

Total diz eklem protezleri tasarımlarında kilometre taşları

Milestones in total knee joint prosthesis design

Vahit Emre Özden^{1,2}, Müge Kırac¹

¹Acıbadem Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul

²Acıbadem Maslak Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Bölümü, Uluslararası Eklem Merkezi, İstanbul

Total diz artroplastisi (TDA), dejeneratif ve enflamatuvar diz hastalıklarında ağrının giderilmesi ve fonksiyonun yeniden sağlanmasında ortopedik cerrahinin en başarılı girişimlerinden biridir. Total diz artroplastisi tasarım evrimi, 19. yüzyıldaki rezeksiyon ve interpozisyon artroplastilerinden başlayarak 20. yüzyılın ortalarında geliştirilen menteşeli, tam kısıtlayıcı sistemlerle devam etmiştir. Ancak bu erken dönem tasarımlar biyomekanik uyumsuzluk, aseptik gevşeme ve yüksek komplikasyon oranları nedeniyle uzun vadede sınırlı başarı göstermiştir. 1970'li yıllarda total kondiler protez konseptinin geliştirilmesi modern TDA çağının başlangıcını oluşturmuştur. Bu dönemde doğal diz kinematiğinin daha iyi anlaşılmasıyla birlikte mekanik stabilite odaklı yaklaşımdan fizyolojik hareket paternini taklit etmeyi hedefleyen tasarımlara geçiş yaşanmıştır. Posterior stabilize sistemler ile *roll-back* mekanizmasının restorasyonu sağlanmış, bağ koruyan ve posterior stabilize konseptleri klinik pratiğin temelini oluşturmuştur. Mobil ara yüzeyli sistemler temas stresini azaltmayı, medial pivot tasarımlar ise doğal diz kinematiğini daha yakından taklit etmeyi amaçlamıştır. Günümüzde TDA tasarımları büyük ölçüde optimizasyon aşamasında olup polietilen aşınması, implant uyumu ve patellofemoral uyum gibi faktörler ön plandadır. Gelişmiş materyaller, seramik ve okside zirkonyum yüzeyler, hasta-spesifik implantlar ve robotik cerrahi uygulamaları gelecekteki yönelimi belirlemektedir.

Ahahtar sözcükler: total diz artroplastisi; protez tasarım evrimi, artroplastisi tarihi; doğal diz kinematiği

Total knee arthroplasty (TKA) is one of the most successful surgical interventions in orthopaedic practice for relieving pain and restoring function in degenerative and inflammatory knee disorders. The evolution of TKA design began with 19th-century resection and interposition arthroplasties and progressed to fully constrained hinge systems developed in the mid-20th century. However, these early designs demonstrated limited long-term success due to biomechanical incompatibility, aseptic loosening, and high complication rates. The introduction of the total condylar prosthesis in the 1970s marked the beginning of the modern TKA era. Improved understanding of native knee kinematics shifted the design philosophy from purely mechanical stability toward replication of physiological motion patterns. Posterior-stabilized systems were developed to restore the roll-back mechanism, while cruciate-retaining and posterior-stabilized concepts became the foundation of contemporary clinical practice. Mobile-bearing systems aimed to reduce contact stress, whereas medial pivot designs sought to more closely reproduce native knee kinematics. Currently, TKA designs are largely in an optimization phase, with particular emphasis on polyethylene wear, implant congruency, and patellofemoral articulation. Advanced biomaterials, including ceramic and oxidized zirconium surfaces, patient-specific implants, and robotic-assisted surgical technologies are expected to shape future directions.

Key words: total knee arthroplasty; prosthesis design evolution; history of arthroplasty; native knee kinematics

Total diz artroplastisi (TDA), dejeneratif ve enflamatuvar diz patolojilerinde ağrı kontrolü ve fonksiyon restorasyonu açısından ortopedik cerrahinin en etkili girişimlerinden biridir. Bu başarının temelinde yalnızca cerrahi tekniklerin gelişimi değil, implant tasarımında biyomekanik prensiplerin giderek daha doğru anlaşılması yatmaktadır. Total kalça artroplastisinde elde edilen ma-

teriyal bilimi kazanımları, özellikle kemik çimentosu kullanımı ve yüksek molekül ağırlıklı polietilen (PE)'in avantajları, diz protez tasarımlarının gelişim sürecine önemli katkı sağlamıştır.

Diz eklemi uzun yıllar basit bir menteşe sistemi olarak değerlendirilmiş olsa da günümüzde fleksiyon-ekstansiyon hareketine eşlik eden femoral *roll-back*, posterior

İletişim / Contact: Prof. Dr. Vahit Emre Özden • **E-posta / E-mail:** vahitemre@gmail.com

ORCID ID: Vahit Emre Özden, 0000-0003-1082-4882 • Müge Kırac, 0009-0005-5615-7087

Geliş / Received: 12 Mayıs 2026 • **Revizyon / Revised:** 17 Haziran 2026 • **Kabul / Accepted:** 24 Haziran 2026

translasyon ve aksiyel rotasyon bileşenlerinin varlığı net biçimde ortaya konmuştur. Bu karmaşık kinematik özelliklerin daha iyi anlaşılması, protez tasarımlarının mekanik stabilite hedefinden fizyolojik hareket paternini taklit etme amacına evrilmesine neden olmuştur.^[1]

Total diz protezinin tasarım evrimi, 19. yüzyıldaki rezeksiyon ve interpozisyon artroplastilerinden başlayıp 1950-60'larda menteşeli (tam kısıtlayıcı) sistemlerle hız kazanmıştır.^[2-10] Ancak bu erken dönem çözümler biyomekanik uyumsuzluk, gevşeme ve metal aşınması gibi sorunlar nedeniyle yerini daha fizyolojik yük dağılımı hedefleyen kondiler yüzey değiştirme tasarımlarına bırakmıştır. Bu dönüşümün temel kırılma noktaları, 1970'lerde düşük sürtünmeli metal-PE eklemleşmeyi amaçlayan yaklaşım ve onu takip eden total kondiler konseptin standartlaşmasıdır.^[11-15] Türkiye'de modern kondiler TDA uygulamaları 1987 sonu 1988 başında eş zamanlı olarak farklı merkezlerde başlamış, 1990'larda implant çeşitliliği ve eğitim etkinlikleri artmıştır.

REZEKSİYON VE İNTERPOZİSYON DÖNEMİ

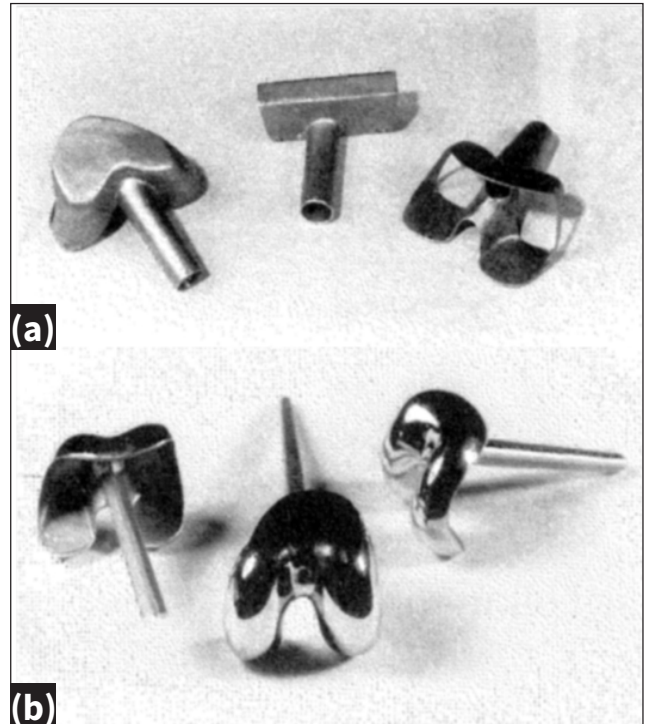
Diz artroplastisinin kavramsal başlangıcı, eklem yüzeylerinin rezeksiyonu ya da rezeke yüzeyler arasına yumuşak doku yerleştirilerek ağırlı hareketi yeniden mümkün kılma arayışıdır. 1860 yılında Verneuil'in interpozisyonel artroplastiyi uygulayarak eklem kapsülünü interpozisyon materyali olarak kullanması ve 1861 yılında Ferguson'un rezeksiyon artroplastisi, diz artroplastisi tarihinin erken dönüm noktaları olarak aktarılır.^[2-5] Takip eden süreçte domuz mesanesi, naylon, fasya lata, prepatellar bursa ve selofan gibi çeşitli interpozisyon materyalleri kullanılarak benzer cerrahi tekniklere ilişkin sonuçlar literatürde yer almıştır. Bu dönemin ortak özelliği eklem stabilitesinin bağ-kapsül bütünlüğüne bağımlı kalması, enfeksiyon ve sertlik riskinin yüksek olması ve fonksiyonel sonuçların öngörülemezliğidir. 1920'li ve 1930'lu yıllarda Campbell, interpozisyon materyali olarak serbest fasyal transplantasyonlarını bildirmiştir.^[5] Ancak bu girişimler genellikle başarısızlıkla sonuçlanmıştır. İnterpozisyon ve rezeksiyon teknikleri ağrıyı azaltma amacı taşısa da eklem yüzey geometrisini yeniden üretememiştir. Daha fazla kemik rezeke edildiğinde, hastalar iyi hareket kabiliyetine sahip olmuş ancak gerekli stabiliteden yoksun kalmışlardır. Daha az kemik rezeksiyonu ile ise sıklıkla spontan füzyon meydana gelmiştir. Bu nedenle kalıcı, öngörülebilir ve yük taşıyabilen implant ihtiyacı doğmuştur.

HEMİARTROPLASTİ VE METAL-KALIP TASARIMLAR

1940 yılında kalça için Smith-Peterson tarafından geliştirilen vityum kalıp (mold) artroplastisinin ardından diz ekleminde de femoral kondilleri örten metal interpozisyon

implantları denemiştir (Şekil 1).^[16] Boyd ve Campbell tarafından femoral kondil üzerine geçirilen metal kap şeklindeki hemiarthroplasti tasarımları geliştirilmiştir.^[5,17] Benzer şekilde Smith-Peterson 1942 yılında diz hemiarthroplastisinde femoral kap uygulamasını kullanmıştır. Bununla birlikte bu erken dönem girişimlerin klinik sonuçları tatmin edici olmamıştır. Daha sonraki modifikasyonlarla *Massachusetts General Hospital*'da femoral kapa medüller sap eklenmesiyle sınırlı başarı elde edilmiştir.^[5] 1949 yılında Speed ve Trout ve 1952'de Miller ve Friedman tarafından yayımlanan sonuçlar da çok iyi değildir ve bu diz artroplastisi türü hiçbir zaman geniş çapta tanınmamıştır.^[18,19]

Bu gelişmeleri takiben 1958 yılında Macintosh, varus veya valgus deformitesi bulunan ağırlı dizlerin tedavisi için akrilik tibial plato eklenmiş farklı bir hemiarthroplasti tipi tanımlamıştır.^[20,21] Bu implant deformitenin düzeltilmesi, eklem stabilitesinin sağlanması ve ağrının giderilmesi amacıyla kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda Macintosh tasarımının metal versiyonları geliştirilmiş ve benzer özellikler taşıyan McKeever tibial plato protezi özellikle romatoid artritli hastalarda geniş kullanım alanı bulmuştur. Bununla birlikte ne femoral hemiarthroplasti ne de daha sonra geliştirilen tibial plato hemiprotezleri, artrozlu dizlerde ağrının uzun süreli giderilmesinde kalıcı bir başarı sağlayamamıştır. Eklem yüzeylerinden yalnızca birinin değiştirilmesi erken gevşeme riskini artırmakta ve

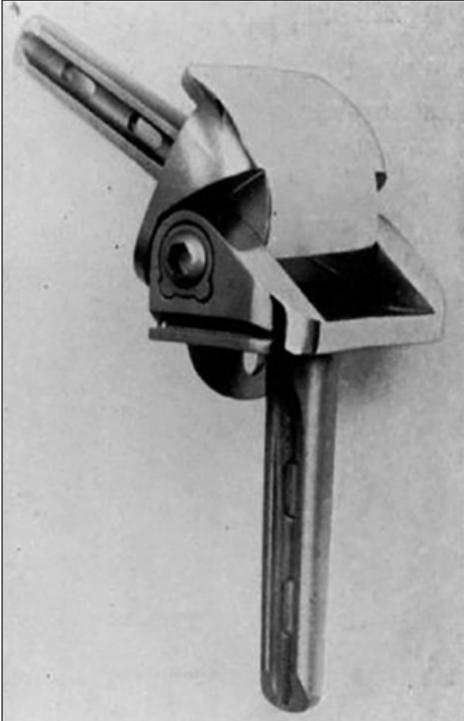


Şekil 1.a,b. Orijinal intramedüller femoral enstrümanlar (a). Kalıp (mold) tipi diz artroplastisinde kullanılan implantlar (b). Hodge W.'nin çalışmasından alınmıştır.

korunmuş karşı eklem yüzeyinde ilerleyen dejenerasyon nedeniyle ağrının yeniden ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu deneyimler, diz artroplastisi tasarımında yalnızca tek yüzeyli metal çözümlerin yeterli olmadığını ve femoro-tibial eklemleşmenin birlikte yeniden tasarlanması gerektiğini ortaya koymuştur.

MENTEŞELİ PROTEZLER DÖNEMİ: MEKANİK STABİLİTENİN ÖNCELİĞİ

Modern artroplasti tarihinin ilk örneklerinden biri 1890 yılında Gluck tarafından geliştirilen fildişi menteşeli protezdir. Ancak enfeksiyon ve yetersiz fiksasyon nedeniyle başarısız olmuştur.^[6] 1950-1970 yılları arasında Waldius, Shiers, Guepar ve diğer birçok yazar tarafından geliştirilen intramedüller saplı metal menteşeli diz protezi tasarlanmıştır (Şekil 2).^[4,5,7-9] Daha yeni implantlarda rotasyon da eklenerek komponentlere binen yükler azaltılmaya çalışılmıştır.^[7,10] Yarı-kısıtlayıcı (*semi-constrained*) tasarıma sahip menteşeli diz protezlerinin erken dönem örneklerinden biri, 1973 yılında tanımlanan L.S. Matthews'un sferosentrik diz protezidir.^[11] Belirgin deformite ve ciddi instabilite bulunan diz olgularında endikasyon bulan bu tasarım, metal-PE temas yüzeyine sahip yuva-top (*ball-and-socket*) mekanizması şeklindedir. Protez, translasyonel yer değiştirme ya da dislokasyona neden olmaksızın üç eksenli aksiyel harekete olanak sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır.



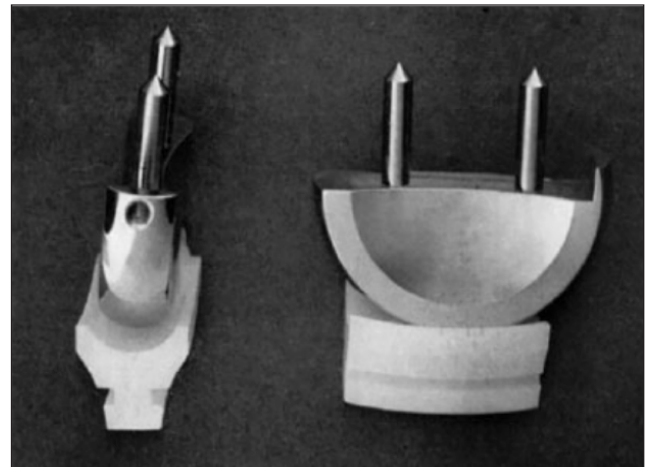
Şekil 2. Walldius diz protezinin görünümü. Blundell JG'nin çalışmasından alınmıştır.

Birinci jenerasyon menteşeli diz protezleri 1970'li yılların ortalarına dek klinik kullanımda yer almıştır. Bu tasarımlarda rotasyonel harekete izin verilmemesi nedeniyle implant üzerine belirgin torsiyonel yükler binmekteydi. Daha sonra kinematik *rotating hinge* protezi, çimentolu ve kısa stemli olarak geliştirilmiştir. Bununla birlikte bu erken dönem tasarımlar erken aseptik gevşeme, implant kırılması ve yüksek enfeksiyon oranları gibi önemli komplikasyonlarla ilişkilendirilmiştir.

İkinci jenerasyon, modern menteşeli protezlerde ise biyomekanik yük aktarımını iyileştirmek amacıyla çimentosuz ve diyaftik dolduran daha uzun stem tasarımları benimsenmiştir. Söz konusu öncü tasarımların evrimleşmiş üçüncü jenerasyon örnekleri günümüzde özellikle tümör cerrahisinde, ileri derecede kompleks primer olgularda ve revizyon TDA'larda kullanılmaktadır.

ANATOMİK YAKLAŞIM: DOĞAL DİZ KİNEMATİĞİNİ KORUMA ÇABASI

1960'lı yıllarda yüksek moleküler ağırlıklı PE'nin taşıyıcı yüzey ve metil metakrilatın kemik çimentosu olarak kullanıma girmesi TDA tasarımlarında dönüm noktası olmuştur. Gunston tarafından geliştirilen dört parçalı sistem, her iki çapraz bağı koruyan anatomik yaklaşımın öncülerindedir (Şekil 3).^[12] Bu dönemin temel özellikleri çapraz bağların korunması, doğal kondiler geometriye yakın tasarım ve yumuşak dokuların primer stabilizatör olarak kabul edilmesidir. Ancak küçük temas yüzeyleri ve cerrahi teknik zorluklar nedeniyle bu sistemler yaygın kabul görmemiştir. Bu protezler unikondiler protezlerin öncüleridir. Freeman-Swanson, *Geometric, University of California at Irvine* ve Marmor gibi erken yüzey artroplastisi sistemleri bu dönemin önemli temsilcileriydi. Bunların ortak amacı daha doğal kinematik, daha düşük kısıtlılık



Şekil 3. Gunston diz protezinin görünümü. Gunston FH'nin çalışmasından alınmıştır.

ve bağların korunmasıydı. Fakat cerrahi teknik güçlükler, gevşeme ve patellofemoral sorunlar nedeniyle sonuçlar değişkendi. Freeman-Swanson'ın tasarım hedefleri arasında gevşemeyi azaltmak, yükü daha geniş alana yaymak, aşınma partiküllerini azaltmak, yeterli hareket açıklığı sağlamak ve aşırı hareketleri yumuşak dokularla sınırlamak yer almaktaydı.

Anatomik prensiplere dayanan ikili sistemlerde temel yaklaşım, yalnızca artiküler yüzeylerin replasmanı ile yetinilmesi ve çapraz bağların korunması yönündedir. Bununla birlikte bu tasarımlarda femoral ve tibial komponentler ayrı ayrı yapılandırılmış olmakla beraber, sistem içinde bir araya getirilerek fonksiyonel bütünlük sağlanmıştır. İki komponentli ve anatomik yaklaşıma sahip bu protez konsepti, ilerleyen dönemde geliştirilen AMK (Depuy), AGC (Biomet) ve PCA (Howmedica) gibi total diz protez tasarımlarının geliştirilmesine zemin hazırlamıştır.

TOTAL KONDİLER PROTEZ: MODERN TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ ÇAĞININ BAŞLANGICI

1973 yılında Insall, Ranawat ve Walker tarafından, tam anlamıyla kondiler özellik göstermemekle birlikte duokondiler (*Duocondylar*) olarak adlandırılan ve *Hospital for Special Surgery* kökenli HSS protezi geliştirilmiştir.^[13] Anatomik ve simetrik tasarıma sahip, çimentolu olarak uygulanan bu protezin klinik sonuçlarının değerlendirilmesi sonrasında ön çapraz bağın rezeksiyonu, arka çapraz bağın korunması ve patellar komponent kullanımının gerekliliği yönünde bir görüş birliği oluşmuştur. Bu deneyimlerin ışığında 1974 yılında total kondiler protez (TCP I), 1976 yılında ise TCP II tasarımları geliştirilmiştir.^[13,14]

Doğal diz eklemine kinematik özellikleri incelendiğinde, sagittal ve koronal düzlemde lateral tibial plato yüzeyinin konveks, medial tibial plato yüzeyinin ise daha geniş ve konkav yapıda olduğu bilinmektedir. Fleksiyonun ilk 30°'lik bölümünde femoral kondillerin yuvarlanma (*rolling*) hareketi sırasında bu morfolojik farklılık belirginleşir. Arka çapraz bağın gerilmesiyle eklem yüzeyleri posteriora doğru yer değiştirir. Bu durum *roll-back* ve posterior translasyon hareketi olarak tanımlanır. Söz konusu mekanizma, ileri fleksiyon derecelerinde femoral kondillerin tibial plato üzerinde aşırı sıkışmasını engelleyici bir rol üstlenir. Lateral taraftaki konveks yapıya bağlı artmış kayma miktarı tibianın internal rotasyonuna katkı sağlar. *Screw-home* mekanizması ise diz ekstansiyona gelip kilitlenirken femoral kondiller iç rotasyon yapar (açık zincir) veya tibia eksternal rotasyon (kapalı zincir) yapar.^[1]

Roll-back eksikliğini gidermek amacıyla 1978 yılında Insall-Burstein posterior stabilize (PS) tasarımı geliştirilmiştir.^[22] *Post-cam* mekanizması ile arka çapraz keşildiğinde *roll-back* mekanizmasını sağlamışlardır. Bu

sistemde femoral komponent üzerindeki cam, tibial PE üzerindeki post ile etkileşime girerek fleksiyon sırasında femoral kondillerin posterior translasyonunu sağlar. *Post-cam* mekanizması böylelikle fleksiyon derecesini artırmış, posterior impingementi azaltmış ve sagittal planda daha öngörülebilir stabilite sağlamıştır.

1990'lı yıllarda TDA alanında arka çapraz bağın korunduğu tasarımlar (*cruciate-retaining*, CR) ile bağın rezeksiyonunu takiben posterior stabilizasyon mekanizması içeren tasarımlar (*cruciate sacrificing/posterior stabilized*, CS/PS) yaygınlaşmıştır. Farklı protez konseptlerinin klinik ve radyolojik uzun dönem sonuçlarının değerlendirilmesi, özellikle mekanik gevşeme ve PE aşınmasının belirleyici sorunlar olduğunu ortaya koymuştur.

Femoral komponentin daha yuvarlak, tibial komponentin ise konkav ve birbirleriyle yüksek derecede uyumlu (konkruent) yüzeylere sahip olduğu tasarımlarda temas stresinin azaldığı ve buna bağlı olarak PE aşınmasının minimal düzeyde seyrettiği bildirilmiştir. Bununla birlikte bu artmış yüzey uyumu, PE insert üzerinde daha yüksek kısıtlılık ve rotasyonel hareketin sınırlandırılması gibi dezavantajları beraberinde getirmiştir.

Buna karşılık, yüzey uyumunun düşük olduğu, örneğin düz tibial PE ile konveks femoral komponent kombinasyonu, tasarımlarda temas stresinin artmasına bağlı olarak belirgin PE aşınması gözlenmiştir. Bu durum, total diz protezi tasarımında uyum ile hareket açıklığı arasında denge kurulmasını gerektiren temel bir tasarım ikilemini ortaya koymuştur.

MOBİL ARA YÜZEYLİ TASARIMLAR: AŞINMA PROBLEMİ VE TEMAS STRESİ

Polietilen aşınması TDP'nin uzun dönem başarısını etkileyen temel faktörlerden biridir. Bu nedenle mobil ara yüzeyli sistemler geliştirilmiştir.^[15] 1976 yılında Oxford ve daha sonra *low contact stress* sistemleri, tibial metal taban ile PE insert arasında hareketli bir ara yüzey sağlayarak temas stresini azaltmayı hedeflemiştir. Teorik avantajları düşük temas basıncı, rotasyonel serbestlik, küçük malrotasyonların tolere edilmesidir. Ancak meta-analizlerde mobil ve sabit ara yüzeyli sistemler arasında klinik üstünlük net olarak gösterilememiştir.

MEDİAL PİVOT KONSEPTİ: FİZYOLOJİK KİNEMATİĞE YAKLAŞIM

Normal diz fleksiyonu sırasında medial femoral kondilin minimal translasyon yaptığı, lateral kondilin ise belirgin *roll-back* gerçekleştirdiği, ayrıca tibia 15° internal rotasyona gittiği gösterilmiştir.^[23] Medial pivot tasarım medial kompartmanı stabil pivot noktası olarak kabul

edilmektedir. Lateral tarafta daha fazla *roll-back* sağlar ve doğal *screw-home* mekanizmasını taklit etmeyi hedefler. Bu tasarım hasta memnuniyetini artırma potansiyeli nedeniyle son yıllarda ilgi görmektedir.

PATELOFEMORAL EKLEM VE TASARIM GELİŞMELERİ

1990'lı yıllarda patellofemoral komplikasyonlar TDA sonrası revizyonların önemli nedenlerinden biri olmuştur. Bu nedenle troklear oluk derinleştirilmiş, anterior *flange* asimetrik tasarlanmış ve patellar temas alanı artırılmıştır. Modern sistemlerde patellofemoral uyum, tasarımın önemli bir bileşeni hâline gelmiştir. Modern diz protezlerinde patellofemoral uyumu artırmak için hem implant tasarımı hem de hizalama/teknoloji tarafında gelişmeler olmuştur. Güncel femoral komponentler, daha derin ve anatomik troklear oluk, yükseltilmiş lateral kondil ve genişletilmiş/lateralize ön flanj ile doğal patellanın morfolojisine daha iyi uyum, patellofemoral eklem dostu geometri sunmakta; bu sayede temas alanı artıp stres azalırken, daha doğal diz kinematiğine yaklaşılabilmektedir.^[24,25]

YAKIN DÖNEMDE TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİ

Klasik, hareketli platform içermeyen *fixed-bearing* total diz protezlerinde, düşük aktivite düzeyine sahip ileri yaş hastalarda on yıllık implant sağkalımının %90'lara ulaştığı bildirilmiştir. Bu başarılı uzun dönem sonuçlar, günümüzde daha genç, aktif ve sportif hasta popülasyonunda da TDA uygulanmasına yönelik eğilimi artırmıştır. Bununla birlikte obez ve/veya genç hastalarda 5-8 yıllık takiplerde revizyon oranlarının %16'ya kadar yükseldiği gösterilmiştir. Bu artışın temel nedenlerinden birinin PE aşınması olduğunun anlaşılması üzerine, taşıyıcı yüzeyde kullanılan PE elimine edilmesine veya aşınmaya daha dirençli materyallerle değiştirilmesine yönelik arayışlar gündeme gelmiştir. Bu kapsamda geliştirilen seramik protezler söz konusu yaklaşımın bir ürünü olup, ilk örnekler arasında Japonya'da üretilen femoral ve tibial komponentleri alumina esaslı seramik kompozitten oluşan tasarımlar yer almaktadır.

Seramik teknolojisindeki ilerlemeler doğrultusunda BioloX-Delta materyali geliştirilmiş ve ortopedik implantlarda kullanım alanı bulmuştur (Şekil 4). Ayrıca metal yüzeyin seramikleştirilmesi prensibine dayanan okside zirkonyum (OxZr) femoral komponent tasarımı ortaya konmuştur.^[26]

2000'li yıllarda öne çıkan bir diğer tasarım yaklaşımı, erkek ve kadın femoral kondilleri arasında medio-lateral ve ön-arka boyut farklılıklarının bulunduğu hipotezine dayanmıştır. Protezin kemik sınırlarından 3 milimetreden fazla taşmasının ağrıya yol açabileceği görüşü doğrultu-



Şekil 4. Ceramic multigen plus knee sisteminde BIOLOX® delta seramik femoral komponent kullanılan total diz protezi uygulamasının intraoperatif görünümü (Prof. Dr. Vahit Emre Özden'in arşivinden).

sunda, kadın hastalara yönelik femoral komponentlerin anterior çıkıntısı daha ince ve dar olarak üretilmiştir. Ancak standart protezler ile cinsiyete özgü tasarımlar karşılaştırıldığında, femoral örtücülük ve klinik sonuçlar açısından anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Bununla birlikte, 2020 tarihli sistematik derleme ve üç randomize kontrollü çalışmanın bulguları, cinsiyete özgü implantların standart tasarımlara kıyasla klinik ya da radyolojik sonuçlar açısından anlamlı bir üstünlük sağlamadığını; buna karşın femoral komponent taşmasını azaltmada potansiyel bir avantaj sunabileceğini göstermektedir.^[22,27,28]

Aynı dönemde geliştirilen bir başka tasarım stratejisi ise diz fleksiyon kapasitesinin artırılmasına yöneliktir. Özellikle Doğu toplumlarında çömelme gereksinimi dik-kate alınarak posterior femoral kondilin kalınlaştırılması, PE insertin anterior bölümünde modifikasyon yapılması, troklear oluğun derinleştirilmesi ve tibial post yapısında değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Bu düzenlemelerle yüksek fleksiyon derecelerine ulaşılması hedeflenmiş olmakla birlikte, yüksek fleksiyon sağlayan tasarımların standart protezlerle karşılaştırıldığı çalışmalarda klinik açıdan anlamlı bir üstünlük gösterilememiştir.^[29]

Günümüzde TDA'da dikkat çeken bir diğer gelişim alanı, komponent yerleşiminde hassasiyet ve tekrarlanabilirliği artırmayı amaçlayan teknolojilerdir. Bilgisayar destekli navigasyon sistemleri, intraoperatif anatomik işaret noktaları ve dijital eşleştirme yöntemleri ile kemik kesiliminin ve implant hizalanmasının daha doğru yapılmasını hedeflemektedir. Özellikle ekstra-artiküler deformitesi bulunan hastalarda, intramedüller kılavuz kullanımının güç olduğu olgularda ve obez hastalarda mekanik aksın restorasyonuna katkı sağlayabildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte, navigasyon sistemlerinin komponent dizilimini iyileştirdiği gösterilmiş olsa da bu üstünlüğün uzun dönem klinik sonuçlara her zaman belirgin şekilde yansımadağı görülmektedir.^[30,31]

Benzer biçimde hasta-spesifik enstrümantasyon (*patient-specific instrumentation*, PSI) ve robotik destekli sistemler de ameliyat öncesi üç boyutlu planlama ile kemik rezeksiyonlarını ve komponent konumlandırmasını optimize etmeyi amaçlamaktadır. Öte yandan PSI'da bilgisayarlı tomografi (BT) veya manyetik rezonans görüntüleme temelli modelleme ile kişiye özgü kesim blokları hazırlanırken, robotik sistemlerde özellikle koronal, sagittal ve rotasyonel hizalanmada daha yüksek doğruluk elde edilmesi hedeflenmektedir. Robotik destekli cerrahi ise ameliyat öncesi üç boyutlu planlama ve kontrollü kemik hazırlığı sayesinde özellikle mekanik aks restorasyonu ve komponent pozisyonlamasında daha yüksek doğruluk sağlayabilmektedir. Özellikle robotik uygulamaların mekanik aks restorasyonu ve femoral rotasyon kontrolünde avantaj sağlayabildiği bildirilmekle birlikte, bu teknik kazanımların fonksiyonel sonuçlara ve hasta memnuniyetine tutarlı bir üstünlük olarak yansdığı henüz net değildir.^[32,33] Ayrıca yüksek maliyet, öğrenme eğrisi, ek ameliyat süresi ve bazı sistemlerde ameliyat öncesi BT gereksinimine bağlı radyasyon maruziyeti gibi sınırlılıklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle navigasyon, hasta-spesifik enstrümantasyon ve robotik uygulamalar günümüzde TDA'da doğruluk arayışının önemli bileşenleri olarak kabul edilmekte ancak rutin kullanımlarının gerçek klinik ve ekonomik değerinin ortaya koyulabilmesi için daha güçlü uzun dönem verilere ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ

Total diz protezi tasarım evrimi, mekanik kısıtlı men-teşeli sistemlerden doğal diz kinematığını taklit etmeyi hedefleyen kompleks biyomekanik tasarımlara doğru ilerlemiştir. 1973 yılında TCP tasarımı modern çağın temelini oluşturmuş, posterior stabilize sistemler *roll-back* mekanizmasını restore etmiş, mobil ara yüzeyli ve medial pivot tasarımlar kinematik optimizasyonu hedeflemiştir. Bugünkü tasarımlar büyük ölçüde optimizasyon aşamasındadır ve temel prensipler hâlâ 1970'li yıllarda tanımlanan biyomekanik kavramlara dayanmaktadır. Gelecekte hasta-spesifik implantlar, robotik destekli cerrahi, gelişmiş PE teknolojileri ve uzun dönem *registry* verileri total diz protezi tasarımlarının yönünü belirleyecektir.

KAYNAKLAR

- Freeman MAR, Pinskerova V. The movement of the normal tibio-femoral joint. *J Biomech* 2005;38(2):197-208. [Crossref](#)
- Verneuil, A. Creation of a false joint following resection or partial resection of the mandible as a remedy for 12 true or false ankyloses of the lower jaw (in French) *Archives Générales de Médecine* 1860;15:174-95. 284-316
- Ferguson W. Excision of the knee joint: Recovery with a false joint and a useful limb. *Med Times Gaz* 1861;1:601.
- Insall JN. Total knee replacement. In: Insall JN, ed. *Surgery of the knee*. New York: Churchill Livingstone 1984:587-696.
- Tooms RE. Arthroplasty of ankle and knee. *Campbell's Operative Orthopaedics* 7th. Edition, pp.1145-211.
- Brand RA, Mont MA, Manring MM. Biographical sketch: Themistocles Gluck (1853-1942). *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(6):1525-7. [Crossref](#)
- Gschwend N. Replacement arthroplasty of the knee joint: Trends and treatment after failure. *Can J Surg* 1983;26(5):407-9.
- Shiers LG. Arthroplasty of the knee; preliminary report of new method. *J Bone Joint Surg Br* 1954;36-B(4):553-60. [Crossref](#)
- Blundell JG. Arthroplasty of the knee by the Walldius prosthesis. *J Bone Joint Surg Br* 1968;50-B:505-10. [Crossref](#)
- Gschwend N, Loehr J. The Gschwend-Scheier-Bähler (GSB) replacement of the rheumatoid knee joint. *Reconstr Surg Traumatol* 1981;18:174-94.
- Hernigou P, Villet L, Roby GB. Anatomical versus mechanical joint reconstruction: Time to pick your surgical philosophy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;30:2890-4. [Crossref](#)
- Gunston FH. Polycentric knee arthroplasty: Prosthetic simulation of normal knee movement. *J Bone Joint Surg Br* 1971;53-B:272-7. [Crossref](#)
- Ranawat CS, Sculco TP. History of the development of total knee prosthesis at the hospital for special surgery. In: Ranawat CS. (eds) *Total-Condylar Knee Arthroplasty*. Springer, New York, 1985 [Crossref](#)
- Insall J, Ranawat CS, Scott WN, Walker P. Total condylar knee replacment: Preliminary report. *Clin Orthop Relat Res* 1976;(120):149-54. [Crossref](#)
- Dall'Oca C, Ricci M, Vecchini E, Giannini D, Lamberti C, Tromponi B, et al. Evolution of TKA design. *Acta Biomed* 2017;88(2):17-31.
- Hodge WA. Vitallium-mold arthroplasty of the knee. A case report with 30-year follow-up study. *J Arthroplasty* 1991;6(3):195-7. [Crossref](#)
- Campbell WC. Interposition of vitallium plates in arthroplasties of the knee. Preliminary report. By Willis C. Campbell, 1940. *Clin Orthop Relat Res* 1988;(226):3-5. [Crossref](#)
- Speed JS, Trout PC. Arthroplasty of the knee; a follow-up study. *J Bone Joint Surg Br* 1949;31B(1):53-60. [Crossref](#)
- Miller A, Friedman B. Fascial arthroplasty of the knee. *The J Bone Joint Surg* 1952;34(1):55-63. [Crossref](#)
- Andersson GBJ, Jessop J, Freeman MAR, Mason RM. Macintosh arthroplasty in rheumatoid arthritis. *Acta Orthopaedica* 1974;45(1-4):245-59. [Crossref](#)
- Macintosh DL. Hemiarthroplasty of the knee using a space occupying prosthesis for painful varus and valgus deformity. *J Bone Joint Surg Am* 1958;40:1431.
- Mahoney OM, Kinsey T. Overhang of the femoral component in total knee arthroplasty: Risk factors and clinical consequences. *J Bone Joint Surg* 2010;95(5):1115-21. [Crossref](#)

23. Hill PF, Vedi V, Williams A, Iwaki H, Pinskarova V, Freeman A. Tibiofemoral movements: The loaded living knee studies by MRT. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82(8):1196-8. **Crossref**
24. Kong L, Lin W, Kang H, Li M, Hao K, Chang B, et al. The effect of femoral prosthesis design on patellofemoral contact stresses in total knee arthroplasty: A case-control study with mid-term follow-up minimum 3-year follow-up. *J Orthop Surg Res* 2023;18. **Crossref**
25. Gattu N, Sutton M, Doherty D, Lanfermeijer N, Rodriguez-Quintana D, Ismaily S, et al. Variations in trochlear morphology of contemporary and legacy total knee arthroplasty prostheses - A review of 22 designs. *J Arthroplasty* 2024;39(6):1583-8. **Crossref**
26. Oonishi O, Oonishi H, Kim SC. Ceramic total knee arthroplasty: Ready to go? *Semin Arthroplasty* 2006;17:134-40. **Crossref**
27. Sappey-Mariniere E, Swan J, Batailler C, Servien E, Lustig S. No clinical benefit from gender-specific total knee replacement implants: A systematic review. *SICAOT-J* 2020;6:25. **Crossref**
28. Shutter KF, Efe T, Hayse TJ, Haas SB. Oxidized zirconium bearing surface in total knee arthroplasty. *Lessons Learned J Knee Surg* 2015;28(5):376-81. **Crossref**
29. Song EK, Jung WB, Yoon TR, Park KS, Seo HY, Seon JK. Comparison of outcomes after bilateral simultaneous total knee arthroplasty using gender-specific and unisex. *J Arthroplasty* 2012;27(2):226-3. **Crossref**
30. Spencer JM, Chauhan SK, Sloan K, Taylor A, Beaver RJ. Computer navigation versus conventional total knee replacement: No difference in functional results at two years. *J Bone Joint Surg Br* 2007;89-B:477-80. **Crossref**
31. Rebal BA, Babatunde OM, Lee JH, Geller JA, Patrick DA Jr, Macaulay W. Imageless computer navigation in total knee arthroplasty provides superior short term functional outcomes: A meta-analysis. *J Arthroplasty* 2014;29:938-44. **Crossref**
32. Stronach BM, Pelt CE, Erickson JA, Peters CL. Patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty provides no improvement in component alignment. *J Arthroplasty* 2014;29:1705-8. **Crossref**
33. Zhu M, Chen JY, Chong HC, Yew AKS, Foo LSS, Chia SL, et al. Outcomes following total knee arthroplasty with CT-based patient-specific instrumentation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25:2567-72. **Crossref**