Endoüroloji Bülteni 2016;9:65-71
DOI: 10.5350/ENDO2016090208

DERLEME

3D Teknolojinin Tıpta ve Üroloji'de Kulanım Alanları

Hasan Anıl Atalay[1], Recep Burak Değirmentepe[1], Muammer Bozkurt[1], Osman Can[1], Halil Lütfi Canat[1], Fatih Altunrende[1]

[1]Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul

Giriş

Tıbbi görüntüleme alanındaki hızlı ilerlemeler tıpta devrim yaratmaktadır. Bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve diğer görüntüleme yöntemleri bir cismin anatomisinin invaziv olmayan bir şekilde daha ayrıntılı görüntülenmesini ve üzerinde alan ve hacim ölçümleri yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu, bilim insanlarının ve hekimlerin anatomik yapılarla neredeyse iletişim kurmasına ve potansiyel olarak hayat kurtarıcı bilgileri öğrenmesinde etkin bir rol üstlenmektedir. Günümüzde, tıbbi görüntülemenin rolü basit görselleştime ve anatomik yapıların gözlenmesi ile sınırlı değildir; bunun ötesinde hastalık teşhisi, ileri cerrahi planlama ve similasyon, radyoterapi planlanması gibi alanlarda da kullanılır. Modern hacimli görselleştirme teknikleri anatomik yapıların son derece doğru ve yüksek kalitede 3 boyutlu görüntüsünü sunsa da, doğru ve ekonomik analizler için kullanımı hala sınırlıdır (1).

Tıbbi görüntülemelerdeki çarpıcı gelişmelerle radyolojik tanı daha az invaziv ve daha bilgilendirici hale gelmiştir (2,3). Yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu görüntü verileri tek bir nefes alma kadar kısa bir sürede elde edilebilinir. Görüntü işleme, tanısal görüntülemede çok kritik bir rol oynamaktadır (4,5). 3 boyutlu görselleştirme, multiplanar reformasyon ve görüntü navigasyonu, radyolojinin birçok klinik disiplin için odak nokta olmasını sağlamaktadır (6). Bugünün görüntü kılavuzlu ameliyatları, radyolojinin farklı cerrahi uzmanlarla nasıl ilişkili olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, üç boyutlu görüntüleme verilerini görselleştirmek için düz ekranların kullanımı ile sınırlıyız. Üç boyutlu baskı veya hızlı prototipleme olarak adlandırılan bir teknik, bu kısıtlamayı, kavramalı üç boyutlu nesneler üretmek suretiyle aşmaktadır (7).

1976 yılında Fernström ve Johansson açık cerrahiye uygun olmayan üç hastanın böbrek taşlarını perkütan bir yöntemle tedavi ettiklerini bildirmislerdir (8). Bu teknikte lokal anestezi altında nefrostomi yerleştirilmis, 14 gün süreyle bir kateter yerinde bırakılmis ve nihayetinde taslar floroskopi eşliğinde çıkarıltilmistir. Bu çığır açıcı makale, endoürolojinin doğumuna yol acmistir. Günümüzde perkütan nefrolitotomi (PNL) özellikle 2 cm'den büyük olan böbrek taşlarının tedavisinde kullanılan standart cerrahi bir yaklaşımdır (9,10). Yaygın olarak kullanılmasına rağmen taşa ulaşmak için kullanılan akses seçimi halen zorlayıcı bir basamaktır ve seçilecek olan aksesin uygunluğu, işlemin minimal komplikasyonla tamamlanması için çok önemlidir (11,12).

Biyolojik olmayan 3 boyutlu baskı modelleri son yıllarda hızla gelişmiş ve üroloji alanında ameliyat planlaması, asistan eğitimi ve hasta bilgilendirilmesinde rol almaya başlamıştır (13-15). Bu derlemede, günümüzde 3 boyutlu basılı modellerin üroloji ve tıpta kullanım alanları, PNL'de kullanımı ve gelecekteki yerini gözden geçirdik.

3 Boyutlu Nesnelerin Üretilmesi

Herhangi bir görüntüleme yöntemiyle elde edilen kaynak verileri tipik olarak iki boyutta görselleştirilebilir. Son işlem araçları ve algoritmaları ile çok düzlemli reformasyonlar ve anatominin üç boyutlu görünümlerini üretmek mümkündür. Görüntü alımından üç boyutlu bir hızlı prototip modelinin üretilmesine kadar olan süreç zinciri, üç aşamadan oluşur ve sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır: "Görüntü yakalama", "Görüntü sonrası işleme" ve "3 boyutlu baskı" (16).

Görüntü Yakalama

Nesnenin kalitesi, verilerin kalitesine bağlı olduğu için görüntü alımı, 3 boyutlu nesnelerin üretilmesi aşamasında çok önemli bir adımdır. Günümüzde, klinik görüntü alımı, kaliteli kontrasta sahip ultra-yüksek uzaysal çözünürlükte (400-600 mikron) yapılabilir. Kesit kalınlığı 1 mm'den az olmasi ve izotropik vokseller, görüntü sonrası işleme sırasında kısmi hacim etkisini en aza indirgemek için önemli parametrelerdir (17). Kesit kalınlığı, anatominin karmaşıklığına bağlıdır. Maksillofasiyal cerrahi için kullanılan modeller genellikle 0.5-1 mm arası kesit kalınlıklarında rekonstrükte edilmiş veriler kullanırken, pelvis ve uzun kemik modelleri 2 mm'ye kadar dilim kalınlıklarını kullanabilir (18).

BT ve MRI, veri toplama için eşit derecede iyi görüntüleme yöntemleri olmasına rağmen; görüntü sonrası işleme, BT verileri için daha az karmaşık olduğundan, hızlı prototiplendirme için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Cone Beam Bilgisayarlı Tomografi (CBCT), Positron Emisyon Tomografisi (PET), Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi (SPECT) ve Ultrasonografi (US), veri toplama için kullanılabilen diğer non-invaziv görüntüleme yöntemleridir. Görüntüleme modalitesine bakılmaksızın, elde edilen veriler ortak Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim formatında (DICOM) kaydedilir (16).

Görüntü sonrası işleme

Yüksek performanslı iş istasyonları, görüntü yakalama sırasında oluşturulan DICOM görüntülerinin işlenmesi için kullanılır. Uygulamada yaygın olan 3 boyutlu düzeltme araçları, basit bölgenin büyümesine dayanan segmentasyon araçlarının yanı sıra yüzey, hacim oluşturma, maksimum-minimum yoğunluk projeksiyonu ve multiplanar reformasyon gibi görselleştirme araçlarını da içerir. Geniş uygulama alanı cerrahi yöntemlerdir; vasküler cerrahi, ortopedik cerrahi, pediatrik cerrahi, bu araçların ameliyatı planlamak ve yürütmek için rutin olarak klinik uygulamada kullanılır (6,19). Ek olarak, örneğin; düşük çözünürlüklü veya geliştirilmemiş görüntüler için ileri düzeltme algoritmaları önerilmiştir (20).

Segmentlerine ayrılmış bir bölgenin konturları hesaplanabilir bir şekilde üç boyutlu bir alana dönüştürülebilir; diğer bir deyişle, bir parçanın şekli üçgen şekiller kullanılarak oluşturulabilir (21). Bağlantılı veriler, CAD (Computer-Aided Design) yazılımı kullanılarak ayrıca işlenebilir. Bu, otomatik bağlantı optimizasyonunu veya geometrinin el ile modifikasyonunu içerebilir. Son olarak, veriler Surface Tesselation Language (STL) dosya formatının yaygın olarak kullanıldığı 3 boyutlu basım makinesine üretim için gönderilir (16).

3 Boyutlu Baskı

3 boyutlu baskı, elle dokunabileceğimiz fiziksel model üretmek için 3 boyutlu CAD veri setlerini kullanan bir metodolojidir. Kullanılan üretim yöntemine bağlı olarak hızlı prototipleme, katı form, bilgisayarla otomatik veya katmanlı üretim olarak da adlandırılır. Hızlı prototipleme ilkesi; 3 boyutlu bilgisayar modellerini, 3 boyutlu fiziksel modelin malzeme katmanlarının eklenmesiyle yeniden yapılandırılması için kullanmaktır (22). Katkı imalatı ile makine, verileri bir CAD çiziminden okur ve birbiri ardına sıvı, toz veya tabaka malzemesi katmanları koyarak, bu şekilde bir dizi kesitten model oluşturur. CAD modelinden sanal kesit alanına karşılık gelen bu katmanlar son şekli oluşturur. Katkılı imalatın birincil avantajı, neredeyse her türlü kompleks şekli veya geometrik özelliği oluşturma yeteneğidir.

Çağdaş yöntemlerle bir modelin inşası birkaç saatten birkaç güne kadar sürebilirken, hızlı prototipleme için ilave sistemler genellikle birkaç saat içinde modeller üretebilir. Muhtemel üretim süresi, modelin boyutu ve karmaşıklığının yanı sıra kullanılan özellikli metoda da bağlıdır.

Hızlı prototipleme, kurulmuş üretim teknikleri ve gelişmekte olan veya küçük gruplar tarafından kullanılan çok sayıda deneysel teknolojiyi içerir. Her tekniğin kendi sınırlamaları ve prototip modelleri üretme uygulamaları vardır.

Stereolitografi (SLA) patent alan ilk 3 boyutlu yazıcı teknolojisidir (23). Fotoreaktif reçine malzemesinin 2 boyutlu katmanlarını art arda üst üste basarak UV ışıkla (örneğin, 3D systems, Rock Hill, SC, ABD) kurutan 3 boyutlu modeller oluşturur. SLA pürüzsüz yüzey kaplamaları ile son derece hassas modeller oluşturabilir. Baskı malzemeleri fotopolimerlerle sınırlıdır.

Seçici Lazer Sinterleme (SLS), yüksek güçlü bir lazer ile kaynaştırılmış termoplastik küçük parçacıklara, metal, seramik veya cam tozlara (örneğin, EOS GmbH, Munich, Germany) dayanır. Bir seferde bir kat ince bir toz yatağı uygulanır ve 3 boyutlu nesnesinin şekli lazerle katılaştırılır veya eritilir. SLS'nin diğer 3 boyutlu baskı süreçlerine göre bir avantajı, nesnelerin biriktirilmemiş toz yatağında yatmasından dolayı, modellerin basımı sırasında destek yapılarına ihtiyaç duymamasıdır (24). Diğer yazıcılarla, modelin çökmesini önlemek için zayıf noktalarda destek yapıları gerekebilir. Bu destek yapıları, model iyileştirildikten sonra manuel olarak çıkarılabilir. Buna rağmen, bu destek yapılar genellikle temizleme ve pürüzsüzleştirme gerektirebilecek pürüzlü bir yüzey bırakırlar (25).

Mürekkep püskürtmeli baskıda, bir yazıcı kafası, bir toz alt tabakayla birleştirilen bir sıvı bağlama maddesinden küçük damlalar oluşturur. Damlacıklar piezoelektrik, elektromanyetik veya termal yöntemler gibi çeşitli teknolojilerle oluşturulur (örneğin, Z Corporation, Burlington, MA, USA). SLS gibi mürekkep püskürtmeli baskı da destek yapılarının kullanılmasını gerektirmez. Buna ek olarak, nispeten hızlı ve düşük bir maliyetle modeller oluşturur. Buna rağmen genel olarak oluşturduğu modeller SLS kadar dayanıklı değildir. Mürekkep püskürtmeli teknolojinin heyecan verici bir uygulaması da, 3 boyutlu basılı organların biyomühendisliği içinde olmasıdır. Mürekkep püskürtmeli baskı teknikleri canlı hücreleri ve biyomalzemeleri aynı anda bastırarak farklı doku türlerine sahip bir 3 boyutlu iskele oluşturmak için de kullanılabilir (26,27). Yazıcı kafası, sıvı bağlayıcı bir madde yerine canlı hücreleri biyolojik bir iskele üzerine kurar.

Füzyon depozisyon modelleme (FDM), ucuz bir 3D baskı teknolojisidir ve tüketiciler tarafından popülerdir. Bu yazıcılar, bir yazıcı kafasında bir sıvıya ısıtılan ve model şekline karşılık gelen önceden tanımlanmış yerlerde (örneğin, Stratasys Inc., Eden Praire, MN, ABD) biriken bir polimer filament kullanır. Sıvı yatırıldıktan sonra soğur ve sertleşir ve süreç ardışık tabakalarda defalarca tekrarlanır. Materyaller akrilonitril bütadien stiren (ABS) ve diğer termoplastikleri içerir. FDM ile oluşturulan modeller, diğer işlemlerle elde edilen ince ayrıntılardan yoksun olma eğilimindedir. SLS ve mürekkep püskürtmeli yöntemin aksine, FDM ile yapılan parçalar destek yapıları gerektirebilir.

Bazı imalat teknikleri parçaların yapımında iki malzeme kullanır. İlk malzeme parça malzemesidir ve ikincisi destek malzemesi (yapım esnasında çıkıntı özelliklerini desteklemek için), destek malzemesi daha sonra ısıtma veya çözücü veya su ile çözündürülür. Bu, toz yatağının SLS ve mürekkep püskürtmeli baskı tekniklerinde olduğu gibi destek sağladığı tekniklerde gerekli değildir. Üretim tekniğine bağlı olarak, bir modeldeki farklı elastikiyet veya renkteki malzemeleri birleştirmek de mümkündür. Bu, eğitim amaçlı veya araştırma amaçlı veya doğal görünümlü protezler için gerçekçi modelleri yaratmak için yararlı olabilir.

3 Boyutlu Baskının Tıpta Kullanım Alanları

Son yıllarda, tıp alanında 3 boyutlu baskı teknolojisinin kullanım sayısı hızla artmıştır (28). Birçok hastane, kurum içinde 3 boyutlu yazıcılar satın almakta, sağlık hizmetlerinde 3 boyutlu baskı kullanımının önümüzdeki yıllarda artması beklenmektedir (29). Başlangıçta karmaşık prosedürlerde cerrahi öncesi planlamayı optimize etmek için kullanılmaktayken klinik eğitim, hasta eğitimi, özel protezlerin üretimi ve daha fazlası olması için potansiyele de sahiptir (30,31). 3 boyutlu baskı prensiplerine dayanan biyoteknoloji araştırmaları, fonksiyonel doku ve organlar yaratmak amacıyla biyolojik materyallere de uygulanmaktadır (32).

Baş-boyun Görüntüleme

Cerrahi planlamada 3 boyutlu baskının en eski ve en yerleşmiş kullanımlarından biri, maksillofasiyal ve kraniyofasiyal rekonstrüksiyonlarıdır (33,34). Yüz rekonstrüksiyonu, tümör rezeksiyonundan yüz deformitelerini düzeltmeye kadar sıklıkla kullanılan komplike bir prosedürdür. Bu komplike ameliyatlar sırasında hasta anestezi altındayken komşu kemiği birleştirmek için kullanılan titanyum plakaların konturlanması için kayda değer bir zaman harcanmaktaydı (34) fakat kemik anatomisinin 3 boyutlu kopyasının oluşturulmasından sonra, bu plakalar cerrahiden önce konturlanabilir ve böylece operasyon süresini azaltmaktadır (25,34,35). Sonuç olarak, hastalarda operasyon süresindeki kısalma ile birlikte anesteziye maruz kalma ve gelişen kan kaybı miktarı azalır (34). Bu kavram birçok ortopedik cerrahide de uygulanmaktadır (36).

Cerrahi planlamada 3 boyutlu baskı modellerin bir diğer yararı, karmaşık ve hassas işlemleri prova etmek için kullanılabilmeleridir. 3 boyutlu basılmış modeller, cerrahlara bu yaklaşımı tanıma ve cerrahi öncesi problemleri tahmin etmelerine olanak tanır (37).

3 boyutlu yazıcılar titanyum implantları oluşturmak için maksillofasiyal cerrahide de kullanılmaktadır (37,38). Başlangıçta implantların oluşturulma süreci BT görüntülere dayanan 3 boyutlu yazıcı teknolojisine sahip silikon kalıpların yapımını içeriyordu. Sonraları bu kalıplar titanyum implantları oluşturmak için kullanıldı. Bu yöntem, ikinci ameliyat riskini azaltarak, geleneksel yöntemleri aşan estetik bir form ile kusursuz bir uyum sağlamıştır (37).

Kas-iskelet sistemi Görüntüleme

Ortopedi sahası da 3 boyutlu baskı teknolojisinin ilk uygulayıcılarından biridir. İlk kullanımlar büyük oranda ameliyat öncesi planlamaya yardımcı olmaya yönelikti, ancak o zamandan beri devam eden çalışmalar, özel protezlerin oluşturulmasında 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin kullanımını üzerine oldu.

Herediter multipl ekzositoz (HME), gelişme süresince birden fazla kemik tümörünün oluşumuna neden olan bir iskelet bozukluğudur. Bu tümörler, normal eklem fonksiyonunu engelleyebilir ve komşu dokuyu sıkıştırabilir (39). HME'li 6 yaşında bir kıza, cerrahi eksizyon sırasında çevredeki yapılara zarar verme riski nedeniyle, cerrahi planlamaya yardımcı olmak için hastanın BT görüntüleri kullanılarak skapulanın 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Model lezyonun anatomik olarak daha iyi anlaşılmasına ve cerrahi tedavinin planlanmasına yardımcı olmuştur (40).

Düzeltici osteotomilerin cerrahi planlamasında, örneğin kubitus varus deformitelerinde, 3 boyutlu basılı modeller kullanılmıştır. Cerrahlar, distal humerusun 3 boyutlu kopyalarını oluşturarak, hasta için en iyi işlevsellik ve estetiği sağlayacak osteotomi ve fiksasyon metodunu prova yapmayı başarmışlardır (41).

3 boyutlu yazıcı teknolojisindeki ilerlemeler, şu anda titanyum ve biyolojik olarak parçalanabilir poliesterler gibi biyouyumlu materyalleri de içeren çeşitli hammadde setleri kullanılmasına izin veriyor. 3 boyutlu baskı, kondrosarkomlu 71 yaşındaki bir erkek için total kalkanektomiyi takiben titanyum kalkaneus protezi oluşturmak için kullanılmış (42) ve bu protez, BT DICOM verilerine dayanan bir Elektron Işın Eritme 3 boyutlu yazıcısı (CSIRO High Performance Metals Technologies, Australia) ile oluşturulmuştur.

Kardiyak Görüntüleme

3 boyutlu basılmış modeller planlama, karar verme ve intraoperatif yönlendirmede yardımcı olmak için preoperatif ve intraoperatif olarak kompleks kardiyak cerrahide kullanılmıştır (43). Konjenital kalp defekti olan ve cerrahi onarım gerektiren hastalarda bir dizi bildirilmiş kullanım vardır (44,45). Modeller, geleneksel görüntülemenin ötesinde, anatominin daha iyi anlaşılmasını sağlar.

Pediatrik kalp transplantasyonunun planlanmasına yardımcı olmak için de 3 boyutlu modeller oluşturulmuştur (46). Modeller BT ve MR anjiyografi verileri kullanılarak oluşturulmuş ve ameliyathanede sterilize edilmiştir. Modeller, cerrahlara model ve gerçek anatomi arasında doğrudan kıyaslamalar yapmalarını sağlamıştır.

Vasküler Görüntüleme

Endovasküler anevrizma tamiri (EVAR), abdominal aort anevrizmaları için kabul gören bir tedavidir (47). EVAR, açık cerrahi ile karşılaştırıldığında daha az invaziv tedavi seçeneği sunmaktadır, ancak bazen kaçaklar için ikincil bir onarım gerektirmektedir (48). Cihazın endovasküler anevrizma onarımı tedavi seçiminde yardımcı olması için, ameliyat öncesi planlamada kullanılmak üzere BT verilerinden 3 boyutlu basılmış abdominal anevrizma modeli oluşturulmuştur (49). Anevrizma replikasyonu cerrahlara tedavi seçme sürecinde yardımcı oldu ve doğru onarım şeçeneğini güvenle seçmelerini sağladı.

Gastrointestinal Görüntüleme

Canlı donör karaciğer transplantasyonunun ameliyat öncesi planlamasına yardımcı olmak için canlı vericilerin ve alıcıların BT verilerinden karaciğer, safra ve vasküler yapıların 3 boyutlu basılmış modelleri oluşturulmuş ve karaciğer modelleri, iç vasküler ve safra yapılarını görselleştirmek için saydam, kauçuk benzeri bir malzeme ile basılmıştır (50). Cerrahlar 3D modelleri vasküler ve safra anatomisi arasındaki ilişkileri anlamak için değerli bulmuşlardır.

Pankreas kanseri, 5 yıllık sağkalımı %4 olmasıyla kötü prognozlu kanserlerden biridir (51). Büyük damarların yakınında bulunan pankreasın anatomik yerleşiminden dolayı, imkânsız olmasa da cerrahi rezeksiyonu zordur. Cerrahi rezeksiyon mümkün olduğunda tümörün tam anatomik konumu ve çevredeki damarlarla ilişkisi, preoperatif ve intraoperatif karar verme açısından son derece önemlidir (52). Pankreas kanseri olan hastaların BT verileriyle pankreas, pankreas tümörü ve çevreleyen yapıları içeren 3D baskılı modeller oluşturulmuş, bu modeller yakınlardaki önemli yapılara göre pankreas ve tümörün iyi bir şekilde görselleştirilmesini sağlamıştır. Cerrahi süresini kısaltması ve komplikasyonları azaltması nedeni ile preoperatif değerlendirme için iyi bir araç olacağı kanısına varılmıştır (53).

3 Boyutlu Baskının Ürolojide Kullanımı

Hasta eğitimi

3 boyutlu basılmış modellerin, böbrek tümörü nedeniyle laparoskopik parsiyel nefrektomi ameliyatı olacak hastalar tarafından hastalıklarını anlamaya yardımcı olduğu ve hastaların, 3 boyutlu modeller sayesinde böbrek anatomi ve patolojisini, bir de operasyon sırasındaki cerrahi riskleri daha iyi anladıklarını bildirmişlerdir (54).

Böbrek Tümörü

Böbrek tümörlerinin rezeksiyonu için parsiyel nefrektomi, cerrahi planlamada 3 boyutlu modellerin kullanılmasından fayda sağlayabilecek bir ürolojik cerrahi prosedürün örneğidir. Kontrastlı BT görüntüleri ile böbrek tümörü saptanan ve cerrahi olarak laparoskopik parsiyel nefrektomi planlanan hastalarda, BT'den alınan veriler böbrek ve tümörün hasta spesifik 3 boyutlu modelini oluşturmak için kullanılmıştır. Daha sonra modeller üroloji uzmanları tarafından modelin potansiyel yararı açısından değerlendirilmiş ve cerrahlar, modellerin operasyon öncesi planlamada ve intraoperatif navigasyona yardımcı olabilecek potansiyeli olabileceğini bildirmişlerdir (54).

PNL VE 3D

3 boyut rekonstrüksiyonlu BT görüntüleme hâlihazırda ameliyat öncesi planlamaya yardımcı olmak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bazı kompleks durumlarda, BT görüntüleriyle elde edilen bilgiler 3 boyutlu anatominin görüntülenmesine izin vermemektedir. PNL'nin cerrahi planlaması için 3 boyutlu baskının işe yararlılığını araştırmak amacıyla BT görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak pelvikalisyel sistem ve taşların 3 boyutlu modelleri oluşturulmuş ve modellerin, farklı olası yaklaşımlar hakkında ilave bilgi sağlaması ve operatif tekniğin provasında ve modifikasyonunda faydalı olduğu tespit edilmiştir (55).

Perkütan nefrolitotominin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanması için perkütan böbrek girişimi için kaliksiyel seleksiyon kritik önem taşır. Brehmer ve ark.'larının, taş hastalarına in vivo 3 boyutlu bilgisayarlı tomografi çekilmesi ile elde ettikleri ayrıntılı renal kaliksiyel anatomi görüntülerini kullanılarak, böbrek toplayıcı sisteminin 3 boyutlu görüntülerini oluşturdukları çalışmada; kaliks gruplarını 3 boyutlu olarak gruplamışlardır. En alt kaliks grubu, 1. kaliks olarak adlandırılmış, üste doğru ilerledikçe, sonraki kaliksler 2. kaliks ve mevcutsa 3. kaliks grupları olarak numaralandırılmıştır. Yüzey işlemi, kaliksiyel grubunun birincil düzlemini ve seçilen kaliks yönünü değerlendirmek üzere döndürülmüştur. Çekilen 3 boyutlu görüntülemelerde üst kutup kaliksiyel grubunun birincil düzlemi, böbreklerin % 95'inde mediyolateral, alt kutuplu kaliksiyel grubun birincil düzlemi hastaların %95'inde anteroposterior olduğu saptanmış. 97 simülasyonun 90'ında perkütan akses için 2. kaliks grubu seçilmiş ve %92'de uygun akses sağlandığı belirtilmiştir. Uygun alt pol kaliks aksesi, kaliks grubunun birincil düzlemi ve kaliksiyel uzanım arasındaki anatomik ilişkiyi anlamakla başarıyla gerçekleştirilebilineceği ve ek olarak 2. kaliks grubunun çoğunlukla alt polün ön-arka ana düzlemine erişmek için uygun olduğu ifade edilmiştir (56). 3 boyutlu BT ile kompleks taş hastalarında PNL öncesi planlamanın ameliyat prosedürü üzerinde belirgin bir pozitif etkiye sahip olduğu sonuç olarak belirtilmiştir.

Geleneksel olarak PNL'de pelvikalisyel anatomi intravenöz ürogram (IVU) veya retrograd piyelogram ile görüntülenir. Bu uygulamalar anatomik planlama için yeterli olabilir ancak 3 boyutlu BT kullanarak daha kesin sonuçlar elde edebilmektedir. Multiplanar veya hacim oluşturan rekonstrüksiyonlar tüm pelvikalisyel sistemin monoplanar piyelogramdan daha iyi görüntülenmesini sağlar. Multipl veya staghorn taşlar söz konusu olduğunda, tüm taş yükünün temizlenebilmesi için pelvikalisyel sistemin detaylı görüntülenmelisi önemlidir. 3 boyutlu BT pyelografi tekniği, klinik olarak anlamlı taşları distandü pelvikalisyel sistem içerisinde kalkül pozisyonu ve uzaysal boşlukların doğru vizüalize edilmesini sağlar ve böbrek taşlarının tedavi planlaması için faydalıdır (57).

Perkütan renal akses, perkütan renal cerrahinin en kritik adımıdır. Çoğu endoürolog bu gerekli beceri ve tecrübeyi ameliyathanede kazanır. Bununla birlikte, tıp eğitiminde simülasyonun ilerlemesiyle cerrahi beceriler, ameliyathaneye girmeden önce laboratuvardaki eğitimle kazanılabilinir. Zhang ve ark.'larının yaptıkları çalışmada, 3 boyutlu yazıcı teknolojisindeki gelişmelerle laboratuvarda perkütan renal akses eğitimi için, böbrek ponksiyonu, aspirasyon, trakt dilatasyonu, kılıf girişi, endoskopik pelvikaliksiyel sistem kontrolü ve intrarenal litotripsi yapılabilen biyolojik olmayan 3D modeller geliştirilmiş ve eğitime katkısı incelenmiş. Bu modellerle eğitim sonrasında, asistanların floroskopi sürelerinde kısalma ve akses oluşturma becerilerinde düzelme saptanmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada, 3D modellerin perkütan renal akses eğitiminde yeni bir yöntem sunduğu ve modellerin perkütan renal akses öğrenme eğrisinin ilk adımına uygulanabilineceği belirtilmiştir (58).

Bruyere ve ark.'larının yaptıkları çalışmada, hızlı prototipleme yönteminin PNL eğitimine katkısı araştırılmıştır. Yazarlar, hızlı prototipleme yöntemini, bilgisayar görüntülerini klasik tekniklerden daha verimli bir şekilde üç boyutlu olarak oluşturmak için kullanmışlar ve renal akseste oluşabilecek morbiditelerin (kanama, pnömotoraks, hidrotoraks, yanlışlıkla oluşan kolon yaralanması) anatominin bu yöntem ile daha iyi anlaşılması nedeni ile azaltılabileceği sonucuna varmışlardır. PNL uygulanması planlanan hastanın abdominal BT görüntülerine dayanan hızlı prototiplendirme tekniğini kullanarak oluşturulan eğitim modeli, cerrahların operasyona başlamadan önce hastanın anatomisine özgü belirli güçlüklerin önceden belirlenmesine izin verdiğini sonuç olarak bildirmişlerdir (59).

Radecka ve ark.'larının, PNL'de en uygun aksesi sağlamak içi BT verilerinden 3 boyutlu stereolitografik hasta bazlı biyomodeller oluşuruldukları çalışmada, pelvikalisyel sistemin ve taşların tam plastik kopyaları oluşturulmuş ve bu modeller morfolojik değerlendirme, ameliyat öncesi planlama, hasta eğitimi ve cerrahi navigasyon için kullanılmıştır. Modeller, cerrahi sırasındaki pozisyonunun taklit edilmesi için yüzüstü pozisyonda böbreğin doğal ve boşaltım fazlarındaki çok kesitli BT taramaları kullanılarak oluşturulmuş ve veriler biyomodel oluşturmak için işlenmiştir. Sonuç olarak, biyomekanik modellerin ameliyattan önce hastanın benzersiz anatomisini görselleştirme kabiliyetini artırdığı ve endoürolojik cerrahinin planlanması ve provasına yardımcı olduğu belirtilmiştir (31).

Atalay ve ark.'larının yaptığı çalışmada ise; PNL uygulanacak staghorn taşları olan hastaların preoperatif BT görüntülerinden elde edilen DICOM verileri ile pelvikaliksiyel sistemin 3 boyutlu modeli oluşturulmuştur. Bu olusturulan 3D modellerin, asistanların PNL öncesi pelvikalisiyel sistem anatomisini anlamasında ve PNL cerrahisini planlamadaki etkisi araştırılmıştir. Preoperatif 3 boyutlu modellerle operasyon planlaması yapan asistanlar anterior ve posterior kaliks lokasyonlarını belirlemede, taşın yerini anlamada ve toplayıcı sisteme girişlerinde en uygun kaliksi seçmekte özgüvenleri artmış olduklarını sonuç olarak belirtmiştir (60).

Gelecekte 3 boyut ve PNL

Günümüzde cerrahlar minimal invaziv işlemleri tercih etmektedirler. 2 boyutlu görüntülemelerin kullanılması cerrahların hastaları preoperatif değerlendirmesini ve intraoperatif karşılaşılabilecek senaryoları görselleştirmek için cerrahları sınırlamaktadır (61). Önümüzdeki 10 yıl içerisinde PNL'nin bize neler gösterecegi bilinmemekle birlikte; oncelikle, mükemmel akses tekniğine yönelik arayış devam edecektir. Boylece, ameliyat öncesi planlama ve navigason için 3 boyutlu modellerin kullanımı da dahil olmak üzere, 3 boyutlu BT planlaması rutin olarak kullanılabilir (55). Akses, BT görüntülerini üst üste getirmek için tablet bilgisayarlar kullanarak güçlendirilmiş bir teknolojiyi içerebilir (62). Anatomik olarak hastanın böbrek toplayıcı sistemiyle birebir aynı olan üç boyutlu modellerin oluşturulması, asistanlar için geleneksel görüntüleme yöntemlerinden daha etkili bir öğrenme yolu olduğunu göstermektedir. Asistanların 3 boyutlu baskı yöntemiyle oluşturulmuş modelleri kullanarak, böbrek anatomisini, kaliks sayı ve yerleşimini, uygun akses tercihini yalnızca geleneksel görüntülemeler kullanılarak gerçekleştirilen preoperatif değerlendirilmesinden daha iyi anlayabildikleri, ayrıca ameliyat sırasında asistanın kendine olan güvenini arttırdığı ortadadır (60).

Sonuç

3 Boyutlu baskı, medikal görüntüleme ile birleştirildiğinde güçlü bir tanı koyma aracı ve asistan eğitimine katkısı olan bir yöntemdir. Anatomik 3D modeller karmaşık ameliyatlara yardımcı olmak, eğitim amaçlı hassas prosedürleri uygulamak ve kişiye özel protez oluşturmak için başarıyla kullanılmaktadır. Hem tıbbi görüntüleme hem de 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ilerlemeye devam ettikçe, kombine kullanımları için yeni fırsatlar ortaya çıkacaktır.

Kaynaklar

1. 3D Segmentation Techniques for Medical Volumes, Sarang Lakare, Center for Visual Computing, Department of Computer Science, State University of New York at Stony Brook, Dec 14, 2000.
2. Kido T, Kurata A, Higashino H, Sugawara Y, Okayama H, Higaki J, Anno H, Katada K, Mori S, Tanada S, Endo M, Mochizuki T (2007) Cardiac imaging using 256-detector rowfourdimensional, CT: preliminary clinical report. Radiat Med 25:38-44.
3. Meaney J, GoyenM (2007) Recent advances in contrast-enhanced magnetic resonance angiography. Eur Radiol 17(Suppl 2):B2-B6.
4. Doi K. Diagnostic imaging over the last 50 years: research and development inmedical imaging science and technology. Phys Med Biol. (2006) 51:5-27.
5. KirchgeorgM, ProkopM (1998) Increasing spiral CT benefits with postprocessing applications. Eur J Radiol 28:39-54.
6. von Tengg-Kobligk H, Weber T, Rengier F, Kotelis D, Geisbusch P, Bockler D, Schumacher H, Ley S. Imaging modalities for the thoracic aorta. J Cardiovasc Surg. (2008) 49:429-447.
7. McGurk M, Amis A, Potamianos P, Goodger N (1997) Rapid prototyping techniques for anatomical modelling in medicine. Ann R Coll Surg Engl 79:169-174.
8. Fernström I, Johansson B. Percutaneous pyelolithotomy. A new extraction technique. Scand J Urol Nephrol 1976;10:257-9.
9. Preminger GM, Assimos DG, Lingeman JE, et al. AUA guideline on management of staghorn calculi: diagnosis and treatment recommendations. The Journal of Urology. 2005; 173(6):1991-2000.
10. Turk C, Petrik A, Sarica K, et al. EAU Guidelines on Interventional Treatment for Urolithiasis. Eur Urol 2015.
11. Watterson JD, Soon S, Jana K. Access related complications during percutaneous nephrolithotomy: urology versus radiology at a single academic institution. J Urol. (2006) 176(1):142-145.
12. Mishra S, Sabnis RB, Desai M. Staghorn morphometry: a new tool for clinical classification and prediction model for percutaneous nephrolithotomy monotherapy. J Endourol. (2012) 26(1):6-14.
13. Mehra P, Miner J, D'Innocenzo R, et al. Use of 3-d stereolithographic models in oral and maxillofacial surgery. J Maxillofac Oral Surg. 2011;10:6-13.
14. Akiba T, Inagaki T, Nakada T. Three-dimensional printing model of anomalous bronchi before surgery. Ann Thorac Cardiovasc Surg. 2013:1-4.
15. Komai Y, Sakai Y, Gotohda N, et al. A novel 3-dimensional image analysis system for casespecific kidney anatomy and surgical simulation to facilitate clampless partial nephrectomy. Urology. 2014;83:500-506.
16. Rengier F, Mehndiratta A, Von Tengg-Kobligk H, Zechmann CM, Unterhinninghofen R, Kauczor HU, et al. 3D printing based on imaging data: Review of medical applications. Int J Comput Assist Radiol Surg. 2010; 5:335-341.
17. Mahesh M (2002) Search for isotropic resolution in CT from conventional through multiple-row detector. Radiographics. 22:949-962.
18. Bibb R, Winder J. A review of the issues surrounding three-dimensional computed tomography for medical modelling using rapid prototyping techniques. Radiography. 2010;16:78-83.
19. Rengier F, Weber TF, Giesel FL, Böckler D, Kauczor H, von Tengg-Kobligk H. Centerline analysis of aortic CT angiographic examinations: benefits and limitations. (2009). AJR Am J Roentgenol 192:255-263.
20. Frakes DH, Smith MJT, Parks J, Sharma S, Fogel SM, Yoganathan AP. New techniques for the reconstruction of complex vascular anatomies from MRI images. J Cardiovasc Magn Reson. (2005) 7:425-432.
21. Hahn H, Millar W, Klinghammer O,Durkin M, Tulipano P, Peitgen H (2004) A reliable and efficient method for cerebral ventricular volumetry in pediatric neuroimaging. Methods Inf Med 43:376- 382.
22. Peltola SM, Melchels FPW, Grijpma DW, Kellomäki M (2008) A review of rapid prototyping techniques for tissue engineering purposes. Ann Med 40:268-280.
23. Hull CW. Apparatus for Production of Threedimensional Objects By Stereolithography. 1986.
24. Levy R a, Guduri S, Crawford RH. Preliminary experience with selective laser sintering models of the human temporal bone. AJNR Am J Neuroradiol. 1994;15(3):473-7.
25. Olszewski R. Three-dimensional rapid prototyping models in cranio-maxillofacial surgery: Systematic review and new clinical applications. Proceedings of the Belgian Royal Academies of Medicine. 2013. 43-77.

26. Boland T, Xu T, Damon B, Cui X. Application of inkjet printing to tissue engineering. Biotechnol J. 2006;1(9):910-7.
27. Campbell PG, Weiss LE (2007) Tissue engineering with the aid of inkjet printers. Expert Opin Biol Ther 7:1123-1127.
28. Koff W, Gustafson P. 3D Printing and the Future of Manufacturing. CSC Lead Edge Forum[Internet]. 2012;
29. Nicklaus Children's Hospital Acquires 3D Printer to Support Pediatric Surgical Planning and Research - Miami Children's Hospital [Internet] [cited 2015 Jun 21]
30. Waran V, Narayanan V, Karuppiah R, Pancharatnam D, Chandran H, Raman R, et al. Injecting realism in surgical training - Initial simulation experience with custom 3D models. J Surg Educ. 2014;71(2):193-7.
31. Radecka E, Brehmer M, Holmgren K, Palm G, Magnusson P, Magnusson A. Pelvicaliceal biomodeling as an aid to achieving optimal access in percutaneous nephrolithotripsy. J Endourol. 2006;20(2):92-101.
32. Murphy S V, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nat Biotechnol. 2014;32(8):773-85.
33. Singare S, Dichen L, Bingheng L, Zhenyu G, Yaxiong L. Customized design and manufacturing of chin implant based on rapid prototyping. Rapid Prototyp J. 2005;11(2):113-8.
34. Cohen A, Laviv A, Berman P, Nashef R, Abu-Tair J. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology. 2009;108(5):661-6.
35. Liu Y, Xu L, Zhu H, Liu SS-Y. Technical procedures for template-guided surgery for mandibular reconstruction based on digital design and manufacturing. Biomed Eng Online. 2014;13(1):63.
36. Chung KJ, Hong DY, Kim YT, Yang I, Park YW, Kim HN. Preshaping Plates for Minimally Invasive Fixation of Calcaneal Fractures Using a Real-Size 3D-Printed Model as a Preoperative and Intraoperative Tool. Foot Ankle Int. 2014;35:1231-6.
37. Singare S, Yaxiong L, Dichen L, Bingheng L, Sanhu H, Gang L. Fabrication of customised maxillofacial prosthesis using computer-aided design and rapid prototyping techniques. Rapid Prototyp J. 2006;12(4):206-13.
38. Singare S, Dichen L, Bingheng L, Yanpu L, Zhenyu G, Yaxiong L. Design and fabrication of custom mandible titanium tray based on rapid prototyping. Med Eng Phys. 2004;26(8):671-6.
39. Vanhoenacker FM, Van Hul W, Wuyts W, Willems P., De Schepper AM. Hereditary multiple exostoses: from genetics to clinical syndrome and complications. Eur J Radiol. 2001;40(3):208-17.
40. Tam MD, Laycock SD, Bell DG, Chojnowski A. 3-D printout of a DICOM file to aid surgical planning in a 6 year old patient with a large scapular osteochondroma complicating congenital diaphyseal aclasia. J Radiol Case Rep. 2012;6:31-7.
41. Mahaisavariya B, Sitthiseripratip K, Oris P, Tongdee T. Rapid prototyping model for surgical planning of corrective osteotomy for cubitus varus: Report of two cases. Inj Extra. 2006;37(5):176-80.
42. Imanishi J, Choong PFM. Three-dimensional printed calcaneal prosthesis following total calcanectomy. Int J Surg Case Rep. 2015;10:83-7.
43. Schmauss D, Haeberle S, Hagl C, Sodian R. Three-dimensional printing in cardiac surgery and interventional cardiology: a single-centre experience. Eur J Cardio-Thoracic Surg. 2014;1-9.
44. Tam MDBS, Laycock SD, Brown JRI, Jakeways M. 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular aneurysm repair in complex neck anatomy. J Endovasc Ther. 2013;20:863-7.
45. Noecker AM, Chen J-F, Zhou Q, White RD, Kopcak MW, Arruda MJ, et al. Development of patientspecific three-dimensional pediatric cardiac models. ASAIO J (American Soc Artif Intern Organs). 2006 Jan;52(3):349-53.
46. Sodian R, Weber S, Markert M, Loeff M, Lueth T, Weis FC, et al. Pediatric cardiac transplantation: Three-dimensional printing of anatomic models for surgical planning of heart transplantation in patients with univentricular heart. J Thorac Cardiovasc Surg. 2008;136(4):1098-9.
47. Brewster DC, Cronenwett JL, Hallett JW, Johnston KW, Krupski WC, Matsumura JS. Guidelines for the treatment of abdominal aortic aneurysms. Report of a subcommittee of the Joint Council of the American Association for Vascular Surgery and Society for Vascular Surgery. J Vasc Surg. 2003; 37(5):1106-17.
48. Schanzer A, Greenberg RK, Hevelone N, Robinson WP, Eslami MH, Goldberg RJ, et al. Predictors of abdominal aortic aneurysm sac enlargement after endovascular repair. Circulation. 2011; 123(24):2848-55.
49. Tam MDBS, Laycock SD, Brown JRI, Jakeways M. 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular aneurysm repair in complex neck anatomy. J Endovasc Ther. 2013;20:863-7.
50. Zein NN, Hanouneh IA, Bishop PD, Samaan M, Eghtesad B, Quintini C, et al. Three-dimensional print of a liver for preoperative planning in living donor liver transplantation. Liver Transpl. 2013; 19(12):1304-10.
51. Vincent A, Herman J, Schulick R, Hruban RH, Goggins M. Pancreatic cancer. Lancet. NIH Public Access; 2011;378(9791):607-20.
52. Gillen S, Schuster T, Meyer Zum Büschenfelde C, Friess H, Kleeff J. Preoperative/neoadjuvant therapy in pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis of response and resection percentages. Public Library of Science; 2010;7(4):e1000267.
53. Schwaiger J, Kagerer M, Traeger M, Gillen S, Dobritz M, Kleeff J, et al. Manufacturing of patientspecific pancreas models for surgical resections. 2012 IEEE Int Conf Robot Biomimetics, ROBIO 2012 - Conf Dig. 2012;991-8.
54. Zhang Y, Ge H-W, Li N-C, Yu C-F, Guo H-F, Jin S-H, et al. Evaluation of three-dimensional printing for laparoscopic partial nephrectomy of renal tumors: a preliminary report. World J Urol. 2015: 1-5.
55. Gadzhiev N, Brovkin S, Grigoryev V, Tagirov N, Korol V, Petrov S. Sculpturing in urology, or how to make percutaneous nephrolithotomy easier. J Endourol. 2015;29:512-7.
56. Joe Miller, Jeremy C. Durack, Mathew D. Sorensen, James H. Wang and Marshall L. Stoller; Renal Calyceal Anatomy Characterization with 3-Dimensional In Vivo Computerized Tomography Imaging, j of urology, Vol. 189, 562-567.

57. Uday Patel, Richard Miles Walkden, Khurshid R. Ghani, Ken Anson. Three-dimensional CT pyelography for planning of percutaneous nephrostolithotomy: accuracy of stone measurement, stone depiction and pelvicalyceal reconstruction. Eur Radiol. (2009) 19: 1280-1288.
58. Yi Zhang, Cheng-fan Yu, Shi-hua Jin, Ning-chen Li, Yan-qun Na. Validation of a novel non-biological bench model for the training of percutaneous renal Access. Int Braz J Urol. 2014; 40: 87-92.
59. F. Bruyère, C. Leroux, L. Brunereau, P. Lermusıaux. Rapid Prototyping Model for PercutaneousNephrolithotomy Training, J of Urology. Volume 22.
60. Atalay HA, Ülker V, Alkan İ, Canat HL, Özkuvancı Ü, Altunrende F. Impact of Three-Dimensional-Printed Pelvicalyceal System Models on Residents' Understanding of Pelvicalyceal System Anatomy before Percutaneous Nephrolithotripsy Surgery: A Pilot study; J Endourol. 2016 Oct;30(10):1132-1137.
61. Baumhauer M, Feuerstein M, Meinzer HP, Rassweiler J. Navigation in endoscopic soft tissue surgery: perspectives and limitations. J Endourol. 2008;22:751-766.
62. Muller M, Rassweiler MC, Klein J, et al. Mobile augmented reality for computer-assisted percutaneous nephrolithotomy. Int J Comput Assist Radiol Surg 2013;8:663-75.

Yazışma Adresi:
Hasan Anıl Atalay,
Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Üroloji Kliniği, Şişli, İstanbul
Tel: +90 533 323 41 33
e-mail: anilatalay@gmail.com