantar yük merkezinin nötral pozisyona yaklaşması arasındaki ilişki, dinamik yük aktarımının daha dengeli hale geldiğini düşündürmektedir. Cerrahi sonrası diz mekanik ekseninin düzeltilmesiyle birlikte ağrının azalması, hastaların yük dağılımını daha simetrik biçimde gerçekleştirmesine olanak tanımış, bu da dolaylı biçimde dinamik basınç dengesinin yeniden kurulmasına katkıda bulunmuştur. Bu bağlamda, mevcut bulgular TDA sonrası değerlendirmelerde yalnızca statik ölçümlerin değil, aynı zamanda dinamik plantar basınç analizlerinin de rutin olarak kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Böylece, cerrahi sonrası fonksiyonel iyileşmenin hem ağrı hem de yük aktarımı açısından daha bütüncül biçimde değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

Plantar yük dağılımının TDA sonrası değişimi yalnızca pasif mekanik hizalanma ile açıklanamaz. Diz çevresi kas kuvveti, proprioseptif algı, kas-tendon rijiditesi, plantar ark yapısı ve subtalar eklem hareket açıklığı gibi birçok faktör bu süreçte etkili olmaktadır. Özellikle kuadriseps ve hamstring kas kuvvetinin postoperatif dönemde asimetrik olarak artması, yüklenme paterninde geçici dengesizliklere yol açabilir.

Ayrıca plantar basınç merkezinin yeniden organize olmasında sinir-kas geri bildiriminin önemli rolü bulunmaktadır. Çalışmamızda plantar yük adaptasyonunun erken dönemde tamamlanmamış olması, bu nöromüsküler mekanizmaların yeniden yapılanmasının henüz stabil hale gelmediğini düşündürmektedir.

Kamenaga ve Wang, postoperatif 6. aydan itibaren plantar yük dağılımının daha simetrik hale geldiğini ve fonksiyonel skorların anlamlı derecede arttığını bildirmiştir (82,86). Bu bulgular, erken dönemde gözlenen kısmi dengesizliklerin zamanla ortadan kalktığını göstermektedir. Bizim çalışmamızda da erken postoperatif dönemde nötral aksın yeniden sağlanmasına karşın plantar basınç simetrisinin tam olarak oluşmaması, adaptasyon sürecinin devam ettiğini desteklemektedir. Bu nedenle, TDA sonrası rehabilitasyonun yalnızca diz eklemine hareket açıklığına değil, aynı zamanda alt ekstremitenin yük taşıma paternine ve denge kontrolüne de odaklanması gerekmektedir.

Elde edilen tüm bulgular TDA'nın dizin mekanik hizalanmasını başarılı biçimde düzelttiğini, plantar basınç dağılımını nötral bir eksene yönlendirdiğini ve fonksiyonel iyileşmeyi desteklediğini göstermektedir. Ancak plantar yük simetrisinin erken dönemde tam olarak sağlanamaması, ayak tabanı ve diz eklemi arasındaki biyomekanik ilişkinin dinamik ve zaman içinde gelişen bir süreç olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, TDA sonrası rehabilitasyon protokollerinde plantar yük analizi ve denge eğitimlerinin daha fazla yer alması gerektiğini düşündürmektedir. Uzun dönem takipler ile desteklenecek geniş örneklemli çalışmalarda, plantar basınç değişimlerinin klinik fonksiyonel skorlar üzerindeki etkisinin daha net biçimde ortaya konması, TDA sonrası alt ekstremit biyomekaniğinin bütüncül olarak anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Bu adaptasyonun uzun süre devam etmesi, plantar yapılar üzerinde kompensatuvar değişimlere, kas-tendon dengesinde bozulmalara ve yürüyüş paterninde kalıcı değişikliklere neden olabilir.

6. SONUÇ

1. Çalışmamızda TDA sonrası radyografik bulgulara hem kadın hem de erkek hastalarda anlamlı iyileşme saptanmıştır. Elde edilen bu sonuç, diz ekleminin yeniden hizalanmasıyla mekanik stresin azaldığını ve yük aktarımının daha dengeli bir biçimde sağlandığını düşündürmektedir. Ayrıca postoperatif dönemde gözlenen radyografik iyileşmenin, diz eklemi kinematığının yeniden dengelenmesiyle doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.
2. Postoperatif dönemde MA değerlerinde her iki cinsiyette anlamlı düzeltme elde edilmiştir. Kadınlarda ve erkeklerde gözlenen bu düzelme, TDA'nın dizin frontal düzlemdeki hizalamasını başarılı bir şekilde nötral eksene yaklaştırdığını göstermektedir. Mekanik aksın yeniden yapılandırılması, alt ekstremité boyunca yük aktarımını daha dengeli hale getirmiş ve diz eklemi ile distal segmentlerdeki yük dağılımı üzerinde olumlu bir düzenleme sağlamıştır.
3. MA ve Q açısı değişimleri arasında pozitif yönlü bir korelasyon bulunmuştur ($r=0,43$; $p=0,018$). Bu bulgu, frontal düzlemde yapılan aksal düzeltmenin yalnızca diz eklemi hizalanmasını değil, aynı zamanda patellofemoral bileşkenin yönelimini de etkilediğini göstermektedir. Postoperatif dönemde Q açısındaki artış, kuadriseps kuvvet hattının daha fizyolojik bir doğrultuya yönlendiğini, böylece ekstansör mekanizmanın etkinliğinin arttığını düşündürmektedir.
4. Plantar basınç analizlerinde total, ön ve arka ayak yüklenme oranları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0,05$); ancak erkeklerde ön ayağa doğru yük aktarımı eğilimi gözlenmiştir. Bu durum, cerrahi sonrası mekanik aksın düzeltilmesiyle birlikte yük hattının yeniden fizyolojik pozisyona kaydığını, fakat plantar bölgedeki nöromusküler adaptasyonun erken dönemde tam olarak tamamlanmadığını göstermektedir. Çalışmamızda bu geçici dengesizlik, kas kuvvet dengesizlikleri ve proprioseptif sistemin yeniden yapılanma süreciyle açıklanabilir.
5. Fleksiyon kontraktürü değerlerinde postoperatif dönemde anlamlı artış saptanmıştır (ortalama artış $5,3^\circ$; $p<0,001$). Bu artış, erken postoperatif dönemde

yumuşak doku gerginliği ve diz çevresi kaslarda gelişen geçici rijidite ile ilişkili olabilir. Erken dönemde görülen bu artışın, iyileşme sürecinde eklem çevresi ödemin ve kas tonusunun artmasına bağlı geçici bir durum olduğu düşünülmektedir. Fleksiyon kontraktüründeki bu geçici artış, yürüme döngüsünün özellikle topuk teması fazında sınırlanmasına neden olmuş olabilir; ancak uzun dönem takiplerde bu kontraktürün gerilemesi ve hareket açıklığının yeniden kazanılması beklenmektedir.

6. Statik pedobarografik analizler, TDA sonrası erken dönemde yük dağılımında kısmi denge sağlandığını, ancak tam simetriye henüz ulaşamadığını göstermiştir. Bu bulgu, alt ekstremité nöromüsküler sisteminin yeni aksal hizaya uyum sürecinin zamana yayıldığını ve proprioseptif kontrol mekanizmalarının aşamalı olarak yeniden organize olduğunu düşündürmektedir. Cerrahi sonrası bu biyomekanik adaptasyonun, uzun dönem rehabilitasyon süreçlerinde dikkate alınması gerekmektedir.
7. HTO öyküsü bulunan hastalarda aks düzeltilmesi primer olgulara göre sınırlı kalmakla birlikte fonksiyonel kazanımlar benzerdir. Bu durum, TDA'nın önceden geçirilmiş cerrahi öyküye rağmen diz fonksiyonlarını iyileştirmede etkili olduğunu, ancak biyomekanik adaptasyon süresinin bireysel farklılıklar gösterebileceğini ortaya koymaktadır.
8. Komorbid hastalıklar ile aksal hizalanma, fleksiyon kontraktürü veya plantar basınç parametreleri arasında anlamlı ilişki saptanmamıştır ($p>0,05$). Bu bulgu, cerrahi başarının sistemik faktörlerden ziyade lokal biyomekanik rekonstrüksiyonun etkinliğine bağlı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, metabolik hastalıkların uzun dönem implant stabilitesine etkileri ileri araştırmalarda değerlendirilmelidir.
9. Çalışmamızın sonuçları, TDA sonrası rehabilitasyonun yalnızca diz hareket açıklığını artırmaya değil, aynı zamanda plantar yük dengesini ve denge kontrolünü yeniden kazandırmaya yönelik olması gerektiğini göstermektedir. Rehabilitasyon sürecine denge, proprioseptif farkındalık ve kas kuvvetlendirme

egzersizlerinin dahil edilmesi, plantar yük simetrisinin sağlanmasını hızlandırabilir ve fonksiyonel iyileşmeyi destekleyebilir.

10. Plantar basınç ölçümleri, TDA sonrası alt ekstremitte biyomekaniğindeki değişimlerin izlenmesinde objektif ve güvenilir bir yöntemdir. Çalışmamızda bu ölçümler, cerrahi sonrası yük aktarım paternlerindeki erken dönem değişimleri objektif biçimde ortaya koymuştur. Bu yönüyle pedobarografi hem klinik takiplerde hem de rehabilitasyonun bireyselleştirilmesinde değerli bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir.

Çalışmamızın sonuçlarını genel olarak değerlendirecek olursak, TDA'nın dizin mekanik hizalanmasını etkin biçimde düzelttiğini, ağrıyı azalttığını, fonksiyonel kapasiteyi artırdığını ve plantar basınç dağılımını nötral eksene yönlendirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, plantar yük simetrisinin erken dönemde tam olarak sağlanamaması, alt ekstremitte biyomekaniğinin dinamik ve zamana yayılan bir adaptasyon süreci olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle TDA sonrası değerlendirmelerde yalnızca klinik skorların değil, statik ve dinamik plantar basınç analizlerinin de yer alması, fonksiyonel iyileşmenin objektif olarak izlenmesine katkı sağlayacaktır. Gelecekte yapılacak uzun dönemli, çok merkezli ve geniş örneklemli çalışmalar, TDA sonrası alt ekstremitte yük biyomekaniğinin daha ayrıntılı biçimde aydınlatılmasına olanak sağlayacaktır.

TDA; alt ekstremitte mekanik ekseninin restorasyonu ve diz stabilitesinin yeniden sağlanması açısından son derece başarılı bir yöntemdir. Ancak plantar yük dağılımının tam anlamıyla fizyolojik seviyelere ulaşabilmesi için daha uzun süreli takip, progresif rehabilitasyon programları ve proprioseptif denge egzersizlerinin tedavi planına dahil edilmesi gerekmektedir. Bu bulgular, TDA sonrası erken dönemde mekanik iyileşmenin tamamlanmasına karşın fonksiyonel adaptasyonun zaman içinde devam eden dinamik bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. Goto A, Moritomo H, Itohara T, Watanabe T, Sugamoto K. Three-Dimensional In Vivo Kinematics of the Subtalar Joint During Dorsi-Plantarflexion and Inversion–Eversion. *Foot Ankle Int.* 2009 May 1;30(5):432–8.
2. Fang DM, Ritter MA, Davis KE. Coronal Alignment in Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2009 Sep;24(6):39–43.
3. Hayashi K, Tanaka Y, Kumai T, Sugimoto K, Takakura Y. Correlation of Compensatory Alignment of the Subtalar Joint to the Progression of Primary Osteoarthritis of the Ankle. *Foot Ankle Int.* 2008 Apr 1;29(4):400–6.
4. Norton AA, Callaghan JJ, Amendola A, Phisitkul P, Wongsak S, Liu SS, et al. Correlation of Knee and Hindfoot Deformities in Advanced Knee OA: Compensatory Hindfoot Alignment and Where It Occurs. *Clin Orthop Relat Res.* 2015 Jan;473(1):166–74.
5. Hara Y, Ikoma K, Arai Y, Ohashi S, Maki M, Kubo T. Alteration of Hindfoot Alignment After Total Knee Arthroplasty Using a Novel Hindfoot Alignment View. *J Arthroplasty.* 2015 Jan;30(1):126–9.
6. Takenaka T, Ikoma K, Ohashi S, Arai Y, Hara Y, Ueshima K, et al. Hindfoot alignment at one year after total knee arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2016 Aug 24;24(8):2442–6.
7. Magee DJ., Manske RC. *Orthopedic physical assessment.* Elsevier; 2021. 1240 p.
8. Abulhasan J, Grey M. Anatomy and Physiology of Knee Stability. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2017 Sep 24;2(4):34.
9. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus Anatomi Atlası: Genel Anatomi ve Hareket Sistemi.* 2. Türkçe Baskı. Voll M, Wesker K, editors. Vol. 1. Ankara: Palme Yayıncılık; 2011. 408–568 p.
10. Scott WNorman, Diduch DR., Iorio Richard, Long WJ. *Insall & Scott surgery of the knee.* Elsevier; 2018.
11. Azar FM, Canale ST, Beaty JH. *Campbell’s Operative Orthopaedics.* 14th ed. Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences; 2020. 5016 p.
12. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2006 Mar 19;14(3):204–13.
13. Sciarretta FV, Lane JG. Anatomy of the Knee. In: *The Art of the Musculoskeletal Physical Exam.* Cham: Springer International Publishing; 2023. p. 393–402.
14. Chwaluk A, Ciszek B. Anatomy of the posterior cruciate ligament. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2008;10(1):1–11.
15. Paulsen Friedrich, Waschke J., Sobotta Johannes. *Sobotta atlas of anatomy.* Vol. 2, Internal organs. Urban & Fischer; 2023. 408 p.
16. Schindler O. Insall & Scott Surgery of the Knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2006 Dec;88-B(12):1678–1678.

17. Basarir K, Erdemli B, Tuccar E, Esmer AF. Safe Zone for the Descending Genicular Artery in the Midvastus Approach to the Knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2006 Oct;451:96–100.
18. Tran J, Peng PWH, Lam K, Baig E, Agur AMR, Gofeld M. Anatomical Study of the Innervation of Anterior Knee Joint Capsule. *Reg Anesth Pain Med*. 2018 May;43(4):407–14.
19. Tran J, Peng PWH, Gofeld M, Chan V, Agur AMR. Anatomical study of the innervation of posterior knee joint capsule: implication for image-guided intervention. *Reg Anesth Pain Med*. 2019 Feb 30;44(2):234–8.
20. Hirschmann MT, Müller W. Complex function of the knee joint: the current understanding of the knee. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015 Oct 12;23(10):2780–8.
21. Madeti BK, Chalamalasetti SR, Bolla Pragada SKS siva rao. Biomechanics of knee joint — A review. *Frontiers of Mechanical Engineering*. 2015 Jun 6;10(2):176–86.
22. Schindler OS. Basic kinematics and biomechanics of the patellofemoral joint part 2: the patella in total knee arthroplasty. *Acta Orthop Belg*. 2012 Feb;78(1):11–29.
23. Aweid O, Osmani H, Melton J. Biomechanics of the knee. *Orthop Trauma*. 2019 Aug;33(4):224–30.
24. Weiss L, DeForest B, Hammond K, Schilling B, Ferreira L. Reliability of Goniometry-Based Q-Angle. *PM&R*. 2013 Sep 22;5(9):763–8.
25. Schindler OS, Scott WN. Basic kinematics and biomechanics of the patellofemoral joint. Part 1: The native patella. *Acta Orthop Belg*. 2011 Aug;77(4):421–31.
26. Loudon JK. Biomechanics and pathomechanics of the patellofemoral joint. *Int J Sports Phys Ther*. 2016 Dec;11(6):820–30.
27. Sarrafian SK. Biomechanics of the subtalar joint complex. *Clin Orthop Relat Res*. 1993 May;(290):17–26.
28. Nordin Margareta, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lippincott Williams & Wilkins; 2001. 467 p.
29. Hicks JH. The mechanics of the foot. I. The joints. *J Anat*. 1953 Oct;87(4):345–57.
30. Michael JM, Golshani A, Gargac S, Goswami T. Biomechanics of the ankle joint and clinical outcomes of total ankle replacement. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2008 Oct;1(4):276–94.
31. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma*. 2016 Jun;30(3):232–8.
32. Wager JC, Challis JH. Mechanics of the foot and ankle joints during running using a multi-segment foot model compared with a single-segment model. *PLoS One*. 2024 Feb 13;19(2):e0294691.

33. Skou ST, Roos EM, Laursen MB, Rathleff MS, Arendt-Nielsen L, Simonsen O, et al. A Randomized, Controlled Trial of Total Knee Replacement. *New England Journal of Medicine*. 2015 Oct 22;373(17):1597–606.
34. Campi S, Tibrewal S, Cuthbert R, Tibrewal SB. Unicompartmental knee replacement – Current perspectives. *J Clin Orthop Trauma*. 2018 Jan;9(1):17–23.
35. Newman JH. Unicompartmental knee replacement. *Knee*. 2000 Apr;7(2):63–70.
36. Mullaji AB, Padmanabhan V, Jindal G. Total Knee Arthroplasty for Profound Varus Deformity. *J Arthroplasty*. 2005 Aug;20(5):550–61.
37. Carr AJ, Robertsson O, Graves S, Price AJ, Arden NK, Judge A, et al. Knee replacement. *The Lancet*. 2012 Apr;379(9823):1331–40.
38. Crockarell JR. Arthroplasty of Ankle and Knee. In: Canale ST, editor. *Campbell's Operative Orthopaedics*. 10th ed. St. Louis, MO: Mosby; 2003. p. —.
39. Martin I, Boyer MF. *AAOS Comprehensive Orthopaedic Review 2*. AAOS; 2018. 1300 p.
40. Sabha M, Hochberg MC. Non-surgical management of hip and knee osteoarthritis; comparison of ACR/AF and OARSI 2019 and VA/DoD 2020 guidelines. *Osteoarthr Cartil Open*. 2022 Mar;4(1):100232.
41. Sierra RJ, Berry DJ. Surgical Technique Differences Between Posterior-Substituting and Cruciate-Retaining Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2008 Oct;23(7):20–3.
42. Miller M. *Miller'in Ortopedi Kitabı*. Ankara: Akademi Doktorlar Yayınevi; 2006.
43. Ege R. Diz Anatomisi. In: Ege R, editor. *Diz Sorunları*. Ankara: Bizim Büro Basımevi; 1998. p. 27–54.
44. Kraus VB, Karsdal MA. Osteoarthritis: Current Molecular Biomarkers and the Way Forward. *Calcif Tissue Int*. 2021 Sep 4;109(3):329–38.
45. Allen KD, Thoma LM, Golightly YM. Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2022 Feb;30(2):184–95.
46. Iversen MD, Price LL, von Heideken J, Harvey WF, Wang C. Physical examination findings and their relationship with performance-based function in adults with knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016 Jul 12;17:273.
47. Felson DT, Niu J, Guermazi A, Sack B, Aliabadi P. Defining radiographic incidence and progression of knee osteoarthritis: suggested modifications of the Kellgren and Lawrence scale. *Ann Rheum Dis*. 2011 Nov;70(11):1884–6.
48. Michael JWP, Schlüter-Brust KU, Eysel P. The Epidemiology, Etiology, Diagnosis, and Treatment of Osteoarthritis of the Knee. *Dtsch Arztebl Int*. 2010 Mar 5;
49. Felson DT. An update on the pathogenesis and epidemiology of osteoarthritis. *Radiol Clin North Am*. 2004 Jan;42(1):1–9.
50. Brosseau L, Taki J, Desjardins B, Thevenot O, Fransen M, Wells GA, et al. The Ottawa panel clinical practice guidelines for the management of knee

- osteoarthritis. Part two: strengthening exercise programs. *Clin Rehabil.* 2017 May 1;31(5):596–611.
51. Hauk L. Treatment of knee osteoarthritis: a clinical practice guideline from the AAOS. *Am Fam Physician.* 2014;89(11):918–20.
 52. DeRogatis M, Anis HK, Sodhi N, O. Ehiorobo J, Chughtai M, Bhave A, et al. Non-operative treatment options for knee osteoarthritis. *Ann Transl Med.* 2019 Oct;7(S7):S245–S245.
 53. Bannuru RR, Osani MC, Vaysbrot EE, Arden NK, Bennell K, Bierma-Zeinstra SMA, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and polyarticular osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2019 Nov;27(11):1578–89.
 54. Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, Oatis C, Guyatt G, Block J, et al. 2019 American College of Rheumatology/Arthritis Foundation Guideline for the Management of Osteoarthritis of the Hand, Hip, and Knee. *Arthritis & Rheumatology.* 2020 Feb 6;72(2):220–33.
 55. Orchard JW. Is there a place for intra-articular corticosteroid injections in the treatment of knee osteoarthritis? *BMJ.* 2020 Jan 15;l6923.
 56. Lavand'homme PM, Kehlet H, Rawal N, Joshi GP. Pain management after total knee arthroplasty. *Eur J Anaesthesiol.* 2022 Sep;39(9):743–57.
 57. Inacio MCS, Paxton EW, Graves SE, Namba RS, Nemes S. Projected increase in total knee arthroplasty in the United States – an alternative projection model. *Osteoarthritis Cartilage.* 2017 Nov;25(11):1797–803.
 58. Vaishya R, Vijay V, Mue Demesugh D, Kumar Agarwal A. RETRACTED: Surgical approaches for total knee arthroplasty. *J Clin Orthop Trauma.* 2016 Apr;7(2):71–9.
 59. Berstock JR, Beswick AD, López-López JA, Whitehouse MR, Blom AW. Mortality After Total Knee Arthroplasty. *Journal of Bone and Joint Surgery.* 2018 Jun 20;100(12):1064–70.
 60. Galat DD, McGovern SC, Larson DR, Harrington JR, Hanssen AD, Clarke HD. Surgical Treatment of Early Wound Complications Following Primary Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume.* 2009 Jan;91(1):48–54.
 61. Ayas MS, Kalkışım M, Köse A, Gül O. Complications after Total Knee Arthroplasty. In: *Knee Surgery - Reconstruction and Replacement.* IntechOpen; 2020.
 62. Tsukayama DT, Goldberg VM, Kyle R. Diagnosis and management of infection after total knee arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume.* 2003;85:75–80.
 63. Yu X, Wu Y, Ning R. The deep vein thrombosis of lower limb after total hip arthroplasty: what should we care. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Dec 15;22(1):547.
 64. Horlocker TT, Hebl JR, Gali B, Jankowski CJ, Burkle CM, Berry DJ, et al. Anesthetic, Patient, and Surgical Risk Factors for Neurologic Complications

- After Prolonged Total Tourniquet Time During Total Knee Arthroplasty. *Anesth Analg*. 2006 Mar;102(3):950–5.
65. Malfait AM, Schnitzer TJ. Towards a mechanism-based approach to pain management in osteoarthritis. *Nat Rev Rheumatol*. 2013 Nov 17;9(11):654–64.
 66. Dennis DA. Periprosthetic fractures following total knee arthroplasty. *Instr Course Lect*. 2001;50:379–89.
 67. Li CH, Chen TH, Su YP, Shao PC, Lee KS, Chen WM. Periprosthetic Femoral Supracondylar Fracture After Total Knee Arthroplasty With Navigation System. *J Arthroplasty*. 2008 Feb;23(2):304–7.
 68. McLeod RS, Aarts MA, Chung F, Eskicioglu C, Forbes SS, Conn LG, et al. Development of an Enhanced Recovery After Surgery Guideline and Implementation Strategy Based on the Knowledge-to-action Cycle. *Ann Surg*. 2015 Dec;262(6):1016–25.
 69. Cavanagh PR, Ulbrecht JS. Clinical plantar pressure measurement in diabetes: rationale and methodology. *The Foot*. 1994 Sep;4(3):123–35.
 70. Becker HP, Rosenbaum D, Claes L, Gerngro H. Measurement of plantar pressure distribution during gait for diagnosis of functional lateral ankle instability. *Clinical Biomechanics*. 1997 Apr;12(3):S19.
 71. Orlin MN, McPoil TG. Plantar Pressure Assessment. *Phys Ther*. 2000 Apr 1;80(4):399–409.
 72. Dennis DA. Evaluation of painful total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2004 Jun;19(4):35–40.
 73. Mullaji A, Shetty GM. Persistent Hindfoot Valgus Causes Lateral Deviation of Weightbearing Axis after Total Knee Arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2011 Apr;469(4):1154–60.
 74. Graef F, Hommel H, Falk R, Tsitsilonis S, Zahn RK, Perka C. Correction of severe valgus osteoarthritis by total knee arthroplasty is associated with increased postoperative ankle symptoms. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2022 Feb 24;30(2):527–35.
 75. Jeong BO, Kim TY, Baek JH, Jung H, Song SH. Following the correction of varus deformity of the knee through total knee arthroplasty, significant compensatory changes occur not only at the ankle and subtalar joint, but also at the foot. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2018 Nov 18;26(11):3230–7.
 76. Choudhury AK, Bansal S, Pranav J, Raja BS, Gupta T, Paul S, et al. Increased medial talar tilt may incite ankle pain and predispose ankle osteoarthritis after correction of severity of knee varus deformity among patients undergoing bilateral total knee arthroplasty: a prospective observation. *Knee Surg Relat Res*. 2024 Jan 24;36(1):7.
 77. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007 May;39(2):175–91.

78. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*. 2009 Nov;41(4):1149–60.
79. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
80. Anand Prakash A. Knee Arthroplasty and Gait: Effect on Level Walking—An Overview. *Indian J Orthop*. 2021 Aug 12;55(4):815–22.
81. Güven M, Kocadal O, Akman B, Şayli U, Altıntaş F. Pedobarographic Analysis in Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg*. 2017 Nov 10;30(09):951–9.
82. Wang G, Zhang Y, Chen L, Yu G, Luo F, Xu J. Modified kinematic alignment better restores plantar pressure distribution than mechanical alignment in total knee arthroplasty: a randomized controlled trial. *Sci Rep*. 2024 Nov 13;14(1):27775.
83. Ravijara H, Ram GG, Elangovan V, Sekaran LK, Kumar D, Jayaraman KK. Pedobarography Analysis of Foot Pressure Changes in Varus Total Knee Replacement. *Journal of Orthopedics and Joint Surgery*. 2024 Jun 14;6(2):119–24.
84. Saito I, Okada K, Nishi T, Wakasa M, Saito A, Sugawara K, et al. Foot Pressure Pattern and its Correlation With Knee Range of Motion Limitations for Individuals With Medial Knee Osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2013 Dec;94(12):2502–8.
85. Wang Y, Zhang P, Chen G, Jiang T, Zou Y. Comparison of the asymmetries in foot posture, gait and plantar pressure between patients with unilateral and bilateral knee osteoarthritis based on a cross-sectional study. *Sci Rep*. 2024 Nov 5;14(1):26761.
86. Kamenaga T, Nakano N, Takayama K, Tsubosaka M, Takashima Y, Kikuchi K, et al. Comparison of plantar pressure distribution during walking and lower limb alignment between modified kinematically and mechanically aligned total knee arthroplasty. *J Biomech*. 2021 May;120:110379.
87. Butler JJ, Mercer NP, Hurley ET, Azam MT, Kennedy JG. Alignment of the hindfoot following total knee arthroplasty: A systematic review. *World J Orthop*. 2021 Oct 18;12(10):791–801.
88. Hadi H, Jabal Ameli M, Bagherifard A, Behrouzi A, Safi F, Azimi A, et al. The Effect of Total Knee Arthroplasty on Hindfoot Alignment in Patients with Severe Genu Varum and Genu Valgum. *Arch Bone Jt Surg*. 2020 May;8(3):413–9.
89. Frigg A, Nigg B, Davis E, Pederson B, Valderrabano V. Does Alignment in the Hindfoot Radiograph Influence Dynamic Foot-floor Pressures in Ankle and Tibiototalcalcaneal Fusion? *Clin Orthop Relat Res*. 2010 Dec;468(12):3362–70.
90. Gao F, Ma J, Sun W, Guo W, Li Z, Wang W. The influence of knee malalignment on the ankle alignment in varus and valgus gonarthrosis based on radiographic measurement. *Eur J Radiol*. 2016 Jan;85(1):228–32.

91. Sehgal A, Burnett R, Howie CR, Simpson AHRW, Hamilton DF. The use of pedobarographic analysis to evaluate movement patterns in unstable total knee arthroplasty: A proof of concept study. *Knee*. 2021 Mar;29:110–5.
92. Paterson KL, Metcalf BR, Campbell PK, Bennell KL, Li P, De Silva AP, et al. Associations between static foot posture, dynamic in-shoe plantar foot forces and knee pain in people with medial knee osteoarthritis: A cross-sectional exploratory study. *Osteoarthritis Cartilage*. 2024 Oct;32(10):1339–45.
93. Metcalf B, Paterson KL, Campbell PK, Wrigley TV, Kasza J, Bennell KL, et al. Relationship between static foot posture, in-shoe plantar forces and knee pain in people with medial knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2019 Apr;27:S120–1.

