



Bilgisayar destekli cerrahi planlama ve hastaya özel cerrahi kılavuzlar

Computer aided surgery planning and patient specific surgical guides

Halil Can Gemalmaz

Ortopedi ve Travmatoloji Uzmanı, İstanbul

Geçtiğimiz 10 sene içinde teknolojinin yaygınlaşması ve ucuzlaması sayesinde bilgisayar yardımlı cerrahi sistemlerinin hızla yaygınlaşmasına tanık olduk. Bilgisayar destekli cerrahi sistemleri oldukça geniş bir kavram olmakla birlikte, yazımız bilgisayarın ve buna bağlı teknolojilerin ortopedik cerrahi işlemlerin hem üç boyutlu planlamasında hem de ameliyatın gerçekleşmesini sağlamak üzere kullanıldığı durumları kapsamaktadır. Bunların arasında bilgisayar destekli cerrahi planlama, hastaya özel cerrahi kılavuzlar, robotik sistemler ve navigasyon sistemleri sayılabilir. Literatür incelendiği zaman ortopedi ve travmatoloji alanında bu bilgisayar destekli sistemlerden travma, deformite düzeltme, artroplastisi, tümör cerrahisi ve spinal cerrahisi konularında faydalandığını görmekteyiz. Bu yazıda amacımız, özellikle bilgisayar destekli cerrahi planlama ve hastaya özel cerrahi kılavuz sistemlerinin nasıl yapıldığı ile ilgili giriş seviyesi bilgileri aktarmaktır. Bir diğer amacımız da bu sistemlerin kullanım örnekleri ve sağladıkları avantajlar ile ilgili literatürden örnekleri de derleyerek sunmaktır.

Anahtar sözcükler: bilgisayar destekli cerrahi; bilgisayar yardımlı cerrahi; hastaya özel cerrahi

In the past decade, with the help of technological advances and decreased cost, computer-aided surgery and patient-specific surgery have found wide use areas in the domain of orthopedics. Computer-aided surgery is defined as the use of computers and related other technologies such as fast prototyping, additive manufacturing, computer vision and robotics for either planning orthopedics surgeries and/or performing these surgeries. The relevant systems under this technology are computer-aided surgical planning, patient-specific surgical guides, computerized navigational systems and robotic systems. Today these computer-aided systems are being used to treat trauma and fractures, malunion and deformity, spinal disease, orthopedic tumor cases and arthroplasty surgeries. In this manuscript, we aim to explicate the conceptual workflow of computer-aided surgical planning and patient-specific surgical guides at the primary level as well as their examples of usage in the field of Orthopaedics.

Key words: computer-assisted surgery; computer-aided surgery; patient specific surgery

Ortopedi ve travmatoloji alanında bilgisayar yardımlı ameliyatların kullanıma girmesi 1980'li yıllara dayanmaktadır.^[1] Aradan geçen zaman içinde, özellikle son 10 yıl içinde teknolojik ilerleme ve yaygınlaşma sayesinde bilgisayar destekli ortopedik ameliyatların sayısında da çok belirgin bir artış sözkonusu olmuştur. Günümüzde ortopedi ve travmatoloji alanındaki bilgisayar destekli girişimler ortopedi ve travmatoloji hekimlerinin önemli bir kısmı için en azından bazı özellikli durumların tedavisi için geçerli ve kabul görmüş bir özgün yöntem (antite) halini almıştır.^[1-5]

Klasik yaklaşımda ortopedi ve travmatolojide hemen hemen tüm sorunlara yaklaşımın ilk basa-

mağını radyolojik görüntüleme teşkil etmektedir. Görüntüleme tanı konulmasını sağlamaya ek olarak klasik yöntemler üzerinden cerrahi planlama yapılmasını da sağlamaktadır. Ne var ki klasik planlama yöntemleri ya iki boyutlu röntgen filmlerinin üzerine cetvel ile çizilen kemik kesisi planlarının yapılmasını ya da artroplastide kullanılacak olan implantların büyüklükleri ve yerleşimleri üzerine fikir yürütmeyi sağlayan implant eskiz asetatlarından pek ileriye gidememektedir.^[6] Eklem içi kırıklar, bozulma eğilimli ve doğuştan omurga hastalıkları, karmaşık deformiteler ve tümörlerin daha iyi anlaşılmasını sağlamak üzere çok disiplinli bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR)

İletişim / Contact: Doç. Dr. Halil Can Gemalmaz • **E-posta / E-mail:** cgemalmaz@gmail.com

ORCID iD: Halil Can Gemalmaz, 0000-0002-5741-199X

Geliş / Received: 30 Ekim 2021 • **Kabul / Accepted:** 21 Aralık 2021

görüntüleri klasik yöntemi pekiştiren bilgisayarlı yöntemlerdir.^[7] Bu yöntemler, yazımızın konusu olan bilgisayar destekli cerrahi planlamanın temelini teşkil etmekle birlikte klasik anlamda kullanıldıklarında cerrahi problemi daha detaylı görebilmeyi sağlar. Ayrıca cerrahi planlama konusunda tek başlarına sınırlı fayda sağlamaktadırlar. Özellikle BT görüntülerinden elde edilen ham üç boyutlu görüntüler cerrahın durum hakkındaki farkındalığını bir adım öteye götürmüş olmakla birlikte yazının devamında anlaşılacağı üzere bu görüntüler bilgisayar destekli cerrahi planlama (BDCP) amacıyla kullanılamazlar.

Bilgisayar destekli görüntü işleme konusunda geçtiğimiz 10 yıllarda yaşanan teknolojik ilerleme sayesinde günümüzde BT ve MR görüntülerinden elde edilen kompleks üç boyutlu (3B) bilgisayar modelleri üzerinde bir ortopedi ve travmatoloji uzmanının hayalinden geçebilecek tüm cerrahi işlemler, hastayı hiç riske atmadan uyarlanabilmektedir.^[8] Bu uyarılma sürecinde hem ilgili tedavinin gerçek hayatta gerçekleştirilmesi önünde durabilecek birçok problem kendini göstermektedir hem de ilgili tedavinin nihai biyomekanik sonuçlarının ne olacağı hakkında çok değerli bilgiler edinilmektedir.^[8,9] Bu uyarılmalar sonucunda gerçekleştirilmesi konusunda karara varılan planı, gerçek ameliyatta da çok büyük hassasiyetle hayata geçirmek için kullanılan farklı yöntemler gelişmiştir. Bunlar arasında çeşitli cerrahi navigasyon sistemleri, robotik cerrahi sistemleri ve hastaya özel cerrahi kılavuzları sayabiliriz.^[9]

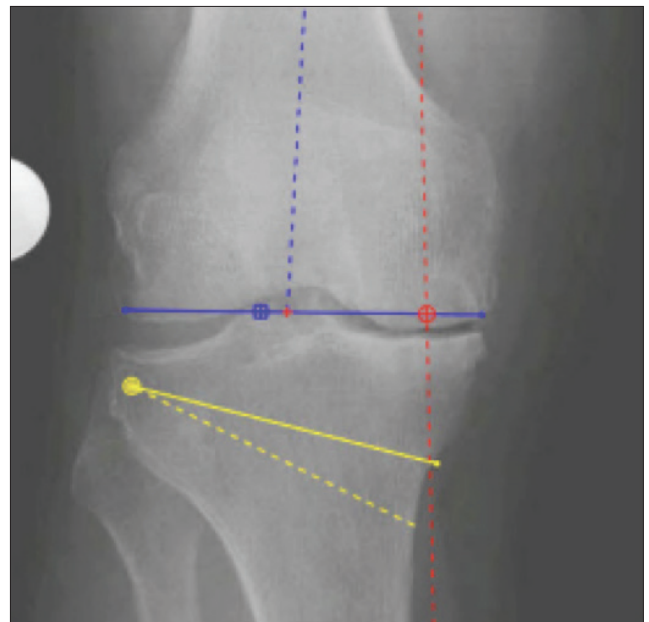
Yazının ilgi alanı robotik ve navigasyon sistemlerini kapsamadığı için burada bunların uygulama teknikleri ile ilgili detaya girilmeyecektir. Ancak, navigasyon ve robotik yöntemlerin, bilgisayar görüşü ve robotik sistemlerden faydalanarak BDCP'nin ameliyatta hayata geçirilmesini sağladığını söylemek ve bu bağlamda hastaya özel cerrahi kılavuzlar (HÖCK) ile aynı amaca hizmet ettiğini belirtmekte fayda görüyoruz.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ CERRAHİ PLANLAMA VE BASAMAKLARI

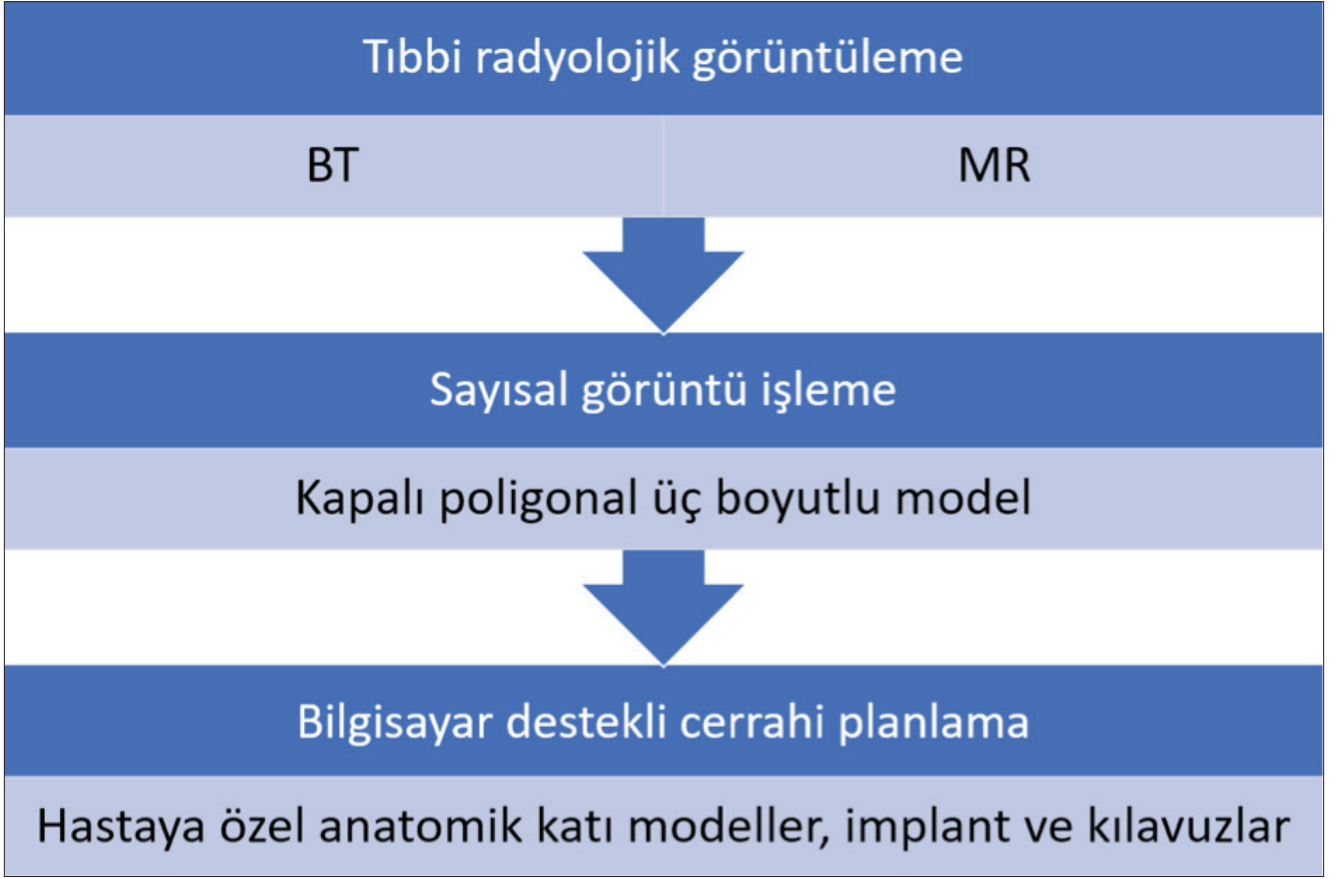
Giriş bölümünde değinildiği üzere BDCP, hastaya ait radyolojik görüntülerin bilgisayar ortamında işlenmesi ile gerçekleştirilir ve klasik yöntemden çok ötede bilgi ve cerrahi farkındalık sunmaktadır.^[1-5,8,9] Bu suretle kemik girişim gerektiren birçok ameliyatta sonucu olumlu etkileme potansiyeline sahiptir. Bunu en kolay şekilde basit bir kapalı kama kemik kesisi örneği üzerinden anlatmaya çalışalım. Klasik cerrahi planlamada iki boyutlu filmlerde cetvel ve kalemle ön-arka ve yan röntgenlerde ayrı ayrı kemik kesisi planı röntgen üzerine çizilir. Genelde plan bundan ibarettir ancak yeterince zaman ve beceriniz varsa kemik konturlarını ve ostetomi çizimlerini şeffaf bir

kağıda geçirip makasla bunları kesip yapıştirarak kemik kesisi sonrasında kemiğin görünümü hakkında fikir verecek tasarıma ulaşılabilir. Böyle bir işlemi şimdi bir de farklı kemik kesisi yöntemleri (açık kama, Chevron gibi) ve farklı kemik kesisi yerleşim yerleri için ayrı ayrı yaptığımızı düşünelim. Görüldüğü üzere klasik yaklaşımla planlama son derece zahmetli, zaman tüketici ve verdiği nihai bilgi itibarıyla kısıtlamalara sahiptir.

Bilgisayar destekli cerrahi planlama, en basit yaklaşımla cetvel, kağıt, kalem ve makas gibi kırtasiye unsurlarını ortadan kaldırmak suretiyle sayısallaştırılmış klasik ortopedi ve travmatoloji alanında cerrahi plan yapmamızı sağlar ki bu bile birçok vakanın daha iyi yönetilmesi için gerekli olan zamanı kazandırabilir (Şekil 1). Günümüzde BDCP'deki uygulama iki boyutlu röntgen röntgenleri üzerinde sayısallaştırılmış ortopedik cerrahi planlamanın çok ötesine gitmiştir ve üç boyutlu bilgisayar modelleri üzerinde gerçekleştirilmektedir.^[1-5,8,9] BDCP üç farklı aşama ile uygulanmaktadır.^[10] İlk aşama kemik girişim yapılacak olan bölgenin genelde 1 mm aralıklarla BT ve/veya MR ile taranmasını içerir. İkinci aşamada görüntüleme yöntemiyle elde edilen ham görüntüler, bilgisayar ortamında işlenir ve bu suretle yüzeyi poligonlar olarak tanımlanmış üç boyutlu modeller elde edilir. Üçüncü aşamada ise üç boyutlu kapalı poligon yapıya sahip kemik modelleri üzerinde bilgisayar destekli tasarım/çizim yazılımları yardımıyla farklı cerrahi uyarılmalar (kemik kesimleri, kemik kesisi yerleşim yerleri, implantlar vs.) yapılarak bunların olumlu ve olumsuz olası sonuçları hakkında ameliyattan önce fikir edinilir (Şekil 2).



Şekil 1. İki boyutlu sayısal cerrahi planlama yazılımı üzerinde bir prosimal tibial kemik kesisi planı (Mimics, Materialise Co., Leuven, Belçika).



Şekil 2. Bilgisayar destekli cerrahi planlama iş akış şeması.

RADYOLOJİK GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

Bilgisayar destekli cerrahi planlama uygulamaları için ilk aşama görüntülemeye geçmektedir. Bu amaçla BT ve MR görüntülerinden faydalanılmaktadır. BDCP’de kullanılacak kapalı poligon 3B modellerin elde edileceği yöntem için BT veya MR’den hangisinin tercih edilmesi gerekliliği çoğunlukla tanı ve problemin yumuşak doku ile ilişki düzeyi ile ilgilidir.^[11,12] Kemik üzerinde yapılacak girişimin yumuşak dokular üzerinde olası etkilerinin hafif ve göz ardı edilebilir olduğu durumlarda BT genelde ilk tercihtir. Radyasyon riskine karşın BT görüntülerinin tercih edilmesinin en temel nedeni MR görüntülemeye kemik, kemik iliği ve çevre bağ dokunun standart sekanslarda birbirlerine çok yakın eko oluşturmasından dolayı elde edilen görüntülerde birbirlerinden ayrımının zayıf olmasıdır. Bu nedenle MR görüntüleme ile elde edilen üç boyutlu modellerde kemik sınırını doğru yansıtmakta zayıf kalmaktadır. Bu problem üzerine özellikle son yıllarda yapılan çalışmalar MR görüntülerinde kemik, medula ve bağ doku kontrastını artmasını sağlayan ve bunun doğal sonucu olarak MR’den elde edilen 3B modellerin kalitesini arttıran bazı kazanımlar sağlamıştır.^[13] Bunun

sonucu olarak BDCP için MR görüntülerinden faydalanılması ortopedik tümörler, spinal cerrahi ve pelvik osteotomi planlaması gibi ortopedik problemin yumuşak dokularla ve damar-sinir yapılarıyla ilişkisinin tedavinin sonucuna etkisinin büyük olacağına ön görüldüğü durumlara ayrılabilir. Bu durumlarda dahi özellikle BDCP’nin hastaya özel cerrahi kılavuz uygulaması veya navigasyon-robotik gibi bir uygulama ile hayata geçirilmesi planlandığı durumlar için MR’den elde edilen görüntülerin BT’den elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerle üst üste karşılaştırılması suretiyle hibrit yaklaşım tercih edilebilmektedir.^[14] Burada amaç MR’den elde edilen 3B modelin gerçeğe benzerlikte gösterdiği zayıflığının önüne geçmek için BT’den elde edilen yüksek çözünürlük ve kalitedeki modelle birleştirilmesinden faydalanılmasıdır.

ÜÇ BOYUTLU MODEL ELDE ETME

Kapalı poligonal 3B modellerin elde edilmesi için özel bilgisayar yazılımlarından faydalanılmaktadır. Farklı yazılımlar bulunmakla beraber 3D Slicer (<https://www.slicer.org/>) açık kaynak kodlu ve ücretsiz lisanslama ve kullanım sağlayan çok işlevsel bir yazılımdır ve burada

vereceğimiz örnekler bu yazılımdan alınan görüntülerden oluşmaktadır. Şekil 3a'da görülen üst ekstremite BT kesitine dikkat edecek olursak kemik, medulla ve çevreleyen yumuşak doku oldukça farklı gri renk tonlarıyla görünmektedir. Bu kesitte bizim için önemli olan kısımların (genelde kemik) grafik olarak işaretlenmesi (farklı bir renkle boyanması) ve aynı şeyin, tetkiki oluşturan tüm kesitlerde yapılması kapalı poligonal 3B modellerin elde edilmesi için ilk aşamadır (Şekil 3b). Bu uygulama 8-10 kesit için yapılacaksa el ile işaretleme (boyama) en hassas sonuçları verecektir ancak BDCP yapmak istediğimiz görüntü setleri çoğunlukla yüzlerce kesitten oluşmaktadır. Bu nedenle yüzlerce kesitte kemik alanlarını teker teker bir renkle boyayarak grafik işaretleme yapmak çok zahmetli bir iştir. Ne iyi ki bu yazılımlar kesitlerinin çoğunluğunda kabul edilebilir hata payı ile bu işi başarmak için çeşitli algoritma tabanlı enstrümanlar sunmaktadır (Şekil 3c). Böylelikle el ile işaretleme veya yazılımın sunduğu algoritmalar ile işaretlenmiş kısımların insan gözüyle kontrolü çoğunlukla yüzlerce görüntü kesitinin küçük bir kısmında gerekli olabilmektedir. Buradaki örnekte görüntüler hastaya özel bir kılavuz uygulaması için işlendiği için kılavuzun oturması planlanan distal humeral suprakondiler alan ve dirsek eklem yüzünü içeren kesitlerin göz ile kontrolü ve gerekirse el ile düzeltilmesi hastaya özel tasarlanıp üretilecek olan cerrahi kılavuzun istenildiği gibi çalışması için önem arz etmektedir. Öte yandan kesitlerin geri kalan kısmından üst ekstremite aksını göstermesi için faydalanılacak olması nedeniyle böylesine durumlarda yazılımlarda bulunan otomatik işaretleme algoritmalarının yaptığı işaretlemeler hassasiyet yönünden yeterli olur, bu suretle işimizi hızlandırır ve kolaylaştırır.

Sonuç olarak modelini elde etmek istediğimiz solid organ veya anatomik yapı ilgili tüm kesitlerde farklı bir renge boyanmak suretiyle işaretlenir. İşaretleme işlemi yapıldıktan sonra bundan 3B poligon model oluşturulması tamamen trigonometrik fonksiyonların kullanıldığı başka algoritmalar tarafından otomatik olarak yapılır (Şekil 3d). Dolayısıyla teorisini anlamak kaydıyla ve biraz kullanılan yazılımı tanımak için zaman harcamak suretiyle kapalı 3B poligonal model elde etmek düşünüldüğü kadar zor değildir.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ CERRAHİ PLANLAMA

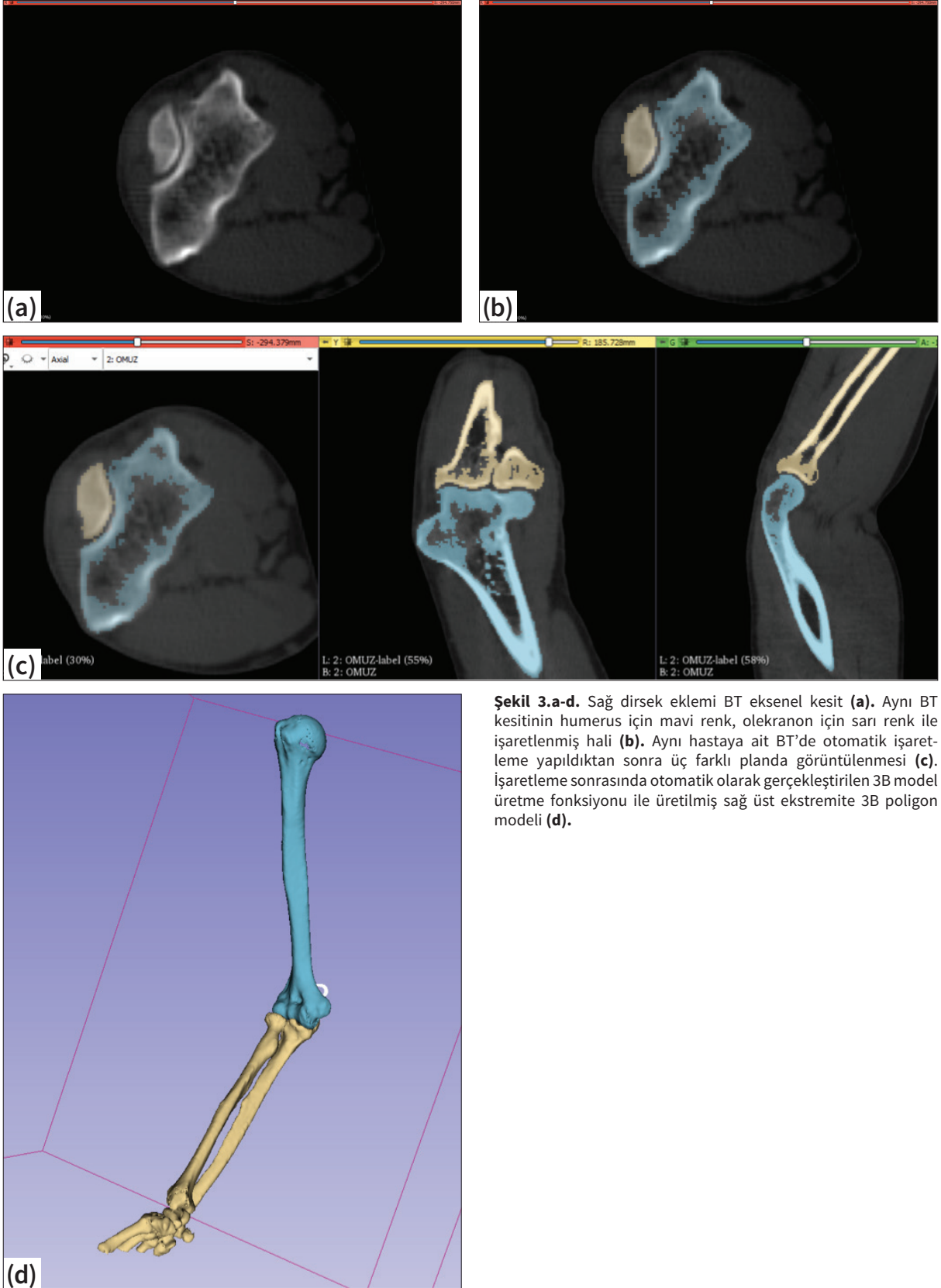
Kapalı poligonal 3B model elde ettikten sonra dilerse bu modeli bir üç boyutlu yazıcıda basabiliriz. Elde edeceğimiz bu katı model üzerinde hayalimizdeki cerrahi işlemi gerçekleştirmek için gerçek cerrahi ekipmandan faydalanabiliriz. Ancak, üç boyutlu yazıcıdan katı model üretmek için gerekli olan zaman ve bunun maliyetini göz

önünde bulunduracak olursak yazıcıdan katı model elde etmeyi, hastaya özel cerrahi kılavuz üretilecek durumlar ve bazı diğer özel durumlar için ayırmak akıllıca olacaktır. Ne sevindirici ki bilgisayar yazılımları hayalimizdeki tüm girişim ve ameliyatları sanal ortamda yapıp sonuçları hakkında fikir edinmemize de yardım etmektedirler.

Bu bölümde BDCP'nin nasıl yapıldığı hakkında kuramsal kavramlar, basit örnekler üzerinden anlatılmaya çalışılacaktır. Ne var ki BDCP konusunda gerçek anlamda beceri edinmek ve yeterli hale gelebilmek için farklı vaka ve cerrahi durumlarda farklı stratejileri geliştirebilme ve uygulayabilme yeteneğine sahip olmak gerekir ve bu en azından kullanılan yazılım üzerinde tam hakimiyet, sabır ve zaman gerektirir. BDCP yapmak için klasik üç boyutlu bilgisayar destekli tasarım ve mühendislik yazılımlarının birçoğundan faydalanılabilir. Öte yandan medikal endüstri ve mühendislik bilimlerinin ortak çalışmaları sonucunda tıbbi tanım ve konseptler akılda tutularak tıp alanında kullanım için özel üretilmiş ve bu suretle hem daha kolay kullanım sunan hem de hata yapılma ihtimalini en aza indiren ticari tıbbi mühendislik yazılımları mevcuttur. Dolayısıyla burada verilecek olan örneklerin medikal olmayan bir yazılımdan alınan örneklerden oluşmasından bağımsız olarak her şartta ve durumda lisanslı tıbbi mühendislik yazılımlarından faydalanılması yazar tarafından elzem görülmekte ve önerilmektedir. Böyle bir yazılıma örnek olarak SurgiCase (Materialise Co., Leuven, Belçika) verilebilir.

Temel olarak ortopedi ve travmatoloji alanındaki cerrahi girişimlerde kemiği işlemek için kullandığımız iki ayrı yöntem mevcuttur. Bunlar, düz planda kemik kesisi (dairesel olmayan her türlü testere ve keski ile işlem) ve silindirik bir aparat ile oyma veya delme işlemidir (*drill*, Kirschner teli, Schanz çivisi, *rimer*). Bu işlemleri BDCP yazılımlarında gerçekleştirmek için gerçek ameliyatta kullanılacak olan cerrahi aletin parametrik birer 3B modelinden faydalanılır. Örneğin; bir testere ile yapılacak kesi için testerenin kalınlığı dikkate alınarak BDCP yazılımda oluşturulan bir dikdörtgen prizmadan faydalanılır. Benzer şekilde 10 mm çapında bir oyucu ile delme işlemi için ihtiyacımız BDCP yazılımında 10 mm çapında basit bir silindir modelidir. Bu kavram anlaşıldıktan sonra tasarım parametreleri bilinen birçok cerrahi aletin BDCP yazılımında kullanılmak üzere temsili sağlanabilir.

İlgili kemiğin 3B modelinin ve ameliyatta kullandığımız aletlerin BDCP yazılımında bir araya getirilmesinden sonra bunların birbirleriyle ameliyatta kullanılacağı uzaysal oryantasyon ve konuma getirilmesi gerekir. Bu işleme "sahne hazırlama" denir ve yazılım ekranında bir araya getirdiğimiz 3B modellerin teker teker konumlarının el ile ayarlanması suretiyle yapılır (Şekil 4). Bu aşama



Şekil 3.a-d. Sağ dirsek eklemi BT eksenel kesit **(a)**. Aynı BT kesitinin humerus için mavi renk, olekranon için sarı renk ile işaretlenmiş hali **(b)**. Aynı hastaya ait BT'de otomatik işaretleme yapıldıktan sonra üç farklı planda görüntülenmesi **(c)**. İşaretleme sonrasında otomatik olarak gerçekleştirilen 3B model üretme fonksiyonu ile üretilmiş sağ üst ekstremitte 3B poligon modeli **(d)**.



Şekil 4. Deformite olan kolun sağlam tarafa ait 3B modelin ayna hayali alınmış haliyle üst üste oturtulması. Bu modellerin düzgün anatomik plana göre konumlandırılması BDCP öncesi gerekli bir işlemdir ve buna “sanal cerrahi sahne hazırlama” denilir.

geçildikten sonra ameliyatta yapılmasının uygun olacağı sırayla sahnede hazırlanmış olan ve cerrahi aletleri temsil eden 3B modeller ilgili kemik modelinden yazılımın fonksiyonlarından faydalanarak çıkartılır, bir başka ifadeyle sanal olarak kemik kesilmiş olur (Şekil 5a, 5b, 5c). Ameliyatta kesilen kemiğin bir parçasının mobilize edilerek tekrar konumlandırması gerekli olacaksa bu işlem BDCP’de sanal kesi sonrasında yazılımda sunulan uzaysal tekrar konumlandırma araçları sayesinde yapılır; işlemler sırasıyla sürdürülür (Şekil 5d). Bu şekilde ameliyatın kurgusal tüm basamaklarının 3B olarak 3B bilgisayar destekli tasarım yazılımda uyarlanması işleminin hepsine de BDCP adı verilir. BDCP yapmak, anlatımla bir hayli karmaşık gelse bile, BDCP yazılımının kullanımı konusunda aşına olduğu takdirde ameliyatın gerçekten yapılmasından çok daha kolay bir süreçtir.

HASTAYA ÖZEL CERRAHİ KILAVUZLAR

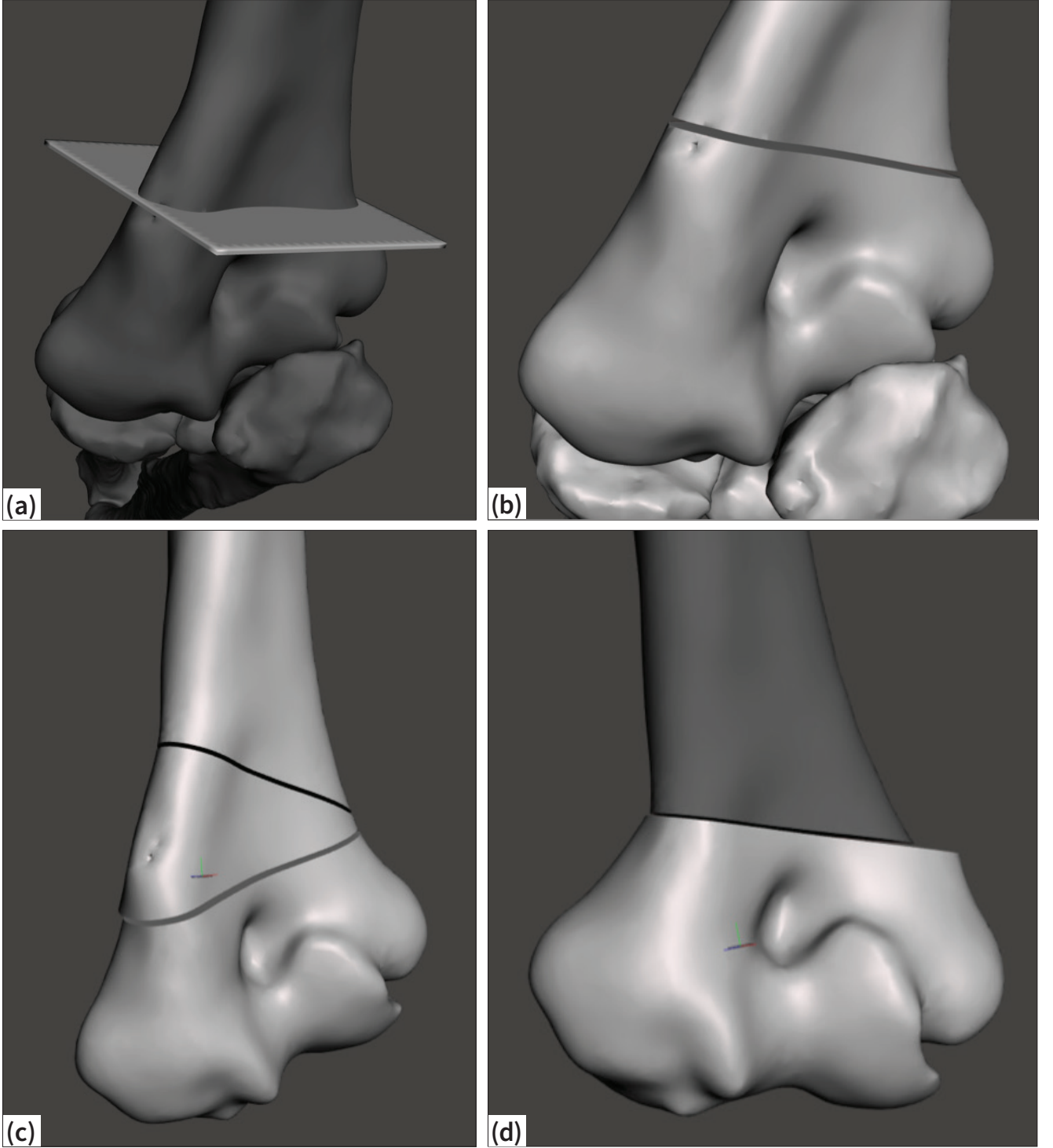
Her ne kadar BDCP, her kemik girişimine uyarlanabilir olsa da özellikle zor anatomik alanlar, üst seviyede hassasiyet gerektiren kemik kesimleri ve kemik rezervinin korunmasının elzem olduğu durumlarda daha da fazla değer kazanmaktadır. Hastaya özel cerrahi kılavuzlar

(HÖCK) özellikle bu vakalar için tasarlanıp kullanıldığında, BDCP’de yapılan sanal planın çok yüksek hassasiyetle ameliyatta da gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.^[8-11,15] HÖCK’lerden faydalanmak BDCP aşamasında yapılan tüm işlemlerin sırasıyla uygulanması ve ideal cerrahi planın saptanmasıyla başlar. İdeal cerrahi plan üzerinde karar kılındıktan sonra ilgi alanımızda bulunan ve kemikten osteotomize edip çıkartmak istediğimiz kemik parçasının cerrahi yaklaşımla ulaşılabilecek yüzünün yüzey topografisi kopyalanarak bir başka kapalı poligonal 3B model üzerinde temsil edilmesi sağlanır (Şekil 6a). Bu suretle oluşturulan ve bir yüzünde ameliyat sahasındaki kemiğe anahtar-kilit ilişkisi ile uyum göstererek oturacak olan bölüm, bulunan bu 3B modelden BDCP yazılımının model çıkartma fonksiyonu kullanılarak temsili cerrahi enstrümana ait 3B modeller çıkartılır (Şekil 6b ve 6c). Bu şekilde HDCP sırasında sahnede zaten önceden konumsal kurgusu yapılmış temsili cerrahi aletlerin 3B modellerinin, HÖCK modeli ile işlenmesi yoluyla, kemik kesisi veya delme planları HÖCK modeli üzerine aktarılmış olur. Son olarak HÖCK’ün kesi sırasında sabit kalmasını sağlamak amacıyla üzerinden Kirschner tellerini kemiğe gönderebileceğimiz delikleri açmak gerekir. Bu amaçla BDCP yazılımında 3B HÖCK modelinin üzerine uygun genişlikte, yöneliminde ve konumda 3B silindir modelleri yerleştirilir ve bu 3B silindir modelleri yukarıda anlatıldığı şekilde 3B HÖCK modeli içinden çıkarılır (Şekil 6c). Elde edilen HÖCK kalibrasyonu doğru yapılmış olan, medikal üç boyutlu yazıcı ekipmanı ve ham madde ile üretilir ve ameliyatta ilgili kemiğin BDCP’ye sadık kalarak oyulması için kullanılır (Şekil 6d).

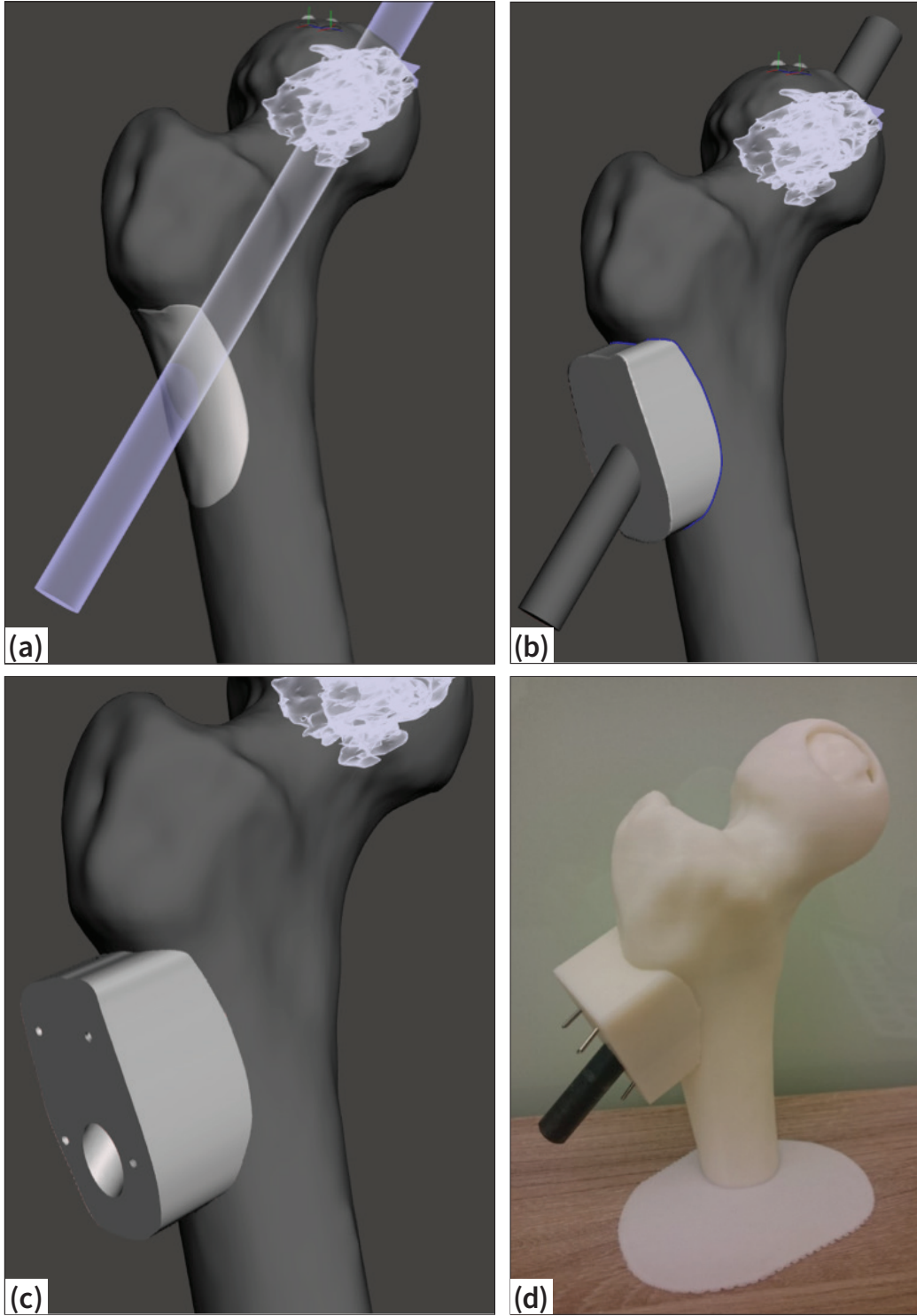
BİLGİSAYAR DESTEKLİ CERRAHİNİN UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Literatür incelendiğinde ortopedi ve travmatoloji alanında bilgisayar destekli cerrahi ile ilgili yayınların sayısında özellikle son beş sene içinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu bölümde, özellikle genel olarak uygulamaya girmiş bazı örneklerden bahsedilecektir. HÖCK, navigasyon ve robotik cerrahiden travma, deformite düzeltme, artroskopik cerrahi, artroplasti, tümör cerrahisi ve spinal cerrahisi alanlarında faydalandığını görmekteyiz.

Artroplasti alanında HÖCK, navigasyon ve robotik cerrahi seçeneklerinin üçü de kendisine oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde belli başlı endoprotez üreten şirketlerin önemli bir kısmı HÖCK, navigasyon veya robotik olarak implantların hastaya özel bir planla uygulanmasına imkân sağlamaktadır. Bu sistemlerin kullanılmasının artroplastide sağladığı olası avantajlar arasında uygun implant büyüklüğü seçimi,



Şekil 5.a-d. İsteğimize göre bir düzlemden geçmesini sağladığımız kemik kesisi BDCP yaparken testere kalınlığı ile aynı kalınlığa ayarlanmış bir dikdörtgen prizma olarak temsili sağlanır ve kemik kesisi planına göre 3B olarak konumlandırılır (a). Testereyi temsil eden dikdörtgen prizmanın humerus 3B modelinden silinmesi veya çıkartılması sonrası sanal bir kemik kesisi elde edilmiş olur (b). Kapalı kama kemik kesisinin diğer bacağına da sanal cerrahi uygulaması sonrası görüntü (c). Kapalı kama kemik kesisinin tamamlanmış hali (d).



Şekil 6.a-d. Sağ femur başı avasküler nekroz teşhisi ile hastaya özel foraj kılavuzu için BDCP yapılırken alınan bu görüntüde hastaya özel kılavuzun oturması istenilen bölge femur subtrokanterik alan lateralinde açık gri renkle işaretlenerek 3B yüzeyel topografisi kopyalanmış. Ayrıca 10 mm oyucu ile nekroz odağına doğru hedefleme yapılmış **(a)**. Kılavuzun oturması için kopyalanan yüzey topografisine hacim kazandırmak suretiyle HÖCK'ün genel tasarımının ortaya çıkarılmış hali **(b)**. Kılavuz ana modelinden 10 mm oyucu modelinin çıkarılması veya silinmesi sonrası HÖCK'ün anterolateral görüntüsü. HÖCK'ün kemiğe tespiti için ayrıca dört adet 2,4 mm çapında silindir modelinde ana modelden silinmiş olduğuna dikkat ediniz **(c)**. HÖCK ve hastanın femur modelinin 3B yazıcıyla üretilmiş halinin görüntüsü **(d)**.

ideal dizilimi ve eklem dengesini sağlama, daha az kan kaybı sayılabilir. Bununla birlikte literatürde bazı çalışmalar bu avantajların varlığını desteklerken bazı çalışmalar ise bu avantajların istatistiksel olarak gösterilemediğini bize söylemektedir.^[16-19] Öte taraftan bu sistemlerin getirdiği ek masraf ve ameliyat öncesinde hazırlık süresinin uzunluğu gibi bazı dezavantajlar da göz ardı edilmelidir. Bu konuda tartışma sürmekle beraber bilgisayar destekli sistemlerin faydasının ortaya konulması için bunların çok tecrübeli cerrahlarla karşılaştırmak yerine, yeni veya sınırlı tecrübeye sahip cerrahlarla karşılaştırılmasının uygun olacağı fikri popülerlik kazanmaktadır.

Spinal cerrahide robotik ve navigasyon sistemleri vida gönderme, kemik kesisi yapma, tümörün kısmen alınması ve gözden geçirme konularında kendine yer bulmuş olmakla birlikte konvansiyonel cerrahiye göre üstünlük gösterdiğini kanıtlayacak bilimsel doneler şimdilik tartışmalı görünmemektedir.^[20]

Robotik sistemlerin kırık vakalarında perkütan plak uygulamaları, femur başı kırığı, pelvis ve asetabulum gibi yeniden konumlandırması zor kırıkların yeniden konumlandırılması için kullanılabilirliğini söyleyebiliriz.^[21-22] Öte yandan yanlış kaynama gelişmiş kırıkların tedavisi için HÖCK kullanımı oldukça yaygın bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlara örnek olarak humerus suprakondiler, ön kol ve radius alt uç kırıklarının yanlış kaynamalarının HÖCK'lerle tedavisini verebiliriz.^[23-25]

Hastaya özel cerrahi kılavuzlar ve navigasyon sistemleri ortopedik tümör alanında da kendileri için kullanım alanı yaratmıştır. Tümör cerrahisinde cerrahi sınırın tümörden temizlenmesinin hastanın sağ kalımı açısından önemi ve tümörlerin sıklıkla eklem kırıkdaıklarına yakınlığı ile bilinen metafizer kısımlarından kaynaklanması, bu vakalarda bu sistemlerin kullanılmasının hem sağ kalımı uzatmak hem de eklem fonksiyonelliğini korumak adına oldukça yüksek potansiyele sahip olduğunu düşündürmektedir.^[3-26,27] Literatürde bu sistemlerin ortopedik onkoloji alanında kullanımına ait örnekler sunmaktadır.

GELECEĞE BAKIŞ

Geçtiğimiz 10 yıl içinde duyduğumuz ancak gelişimi çok daha önceki çalışmalara dayanan BDCP, HÖCK, robotik cerrahi ve navigasyon gibi özgün yöntemler aslında birbirleriyle bağlantılı gelişmeler olarak karşımızdadır. Özellikle BDCP başta olmak üzere tüm bu uygulamaların insan faktörü olmaksızın gerçekleştirilmesi halen imkansız gibi görünmekle birlikte gelecekte yapay zeka alanında ilerleme sayesinde BDCP'nin yapay zekaya devri ve tamamen otonom robotik sistemlerin bu teknolojilerin yerine almasına olağan olarak bakılmaktadır. O zaman

gelinceye kadar ortopedi ve travmatoloji alanındaki cerrahi girişimlerin hem plan hem de uygulamasından ortopedi ve travmatoloji uzmanı olarak bizler sorumlu olma-ya devam edeceğiz.

KAYNAKLAR

1. Joskowicz L. Computer-aided surgery meets predictive, preventive, and personalized medicine. EPMA Journal 2017;8:1-4 **Crossref**
2. Joskowicz L, Hazan E. Computer aided orthopaedic surgery: incremental shift or paradigm change? Med Image Anal 2016;33:84-90. **Crossref**
3. Schulze M, Gosheger G, Bockholt S, De Vaal M, Budny T, Tönnemann M, et al. Complex bone tumors of the trunk-the role of 3D printing and navigation in tumor orthopedics: a case series and review of the literature. J Pers Med 2021;11(6):517. **Crossref**
4. Hu X, Zhong M, Lou Y, Xu P, Jiang B, Mao F, et al. Clinical application of individualized 3D-printed navigation template to children with cubitus varus deformity. J Orthop Surg Res 2020;15(1):111. **Crossref**
5. Gemalmaz HC, Saryılmaz K, Ozkunt O, Sungur M, Kaya I, Dikici F. Postoperative mechanical alignment analysis of total knee replacement patients operated with 3D printed patient specific instruments: A prospective cohort study. Acta Orthop Traumatol Turc 2019;53(5):323-8. **Crossref**
6. Tanzer M, Makhdom AM. Preoperative planning in primary total knee arthroplasty. J Am Acad Orthop Surg 2016;24(4):220-30. **Crossref**
7. Guirguis A, Polster J, Karim W, Obuchowski N, Rosneck J, Goodwin R, et al. Interchangeability of CT and 3D "pseudo-CT" MRI for preoperative planning in patients with femoroacetabular impingement. Skeletal Radiol 2020;49(7):1073-80. **Crossref**
8. Frizziero L, Santi GM, Leon-Cardenas C, Donnici G, Liverani A, Papaleo P, et al. In-house, fast FDM prototyping of a custom cutting guide for a lower-risk pediatric femoral osteotomy. Bioengineering (Basel) 2021;8(6):71.
9. Bouché PA, Corsia S, Dechartres A, Resche-Rigon M, Nizard R. Are there differences in accuracy or outcomes scores among navigated, robotic, patient-specific instruments or standard cutting guides in TKA? A network meta-analysis. Clin Orthop Relat Res 2020;478(9):2105-16. **Crossref**
10. Wong KC. 3D-printed patient-specific applications in orthopedics. Orthop Res Rev 2016;14(8):57-66. **Crossref**
11. An VV, Sivakumar BS, Phan K, Levy YD, Bruce WJ. Accuracy of MRI-based vs. CT-based patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty: A meta-analysis. J Orthop Sci 2017;22(1):116-20. **Crossref**
12. Ritacco LE, Milano FE, Farfalli GL, Ayerza MA, Muscolo DL, Aponte-Tinao LA. Accuracy of 3-D planning and navigation in bone tumor resection. Orthopedics 2013;36(7):e942-50. **Crossref**

13. Gyftopoulos S, Yemin A, Mulholland T, Bloom M, Storey P, Geppert C, et al. 3D MR osseous reconstructions of the shoulder using a gradient-echo based two-point Dixon reconstruction: a feasibility study. *Skeletal Radiol* 2013;42(3):347-52. **Crossref**
14. Wong KC, Kumta SM, Antonio GE, Tse LF. Image fusion for computer-assisted bone tumor surgery. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466(10):2533-41. **Crossref**
15. Ejnisman L, Gobbato B, de França Camargo AF, Zancul E. Three-dimensional printing in orthopedics: from the basics to surgical applications. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2021;14(1):1-8. **Crossref**
16. Cho KJ, Seon JK, Jang WY, Park CG, Song EK. Robotic versus conventional primary total knee arthroplasty: clinical and radiological long-term results with a minimum follow-up of ten years. *Int Orthop (SICOT)* 2019;43:1345-54. **Crossref**
17. Herry Y, Batailler C, Lording T, Servien E, Neyret P, Lustig S. Improved joint-line restitution in unicompartmental knee arthroplasty using a robotic-assisted surgical technique. *Int Orthop (SICOT)* 2017;41:2265-71. **Crossref**
18. Zhang QM, Chen JY, Li H, Chai W, Ni M, Zhang ZD, et al. No evidence of superiority in reducing outliers of component alignment for patient-specific instrumentation for total knee arthroplasty: a systematic review. *Orthop Surg* 2015;7(1):19-25. **Crossref**
19. Kayani B, Konan S, Ayuob A, Ayyad S, Haddad FS. The current role of robotics in total hip arthroplasty. *EFORT Open Rev* 2019;4(11):618-25. **Crossref**
20. D'Souza M, Gendreau J, Feng A, Kim LH, Ho AL, Veeravagu A. Robotic-assisted spine surgery: history, efficacy, cost, and future trends. *Robot Surg* 2019;7(6):9-23.
21. Georgilas I, Dagnino G, Tarassoli P, Atkins R, Dogramadzi S. Robot-assisted fracture surgery: surgical requirements and system design. *Ann Biomed Eng* 2018;46(10):1637-49. **Crossref**
22. Zhao JX, Li C, Ren H, Hao M, Zhang LC, Tang PF. Evolution and current applications of robot-assisted fracture reduction: a comprehensive review. *Ann Biomed Eng* 2020;48(1):203-24. **Crossref**
23. Hu X, Zhong M, Lou Y, Xu P, Jiang B, Mao F, et al. Clinical application of individualized 3D-printed navigation template to children with cubitus varus deformity. *J Orthop Surg Res* 2020;15(1):111. **Crossref**
24. Omori S, Murase T, Oka K, Kawanishi Y, Oura K, Tanaka H, et al. Postoperative accuracy analysis of three-dimensional corrective osteotomy for cubitus varus deformity with a custom-made surgical guide based on computer simulation. *J Shoulder Elbow Surg* 2015;24(2):242-9. **Crossref**
25. Bauer AS, Storelli DAR, Sibbel SE, McCarroll HR, Lattanza LL. Preoperative computer simulation and patient-specific guides are safe and effective to correct forearm deformity in children. *J Pediatr Orthop* 2017;37(7):504-10.
26. Wong KC, Niu X, Xu H, Li Y, Kumta S. Computer Navigation in orthopaedic tumour surgery. *Adv Exp Med Biol* 2018;1093:315-26. **Crossref**
27. Gouin F, Paul L, Odri GA, Cartiaux O. Computer-assisted planning and patient-specific instruments for bone tumor resection within the pelvis: a series of 11 patients. *Sarcoma* 2014;2014:842709. **Crossref**