

Ortopedik onkolojide megaprotez tasarımları

Megaprosthesis designs in orthopedic oncology

Seyit Ali Gümüştas¹, Ahmet Berkay Girgin², Hüseyin Bilgehan Çevik³

¹Acıbadem Fulya Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

²Akyurt Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

³Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ankara Etilik Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

Kemik ve yumuşak doku tümörlerinde uzuv koruyucu cerrahinin standart hâle gelmesiyle birlikte geniş segmenter kemik ve eklem defektlerinin/boşluklarının yeniden inşa edilmelerinde megaprotezler; ortopedik onkolojinin temel araçlarından biri hâline gelmiştir. Bu derlemenin amacı, üst ve alt ekstremitelerde kullanılan onkolojik megaprotezlerin tasarım prensiplerini, bölgeye özgü tasarım seçeneklerini ve “geçmiş–bugün–gelecek” perspektifinde klinik karar verme sürecine yansımalarını özetlemektir. Megaprotez tasarımları; malzeme seçimi (titanyum/krom-kobalt), sap (stem) geometrisi ve tespit (çimentolu/çimentosuz, kompresif osseointegrasyon), eklem yüzeylerinin kısıtlılık düzeyi (sabit menteşe, dönüşlü menteşe, anatomik, ters omuz vb.), osseointegrasyonu destekleyen yüzey teknolojileri (poroz, hidroksiapatit) ve yumuşak doku bağlantı çözümleri etrafında evrim geçirmiştir. Proksimal humerus ve omuz kuşağı, humeral diyafiz ve tüm humerus, distal humerus/dirsek, pelvis-periase-tabular bölge, proksimal ve distal femur, tüm femur, proksimal tibia için güncel tasarım yaklaşımları her bölgenin biyomekanik gereklilikleri, yumuşak doku koşulları ve onkolojik sınırlar dikkate alınarak tartışılmaktadır. Henderson sınıflamasına göre tanımlanan mekanik yetmezlik, aseptik gevşeme, yumuşak doku yetmezliği, enfeksiyon ve lokal nüks gibi komplikasyonlar ile bunlara yanıt olarak geliştirilen tasarım yenilikleri (dönüşlü menteşeler, hidroksiapatit kaplı yakalıklar, gümüş kaplamalar, mesh ile ekstansör/abdüktör rekonstrüksiyonu vb.) ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Megaprotez başarısı, tek başına implant tasarımına değil; hastaya ait faktörlere, tümörün konuma ve kusur tipine, yumuşak doku örtümüne, beklenen yaşam süresi ve merkezin deneyimiyle birlikte değerlendirilmesine bağlıdır. Hastaya özel üç boyutlu baskılı implantlar, biyolojik–protez hibrit yeniden inşalar, sayısal planlama ve sanal-artırılmış gerçeklik tabanlı cerrahi planlama gibi yeni teknolojiler, gelecekte daha kişiselleştirilmiş ve düzeltilebilir “yaşam boyu yeniden inşa etme” stratejilerine zemin hazırlamaktadır.

Anahtar sözcükler: ortopedik onkoloji; megaprotez; endoprotetik rekonstrüksiyon; eklem protezi tasarımı; uzuv koruyucu cerrahi

With the standardization of limb-sparing surgery, megaprotheses have become one of the fundamental tools in orthopedic oncology for the reconstruction of large segmental bone and joint defects. The aim of this review is to summarize the design principles of oncological megaprotheses used in the upper and lower extremities, region-specific design options, and their reflections on the clinical decision-making process from a “past-present-future” perspective. Megaprosthesis designs have evolved around material selection, stem geometry, and fixation (cemented/uncemented, compressive osteointegration), level of joint surface limitations (fixed hinge – rotary hinge, anatomical – reverse shoulder, dual mobility, etc.), surface technologies supporting osteointegration, and soft tissue attachment solutions. Current design approaches for the proximal humerus and shoulder girdle, humeral diaphysis and total humerus, distal humerus/elbow, pelvis-periacetabular region, proximal and distal femur, proximal tibia, and total femur are presented here. The biomechanical requirements of each region, soft tissue conditions, and oncological limitations are discussed. Complications such as mechanical failure, aseptic loosening, soft tissue failure, infection, and local recurrence, as defined by the Henderson classification, and the design innovations developed in response to them (rotational hinges, HA-coated collars, silver coatings, extensor/abductor reconstruction with mesh, etc.) are discussed in detail. The success of megaprosthesis depends not solely on implant design, but on the evaluation of patient-specific factors, tumor localization, defect type, soft tissue coverage, expected survival time, and the center’s experience. New technologies such as patient-specific 3D-printed implants, bio-prosthetic hybrid reconstructions, digital planning, and virtual-augmented reality-based surgical planning are paving the way for more personalized and correctable “lifelong reconstruction” strategies in the future.

Key words: orthopedic oncology; megaprosthesis; endoprosthetic reconstruction; joint prosthesis design; limb-conserving surgery

İletişim / Contact: Prof. Dr. Seyit Ali Gümüştas • **E-posta / E-mail:** drseyitaligumustas@gmail.com

ORCID ID: Seyit Ali Gümüştas, 0000-0002-3410-2465 • Ahmet Berkay Girgin, 0000-0003-3293-8231 • Hüseyin Bilgehan Çevik, 0000-0003-1945-3715

Geliş / Received: 12 Mayıs 2026 • **Revizyon / Revised:** 18 Mayıs 2026, 23 Haziran 2026 • **Kabul / Accepted:** 24 Haziran 2026

GİRİŞ

Uzuv koruyucu cerrahi, çoğu birincil kötü huylu (*malign*) kemik tümörü ve kemik dokunun birçok agresif iyi huylu (*benign*) veya metastatik lezyonu için standart tedavi hâline gelmiştir.^[1] Sistemik kemoterapi, radyoterapi, görüntüleme ve yeniden inşa edici (rekonstrüktif) tekniklerdeki gelişmeler, amputasyon ihtiyacını önemli ölçüde azaltmış ve uygun onkolojik sınırları sağlarken fonksiyonel bir uzvu korumayı amaçlayan onkolojik parça almaları (rezeksiyonları) mümkün kılmıştır.^[2] Bu bağlamda, megaprotezler olarak adlandırılan endoprotezler, yeniden inşa etmede (rekonstrüksiyonda), ortopedik onkolojinin en önemli araçlarından biri olarak ortaya çıkmıştır.^[3]

Megaprotezler, büyük kemik segmentlerin şeklini ve işlevini, çevresindeki yumuşak dokuların değişken bir bölümüyle birlikte yeniden üretmek üzere tasarlanmış cihazlardır (Şekil 1). Bu implantların geleneksel artroplasti cihazlarına göre cerrahileri daha zorludur. Bunun nedenleri arasında; rezeke edilen kemikle ortaya çıkan kusurun (defektin) büyüklüğü, çoklu yumuşak doku



Şekil 1. Modüler tümör endoprotezlerinden örnekler. Solda tüm femur protezinin rotasyonel menteşeli diz kısmı, ortada proksimal femur kısmı görülmektedir. Sağda ise proksimal humerus rekonstrüksiyonu için modüler tümör protezi görülmektedir.

yapılarının yeniden inşa edilmesine duyulan ihtiyaç ve önceki cerrahi, kemoterapi ve bazen radyoterapi tarafından şekillendirilen zorlu biyolojik ortam sayılabilir.^[4] Megaprotezler en sık diz, kalça ve omuz çevresinde kullanılır ancak pelvis, dirsek ve daha nadir olarak distal tibia ve el bileği yeniden inşa edilmesinde de kullanılabilir. Gereklikler, birincil kemik sarkomlarının ötesine geçerek metastatik hastalık, karmaşık protez çevresi kırıklar, çoklu başarısız düzeltme (revizyon), artroplastiler ve yeniden inşa edilmelerin kurtarılmasını içerir.^[1-6]

Megaprotezlerin tasarımı zamanla önemli ölçüde gelişmiştir. Sabit menteşeli ve çimentolu düz saplı (stem) erken dönem özel yapım monoblok protezler; kademeli olarak modüler, rotasyonel menteşeli ve anatomik olarak şekillendirilmiş, gelişmiş gövde geometrisi, yüzey teknolojisi ve yumuşak doku bağlantı seçeneklerine sahip sistemlerle değiştirilmiştir. Bu evrim, özellikle mekanik arıza, aseptik gevşeme ve enfeksiyon gibi önceki tasarımlarda görülen yüksek öngörülebilir istenmeyen durum oranları ve gittikçe iyileşen onkolojik sonuçların ve dolayısıyla hastaların uzuv koruyucu ameliyatlardan sonra daha uzun süre yaşamasıyla birlikte gelişmiş fonksiyon ve dayanıklılık talebiyle yönlendirilmiştir.^[4,7,8]

Derginin bu sayısının “geçmiş-bugün-gelecek” temasıyla eklem protezi tasarımlarına ayrılmış olması nedeniyle megaprotez tasarımının zaman içinde nasıl değiştiğini, en son teknolojinin ne olduğunu ve hangi eğilimlerin gelecekteki implant nesillerini şekillendireceğini gözden geçirmek özellikle yerindedir. Birçok yayın öncelikle sağkalım, öngörülebilir istenmeyen durum oranları veya fonksiyonel skorlara odaklanırken bu inceleme, ortopedik onkolojide klinik karar verme için tasarım kavramlarına ve bunların pratik etkilerine vurgu yapacaktır.

Ortopedik onkolojide kullanılan tüm endoprotezlere uygulanabilir genel tasarım prensiplerini özetledikten sonra omuz kuşağı, humerus, dirsek, pelvis, kalça, diz, tibia ve tüm femur için bölgeye özgü tasarımları ele alacağız. Bu anatomik bölgelerde kullanılan megaprotezlerin temel endikasyonları, tasarım hedefleri, kritik implant özellikleri ve tasarımı etkileyen başlıca komplikasyon riskleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Daha sonra yaygın yetmezlik tiplerini ve tasarım değişikliklerinin bunları nasıl hafifletmeye çalıştığını inceleyeceğiz ardından hastaya özel üç boyutlu yazdırılmış implantlar ve biyolojik-protez hibrit yapılar gibi yeni teknolojileri ele alacağız. Son olarak, günlük pratikte implant seçimi ve tasarım tercihlerini rehberlik edecek pratik çerçeveler önereceğiz.

Tablo 1. Bölgeye göre onkolojik megaprotez tasarımında temel noktalar

Bölge/Eklemler	Tipik endikasyonlar	Temel tasarım hedefleri	Kritik tasarım özellikleri	Tasarımı etkileyen başlıca komplikasyon riskleri
Proksimal humerus	Birincil sarkom, metastaz, masif osteoliz, başarısız tespit/artroplastisi	Ağrısız ve stabil el pozisyonu; dirsek ve el fonksiyonunun korunması; mümkünse aktif elevasyonun maksimize edilmesi	Uzun sap (çimentolu veya çimentosuz); modüler proksimal gövde; anatomik veya ters omuz tümör protezi; çok sayıda sütür deliği/yakalığı; rotator manşet-deltoid yeniden tamiri için sentetik tüp/ağ	Dengesizlik, superior migrasyon, yetersiz aktif elevasyon, enfeksiyon; aksiller sinir ve deltoid yetersizliği
Omuz kuşağı / skapula	Skapula, glenoid ve geniş omuz kuşağı tümörleri; Tikhoff-Linberg rezeksiyonları	Ağrı kontrolü, dengeli ekstremite, kabul edilebilir kozmetik görünüm; omuz hareketi açısından sınırlı beklenti	Skapular ve glenoidal replasman komponentleri; klavikula/kaburgaya tutunma için yakalıklar; ters omuz eklem seçenekleri; geniş yumuşak doku tutunma alanları	Dengesizlik, inferior yarı çıkık, protez gevşemesi, yumuşak doku yetmezliği, yara problemleri
Humeral diyafiz	Segmenter humeral sarkom/metastaz; geniş diyafizer kayıpla giden başarısız tespit	İyi dögüsel denge; omuz ve dirsek hareket açıklığının korunması; radial sinirin korunması	Proksimal/distal saplara bağlanan modüler diyafizer segmentler; çimentolu veya <i>press-fit</i> tespit; torsiyonel stabil sap geometrisi; humeral torsiyonun doğru ayarlanması	Sap ucu çevresinde periprotez kırık, aseptik gevşeme, radial sinir lezyonu, enfeksiyon
Total humerus	Humerusun büyük kısmını tutan lezyonlar; birden fazla başarısız yeniden inşası sonrası kurtarma	Eklem dengesi sağlanmış dirsek ve fonksiyonel el ile ekstremite kurtarma; ağrı kontrolü	Proksimalde anatomik veya ters omuz modülü + diyafizer segmentler + distal dirsek/menteşe modülü; çok sayıda yumuşak doku tutunma noktası; glenoid/ulnada uzun sap seçenekleri	Sınırlı omuz hareketi, dengesizlik, gevşeme, enfeksiyon, sinir hasarı, menteşe/ <i>bushing</i> mekanik yetmezliği
Distal humerus / dirsek	Distal humeral sarkom veya metastaz; karmaşık revizyon olguları	Dengeli fleksiyon-ekstansiyon arki; ağrı kontrolü; ulnar/radial sinirlerin korunması	Bağlı (menteşeli) dirsek tümör protezi; uzun çimentolu/çimentosuz saplar; dayanıklı aks tasarımı; triceps ve kollateral bağ tamiri için seçenekler	Enfeksiyon, ulnar sinir nöropatisi, gevşeme, menteşe aşınması, periprotez kırık
Pelvis / peri-asetabular bölge	Pelvik sarkom için iç hemipelvektomi; karmaşık metastatik veya revizyon olguları	Pelvis devamlılığının ve kalça merkezinin restorasyonu; stabil artikülasyon; oturma ve destekli yürümenin sağlanması	Kişiyeye özel veya 3B baskılı hemipelvik implantlar; kup-kafes (<i>cup-cage</i>) yapıları; poröz arayüzler; ilium, sakrum, pubis/iskiuma multiplan vida/plak fiksasyonu	Çıkık, gevşeme, enfeksiyon, bacak boyu eşitsizliği, fiksasyonun mekanik yetmezliği, yara/flep komplikasyonları
Proksimal femur	Proksimal femoral sarkom/metastaz; masif kemik kaybı ile giden başarısız kalça protezi	Ağrısız ve dengeli kalça; ekstremite uzunluğu ve aksın yeniden sağlanması; abdükör fonksiyonunun mümkün olduğunca korunması	Proksimal femur replasmanı (çimentolu veya çimentosuz stem); trokanterik/abdükör tutunma özellikli modüler proksimal gövde; hemiarthroplastisi, total kalça, çift hareketli veya kısıtlı asetabuler seçenekler	Çıkık, asetabuler aşınma (hemiarthroplastide), aseptik gevşeme, periprotez kırık, enfeksiyon
Distal femur / diz	Distal femur sarkomu, agresif benign tümörler, metastatik hastalık; karmaşık revizyon olguları	Dengeli ve ağrısız diz; erken tam yük vererek mobilizasyon; günlük yaşam için yeterli hareket açıklığı	Rotasyon menteşeli diz içeren modüller distal femur tümör sistemi; uzun saplar (çimentolu veya çimentosuz); HA kaplı yakalıklar veya metafizer manşonlar; değiştirilebilir aks	Yapısal yetmezlik (aks, sap kırığı), aseptik gevşeme, enfeksiyon, periprotez kırık, lokal nüks
Proksimal tibia	Proksimal tibia sarkomu; başarısız biyolojik rekonstrüksiyon sonrası yeniden inşası	Dengeli diz; ekstansör mekanizmanın yeniden inşası; güvenli yumuşak doku örtümü	Patellar tendon kemik bağlantısı için özel kanca içeren dögüsel menteşeli diz; ekstansör mekanizma için sentetik ağ veya tüp; uygun uzunluk/çapta sap seçimi; gastroknemius flebiyle uyumlu tasarım; yüksek riskli olgularda isteğe bağlı gümüş kaplama	Yüksek enfeksiyon riski, düzleştirici gecikme, yara ayrışması, gevşeme, periprotez kırık

Tablo 1. Bölgeye göre onkolojik megaprotez tasarımında temel noktalar (devamı)

Bölge/Eklem	Tipik endikasyonlar	Temel tasarım hedefleri	Kritik tasarım özellikleri	Tasarımı etkileyen başlıca komplikasyon riskleri
Total femur	Multifokal femoral hastalık; masif kemik kaybı; birden fazla başarısız girişim sonrası kurtarma	Tek bir yeniden inşa ile ekstremitte kurtarma; dengeli kalça ve diz; yardımcı cihazlarla kabul edilebilir yürüme	Proksimal femur, diyafizer segmentler ve distal femur rotasyon menteşeli modülü entegre eden tek parça modüler implant; çift hareketli veya kısıtlı kalça seçenekleri; çoklu yumuşak doku tutunma alanları	Çıkık, enfeksiyon, gevşeme, tibial/asetabuler stem ucunda periprotez kırık, mekanik yorulma
Distal tibia / ayak bileği / ayak (seçilmiş olgular)	Eklem koruyucu veya artrodez uygulanmayan distal tibia veya talus tümörleri	Ağrı kontrolü; plantigrad ayak; sınırlı yük vermeye uygun dengeli ekstremitte	Kişiye özel veya yarı kişiye özel ayak bileği tümör protezleri; talus replasman komponentli tibial stemler veya tibiokalkaneal rekonstrüksiyonlar; çoğunlukla plak/rodlarla kombine	Yüksek mekanik stres, enfeksiyon, yumuşak doku sorunları, gevşeme; birçok cerrah için hâlâ artrodez veya amputasyon ilk tercih

MEGAPROTEZLERİN GENEL TASARIM PRENSİPLERİ

Tasarım Hedefleri

Ortopedik onkolojinin öncelikli tedavi hedefi yeterli onkolojik sınırları elde etmek ve korumaktır. Bunun yanında; kemik ve yumuşak doku parçası alınması sonrasında yeniden inşa etmenin temel hedefleri, erken mobilizasyon ve yük vermeye izin veren mekanik stabiliteyi sağlamak, kabul edilebilir uzun vadeli sağkalım ile dayanıklı tespit elde etmek ve parça alınmasının getirdiği kısıtlamalar dâhilinde mümkün olduğunca fazla fonksiyonu geri kazanmaktır.

Bu hedefler, implanta yüklenen yüksek biyolojik ve mekanik taleplerle dengelenmelidir. Hastalar nispeten genç ve aktif olabilirler ancak kemoterapi, radyoterapi ve çoklu ameliyatlara maruz kalabilirler. Kemik-implant arayüzü, sınırlı kemik stoku veya düşük kemik kalitesi nedeniyle sıklıkla tehlikeye girerken yumuşak doku örtümü ciddi şekilde azalmış olabilir. Sonuç olarak implant tasarımı, değişken kusur (defekt) boyutlarına uyum sağlayacak kadar modüler ve gerektiğinde düzeltmeye izin veren bir sistem içinde; yük transferi, artikülasyon, osseointegrasyon veya çimento tespiti, yumuşak doku bağlantıları ve enfeksiyon riskini aynı anda ele almalıdır.^[9]

Özel-yapım Monoblok Protezlerden Modüler Megaprotezlere Evrim

Ortopedik onkolojide ilk megaprotezler, direkt grafilere ve daha sonra bilgisayarlı tomografi (BT) şablonlarına dayalı olarak hastalar için bireye özel tasarlanmış, monoblok cihazlardır. Bu erken dönem implantlarda tipik olarak dizde sabit menteşe mekanizmaları ve düz silindirik çimentolu saplar kullanılıyordu. Amputasyon gerektirecek durumlarda uzuv koruyucu tedaviye olanak sağlamanın yanında tüm yapının yekpare olması nedeniyle

yüksek oranda mekanik yetmezlik, aseptik gevşeme ve düzeltme zorluğu ile ilişkilendirildiler.^[8,10,11]

Modüler yapıdaki megaprotezlerle büyük bir ilerleme elde edildi. Modüler sistemler, ameliyat sırasındaki gerçek bozukluk (defekt) boyutuna ve yumuşak doku koşullarına uyacak şekilde ameliyat sırasında monte edilebilen değiştirilebilir diyafiz segmentlerinden, eklem bileşenlerinden ve gövdelerden oluşur. Modülerlik çeşitli yararlar sunar, parça alma uzunluğu ve uzuv uzunluğu konusunda ameliyat sırasında esneklik -tüm implantı feda etmeden, bireysel bileşenleri (örn. menteşe parçalarını, sapları veya eklem modüllerini) düzeltme veya değiştirme özelliği ve bileşenlerin standardizasyonu- özel yapım cihazlara kıyasla cerrahi setleri/sarfları basitleştirir ve üretim süresini kısaltır.^[12]

Zamanla modüler sistemler daha sofistike eklem mekanizmalarını [örneğin, dönüşlü (rotasyonlu) menteşeler], geliştirilmiş gövde tasarımlarını (konik, yivli, kavisli veya sıkıştırıcı saplar) ve kemik bütünleştirilmesini artırmak veya çimento tespitini kolaylaştırmak için geliştirilmiş yüzeyleri bünyesine katmıştır.^[13]

Malzemeler ve Taşıyıcı (*Bearing*) Yüzeyleri

Çoğu megaprotez sisteminde yapısal bileşenler için kobalt-krom veya titanyum alaşımları, taşıyıcı yüzeyleri için ise ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMW-PE) kullanılır. Kobalt-krom alaşımları, menteşe eksenleri ve femoral kondiller gibi eklemler için yüksek mukavemet ve aşınma direnci sağlarken, titanyum alaşımları daha iyi biyouyumluluk ve daha düşük elastikiyet modülü sunar; bu da kemik *ingrowth* için tasarlanmış gövdeler ve gözenek kaplamalı bölgeler için yararlı olabilir.^[14]

Çapraz bağlı polietilen de dâhil olmak üzere modern polietilen formülasyonları, standart artroplastiden uyarlanmıştır ve bunlar eklemlerdeki aşınmayı azaltabilir. Bu-

nunla birlikte, tümör endoprotezlerinde sıklıkla görülen başarısızlıkların nedeni klasik polietilen aşınması kemik çürümesinden ziyade genellikle gevşeme, kırılma ve enfeksiyondur. Bu nedenle, taşıyıcı yüzey optimizasyonu önemli olmakla birlikte genel tasarımın yalnızca bir parçasıdır.^[15]

Protezlerdeki yüzey kaplamaları da zamanla gelişmiştir. Hidroksiapatit (HA) ve diğer gözenekli veya pürüzlü yüzeyler, çimentosuz protezlerde ve yakalarda kemik bütünleştirilmesini desteklemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı tasarımlar derin enfeksiyon riskini azaltmak için, özellikle proksimal tibia veya düzeltme ve yüksek enfeksiyon riskli yeniden inşa etmelerde, seçilen yüzeylere gümüş veya diğer antimikrobiyal kaplamalar içermektedir.^[16]

Stem (Sap) Tasarımı ve Diyafizer Tespit

Stem (sap), implanttan kemiğe yükü aktardığı için megaprotezin mekanik davranışında merkezî bir rol oynar. İki ana tespit felsefesi mevcuttur, çimentolu ve çimentosuz saplardır. Birçok sistem her iki seçeneği de sunmaktadır.

Çimentolu saplar anında tespit sağlar ve teknik olarak hata payı yüksektir, bu da kemik kalitesinin düşük olabileceği ve erken yük vermenin sıklıkla istendiği ortamda yararlıdır. Bununla birlikte çimentolu tespit, uzun vadede aseptik gevşeme riskiyle ilişkilidir ve düzeltme sırasındaki çimento temizlenmesi ve kemik kaybı olası düzeltmeleri zorlaştırabilir.^[13]

Çimentosuz saplar, baskılı geçirme ve ardından osteointegrasyona dayanır. Oluklu tasarım, konik tasarım ve yüzey pürüzlendirme gibi özellikler ile HA veya gözenek kaplamalar, ilk stabiliteyi ve kemik büyümesini artırmak için kullanılır. Çimentosuz tespit, özellikle uzun vadeli sağkalım ve gelecekteki düzeltmenin uygulanabilirliği ön planda olan, daha iyi kemik kalitesine ve daha uzun yaşam beklentisine sahip genç hastalarda oldukça cazip olabilir.^[17]

Bazı modern sistemler diyafizi korumak ve düzeltmeyi kolaylaştırmak amacıyla; kemik irileşmesini ve bütünleştirilmesini uyaran, kontrollü aksiyel sıkıştırmaya izin veren, kısa metafizyel segment kullanan sıkıştırıcı (kompresif) osseointegrasyon sapları kullanır. Bu saplar, yeterli bir kemik stoka ve titiz bir tekniğe ihtiyaç duyar ancak uzun intramedüller saplara kıyasla farklı bir felsefe sunar. Tespit yönteminden bağımsız olarak; stem geometrisini, femur ve tibianın doğal eğimini, kanal çapını ve beklenen yük transfer yönünü hesaba katmalıdır. Stem ucundaki stres konsantrasyonunu azaltmak ve uyumu optimize etmek için genellikle; eğimli saplar, değişken çaplar, modüler koniklikler ve yakalar kullanılır.^[4,11,12]

Eklemeleşme ve Kısıtlılık (Constraint)

Megaprotezlerin tasarımı, ciddi yumuşak doku kaybı durumunda, genellikle önemli bağların veya kasların yokluğunda, stabilite sağlamalı ancak kemik-implant arayüzünde yüksek gerilmelere yol açabilecek aşırı kısıtlılamadan kaçınılmalıdır.^[18]

Erken dönem tümör protezleri, dizde fleksiyon-ekstansiyon rotasyonel kısıtlamasıyla birleştiren sabit menteşe mekanizmalarına dayanıyordu. Bu tasarımlar, mükemmel anlık stabilite sağlasa da sap ve çimento mantosuna önemli ölçüde bükülme ve makaslama kuvvetleri ileterek gevşemeye ve mekanik sorunlara yol açıyordu. Bunu ele almak için içe dönük-dışa dönük (*varus-valgus*) ve ön-arka (anteroposterior) stabiliteyi korurken aksiyel dönüşü izin veren dönüşlü menteşe tasarımları tanıtıldı. Dönüşlü menteşeli megaprotezler artık yaygın olarak kullanılmakta ve sabit menteşeli öncüllerine kıyasla daha iyi mekanik performans göstermektedirler.^[11]

Proksimal femur rezeksiyon kısmi protezi, standart asetabular bileşenli tüm kalça artroplastisinde veya çıkık riski yüksek hastalarda, çift hareketli (*dual mobility*) veya kısıtlı hareketli protezler kullanılabilir. Asetabular bileşen seçimi, femur başı ile boynunun tasarımı (aralık, boyun uzunluğu, versiyon), stabilite ve yürüyüşün kritik belirleyicileridir.^[9,19]

Üst ekstremitede eklem tasarımları arasında; geleneksel humerus başları, glenosfer bileşenli ters omuz protezleri ve menteşeli veya yarı kısıtlı (*semi-constraint*) dirsek sistemleri bulunur. Kısıtlama derecesi, yumuşak doku durumuna göre uyarlanmalıdır; rotator manşet veya kolateral bağların feda (sacrifiye) edildiği durumlarda iyi bir fonksiyon elde etmek için daha kısıtlı veya ters tip bir eklem gerekli olabilir.^[20]

Yumuşak Doku Yeniden İnşa Edilmesi ve Bağlantı Özellikleri

Megaprotez tasarımında başarılı uzuv koruyucu cerrahinin sadece kemik stabilitesine değil, aynı zamanda kas fonksiyonunun ve yumuşak doku örtüsünün restorasyonuna da bağlı olduğu kabul edilmelidir. Birçok implant artık yumuşak doku yeniden inşa edilmesini kolaylaştırmak için özellikler içermektedir. Bu özellikler; metafizyel segmentin etrafında delikli yakalıklar, implant gövdesi boyunca sütür delikleri, tendon bağlantı yerlerinde fibröz büyümeyi sağlamak için gözenekli yüzeyler ve/veya implantın etrafına sarılabilen, kas ve tendon dikişi için iskele olarak kullanılabilen sentetik tüpler veya ağ kılıflardır (cerrahi *mesh*).^[18]

Bu özellikler bilhassa proksimal humerus (deltoid ve rotator manşet için), proksimal femur (abdüktörler için) ve proksimal tibia (patellar tendon ve düzleştirici mekanizması için) bölgelerinde önemlidir. Buradaki tasarım tercihleri; ameliyat sonrası fonksiyon, çıkık veya düzleştirici gecikme (ekstansör lag) riski ve hasta memnuniyeti üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.^[21-23]

Enfeksiyon Önleme ve Yönetimi

Derin enfeksiyon, onkolojik uzuv koruyucu cerrahinin en yıkıcı öngörülebilir, istenmeyen durumlarından biri olmaya devam etmekte ve rutin artroplastiyeye göre megaprotezlerde daha yaygın olarak görülmektedir. İmplant tasarımı, hasta ve tedaviyle ilgili risk faktörlerinin tamamen üstesinden gelemeyen ancak enfeksiyon riskini azaltmayı veya enfeksiyonları daha yönetilebilir hâle getirmeyi amaçlayan çeşitli tasarım unsurları vardır. Bunlar; modüler protezin birleşim bölgelerinde düzgün geçişler ve minimum ölü boşluk, aşamalı düzeltme veya kısmi bileşen değişimine izin veren modülerlik, antibiyotikli çimento kullanımı, yüksek riskli segmentlerde isteğe bağlı gümüş gibi antimikrobiyal kaplamalar ve flep yeniden inşa edilmesi ile uyumlu düşük profilli geometriler gibi sağlam yumuşak doku örtüsüne izin veren özelliklerdir.^[16,24]

Cerrahlar, özellikle yumuşak doku örtüsünün yetersiz olduğu bölgelerde (örneğin, proksimal tibia) ve daha önce radyoterapi görmüş veya birden fazla ameliyat geçirmiş hastalarda tasarımlar arasında seçim yaparken enfeksiyon riskini göz önünde bulundurmalıdır.^[25]

ÜST EKSTREMİTE MEGAPROTEZ TASARIMLARI

Üst Ekstremiteye Özgü Onkolojik ve Biyomekanik Hususlar

Üst ekstremitte tümörleri özellikle omuz kuşağı ve humerus tümörleri, benzersiz bir onkolojik ve yeniden inşa edici zorluk kombinasyonu sunar. Üst ekstremitte yük taşıyan bir yapı değildir ancak günlük yaşam aktiviteleri, ince motor görevler ve yaşam kalitesi için kritiktir. Tümör çıkarılması sıklıkla rotator manşet, deltoid ve eklem çevresi kapsül gibi önemli dinamik stabilizatörlerin ve bazı durumlarda glenoid, skapula gövdesi veya dirsek dengeleyicilerinin (stabilizatörlerinin) feda edilmesini gerektirir. Bu büyük kemik kusurları (defektleri) ve bozulmuş yumuşak doku bütünlüğünün birleşimi, fonksiyonel yeniden inşa edilmesini implant tasarımına son derece bağımlı hâle getirir.^[26]

Üst ekstremitte megaprotezik yeniden inşa edilmesi için gereklilikler arasında; proksimal humerus veya humerus diyafizinin yüksek dereceli birincil sarkomları, metastatik hastalık, lokal agresif lezyonlar ve büyük kemik kaybıyla sonuçlanan başarısız kemik yapımı veya artrop-

lasti sonrası kurtarma yer almaktadır. Birçok hasta için, özellikle proksimal humerus tümörleri olanlarda, sinirsel ve damarsal yapılar korunabildiği takdirde, endoprotez yeniden inşa edilmesi kullanılarak uzuv koruyucu cerrahi ile ampütasyondan kaçınılabılır.^[27]

Ağırsız yük vermeye ve yürüyüşe öncelik veren alt ekstremitte yeniden inşa edilmelerinin aksine, üst ekstremitte yeniden inşa edilmelerinde öncelikli olan; stabil el pozisyonu, dirsek bükme ve eli ağız ve perineye ulaşabilme yeteneğidir. Bu nedenle tasarım kararları, yetersiz yumuşak dokulara rağmen kabul edilebilir stabilite elde etmeye ve gerçekçi bir şekilde geri kazandırılacak omuz hareketine izin vermeye odaklanır.^[28]

Omuz Kuşağı Megaprotezleri

Tarihsel evrim

Omuz kuşağının malign tümörleri için erken dönem yeniden inşa edilmeleri; humerus süspansiyonu, ekstra-artiküler parça alma ve sarkak uzuv, artrodez veya omuz dezartikülasyonu gibi yöntemlere dayanıyordu. Endoprotez teknolojisi ilerledikçe, glenohumeral eklem korunabildiği veya yeniden inşa edilebildiği durumlarda, özel yapım ve daha sonra modüler proksimal humerus tümör protezleri standart yaklaşım hâline geldi. Zamanla, tasarımlar uzun saplar üzerindeki basit humerus başlarından, değişen aralık, retroversiyon ve tüberkül tespiti seçeneklerine sahip anatomik proksimal humerus bileşenlerine doğru evrimleşti.^[10,28,29]

Omuz biyomekaniğinin giderek daha iyi anlaşılması ve rotator manşet fedakârlığının sıklığıyla birlikte, ters omuz tümör protezleri tanıtıldı. Bunlar, ters tüm omuz artroplastisi kavramlarını onkolojik ortama uyarlayarak, rotator manşetten ziyade büyük ölçüde deltoid kasına dayanan yarı kısıtlı bir glenosfer-humerus kupa eklemi sağlar.^[26,27]

Proksimal humerus megaprotez tasarımları

Standart proksimal humerus megaprotezleri; uzun bir intramedüller sap, proksimal humerus metafizini değiştiren bir metafizyel segment ve bir baş bileşeninden oluşur. Başlıca tasarım değişkenleri sapın (çimentolu veya çimentosuz, düz veya kavisli, metafizde yakalı veya yakasız ve gözenek kaplama), başın (değişken boyut, boyun-cisim açısı ve aralığa sahip modüler başlar) ve yumuşak doku bağlantı özelliklerine (tübekül ve rotator manşetin yeniden inşası için tespit delikleri, yakalar ve sentetik tüp seçenekleri) bağlıdır.^[28]

Glenoid ve rotator manşetin korunduğu durumlarda dikkatli yumuşak doku yeniden inşa edilmesi ile anatomik bir humerus başı genellikle sınırlı olsa da makul bir hareket kabiliyeti sağlayabilir. Rotator manşet ve büyük

tüberkülün feda edildiği durumlarda, geleneksel kısmi protez tipi megaprotezler sıklıkla proksimal migrasyona ve yalancı felce yol açarak ters-omuz tümör protezlerinin geliştirilmesine neden oldu.^[27]

Ters omuz tümör protezleri

Ters omuz tümör protezleri, ters kutupluluk tasarımını (skapula tarafında glenosfer, humerus tarafında ise iç bükey yüzey) humerus başı ve rotator manşet parça almalarına uyarlar (Şekil 2). Onkolojik açıdan tasarım değişimleri şunları içerir: kapsamlı parça almalara uyum sağlamak için daha uzun humerus sapları ve modüler diyafiz segmentleri, artan yükleri taşımak için bazen ek tespit vidaları veya augmentasyon plakları ile güçlendirilmiş glenoid baseplate ve stabiliteyi artırmak için kısıtlı veya yarı-kısıtlı humeral liner seçenekleri.^[26,27]

Bu tasarımlar, dönüş merkezini iç ve merkezden uzak yönde kaydırarak deltoid gerilimini ve mekanik yararı artırır. Deltoid kası korunmuş ve skapula tespiti stabil olan hastalarda, geleneksel proksimal humerus tümör protezlerine kıyasla üstün aktif elevasyon ve abduksiyon elde edilebilir. Bununla birlikte, skapular çıkıntı (*spine*) stres kırıkları, glenoid bileşen gevşemesi ve limitli dönüş gücü ile ilgili endişeleri de beraberinde getirirler.^[26,27]

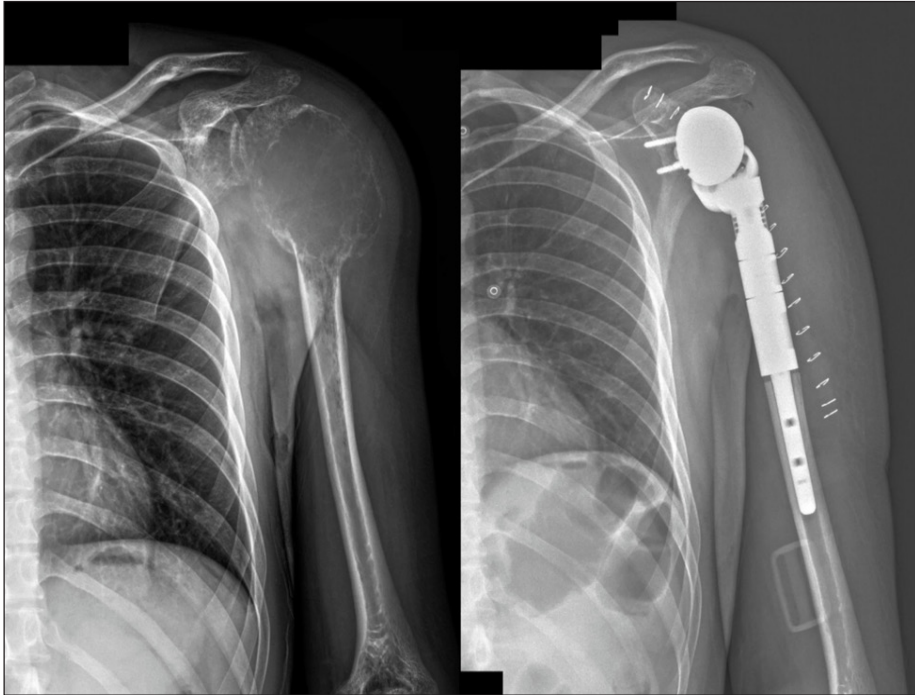
Skapula ve genişletilmiş omuz kuşağı yeniden inşa edilmesi

Skapula veya glenoidi içeren tümörler için seçenekler arasında; humerus süspansiyonu ile kısmi veya tam skapulektomi, allogreft-protez kompozitleri veya özel skapula/Tikhoff-Linberg tipi tümör protezleri yer almaktadır. Skapula megaprotez tasarımları, kalan klavikula ve kotalara sabitlenmiş bileşenler kullanarak glenoid ve skapula gövdesini yeniden inşa etmeyi ve ters veya kısmi protez tipi bir eklem için temel oluşturmayı amaçlamaktadır.^[30,31]

Yumuşak doku örtüsü genellikle ciddi şekilde hasar gördüğünden bu yapılar; kalan trapezius, deltoid ve skapula çevresi kasların yeniden inşa edilmesine izin veren tasarım özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Fonksiyonel beklentiler gerçekçi olmalıdır; birçok durumda onkolojik tedavi sonrası birincil hedefler tam omuz hareket açıklığı yerine ağrı giderme ve stabil el pozisyonudur.^[31,32]

Yumuşak doku yeniden inşa edilmesi ve fonksiyonel etkileri

Yumuşak doku yeniden inşa edilmesi, omuz kuşağı megaprotezlerinin başarısı için kritik öneme sahiptir. Metafizyal segmentteki sütür delikleri, gözenekli yakalıklar ve sentetik tüpler gibi tasarım unsurları; kapsülün, deltoid kasının ve kalan rotator manşetin güvenli bir şekilde sabitlenmesini sağlar. Bu yeniden inşa edilmelerin kalitesi, stabiliteyi ve fonksiyonel sonucu doğrudan etkiler.^[31]



Şekil 2. Proksimal humerus dev hücreli kemik tümörü nedeniyle ters omuz modüler tümör protezi ile yapılan yeniden inşanın direkt grafisi.

Klinik olarak aktif elevasyon ve abdüksiyon elde etme şansı; deltoid ve aksiller sinir fonksiyonu korunmuş, intakt veya yeniden inşa edilme yapılmış skapular dengeleyicilere (stabilizatörlere) ve implant çevresindeki yumuşak dokuların iyi bir şekilde tespit edildiği hastalarda en yüksektir. Buna karşılık, bu koşullar karşılanmadığında en gelişmiş tasarımlar bile sınırlı omuz hareketine yol açacak ve yeniden inşa edilme hedefleri konfor ve el pozisyonuna doğru kayacaktır.^[30-32]

Humeral Diyafizer ve Tüm Humerus Megaprotezleri

Humeral diyafizer segmenter protezler

Birincil veya metastatik tümörlerden kaynaklanan humerus diyafizer segmental kusurları (defektleri), modüler diyafizer megaprotezler kullanılarak yeniden inşa edilebilir. Bunlar, proksimal ve distalde intramedüller saplardan oluşur ve modüler silindirik segmentlerle birbirine bağlanır. İnterkalar allogreftler veya damarlı fibula gibi biyolojik seçeneklerle karşılaştırıldığında protezler, yeniden inşa edilme anında stabilite sağlar ve greft yetmezliği veya kaynamama endişelerini ortadan kaldırır.

Tasarım hususları şunları içerir; sap-segment birleşim yerlerinde stres yoğunlaşmalarından kaçınma, oyma ve sap yerleştirme sırasında radial sinirin korunması, kemik kalitesine bağlı olarak çimentolu veya çimentosuz saplar ve humerus eğimine (*bowing*) uyacak şekilde proksimal ve distal segmentlerin dönüştürülmesi (rotasyonel) dizilimine dikkat edilmesi.

Omuz ve dirsek eklemleri korunduğu için, yumuşak dokular yeterince muhafaza edildiğinde fonksiyonel sonuçlar mükemmel olabilir.^[33]

Tüm humerus protezi

Tüm humerus protezi (THP), humerusun büyük bir bölümünü kapsayan yaygın tümörler veya birden fazla ba-

şarısız yeniden inşa edilmeden sonra kurtarma amacıyla endikedir. Tüm humerus protezi tasarımları; proksimal omuz bileşenini, diyafiz segmentlerini ve distal dirsek veya menteşe bileşenini tek bir modüler yapıya bütünleştirir.

Tüm humerus protezi tasarımı; proksimal bileşenin nasıl eklemlendiği (kısmi protez, ters omuz), dirsek ekleminin seçimi (bağlantılı menteşeli, yarı kısıtlı sistemler), deltoid, biceps, triceps ve önkol bükücü/düzleştiricilerinin yeniden bağlanması, glenoid ve ulna/radiusta stem tespitine bağlı olarak değişkenlik gösterecektir.

Fonksiyonel olarak, çoğu hasta makul el ve dirsek fonksiyonuna ulaşır ancak aktif omuz hareketi sınırlıdır. Bu nedenle, tasarım öncelikleri normal omuz biyomekaniğini yeniden üretmeye çalışmaktan ziyade stabiliteye, dayanıklılığa ve yumuşak doku yeniden inşa edilmesine odaklanmaktadır.^[34]

Distal Humerus ve Dirsek Megaprotezleri

Gereklilikler ve zorluklar

Distal humerus ve dirsek megaprotez yeniden inşa edilmesi, omuz veya diz yeniden inşa edilmesine göre daha az yaygındır ancak birincil sarkomlar, fokal olarak ilerlemiş metastazlar veya karmaşık düzeltme vakaları için gerekli olabilir. Dirsek; kısıtlı kemik stoku, ulnar ve radial sinirlerin yakınlığı, nispeten ince yumuşak doku örtüsü ile kısıtlı bir eklemdir. Bu faktörler nöropati, enfeksiyon ve gevşeme gibi öngörülebilir istenmeyen durumlara yatkınlık oluşturur.

Dirsek tümör protezi tasarımları

Dirsek tümör protezleri tipik olarak, kollateral bağların yokluğunda içsel (intrinsik) stabilite sağlayan menteşeli sistemlerdir (Şekil 3). Tasarımları, basit tek parça menteşelerden; burçlar ve eksen bileşenlerini içeren bir menteşe



Şekil 3. Tekrar eden sap gevşemeleri ve protez yetmezliklerini; aynı hastaya yıllar içinde uygulanmış başarısız dirsek artroplastileri ve çözümlerini gösteren direkt grafiler.

mekanizmasıyla birleştirilen ayrı humerus ve ulnar bileşenlere sahip modüler cihazlara doğru evrimleşmiştir.

Dirsek protezlerinin mimarisi; humerus ve ulnadaki sap uzunluğu ve tespit yöntemine (çimentolu veya çimentosuz), menteşe tasarımına (eksen lokasyonu, burç malzemesi, rotasyon derecesi), radial baş çıkarımına, yeniden inşa edilme seçeneklerine ve doğal anatomiye karşılık gelen gövde geometrisine göre değişkenlik gösterir. Bazı sistemler düzeltme dirsek artroplastisi implantlarından uyarlanırken, diğerleri daha uzun saplara ve ek modüler segmentlere sahip ortopedik onkoloji için tasarlanmış özel cihazlardır.

Yumuşak doku ve bağ dokusu yeniden inşa edilmesi

Tümör çıkarılması genellikle kollateral bağları ve triceps mekanizmasının bir kısmını feda ettiğinden, implant tasarımı; triceps tendonunun ve mümkün olduğunda bağların ve kapsülün kalıntılarının güvenli bir şekilde yeniden bağlanmasına izin vermelidir. Distal humerus segmenti çevresindeki dikiş delikleri, gözenekli flanşlar ve sentetik tüpler bunu kolaylaştırabilir. Yeterli yumuşak doku örtüsü (genellikle kas flepleriyle) enfeksiyon riskini azaltmak ve protezi korumak için çok önemlidir.

Sonuçlar ve başarısızlık biçimleri

Dirsek megaprotezleri iyi uygulandıklarında ağrısız stabil fleksiyon-ekstansiyon hareketleri sağlayabilirler ancak enfeksiyon, aseptik gevşeme, protez çevresi kırık, ulnar sinir disfonksiyonu ve menteşenin mekanik aşınması gibi nispeten yüksek öngörülebilir istenmeyen durum oranlarıyla ilişkilidirler. Tasarım açısından güncel implantlar; sap tespitini optimize etmeye, çimento-kemik arayüzündeki stresi en aza indirmeye, aşınma ve partikül kalıntılarını azaltan dayanıklı malzemeler kullanmaya odaklanmaktadır. Bununla birlikte, ağır kaldırma ve yüksek talep gerektiren aktivitelerle ilgili beklentiler daha düşük ve gerçekçi olmalıdır.^[35]

ALT EKSTREMİTE MEGAPROTEZ TASARIMLARI

Alt Ekstremiteye Özgü Hususlar

Alt ekstremitte megaprotez tasarımları; üst ekstremitte implantlarından daha yüksek tekrarlayan yüklere dayanmalı ve ağırlık taşıyabilmeli, stabil ve ağrısız bir uzuv sağlamalıdır.

Alt ekstremitte megaprotezleri için gereklilikler arasında birincil kötü huylu tümörler, büyük kemik yıkımına neden olan metastatik hastalıklar ve başarısız iç tespit veya masif kemik kaybı olan protez çevresi kırıklar gibi karmaşık düzeltme senaryoları yer almaktadır. Sırasıyla diz, kalça ve pelvis bölgeleri en sık ihtiyaç duyulan bölgelerdir.^[6]

Pelvik ve Asetabulum Çevresi Megaprotezler

Tarihsel arka plan

İç (*internal*) hemipelvektomi sonrası pelvik ve asetabulum çevresi yeniden inşa edilmeleri, ortopedik onkolojideki en karmaşık işlemler arasındadır. Erken çözümler arasında yer alan eyer (*saddle*) protezler ve özel-yapım hemipelvik protezlerin her ikisi de yüksek oranda çıkık, gevşeme ve mekanik başarısızlık ile ilişkiliydi.

Çağdaş Tasarımlar ve Prensipler

Modern pelvik megaprotez tasarımları, pelvik halkayı restore etmeyi ve stabil bir kalça eklemi oluşturmayı amaçlamaktadır. Sıklıkla bu amaca yönelik ameliyat öncesi bilgisayarlı tomografi (BT) verilerinden üretilen bağlantı ve tespit özellikleri parça alma sonrası kalan ilium, sakrum ve pubis/iskiüma bağlanan hastaya özgü hemipelvik implantlarda; metastatik veya düzeltme ameliyatlarında sıklıkla kullanılan, parça alma sonrası kalan kemiğe sabitlenmiş kafes (*cage*) veya halka (*ring*) yapısı ile kombine hemisfer kap ve yükü ilium veya sakrum gibi daha güçlü bölgelere aktaran destek veya pedestal tasarımlarına sahip güçlendirilmiş asetabular bileşenler kullanılır.

Tasarımlar, parça alma (rezeksiyon) tipini (Enneking bölgeleri I-III), kalan kemik miktarını ve istenen kalça merkezini dikkate almalıdır. Hastaya özel üç boyutlu yazdırılmış implantlar; karmaşık geometrileri yeniden ürettikler, kemik içe büyümesi için gözenekli yüzeyler bütünleştirebildikleri, vida ve plak tespiti uygun yapıda da olabildiklerinden bu bölgede popülerlik kazanmıştır.^[36]

Fonksiyonel sonuçlar ve sınırlamalar

Gelişmiş tasarımlarda bile pelvik yeniden inşa edilmesi, önemli öngörülebilir istenmeyen durumlarla ilişkilidir; çıkık, enfeksiyon, gevşeme ve bacak uzunluğu farklılığı yaygındır. Fonksiyonel olarak, birçok hasta bağımsız veya destekli yürüyüşe ulaşır ancak genellikle kalıcı topallama ve sınırlı süreli dayanıklılıkla karşılaşır. Tasarım açısından başarı; kalan kemiğe sağlam bir şekilde sabitlenmeye, biyomekanik optimize etmek için kalça merkezinin doğru bir şekilde yeniden oluşturulmasına ve yumuşak doku flebi örtüsüyle uyumluluğa bağlıdır.^[1]

Proksimal Femur Megaprotezleri

Tasarım evrimi ve seçenekleri

Proksimal femur replasmanı (PFR), tümör çıkarımından sonra yeniden inşa edilme veya ciddi kemik kaybı olan başarısız artroplastilerin kurtarılması için iyi bilinen bir tekniktir. Tasarımlar, hastaya özel monoblok cihazlar-

dan; değiştirilebilir gövde ve başlıklara sahip modüler sistemlere doğru evrimleşmiştir.

Tasarımda önemli noktalar; femoral stem (çimentolu veya çimentosuz), proksimal gövde (proksimal femur metafizini taklit eden, genellikle abduktör kolun yeniden inşa edilmesi için özelliklere sahip) ve baş seçenekleri [kısmi protez, standart veya çift hareketli kaplarla tüm kalça replasmanı ve bazen yüksek riskli hastalarda kısıtlı astar (liner) seçenekleri] olarak ifade edilebilir (Şekil 4).^[37]

Abduktör mekanizma yeniden inşa edilmesi

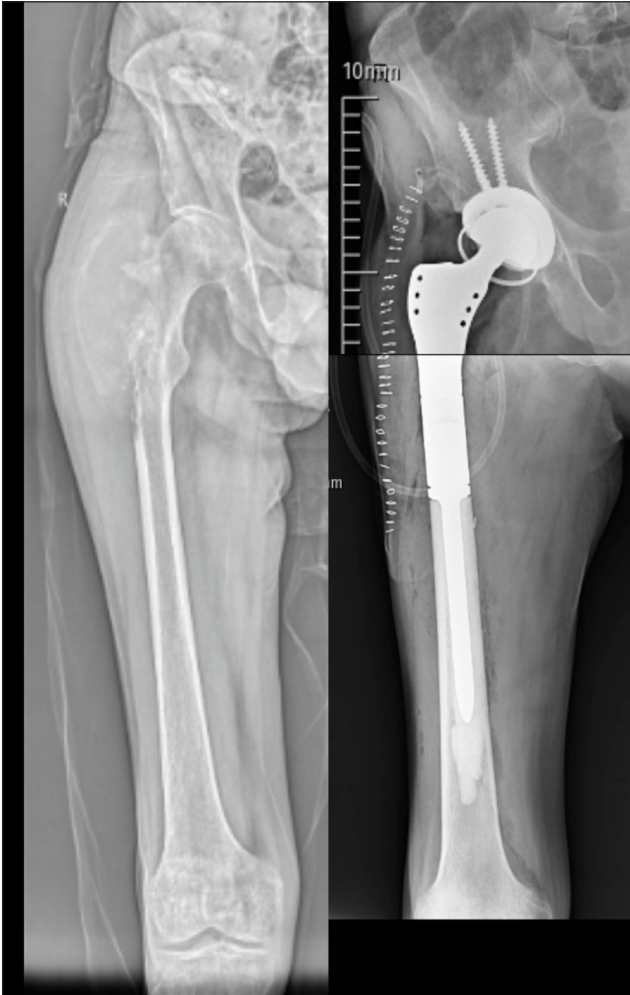
Abduktör yeniden inşa edilmesi, kalça stabilitesi ve yürüyüşün önemli bir belirleyicisidir. İmplant tasarımları; gluteus medius/minimus, kapsülün yeniden inşa edilmesi için sütür bağlantı delikleri olan büyük yakalar veya ataşmanlar, modüler trokanterik yeniden inşa edilme plakları, implantın etrafına sarılabilen ve kalan kaslara bağlan-

bilen sentetik ağ (cerrahi mesh) veya bantlar (dacron tape gibi) içerebilir.

Abduktör mekanizma yeniden inşa edilmediğinde çıkık riski artar ve tasarım tercihleri daha kısıtlı veya çift hareketli asetabular bileşenler yönüne evrilebilir.^[21]

Öngörülebilir istenmeyen durumlar ve sağkalım

Proksimal femur replasmanı sonrası yaygın öngörülebilir istenmeyen durumlar arasında; çıkık, asetabular aşınma (kısmi protezde), aseptik gevşeme, protez çevresi kırık ve enfeksiyon bulunur. Zamanla çift hareketli, geliştirilmiş abduktör tespit ve gözenek kaplamalı çimentosuz gövde seçenekleri ile gelişen tasarımlar; stabilite ve sağkalımın iyileşmesine katkıda bulunmuştur. Ancak yaşam beklentisi sınırlı olan onkolojik hastalarda, basitlik (çimentolu gövdeler, bipolar başlıklar) ve uzun vadeli dayanıklılık arasındaki denge hastaya özel olarak belirlenmelidir.^[38]



Şekil 4. Proksimal femur metastatik lezyonunda modüler proksimal femur endoprotezi.

Distal Femur ve Diz Megaprotezleri

Tarihsel gelişim

Distal femur, birincil kötü huylu kemik tümörlerinin en sık görüldüğü yerlerden biridir. Erken dönem tümör diz protezleri, çimentolu uzun saplı sabit menteşeli tasarımlardı; bunlar mükemmel anlık stabilite sağladı ve erken yük vermeye izin verdi ancak dönüş ve bükmenin rijit bağlantısı nedeniyle aseptik gevşeme, gövde kırılması ve burç aşınması oranları yüksekti.

Dönümlü menteşe mekanizmalarına geçiş, önemli bir tasarım değişikliği idi. Rotasyon menteşeler, içe dönük-dışa dönük ve ön-arka stabiliteyi korurken femoral ve tibial bileşenler arasında aksiyel dönüşe izin vererek sapa ve kemik-çimento arayüzüne iletilen bükülme yüklerini azaltır ve mekanik sağkalımı iyileştirir.^[7]

Modern modüler rotasyon menteşeli sistemler

Günümüzdeki distal femoral megaprotez sistemleri; değiştirilebilir kondiler segmentlere ve femoral saplara sahip modüler distal femoral bileşenlere, intramedüller gövdelere ve modüler ara parçalara sahip dönüşel menteşeli tibial bileşenlere, menteşede stres konsantrasyonunu azaltmak için tasarım değişimleriyle aşınmaya dayanıklı malzemelerden yapılmış burçlara ve bazen metafizyel tespit için hidroksiapatit (HA) kaplı yakalıklarla birlikte çimentolu veya çimentosuz sap seçeneklerine sahiptir.

Bu sistemler; parça alma uzunluğunun, eklem hattının ve uzuv uzunluğunun ameliyat sırasında ayarlanmasına olanak tanır ve tüm bileşenleri çıkarmadan aşınmış burç-

ların veya gövdelerin değiştirilmesine izin vererek düzeltmeyi kolaylaştırır.^[15]

Fonksiyonel sonuçlar ve öngörülebilir istenmeyen durumlar

İyi uygulanmış distal femur megaprotezleri olan çoğu hasta, ağrısız ve günlük aktiviteler için yeterli fonksiyonel hareket açıklığı elde eder. Bununla birlikte öngörülebilir istenmeyen durum oranları önemli ölçüde yüksek kalmaktadır. Mekanik öngörülebilir istenmeyen durumlar arasında burç aşınması, sap kırılması ve aseptik gevşeme yer alırken biyolojik öngörülebilir istenmeyen durumlar arasında enfeksiyon ve lokal nüks yer alır. Özellikle osteopenik kemikte, sap ucunda protez çevresi kırık meydana gelebilir.

Tasarım açısından bakıldığında mevcut çalışmalar, gerilim yoğunlaşma noktalarını azaltmak için sap geometrisini optimize etmeye, yükü dağıtmak için yakalıklar veya metafizyel kılıflar kullanmaya ve aşınmayı en aza indirmek için menteşe tasarımlarını iyileştirmeye odaklanmaktadır. Kısıtlama ve dayanıklılık arasındaki denge hayati önem taşımaktadır, yan bağlar feda edildiği için yüksek kısıtlama gereklidir ancak aşırı kısıtlama mekanik aşırı yüklenme riskini taşır.^[9,13]

Proksimal Tibia Megaprotezleri

Özel zorluklar

Proksimal tibia, kendine özgü yeniden inşa edici sorunlar barındırmaktadır; yetersiz yumuşak doku örtüsü, patellar tendonun diz düzleştirmesindeki temel rolü ve nörovasküler yapılarla yakınlığı. Tümör çıkarımı genellikle patellar tendonun tibiaya yapıştığı nokta (insersiyonunun) ve çevresindeki yumuşak dokunun feda edilmesini gerektirir, bu da düzleştirici (ekstansör) mekanizma yetersizliğine ve yüksek enfeksiyon riskine yol açar.^[39]

Düzleştirici mekanizma yeniden inşa edilmesi için tasarım çözümleri

Çoğu proksimal tibia megaprotez tasarımı, patellar tendonun yeniden inşa edilmesi için özel özellikler içerir; örneğin sütür delikli ön tibial yüzey, tendonun fibröz içe büyümesi (*ingrowth*) için tasarlanmış gözenekli yüzeyler, tendon greftlerinin veya sentetik bağların geçişi için bütünleştirilmiş tüneller ve genellikle protez üzerindeki yumuşak dokunun damarlanmasını ve örtümünü iyileştirmek için kullanılan dönüşel gastroknemius lokal flepleri gibi yumuşak doku örtünme teknikleriyle uyumluluk.

Proksimal tibial segmentin etrafına sentetik ağ (cerrahi *mesh*) sarılarak patellar tendon ve çevresindeki kaslar için bir iskele sağlanabilir. Amaç implantın örtümünü sağlama, enfeksiyondan koruma ve yanında etkili bir düzleştirici mekanizmayı geri kazandırmaktır.^[18,22]

Sap (stem) ve eklemleme hususları

Distal femoral ve proksimal tibial bileşenler diz boyunca aynı rotasyon menteşe sistemini paylaşır. Tibial saplar çimentolu veya çimentosuz olabilir; yük paylaşımını teşvik etmek ve çökmeyi azaltmak için HA kaplı yakalar veya metafizyel yakalıklar içerebilir. Tibial korteks, femura göre nispeten ince olduğundan, sap tasarımında uzunluk ve çapı kırılma riskiyle dengelemelidir.^[13-15,24]

Sonuçlar ve öngörülebilir istenmeyen durumlar

Modern tasarımlar ve titiz yumuşak doku yeniden inşa edilmesi ile bile proksimal tibial megaprotezlerin diğer bölgelere kıyasla daha yüksek enfeksiyon oranları vardır. Düzleştirici gecikme (ekstansör lag), sınırlı eklem hareket açıklığı ve aseptik gevşeme de yaygındır. Bunlar erken ve kalıcı yumuşak doku örtüsünün, dikkatli bir tespit yöntemi seçiminin ve fonksiyonel beklentiler konusunda gerçekçi hasta danışmanlığının önemini vurgulamaktadır.^[9,22,25,39]

Tüm Femur Protezi

Gereklilikler

Tüm femur protezi (TFR), proksimal ve distal femuru içine alan hastalık, birden çok odaklı metastazlar veya segmental çözümlerin mümkün olmadığı çoklu başarısız yeniden inşa etmelerden sonra kurtarma amacıyla kullanılır (Şekil 5). Ayrıca seçilmiş vakalarda kalça dezartikülasyonuna veya diz üstü amputasyona alternatif olabilir.^[40]

Tasarım özellikleri

Tüm femur protezi; proksimal femur bileşenini, diyafiz segmentlerini ve distal femur diz bileşenini tek bir modüler implantta birleştirir. Hem kalçada hem de dizde stabil eklemlemenin sağlanması [genellikle proksimalde çift hareketli veya kısıtlı liner ve distalde rotasyon menteşeli diz kullanılarak], doğru uzuv uzunluğunu elde etmek için yeterli diyafiz uzunluğunun ayarlanması, trokanterik bölgede abdükör ve yumuşak doku yeniden inşa edilmesi için seçeneklerin belirlenmesi, asetabular ile tibial taraflardaki sap tespiti, kemik kalitesine ve beklenen sağkalıma göre uyarlanmıştır.



Şekil 5. Total kalça ve diz artroplastileri sonrası çeşitli komplikasyonlarla devam eden başarısız artroplastilerin kurtarıcı cerrahisi olarak uygulanmış tüm femur protezi.

Tüm femur değiştirildiği için, yük transferi ve stres dağılımı büyük ölçüde implant ve tespit noktalarına bağlıdır; bu da sağlam gövde tasarımı ve arayüz mühendisliğinin önemini artırır.^[40]

Fonksiyonel sonuçlar ve öngörülebilir istenmeyen durumlar

Tüm femur protezi, kabul edilebilir ağrısız yürüme ile uzuv koruyucu tedavi sağlayabilir ancak doğal kasların kemiğe yapışma yerlerinin (insersiyolarının) ve eklem iç algısının (propriosepsiyonunun) kaybı nedeniyle yürüyüş genellikle bozulur. Çıkık, enfeksiyon, sap ucunda protez çevresi kırık ve gevşeme önemli risklerdir. Daha iyi yu-

muşak doku bağlantı özellikleri, hedeflenen düzeltmeye uygun modülerlik ve gelişmiş yüzey teknolojileri gibi tasarım iyileştirmeleri bu riskleri azaltmayı amaçlamaktadır. Ancak uzun vadeli dayanıklılık, özellikle genç ve aktif hastalarda zorlu olmaya devam etmektedir.^[41]

Distal tibia, ayak bileği ve ayak megaprotezleri

Distal tibia, ayak bileği ve ayak tümörleri nispeten nadirdir ve yeniden inşa edilme seçenekleri daha sınırlıdır. Sıklıkla amputasyon ile tedavi edilen bu lokasyondaki tümörlere nadiren uzuv koruyucu cerrahi uygulanır. Artrodez (tibiotalar veya tibiokalkaneal füzyon), özellikle yumuşak doku koşullarının kötü olduğu veya eklemi koruyucu seçeneklerin mümkün olmadığı durumlarda temel bir yöntem olmaya devam etmektedir. Genelde hastaya ve hastalığa özel implantlar tanımlanmıştır.^[42]

KOMPLİKASYONLAR VE TASARIM ODAKLI YENİLİKLER

Tümör Protez Yetmezliği

Tasarım ve cerrahi teknikteki büyük ilerlemelere rağmen onkolojik megaprotez yeniden inşa edilmesinden sonraki öngörülebilir istenmeyen durum oranları, geleneksel artroplastiyeye göre daha yüksektir. Tipik başarısızlık nedenlerinin implant evrimini nasıl şekillendirdiğini anlamak, rasyonel implant seçimi ve gelecekteki yenilikler için çok önemlidir.

Henderson ve ark. özellikle onkolojik yeniden inşa etmelerde faydalı olan, yaygın olarak kullanılan bir endoprotez başarısızlığı sınıflandırması önermiştir.^[19]

- Tip I – Yumuşak doku yetmezliği (çıkık, düzleştirici mekanizma yetersizliği, mekanik arıza olmaksızın dengesizlik)
- Tip II – Aseptik gevşeme
- Tip III – Yapısal yetmezlik (implant kırılması, men-teşe/burç arızası, gövde kırılması)
- Tip IV – Enfeksiyon
- Tip V – Tümör ilerlemesi veya lokal nüks

Bu başarısızlık tiplerinin tipik klinik karşılıkları, bunlara yönelik tasarım çözümleri ve hâlen devam eden temel zorluklar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Çoğu başarısızlık bu kategorilerden birine veya daha fazlasına eşlenebilir. İmplant tasarımı her başarısızlık alt tipinin oranını ve yönetimini etkiler. Örneğin, rotasyon menteşe tasarımlarında öncelikle tip III yetmezliklere çözüm olmaya çalışılmış; gözenekli ve hidroksiapatit (HA) kaplamalarda tip II yetmezlikleri önlemeye, gümüş kaplamalarda ise tip IV yetmezlikleri hedef alınmıştır.

Tablo 2. Tümör endoprotezlerinde başarısızlık tipleri ve tasarıma dayalı çözümler

Başarısızlık tipi (Henderson)	Tipik mekanizmalar / klinik örnekler	Temel tasarım yanıtları	Devam eden zorluklar	Tasarımı etkileyen başlıca komplikasyon riskleri
Tip I – Yumuşak doku yetmezliği (dengesizlik, çıkık, düzleşme yetersizliği)	Abduktör yeniden inşa yetersiz PFR sonrası kalça çıkığı; proksimal tibia replasmanı sonrası anterior diz dengesizliği; proksimal humerus replasmanı sonrası omuz psödoparalizi veya yarı çıkığı	Yumuşak doku tutunması için özel tasarlanmış sütür delikleri, poroz yakalıklar, ağ/tüp kılıflar; ters omuz tümör protezleri; abduktör/trokanter reinserti cihazları; patellar tendon kancaları ve sentetik bağlar; kas flepleriyle uyumlu tasarımlar	Kemoterapi/radyoterapi sonrası yumuşak doku kalitesi sıklıkla kötü; tüm yapılar yeniden inşa edilemeyebilir; yüksek riskli kalça ve omuzlarda dengesizlik devam edebilir; fonksiyonel beklentilerin gerçekçi tutulması gerekir	Dengesizlik, superior migrasyon, yetersiz aktif elevasyon, enfeksiyon; aksiller sinir ve deltoid yetersizliği
Tip II – Aseptik gevşeme	Uzun çimentolu saplar çevresinde ilerleyici radyolüsent hat ve ağrı; genç ve aktif sarkom sağ kalanlarında geç gevşeme	Pürüzlü/HA kaplı yüzeylere sahip çimentosuz <i>press-fit</i> saplar; flütlü ve konik stem tasarımları; metafizer yakalık ve manşonlar; kompresif osteointegrasyon sapları; daha anatomik sap kavsi	Radyoterapi uygulanmış veya osteopenik kemikte kalıcı tespit sağlamak; sap rijitliği ve uzunluğu stres kalkanlanması ve kırık riskiyle dengelemek; onkoloji alanında yeni fiksasyon konseptleri için uzun dönem veri eksikliği	Dengesizlik, inferior yarı çıkık, protez gevşemesi, yumuşak doku yetmezliği, yara problemleri
Tip III – Yapısal yetmezlik (implant kırığı, menteşe yetmezliği)	Erken nesil sabit menteşeli dizlerde aks aşınması; bağlantı bölgelerinde veya stres konsantrasyon alanlarında sap kırığı; uzayabilir mekanizmaların mekanik arızası	Sabit menteşeden döngülü menteşeli tasarıma geçiş; artırılmış aks çapı ve iyileştirilmiş aks materyalleri; optimize edilmiş bağlantı geometrisi ve kilitleme mekanizmaları; yorulma testinden geçirilmiş modüler bağlantılar; uzayabilir sistemlerde mekanizma iyileştirmeleri	Genç ve aktif hastalarda uzun dönem yorulma; pelvis ve kişiye özel implantlarda karmaşık yüklenme; uzayabilir protezlerin dayanıklılığı; yapısal yetmezliğin kişiye özel veya 3B baskılı komponentlerde ortaya çıkması hâlinde zor yeniden inşa	Sap ucu çevresinde periprotez kırık, aseptik gevşeme, radial sinir lezyonu, enfeksiyon
Tip IV – Enfeksiyon	Erken dönemde derin enfeksiyon; özellikle proksimal tibia ve pelvis yeniden inşasında geç, düşük dereceli enfeksiyon	Yüksek riskli bölgelerde gümüş kaplı komponentler; kısmi komponent değişimine izin veren modüler sistemler; ölü boşluğu azaltan ve debridmanı kolaylaştıran implant geometrileri; yüksek doz antibiyotikli çimentoya uyumlu yüzeyler	Büyük ölü boşluklar, immünsupresyon, kemoterapi ve radyoterapi nedeniyle enfeksiyon riski yüksek kalmaktadır; biyofilm eradikasyonu zordur; iki aşamalı yeniden inşaların morbiditesi yüksektir; gümüş ve diğer kaplamaların uzun dönem güvenliği ve etkinliğiyle ilgili veri sınırlıdır.	Sınırlı omuz hareketi, dengesizlik, gevşeme, enfeksiyon, sinir hasarı, menteşe/ <i>bushing</i> mekanik yetmezliği
Tip V – Tümör progresyonu / lokal nüks	Rezeksiyon sınırlarında lokal nüks; anatomik kısıtlar nedeniyle intralezyonel rezeksiyon; daha geniş rezeksiyon veya amputasyon gereken progresyon	Genişletilebilen veya yeniden inşa edilebilen modüler sap ve segmentler; rezeksiyon uzatılmasına izin veren tasarımlar (örneğin segmental rekonstrüksiyondan total femura dönüşüm); cerrahi sınırları optimize etmek için görüntüleme tabanlı planlama entegrasyonu	Sonuçta biyoloji belirleyici faktördür; fonksiyonu ciddi biçimde bozabilecek çok geniş rezeksiyonlar gerekebilir; büyük kişiye özel implantlar çevresinde revizyon veya amputasyon teknik olarak zordur.	Enfeksiyon, ulnar sinir nöropatisi, gevşeme, menteşe aşınması, periprotez kırık
Çapraz: Periprotez kırık	Osteopenik kemikte sap ucu seviyesinde kırık; uzun stemler çevresinde veya minör travma sonrası kırıklar	Anatomik kavsi olan ve konik saplar; seçilmiş olgularda daha kısa metafizer veya kompresif sap kullanımı; stem ile kemik arasındaki geçiş bölgesinin optimize edilmesi; aşırı yüksek riskli olgularda profilaktik fiksasyon düşünülmesi	Yaşlanan sarkom sağ kalanları ve kırılğan metastatik hastalar kırık açısından riskli kalmaktadır; radyoterapi ve sistemik tedaviler kemiği daha da zayıflatır; başlangıçta stabilize için gereken stem uzunluğu ile uzun dönem kırık riski arasındaki denge zorlayıcıdır.	Çıkık, gevşeme, enfeksiyon, bacak boyu eşitsizliği, fiksasyonun mekanik yetmezliği, yara/flep komplikasyonları

Mekanik Yetmezlik ve Yeniden Tasarım

Mekanik arıza (tip III) tarihsel olarak, bükme ve dönüşün rijit birleşimi sap ve çimento mantosunda yüksek bükülme gerilimleri oluşturarak erken dönem sabit menteşeli tümör protezlerini etkilemiştir. Bu durum sap kırılmalarına, eksen kırılmalarına ve erken burç erozyonuna yol açmıştır.

Bu tip yetmezliği aşmak için dizde eksenel dönüşü izin verirken içe dönük-dışa dönük ve ön-arka stabiliteyi koruyan dönüşel menteşe mekanizmaları, geliştirilmiş menteşe geometrisi ve malzemeleri (daha büyük çaplı eksenler, yüksek aşınma dirençli burçlar, optimize edilmiş temas yüzeyleri) ve gerilim konsantrasyonunu azaltmak ve yük dağılımını iyileştirmek için tasarlanmış gövde geometrisi (konik, oluklu, eğimli gövdeler) gibi yeniden tasarım özellikleri üzerine çalışılmaktadır.

Bu yenilikler mekanik yetmezlik oranlarını düşürmüş olsa da uzun süre hayatta kalan hastalarda ve yüksek yüke maruz kalan bölgelerde mekanik arızalar hâlâ meydana gelmektedir.^[13]

Aseptik Gevşeme ve Osseointegrasyon Yöntemleri

Aseptik gevşeme (tip II), özellikle daha genç, daha aktif hastalarda ve çimentolu uzun saplı yeniden inşa etmelerde geç dönem başarısızlığının önemli bir nedenidir. Faktörler arasında yüksek siklik yüklenmeler, uygun olmayan çimentolama tekniği, stres kalkanı ve kemoterapi veya radyoterapi sonrası kemik kalitesinin düşük olması yer almaktadır.

Gevşemeyi azaltmaya yönelik tasarım çözümleri; gözenekli/HA kaplı yüzeylere sahip çimentosuz baskılı geçirme saplar, oluklu ve konik tasarımlar, endosteal ve periosteal kemik büyümesini teşvik eden ve yükü daha fizyolojik olarak paylaşabilen gözenekli veya HA kaplı metafizel yakalıklar, kısa metafizer osseointegrasyona izin veren saplar (kalan kemiği korumak ve stres artırıcı segmentlerden kaçınmak için seçilmiş vakalarda), optimize edilmiş stem uzunluğu ve çapını (stres kalkanı ve sap ucunda protez çevresi kırık riskiyle stabiliteyi dengeler) içerir.

Önemli olan, tasarım seçimlerinin; hastanın beklenen yaşam süresi, kemik kalitesi ve gelecekteki düzeltme ihtiyacına uygun olmasıdır.^[11,13]

Yumuşak Doku Yetmezliği ve İnstabilite

Yumuşak doku yetmezliği (tip I); özellikle proksimal humerus, proksimal tibia ve pelvik bölgelerde bağların, tendonların ve kasların feda edildiği yeniden inşa etmelerde önemlidir. Belirtileri arasında dengesizlik, çıkık,

düzleştirici mekanizma yetmezliği ve omuz veya kalça fonksiyon bozukluğu yer alır.

Tasarım odaklı çözümler arasında; özel yumuşak doku bağlantıları [sütür delikleri, gözenekli yakalıklar, tendon yeniden inşa edilmesi için bütünleştirilmiş sentetik tüpler (cerrahi *mesh*) veya ağlar], fonksiyonel rotator manşet yokluğunda doğal stabilite ve deltoid kası tarafından yönlendirilen elevasyon sağlayan ters omuz megaprotezleri, düzeltici mekanizmayı yeniden inşa etmek için proksimal tibial implantlarda patellar tendon ataşman yeri ve kalça eklemi çıkığı ile *Trendelenburg* yürüyüşünü azaltmak için proksimal femoral protezlerinde abdükör yeniden inşa edilme seçenekleri [trokanterik plaklar veya sentetik ağ (*mesh*) takviyesi] yer alır. Bununla birlikte, yumuşak doku kalitesi yeniden inşa edilebilirliğinin tasarımın tek başına başarabileceği şeyleri sınırlandıracığını unutmamak gerekir.^[18,22]

Enfeksiyon ve Enfeksiyona Dirençli Tasarımlar

Enfeksiyon (tip IV), en yıkıcı öngörülebilir istenmeyen durumdur ve onkolojik vakalarda büyük ölöl boşluklar, uzun süren cerrahi, kemoterapi, radyoterapi ve sıklıkla bağışıklık sisteminin zayıflaması nedeniyle birincil artroplastiye göre daha sık görülür.

Enfeksiyonu önlemeye yönelik tasarım yöntemleri arasında, özellikle yüksek riskli bölgelerde (örn. proksimal tibia), bakteriyel yapışmayı ve biyofilm oluşumunu azaltmak için gümüş kaplı protezler; enfekte protezler için iki aşamalı düzeltmelerde veya yaradan ölü ya da yabancı dokuları uzaklaştırma sırasında kısmi bileşen değişimine izin veren modülerlik, kapsamlı yaradan ölü ya da yabancı dokuları uzaklaştırması ve ölü boşluklara ulaşımı kolaylaştıran implant geometrileri ve antibiyotik yüklü çimento ile uyumluluk yer almaktadır. Bu tür yeniliklere ve çözümlere rağmen enfeksiyon oranları önemli düzeyde kalmaktadır; dikkatli hasta seçimi, yumuşak doku yönetimi (flep örtüsü dâhil) ve ameliyat esnasındaki protokoller de aynı derecede kritiktir.^[16,25]

Lokal Nüks

Tümörün ilerlemesi (tip V), daha geniş parça alma veya amputasyon gerektirebilir. Esasen biyolojik ve cerrahi sınırlar tarafından yönlendirilse de implant tasarımı yeniden parça almanın uygulanabilirliğini etkileyebilir. Modüler sistemler, daha fazla kemik çıkarılması gerekiyorsa, tüm bileşenlerden vazgeçmeden segmentlerin çıkarılması veya uzatılmasını kolaylaştırır. Özellikle pelviste özel veya yüksek düzeyde bütünleştirilmiş tasarımların düzeltilmesi zor olabilir, bu nedenle beklenen onkolojik riskle implant kullanımları dengelenmelidir.^[19]

Uzun Vadeli Sağkalım

Tümör megaprotezlerinin genel sağkalımı; uygulandıkları bölgeye, tasarımlarına ve hasta nüfusuna göre büyük ölçüde değişmektedir. Güncel yazın, en yaygın yeniden inşa edilmeler (distal femur, proksimal tibia, proksimal femur) için beş ile on yıllık implant sağkalımını genellikle %60-85 aralığında bildirmekte olup, geç düzeltmelerde mekanik ve enfeksiyonla ilgili başarısızlıklar baskın durumdadır. Bu sonuçlar, birçok durumda biyolojik yeniden inşa edilmelerle karşılaştırıldığında olumlu sonuçlar vermekte ve megaprotezler, ileri evre hastalık nedeniyle yaşam beklentisi sınırlı olan hastalarda sıklıkla hastanın ömründen daha uzun süre kullanılmaktadır. Bununla birlikte, daha genç ve uzun süre hayatta kalan sarkom hastalarında mekanik öngörülebilir istenmeyen durumların ve düzeltmelerin kümülatif sıklığı önemli düzeyde kalmakta, bu da sürekli tasarım optimizasyonuna duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.^[3,4,11]

MEGAPROTEZ TASARIMINDA GELECEK YÖNELİMLER

Hastaya Özel ve Üç Boyutlu Baskılı İmplantlar

İyileştirilmiş onkolojik sağkalım, sayısal ve üretim teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, fonksiyon ve yaşam kalitesi dengesi; megaprotez tasarımlarının “gelecek” yönelimleri şekillendirmektedir (Tablo 3).

Modüler implant üretimi; özellikle pelvis, skapula ve eklem çevresi metafizler gibi anatomik olarak karmaşık bölgelerde, ameliyat öncesi BT görüntülerine dayalı hastaya özel, 3B baskılı endoprotezleri mümkün kılmıştır.

Potansiyel yararlar arasında; iyileştirilmiş uyum ve yük transferi, eklem dönüş merkezinin ve mekanik eksenin daha iyi restorasyonu, yapısal gücü korurken osseointegrasyon kolaylaştırmak için kemik-implant arayüzlerinde bütünleştirilmiş gözenekli yapılar, kalan kemik stokuna uygun plak, vida ve ataşman ile tespit seçenekleri, optimize edilmiş biyomekanik için uzuv uzunluğunun ve eklem merkezinin ayarlanabilmesi de yer almaktadır.

Zorlukları arasında ise; uzun üretim süresi, yüksek maliyet ve yetersiz uzun vadeli sonuç verileri yer almaktadır. Ek olarak, bu tür implantların son derece özelleştirilmiş yapısı gelecekteki düzeltme ameliyatlarını karmaşıklaştırabilir. Hastaya özgü üç boyutlu bir pelvik implantın modüler asetabular *cup* veya standart eklem modülleriyle birleştirilebildiği hibrit yaklaşımlar, özel uyumlu implant ve düzeltilebilirlik arasında bir denge sunabilir.^[43]

Biyolojik-Protez Hibrit Yeniden İnşa Edilmeler

Allograft-protez kompozitleri (APK), gözenekli metal konlar ve endoprotezlerle birleştirilmiş damarlı kemik greftleri, hem biyolojik hem de protez ile yeniden inşa

edilmenin güçlü yönlerinden yararlanma amacına hizmet etmektedir.

Bu alandaki tasarımlar; metafizel kemik stokunu artıran ve megaprotezin yük dağılımını iyileştiren koniler ve ataşmanlar, biyolojik birleşmeyi modülerlikle tamamlayan segmental bir allograftın protez bir sap tarafından içten tespit edildiği APK yapılarını içermektedir. Allograft-protez kompozitleri teknik olarak zordur ve biyolojik bütünleştirilmenin kalıcı fayda sağlayabileceği, daha uzun yaşam süresi beklenen genç hastalar için ideal olabilir.^[44]

Akıllı İmplantlar ve Sensör Bütünleştirilmesi

Gelişen kavramlar; mekanik yükleri, sıcaklığı veya biyokimyasal belirteçleri izleyen gömülü sensörlerle donatılmış “akıllı” megaprotezleri öngörmektedir. Potansiyel uygulamalar arasında; protez gevşemesine veya kırılmasına yakınlık oluşturan erken aşırı-anormal yüklenme modellerinin tespiti, enfeksiyonu düşündüren sıcaklık veya pH değişikliklerinin izlenmesi, uzaktan fonksiyonel değerlendirme ve erken müdahaleye olanak tanıyan telemetrik takip yer almaktadır.

Bu teknolojiler megaprotezlerde hâlen büyük ölçüde deneysel olsa da sensörlerin hızla minyatürleştirilmesi ve kablosuz iletişimdeki gelişmeler, gelecekteki klinik uygulamayı mümkün kılmaktadır.^[45]

Sayısal Planlama, Sanal Gerçeklik(SG)/Artırılmış Gerçeklik(AG) ve Robotik Asistanlar

Görüntüleme, segmentasyon, sanal gerçeklik (SG) ve artırılmış gerçeklik (AG) ve robotikteki gelişmeler; ameliyat öncesi planlama ve uygulamaya giderek daha fazla bütünleştirilmektedir. 3B ameliyat öncesi planlama; parça alma düzlemlerinin, implant konumlandırmasının ve uzuv diziliminin hassas simülasyonunu sağlar. Hastaya özgü kemik kesisi kılavuzları ve navigasyon/robotik sistemleri; kemik çıkarılmasının ve implant yerleştirmenin doğruluğunu artırabilir, bu da mekanik öngörülebilir istenmeyen durumları azaltabilir ve fonksiyonu iyileştirebilir. Sanal gerçeklik/AG platformları; sürükleyici planlamaya olanak tanır, ekip içinde ve hastalarla iletişimi kolaylaştırabilir.

Bu teknolojiler, kılavuz yardımcı parça almalarda uyumluluğu destekleyerek, minimum kemik çıkarımı ile geniş cerrahi sınırlar elde ederek, implant tutulumu için daha fazla kemik doku korunmasına olanak sağlar.^[46]

Artan Beklenen Yaşam Ömrü ve Çoklu Düzeltme İçin Tasarım

Gelişmiş kemoterapi ve çok disiplinli bakım ile birçok sarkom hastası artık en az bir, genellikle de birkaç protez

Tablo 3. Onkolojik megaprotez tasarımında geleceğe yönelik eğilimler

Gelecek konsepti / teknoloji	Tasarım veya teknoloji tanımı	Olası avantajlar	Başlıca kısıtlılıklar / zorluklar	Muhtemel ilk klinik uygulama alanları
Hastaya özel 3B baskılı endoprotezler	Bilgisayarlı tomografi/Manyetik rezonans görüntüleme temelli, anatomik uyumlu, poroz arayüzlere ve kişiye özel yakalık veya vida/plak kanallarına sahip özel üretilen implantlar	Daha iyi uyum ve yük aktarımı; eklem merkezi ve ekstremitte hizalanmasının daha doğru onarımı; kemik-implant arayüzlerinde osteointegrasyonu destekleyen poroz yapılar; karmaşık anatomide fonksiyonun potansiyel olarak iyileşmesi	Yüksek maliyet; daha uzun üretim süresi; düzenleyici süreçlerin karmaşıklığı; aşırı kişiselleştirilmiş parçaların yeniden inşasının güç olması; uzun dönem sonuç verilerinin sınırlı olması	Karmaşık pelvik ve peri-a-setabular yeniden inşalar; skapular ve peri-glenoid tümörler; sıra dışı geometriye sahip seçilmiş periartiküler defektler
Hastaya özel kesim kılavuzları ve robotik / navigasyon eşliğinde implantasyon	3B modeller ve sanal gerçeklik (<i>virtual reality</i> , VR)/artırılmış gerçeklik (<i>augmented reality</i> , AR) ile preoperatif planlama; kişiye özel kesim kılavuzları veya robotik kolların kemik rezeksiyonu ve implant yerleşimini yönlendirmesi	Yeniden inşanın ve implant diziliminin daha hassas yapılması; uzuv uzunluğu ve eklem çizgisinin daha iyi kontrolü; mekanik komplikasyonların potansiyel olarak azalması	İleri görüntüleme, planlama ve özel ekipman gerektirir; öğrenme eğrisi; ek maliyet ve ameliyathane süresi; yüksek hacimli merkezlerle sınırlı olabilir	Distal femur ve proksimal tibia parça çıkarmaları; pelvis ve skapulada çok düzlemli karmaşık parça çıkarmalar; anatomisi bozulmuş yeniden inşa olguları
Biyolojik-protez melezleri (APC, koniler, manşonlar, damarlı greftler)	Eklem veya diyafizer endoprotez komponentlerinin yapısal allogreft, poroz koni/manşonlar veya damarlı kemik greftleri ile beraber kullanımı	Kemik stokunun biyolojik olarak yeniden kazanılması ve yük paylaşımının iyileştirilmesi; genç hastalarda gevşeme riskinin azaltılma potansiyeli; gelecekteki revizyonlar için daha iyi kemik zemini	Teknik olarak zor; kaynamama ve greft kırığı riski; daha uzun ameliyat süresi; enfeksiyon riski; iyi konak biyolojisi ve uzun takip gerektirir	Uzun yaşam beklentili genç sarkom hastaları; gevşemiş implantların revizyonunda kemik stok rekonstrüksiyonunun hedeflendiği durumlar; seçilmiş proksimal femur, distal femur ve proksimal tibia olguları
Akıllı implantlar ve entegre sensörler	Yük, hareket, sıcaklık veya pH gibi parametreleri izleyen ve veri ileten gömülü sensörlere sahip implantlar	Anormal yüklenme paternleri, olası mekanik yetmezlik veya enfeksiyon bulgularının erken tespiti; objektif, uzaktan fonksiyonel takip; canlı biyomekanik veriler	Henüz deneysel aşamada; implant boyutlarının küçültülmesi ve güç kaynağı sorunları; verinin yorumlanması ve klinik iş akışına entegrasyonu; maliyet ve düzenleyici engeller	Distal femur, proksimal tibia ve PFR olgularında pilot çalışmalar; yüksek hacimli tümör merkezlerinde araştırma kohortları; yeni tasarımların pazarlama sonrası gözetimi
İleri yüzey teknolojileri ve enfeksiyon hedefli kaplamalar	Antimikrobiyal kaplamalar (örneğin gümüş, antibiyotik emdirilmiş katmanlar); yeni nesil yapışmayan veya bakterisidal yüzeyler; kontrollü pürüzlülük	Bakteri yapışmasını ve biyofilm oluşumunun azaltılması; yüksek riskli yeniden inşalarda enfeksiyon oranlarının düşürülme potansiyeli; daha kısa antibiyotik rejimlerine olanak tanıyabilir	Bazı kaplamaların uzun dönem güvenliği tam bilinmemektedir; direnç gelişimi endişesi; sınırlı erişim ve maliyet; düzenleyici kısıtlamalar	Proksimal tibia ve distal femur yeniden inşaları; revizyon ve kurtarma olguları; ışınlanmış veya yoğun tedavi görmüş alanlarda pelvik implantlar
Modüler, revizyon dostu platformlar (yaşam boyu yeniden inşa yaklaşımı)	Gelecekteki revizyon ve yükseltmelere izin verecek şekilde tasarlanmış sistemler: kemik koruyucu stemler, standartlaştırılmış bağlantılar, geriye dönük uyumlu modüller	Kısmi komponent değişimini kolaylaştırır; sağlam sap ve arayüzlerin korunmasını sağlar; yeniden inşa morbiditesini azaltır; uzun dönem sağkalım beklentisiyle uyumlu	Üreticilerin uzun süreli geri uyum ve parça devamlılığı taahhüdü gerektirir; modüler bağlantılarda mekanik ödümler olabilir; envanter ve stok yönetimi daha karmaşıktır	Genç, uzun süreli sarkom sağ kalanları; yüksek devamlılığı inşa hacmine sahip merkezler; birincil ve yenilenen tümör yeniden inşalarında kullanılan platform sistemler
Veri temelli ve yapay zekâ destekli planlama	Kayıtlar, geniş veri setleri ve yapay zekâ modelleri kullanılarak başarısızlık riskinin ön görülmesi ve implant/tasarım seçiminin kişiselleştirilmesi	Daha kişisel implant seçimi; daha iyi prognostik bilgilendirme; biyolojik/protez/hibrit yeniden inşa endikasyonlarının daha rafine edilmesi	Yüksek kaliteli veri ve sağlam modellere bağlılık riski; klinik karar süreçlerine entegrasyonun henüz gelişmekte olması	Megaprotez/biyolojik yeniden inşa gibi karmaşık karar noktaları; büyük veri tabanlarına katkı sağlayan ve bunları kullanan yüksek hacimli tümör merkezleri

düzeltilmesi geçirecek kadar uzun süre yaşamaktadır. Gelecekteki tasarımlar bu gerçeği öngörmelidir.

Temel kavramlar arasında; gelecekteki protez sapı düzeltilmesini kolaylaştırmak için kemik koruyucu tespit, bileşen değiştirilebilirliği ve geriye dönük uyumluluk, yeni modüllerin mevcut gövdelere ve metafizyel parçalara veya eklem bileşenlerine monte edilmesine olanak tanıma yöntemleri yer almaktadır.

Tasarım felsefesi, tek seferlik bir yeniden inşa etmeden; ilk implantın gelecekteki düzeltmeler için gerçekçi bir beklentiyle seçildiği yaşam boyu süren bir yeniden inşa etme yöntemine doğru ilerlemeyi hedeflemelidir.

Türkiye’de Yerli Megaprotez Tasarımları

Uzuv-koruyucu cerrahinin ülkemizde rutin bir seçenek hâline gelmesiyle birlikte, modüler tümör endoprotezlerine erişim ve sürdürülebilir tedarik önem kazanmış; bu ihtiyaca yanıt olarak yerli ortopedik implant endüstrisi de zaman içinde kendi megaprotez sistemlerini geliştirmiştir. Günümüzde özellikle iki üretici firmanın *Hipokrat HBRS* ve *Tıpsan Penta MERS* sistemleri uzun yıllardır hem yurt içinde hem de yurt dışında kullanılan, geniş ürün gamına sahip modüler tümör protez sistemleri sunmaktadır.^[47,48]

Her iki ürün grubu da tüm büyük eklem ve kemiklerin yeniden inşasına yönelik modüler sistemleri içermektedir. Rezeksiyon protezleri; daha önce bu derlemede özetlenen tasarım ilkelerine benzer biçimde segmenter modüler gövdeler, intramedüller stemler ve eklem spesifik menteşe mekanizmalarıyla yapılandırılmıştır. Standart modüler setlere ek olarak, karmaşık defektler ve anatomik varyasyonlar için “kişiye özel” çözümler de geliştirmekte; böylece geniş kemik rezeksiyonu gerektiren olgularda hem osteoartiküler hem de interkalar rekons-triksiyon seçenekleri sunmaktadır.

Bu yerli sistemlerin ortak özelliği, global literatürde tanımlanan çağdaş megaprotez tasarım prensiplerini (modülerlik, rotasyon menteşeli diz, HA kaplı stemler, anatomik kavsi takip eden femoral stem geometrisi, yumuşak doku tutunması için geniş yüzeyler vb.) ülkemizde erişilebilir, servis ve revizyon desteği güçlü implant platformlarına dönüştürmüş olmalarıdır. Yerli üretimin yaygınlaşması; özellikle kamu hastanelerinde tedarik sürekliliği, stok yönetimi ve maliyet kontrolü açısından belirgin avantajlar sağlamış, ayrıca cerrah-mühendis iş birliğiyle klinik geri bildirimlerin daha hızlı şekilde tasarıma yansıtılabilmesine olanak tanımıştır. Bununla birlikte, bu sistemlere ilişkin uzun dönem sağkalım, komplikasyon profili ve revizyon stratejilerini ortaya koyan, çok merkezli ulusal seriler ve implant kayıt sistemleri hâlâ sınırlıdır. Önümüzdeki dönemde, yerli megaprotez tasarımlarının

dünya literatüründeki yerini güçlendirmek için prospektif veri toplama, fonksiyonel sonuç ölçümleri ve karşılaştırmalı çalışmaların planlanması büyük önem taşımaktadır.

PRATİK KLİNİK KARAR VERME: NASIL BİR DİZAYN SEÇİLMELİ?

Hasta İle İlgili Faktörler

Ortopedik onkologlar, mevcut tasarımları anlamamanın ötesinde, hasta, tümör ve sistem düzeyindeki faktörleri tutarlı bir karar verme çerçevesine bütünleştirmelidir. Megaprotez seçimi onkolojik sınırlar, fonksiyonel hedefler ve dayanıklılık arasında denge kurmayı gerektirir.

Hastaları değerlendirirken yaş ve iskelet olgunluğu [çocuklar ve ergenler büyüme kıkırdaklarına (fizlere) yakın uzayabilir implantlardan faydalanabilir; uzun yaşam beklentisine sahip genç yetişkinler, düzeltme potansiyeli nedeniyle kemik koruyucu, çimentosuz veya hibrit tespit gerektirebilir; yaşlı veya kırılğan hastalar, anlık stabiliteyi önceliklendiren daha basit, çimentolu yapılarla daha iyi sonuç alabilir], onkolojik prognoz (beklenen kısa yaşam süresi, daha düşük cerrahi karmaşıklığa sahip basit tasarımları öne çıkarabilirken, beklenen uzun yaşam süresi ve düzeltilebilirliğe sahip implantları gerektirir) ve fonksiyonel talepler (çok aktif hastalar proteze daha fazla mekanik yük bindirirken, eşlik eden hastalıklar, bağımsızlık durumu ve radyoterapi öyküsü enfeksiyon riskini ve yumuşak doku iyileşmesini etkiler).

Tümör ve Kusurla (Defektle) İlgili Faktörler

Tümör özellikleri tasarım seçimini büyük ölçüde etkiler. Tümörün bulunduğu bölgenin anatomisi (proksimal humerus, asetabulum çevresi, proksimal tibia vb.) farklı tasarım öncelikleri gerektirir, diyafizer ve metafizer kusurlar (defektler), eklemli megaprotezlere yerine interkalar protezleri tercih etmeyi gerektirebilir. Daha geniş parça almalar daha uzun segmentler gerektirirler ve genellikle önemli yumuşak dokuları feda ettiklerinden kısıtlı eklem ve sağlam yumuşak doku bağlantı özelliklerine olan ihtiyacı artırır. Kemik stoku ve kalitesi (ince korteksler, önceki implantlar veya radyoterapi) çimentolu sapları tercih etmeyi gerektirebilirken, sağlam metafizyel kemik çimentosuz veya sıkıştırma gövdelerine izin verebilir.

Yumuşak Doku Örtümü ve Yeniden İnşa Edilme

Yumuşak doku durumu hem implant seçimi hem de hastalık sonucu öngörüsü (prognoz) açısından kritik bir belirleyicidir. Omuz kuşağında, deltoid, aksiller sinir ve skapular stabilizatörlerin canlılığı, anatomik proksimal humerus bileşenleri, ters tümör protezleri veya daha palyatif yapılar arasında seçim yapmayı belirler. Proksimal femurdaki abdükörlerin yeniden inşa edilebilirliği, kalça

eklem seçimini (standart, çift hareketli veya kısıtlı) etkiler. Proksimal tibiada, düzleştirici mekanizma yeniden inşa edilmesi ve flep uygulanabilirliği, megaprotezin uygun olup olmadığını veya artrodez veya amputasyonun daha güvenli olup olmadığını belirler.

İmplant Sistemi Özellikleri

En iyi tasarlanmış implant bile, cerrahi ekip ona aşına değilse veya lojistik destek yetersizse başarısız olur. Pratik hususlar arasında bulunabilirlik ve ürün desteği (tedarik zincirleri, stoktaki boyutlar ve düzeltmeler ve özel bileşenler için üretici desteği), geçmiş performans ve kayıt verileri (karşılaştırılabilir hasta nüfuslarında bilinen sağkalım ve öngörülebilir istenmeyen durum modelleri) ve cerrah-merkez deneyimi (ekipler iyi bildikleri sistemleri kullandıklarında ve komplike onkoloji vakaları için olağan bir ameliyat esnası yol haritasına sahip olduklarında sonuçlar daha iyidir) yer almaktadır.

Bölgeye Özgü Karar Verme

Bireyselleştirilmiş karar verme esas olsa da basitleştirilmiş algoritmalar pratikte yararlı olabilir. Örneğin, proksimal humerusta, sınırlı parça almayla korunmuş rotator manşet ve deltoid, yumuşak doku yeniden inşa edilmesiyle anatomik bir proksimal humerus megaprotezi tercih edilebilir, rotator manşet çıkarılmasıyla beraber korunmuş deltoid ve glenoid, ters omuz tümörü protezin yönünde karar almaya itebilir ve yaygın skapular tutulum veya deltoid kaybı ise öncelikle ağrısız el pozisyonunu hedefleyen skapular/humeral megaprotezlere yönlendirilir.

Distal femurda, standart bir senaryo, kemik kalitesine ve beklenen yaşam süresine bağlı olarak çimentolu veya çimentosuz saplı modüler dönüşlü menteşeli megaprotez ile tedavi edilebilir, iyi kemik stokuna ve uzun yaşam beklentisine sahip genç hastalar için çimentosuz veya sıkıştırılmalı tespit, HA yakallıkları ve kemik koruyucu saplar düşünülebilir.

Proksimal tibiada, yüksek enfeksiyon riskli hastalarda genellikle patellar tendon yeniden inşa edilmesine izin veren megaprotezler, rutin olarak kas flebi kullanımı ve gümüş kaplama önerilir; ciddi hasarlı yumuşak dokular veya çok kötü prognozlu durumlarda, diz artrodezi veya amputasyon daha uygun olabilir.

Proksimal femurda, iyi abduktör fonksiyonu, standart veya çift hareketli total kalça artroplastisi ile PFR'ye izin verebilir. Bunun yanında zayıf veya onarılamaz abduktör destek, çift hareketli veya kısıtlı astarlar (linerlar), trokanterik tespit, artrodez veya rezeksiyon artroplastisi seçeneklerini değerlendirmeyi gerektirebilir.

Bunlar kesin protokoller değildir ancak tasarım ve klinik bağlamın nasıl değerlendirilmesi gerektiğini vurgular.

Önemli Çıkarımlar

Megaprotez tasarımı, malzeme, eklem, tespit, osseointegrasyon ve yumuşak doku yeniden inşa edilmesi açısından anlaşılmalıdır. Aynı implant, hastanın yaşına, hastalık sonucu öngörüsüne (prognozuna) ve yumuşak doku durumuna bağlı olarak çok farklı davranış sergiler. Gereklilikler ve beklentiler ise tasarım detayları kadar önemlidir. Rotasyon menteşeli dizler, geliştirilmiş sap (stem) tasarımları ve gelişmiş yumuşak doku bağlantı özellikleri, eski nesillere kıyasla mekanik ve fonksiyonel öngörülebilir istenmeyen durumları anlamlı şekilde azaltmıştır. Onkolojik sağkalımın arttığı bu dönemde, gelecekteki düzeltme planlaması, ilk tasarım seçiminin ayrılmaz bir parçasıdır. Çok disiplinli bir ekip içinde iş birliği ve karmaşık yeniden inşa edilmelerin deneyimli merkezlerde yoğunlaştırılması, herhangi bir bireysel tasarım özelliği kadar önemlidir.

SONUÇ

Megaprotez yeniden inşa edilmesi, ortopedik onkolojide uzuv kurtarma cerrahisini dönüştürerek, yaygın kemik tümörleri olan birçok hastanın amputasyondan kaçınmasını ve anlamlı bir fonksiyon kazanmasını sağlamıştır. Son yıllarda, implant tasarımları, sabit menteşeli ve çimentolu uzun saplı monoblok cihazlardan, dönüşlü menteşeli, gelişmiş yüzey teknolojileri ve özel yumuşak doku bağlantı çözümleri sunan sofistike modüler sistemlere doğru evrim geçirmiştir.

Bu derleme, üst ve alt ekstremitte megaprotezleri için genel tasarım prensiplerini ve ayrıntılı çağdaş kavramları özetlemiştir. Özellikle mekanik başarısızlık, aseptik gevşeme, yumuşak doku yetmezliği, enfeksiyon ve tümör ilerlemesi gibi yaygın başarısızlık modlarının tasarım yeniliklerini nasıl doğrudan şekillendirdiğini ve 3B baskı, biyolojik-protez hibritleri ve sayısal planlama araçları gibi yeni teknolojilerin gelecekteki implantları nasıl etkileyebileceğini vurguladık.

Ortopedik onkolog için megaprotezlerin başarılı kullanımı için birçok unsurun yerel uzmanlıkla uyumlu hâle getirilmesine bağlıdır. Sistemik tedaviler ve onkolojik sonuçlar iyileşmeye devam ederken, hastaların en az bir yeniden inşa edilmeden sonra hayatta kalacakları beklentisi, yalnızca dayanıklı değil aynı zamanda düzeltilebilir tasarımlara olan ihtiyacın altını çizmektedir. Klinik deneyim ve mühendislik inovasyonu arasındaki devam eden diyalog, gelecekteki megaprotezlerin bu talepleri ne kadar iyi karşılayacağını belirleyecektir.

KAYNAKLAR

1. Puri A, Pruthi M, Gulia A. Outcomes after limb sparing resection in primary malignant pelvic tumors. *European Journal of Surgical Oncology (EJSO)* 2014;40:27-33. [Crossref](#)
2. Steinau HU, Daigeler A, Langer S, Steinsträsser L, Hauser J, Goertz O, et al. Limb salvage in malignant tumors. *Semin Plast Surg* 2010;24:18-33. [Crossref](#)
3. Biau D, Faure F, Katsahian S, Jeanrot C, Tomeno B, Anract P. Survival of total knee replacement with a megaprosthesis after bone tumor resection. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1285-93. [Crossref](#)
4. Gkavardina A, Tzagozis P. The use of megaprotheses for reconstruction of large skeletal defects in the extremities: A critical review. *Open Orthop J* 2014;8:384-9. [Crossref](#)
5. Hennessy DW, Raskin KA, Schwab JH, Lozano-Calderón SA. Endoprosthetic Reconstruction of the Upper Extremity in Oncologic Surgery. *J Am Acad Orthop Surg* 2020;28:e319-e27. [Crossref](#)
6. Lozano Calderón SA, Kuechle J, Raskin KA, Hornicek FJ. Lower Extremity Megaprotheses in Orthopaedic Oncology. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;26:e249-e57. [Crossref](#)
7. Zhang HR. Application and Development of Megaprotheses in Limb Salvage for Bone Tumors Around the Knee Joint. *Cancer Control* 2022;29:10732748221099219. [Crossref](#)
8. Sim FH, Chao EY. Hip salvage by proximal femoral replacement. *J Bone Joint Surg Am* 1981;63:1228-39. [Crossref](#)
9. Pala E, Trovarelli G, Calabrò T, Angelini A, Abati CN, Ruggieri P. Survival of modern knee tumor megaprotheses: Failures, functional results, and a comparative statistical analysis. *Clin Orthop Relat Res* 2015;473:891-9. [Crossref](#)
10. Hwang JS, Mehta AD, Yoon RS, Beebe KS. From amputation to limb salvage reconstruction: Evolution and role of the endoprosthesis in musculoskeletal oncology. *Journal of Orthopaedics and Traumatology* 2014;15:81-6. [Crossref](#)
11. Holm CE, Soerensen MS, Yilmaz M, Petersen MM. Evaluation of tumor-prostheses over time: Complications, functional outcome, and comparative statistical analysis after resection and reconstruction in orthopedic oncologic conditions in the lower extremities. *SAGE Open Med* 2022;10:20503121221094190. [Crossref](#)
12. Ferrara PE, Ariani M, Codazza S, Arovitola A, Polisano D, Ronconi G. Modular Universal Tumor and Revision System Prostheses in Patients with Bone Cancer of the Lower Limbs: A Narrative Review of Functional Outcomes. *Cancers (Basel)* 2024;16. [Crossref](#)
13. Zhang C, Hu J, Zhu K, Cai T, Ma X. Survival, complications and functional outcomes of cemented megaprotheses for high-grade osteosarcoma around the knee. *International Orthopaedics* 2018;42:927-38. [Crossref](#)
14. Pala E, Trovarelli G, Angelini A, Maraldi M, Berizzi A, Ruggieri P. Megaprosthesis of the knee in tumor and revision surgery. *Acta Biomed* 2017;88:129-38.
15. Tetteh AE, Derr T, Kurtz MA, Klein GR, Piuze NS, Malkani A, et al. Hinge-Knee Megaprotheses Components Wear and Corrode: A Retrospective Study of 40 Devices. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 2025;9. [Crossref](#)
16. Cianni L, Taccari F, Bocchi MB, Micheli G, Sangiorgi F, Ziranu A, et al. Characteristics and Epidemiology of Megaprotheses Infections: A Systematic Review. *Healthcare* 2024;12:1283. [Crossref](#)
17. Oliva MS, Muratori F, Vitiello R, Ziranu A, Foschi L, Rovere G, et al. Cemented vs uncemented megaprotheses in proximal femur metastases: A multicentric comparative study. *BMC Musculoskelet Disord* 2022;22:1068. [Crossref](#)
18. Pesare E, Vitiello R, Greco T, Solarino G, Maccauro G, Ziranu A. Soft Tissue Reconstruction and Integration to Implant After Bone-Tumor Resection: A Current Concept Review. *Curr Oncol* 2024;31:7190-203. [Crossref](#)
19. Henderson ER, Groundland JS, Pala E, Dennis JA, Wooten R, Cheong D, et al. Failure mode classification for tumor endoprotheses: Retrospective review of five institutions and a literature review. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93:418-29. [Crossref](#)
20. Teunis T, Nota SP, Hornicek FJ, Schwab JH, Lozano-Calderón SA. Outcome after reconstruction of the proximal humerus for tumor resection: A systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 2014;472:2245-53. [Crossref](#)
21. Ropars M, Lambotte JC, Maximen J, Crenn V, Tronchet A, et al. Techniques and outcomes of hip abductor reconstruction following tumor resection in adults. *Orthop Traumatol Surg Res* 2021;107:102765. [Crossref](#)
22. Liu B, Tan JC, Wang HL, Wu Z, Yuan ZC, Wei CY. The role of mesh technology with tumor prosthesis reconstruction to reconstruct the extensor mechanism of knee joint after resection of proximal tibial tumors. *J Orthop Surg Res* 2019;14:64. [Crossref](#)
23. Gouin F, Creen V. Reconstruction following shoulder resection for bone tumor. *Bull Cancer* 2014;101:951-7. [Crossref](#)
24. Schmidt-Braekling T, Streitbueger A, Gosheger G, Boettner F, Nottrott M, Ahrens H, et al. Silver-coated megaprotheses: Review of the literature. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2017;27:483-9. [Crossref](#)
25. Miwa S, Yamamoto N, Hayashi K, Takeuchi A, Igarashi K, Tsuchiya H. Surgical Site Infection after Bone Tumor Surgery: Risk Factors and New Preventive Techniques. *Cancers (Basel)* 2022;14. [Crossref](#)
26. Streitbueger A, Henrichs M, Gosheger G, Ahrens H, Nottrott M, Guder W, et al. Improvement of the shoulder function after large segment resection of the proximal humerus with the use of an inverse tumour prosthesis. *Int Orthop* 2015;39:355-61. [Crossref](#)
27. Rachbauer AM, Schneider KN, Gosheger G, Deventer N. Endoprosthetic Reconstruction of the Proximal Humerus with an Inverse Tumor Prosthesis. *Cancers (Basel)* 2023;15. [Crossref](#)
28. Antal I, Szóke G, Szendrői M, Szalay K, Perlaky T, Kiss J, et al. Functional outcome and quality of life following resection of the proximal humerus performed for musculoskeletal tumors and reconstruction done by four different methods. *Musculoskelet Surg* 2023;107:351-9. [Crossref](#)
29. Bos G, Sim F, Pritchard D, Shives T, Rock M, Askew L, et al. Prosthetic replacement of the proximal humerus. *Clin Orthop Relat Res* 1987:178-91. [Crossref](#)

30. Biazzo A, De Paolis M, Donati DM. Scapular reconstructions after resection for bone tumors: A single-institution experience and review of the literature. *Acta Biomed* 2018;89:415-22.
31. Yu XJ, Liu QK, Wang YG, Wang SX, Lu R, Xu HR, et al. Oncologic and functional outcomes of different reconstruction modalities after resection of chondrosarcoma of the scapula: A medium-to long-term follow-up study. *BMC Musculoskelet Disord* 2022;23:758. [Crossref](#)
32. Ipponi E, Cordoni M, Bechini E, Gentili F, Cosseddu F, Campo FR, et al. Clinical and functional results after total scapulectomy in orthopedic oncology: Are custom-made scapular prostheses better than humeral suspension? *Proc (Bayl Univ Med Cent)* 2024;37:553-9. [Crossref](#)
33. Zhao Z, Ye Z, Yan T, Tang X, Guo W, Yang R. Intercalary prosthetic replacement is a reliable solution for metastatic humeral shaft fractures: Retrospective, observational study of a single center series. *World J Surg Oncol* 2021;19:140. [Crossref](#)
34. Kotwal S, Moon B, Lin P, Satcher R Jr., Lewis V. Total Humeral Endoprosthetic Replacement following Excision of Malignant Bone Tumors. *Sarcoma* 2016;2016:6318060. [Crossref](#)
35. Capanna R, Muratori F, Campo FR, D'Arienzo A, Frenos F, Beltrami G, et al. Modular megaprosthesis reconstruction for oncological and non-oncological resection of the elbow joint. *Injury* 2016;47:S78-S83. [Crossref](#)
36. Ji T, Guo W. The evolution of pelvic endoprosthetic reconstruction after tumor resection. *Annals of Joint* 2019;4. [Crossref](#)
37. Zucchini R, Sambri A, Fiore M, Giannini C, Donati DM, De Paolis M. Megaprosthesis Reconstruction of the Proximal Femur following Bone Tumour Resection: When Do We Need the Cup? *Hip Pelvis* 2021;33:147-53. [Crossref](#)
38. Andreani L, Ipponi E, Falcinelli F, Cordoni M, Bechini E, Vannucci L, et al. Proximal Femur Megaprotheses in Orthopedic Oncology: Evaluation of a Standardized Post-operative Rehabilitation Protocol. *Indian J Orthop* 2024;58:323-9. [Crossref](#)
39. Höll S, Schlomberg A, Gosheger G, Dieckmann R, Streibuerger A, Schulz D, et al. Distal femur and proximal tibia replacement with megaprosthesis in revision knee arthroplasty: A limb-saving procedure. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20:2513-8. [Crossref](#)
40. Muratori F, Mondanelli N, Prifti X, Scoccianti G, Roselli G, Frenos F, et al. Total femur prosthesis in oncological and not oncological series. Survival and failures. *J Orthop* 2020;17:215-20. [Crossref](#)
41. Medellín MR, Fujiwara T, Clark R, Stevenson JD, Parry M, Jeys L. Mechanisms of failure and survival of total femoral endoprosthetic replacements. *Bone Joint J* 2019;101-b:522-8. [Crossref](#)
42. Ipponi E, Cordoni M, Bechini E, Gentili F, Cosseddu F, D'Arienzo A, et al. Ankle and Distal Tibia Megaprotheses in Orthopedic Oncology: A Report of Two Cases and Review of the Literature. *Acta Med Litu* 2024;31:372-81. [Crossref](#)
43. Meng M, Wang J, Huang H, Liu X, Zhang J, Li Z. 3D printing metal implants in orthopedic surgery: Methods, applications and future prospects. *J Orthop Translat* 2023;42:94-112. [Crossref](#)
44. Zhao Z, Yan T, Guo W, Yang R, Tang X, Wang W. Surgical options and reconstruction strategies for primary bone tumors of distal tibia: A systematic review of complications and functional outcome. *Journal of Bone Oncology* 2019;14:100209. [Crossref](#)
45. Staals EL, Sambri A, Campanacci DA, Muratori F, Leithner A, Gilg MM, et al. Expandable distal femur megaprosthesis: A European Musculoskeletal Oncology Society study on 299 cases. *Journal of Surgical Oncology* 2020;122:760-5. [Crossref](#)
46. Cho HS, Park YK, Gupta S, Yoon C, Han I, Kim HS, et al. Augmented reality in bone tumour resection: An experimental study. *Bone Joint Res* 2017;6:137-43. [Crossref](#)
47. Erol B, Saglam F. Are Cemented Endoprosthetic Reconstructions Superior to Uncemented Endoprotheses in Terms of Postoperative Outcomes and Complications in Patients with Extremity-Located Bone Metastasis Scheduled for Adjuvant Radiotherapy? *J Arthroplasty* 2021;36(3):1160-7. [Crossref](#)
48. Özger H, Alpan B, Salduz A, Gurkan V, Sungur M, Valiyev N, et al. Mid-term implant survival, functional and radiological results and mechanical complications of mega-prosthetic reconstruction around the knee with the PENTA® system. *Arch Orthop Trauma Surg* 2022;142:2323-33. [Crossref](#)