



Bilgisayar destekli deformite analizi

Computer-assisted deformity analysis

Cenk Özkan, Akif Mirioğlu

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Adana

Bilgisayar destekli cerrahi, kullanımı giderek yaygınlaşan bir yöntemdir. Plastik ve rekonstrüktif cerrahi ve kranial cerrahi, ortopedi ve travmatoloji dışında kullanılan diğer alanlar olmakla birlikte, ortopedide travma, artroplasti, ortopedik onkoloji ve deformite cerrahisinde kullanılabilir. Deformite cerrahisinde insan kaynaklı hataların ortadan kaldırılmasının amaçlanması, bilgisayar programı destekli yaklaşımlar, bir deformitenin planlanması ve tedavisinin farklı aşamalarında kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Daha kaliteli üç boyutlu (3B) anatomik görüntünün elde edilmesi, uygun düzeltme yönteminin planlanması ve tedrici düzeltmelerde düzeltme programının sağlanması, bu yöntemin medikal pratikteki avantajlarıdır. Maliyet açısından yüksek olsa da bu yöntemin özellikle kompleks deformitelerin tedavisinde önemli yeri olduğu bilinmektedir.

Anahtar sözcükler: deformiteler; eksternal fiksatorler; bilgisayar yardımıyla cerrahi

Computer-assisted surgery is a technique that has gained an increasing popularity. It is also used in plastic and reconstructive surgery and cranial surgery while trauma, arthroplasty, orthopedic oncology and deformity correction are the main areas in orthopedics and traumatology. Eliminating human errors in any step of the deformity correction, necessitated the use of computer assisted approaches in planning and different stages of the treatment. Obtaining high quality three dimensional anatomical images, planning the amenable method for correction and providing a correction program for gradual corrections with spatial fixators are the main advantages in clinical practice. Although the concerns about the cost-effectiveness of this technique is ongoing, the favour in the complex deformities is widely accepted.

Key words: deformities; external fixators; computer-assisted surgery

Ekstremite deformiteleri, ortopedi ve travmatoloji pratiğinde sıklıkla karşılaşılan durumlar arasındadır. Genellikle travmaya, enfeksiyonlara ve tümörlere ikincil olabildiği gibi konjenital de olabilir.^[1,2] Sorunun çözülmediği durumda hasta açısından kozmetik ve fonksiyonel sorunlara neden olabileceği gibi zaman içinde özellikle alt ekstremitelerde deformiteye, komşu eklemlerde erken dejenerasyon ve ağrıya neden olabilir.^[3] Bu nedenle deformitelerin erken evrede tespit edilip tedaviye erken dönemde başlaması önemlidir.

Ekstremitte deformitelerinin tedavisinde zaman içinde çeşitli düzeltme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu nedenle hekim tarafından tedavi belirlenirken hastaya ve hekime bağlı olarak herhangi bir yöntem tercih edilebilir. Görece daha ılımlı deformitelerde hastalar için daha pratik ve uyumu yüksek akut düzeltme

yapılabileceği gibi, daha ileri deformitelerde tedrici düzeltme yöntemlerinden biri tercih edilebilir.^[3] Her iki yöntemin kendine has avantajları ve dezavantajları vardır. Birbirinden farklı prensip ve uygulama özellikleri olan bu iki yaklaşımda ise genelgeçer kural eksiksiz ve tam bir planlamadır. Eksik veya yanlış bir planlama neticesinde yapılan deformite ameliyatları yıkıcı ve geri dönülmesi zor sonuçlar doğurabilir. Bunlar uygulanan cerrahi yönteme bağlı olarak karşılaşılan enfeksiyon, kaynamama, tespit yetersizliği gibi problemler ve edinilmesi gereken dizilimin sağlanamaması veya fazla düzeltme gibi planlamadaki eksiklikler olabilir.^[4]

Eksik düzeltme ya da olması gerekenden fazla düzeltme elde edilmesi, erken dönemde hastalar için çok sıkıntı oluşturmayabilir. Literatürde başta özellikle alt ekstremitede akstaki milimetrik sapmaların dahi komşu eklemler üzerinde artmış makaslama kuvvetleri

İletişim / Contact: Dr. Cenk Özkan • **E-posta / E-mail:** drcenkozkan@gmail.com

ORCID iD: Cenk Özkan, 0000-0002-6249-6174 • Akif Mirioğlu, 0000-0002-9686-4991

Geliş / Received: 17 Kasım 2021 • **Kabul / Accepted:** 21 Aralık 2021

ve ilişkili dejenerasyonla sonuçlanabileceğini gösteren yayınlar mevcuttur.^[5] Bu durum planlama ya da tedavi basamağındaki herhangi bir kusurdan kaynaklanabilir. Çekilen grafinin uygunluğundaki ve yapılan ölçümlerdeki hatalardan kaynaklanabilir. Bu hataların büyük çoğunluğu insan kaynaklıdır ve en titiz ellerde dahi olasıdır.^[6] Bu durum deformite cerrahisi ile ilgilenen cerrahları yeni arayışlara itmiştir. Öncesinde tıp alanında başka alanlarda kullanılan bilgisayar teknolojileri devreye girmiş ve bu planlamaların bilgisayar programları destekli yapılması düşünülmüştür. İnsan hatasının en aza indirilmesinin arayışı sonucunda ortaya çıkan bu yöntemler, şimdilerde başta artroplasti olmak üzere ekstremitelerde deformitelerinin düzeltilmesinde yaygınlık kazanmıştır.^[1,7,8] Genel olarak tanı sırasında, tedavi öncesinde edinilen direk grafi ve bilgisayarlı tomografi ile edinilen görüntülerin bilgisayara yüklenerek ilgili kemik ve deformitenin üç boyutlu modellenmesinin oluşturulması, osteotominin yerinin daha kesin belirlenmesini temel alır.^[9] Bu derlemede bilgisayar destekli deformite analizi ve tedavide kullanımıyla ilgili kullanım alanları, şekli ve etkinliği ele alınacaktır.

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİDE BİLGİSAYAR YARDIMLI PLANLAMA VE CERRAHİNİN KULLANIMI

Bilgisayar yardımcı ameliyatlar ve planlama ortopedi ve travmatoloji alanındaki cerrahide son 20 yılda yaygınlık kazanmıştır. En sık olarak artroplasti uygulamalarında komponent sağ kalımını artırmak hedefiyle hem diz hem de kalça artroplastisinde kullanılmaya başlanmıştır. Ameliyat sırasında yapılacak kesilerin planlaması ve kişiye özgü komponent üretimi için tasarlanmış olup, kısa ve orta dönemde hem ameliyat sonrası komponent sağ kalımını artırdığı hem de hasta fonksiyonları konusunda iyi sonuçlar kazandırdığı görülmüştür. Ayrıca bilgisayar destekli planlamanın cerrahi süresini azaltabileceği ve ameliyat sırasında karşılaşılabilecek problemleri azaltabileceği de düşünülmektedir.^[10] Travma cerrahisi de bilgisayar yardımcı planlama ve cerrahinin kullanıldığı alanlardan biridir.^[11] Bunun için üç farklı yöntem tarif edilmiştir: Fluoronavigasyon, bilgisayarlı tomografi (BT) bazlı navigasyon ve fluoroskopik ve üç boyutlu navigasyondur.^[12] Bilgisayar destekli travma cerrahisi özellikle ulaşımın ve perioperatif oryantasyonun zor olduğu pelvis cerrahisinde kullanılmaktadır. Bu şekilde kırık redüksiyonunun daha iyi sağlandığı ve implant yerleşiminin perioperatif değerlendirilebilmesiyle tespit kalitesinin artırıldığı gösterilmiştir.^[13] Sonuçta travma cerrahisinde daha iyi sonuçlar elde edilebileceği, ameliyat süresinin kısalaacağı ayrıca maruz kalınan radyasyon miktarının azaltılacağı öngörülmüştür.

Ortopedik onkoloji, bilgisayar yardımcı cerrahinin planlandığı bir başka alandır. Üç boyutlu görüntüleme edinilmesiyle, hasta sağ kalımı önemli olduğu bilinen steril cerrahi alan sağlanmasını kolaylaştırmaktadır. Tümör sınırlarının net şekilde ortaya koyulması, başta kompleks bölgelerdekiler için cerrahi planlamayı daha da kolaylaştırmaktadır. Ayrıca kemik defektleriyle sonuçlanan kemik tümörlerinin eksizyonu sonrası ortaya çıkacak defektlerin rekonstrüksiyonu için kişiye özgü rekonstrüksiyon da planlanabilmekte, kişiye özgü implantlar tasarlanabilmektedir.^[14] Gelişen teknoloji ile bilgisayar yardımcı cerrahi, deformite cerrahisinde de kendine yer bulmuştur. Teoride travma, ekstremitelerde deformiteye neden olan bir durumdur ve artroplasti gerektiren dejeneratif değişiklikler, sıklıkla eklemi ilgilendiren eklem yüzleri ve çevre yumuşak dokuları içine alan bir deformite ile ilişkilidir. Dolayısıyla bilgisayar yardımcı planlama ile yapılan bu alanlardaki cerrahiler ile ilgili olumlu sonuçlar, bu yöntemin ekstra-artiküler deformitelerin de analizi ve düzeltilmesinde etkin şekilde kullanılmasına işaret edebilir.

DEFORMİTE TEDAVİSİNİN PLANLAMASI VE KULLANIM ALANLARI

Temel olarak deformite analizi ve planlaması manuel şekilde direkt grafi ile yapılan ölçüm ve planlamalardan farklı değildir. Bu yöntemdeki püf nokta, manuel şekilde yapılan ölçümlerin ve hesaplamaların minimal kaynaklı hatalarını, göz ardı edilen rotasyonel deformitelerin atlanmasını ortadan kaldırabilir. Dolayısıyla deformite cerrahisinde bilgisayarın kullanımı, tedavinin farklı aşamalarında kendine yer bulabilir. Nitekim öncelikle edinilen görüntülerdeki sapmaların en aza indirilmesi aşamasında kullanılabilir.^[15] Genel olarak deformite tedavisinin planlamasında en sık olarak kullanılan yöntem iki planlı direkt radyogramla deformitenin analizidir. Bunun için net şekilde tarif edilmiş anatomik işaret noktaları (*landmarklar*) ve bunlar aracılığıyla çizilen çizgilerle deformite ve derecesi tayin edilir.^[16] Bunu direkt radyografilerle uygulamak basit ve pratik gibi görünse de görüntülemeye bağlı sapmalar deformitenin yanlış belirlenmesine ve ölçülmesine neden olabilir. Bu noktada üç boyutlu BT görüntülemeleriyle bu durum bertaraf edilebildiği gibi, farklı planlarda edinilen direkt röntgenlerin bilgisayar yardımcı üç boyutlu şekle getirilmesi de söz konusudur.^[17,18] Böylece genellikle atlanma ihtimali yüksek olan minimal rotasyon deformiteleri için dahi eksiksiz ve tam bir düzeltme planlaması yapılabilmektedir.

PLANLAMA

Bir deformitenin planlamasında öncelikli olarak deformitenin üç plandaki niteliğinin belirlenmesi göz önünde

bulundurulur. Bu planlar anteroposterior, lateral plandaki ve aksiyel plandaki deformitelerdir. Her bir plandaki açılanmanın izdüşümü belirlenerek bu üç plandaki deformite derecesi toplanıp deformite tek plan haline getirilir. Buna 'Charles aksi' denir ki, bu tek planla deformite düzeltilebilir veya oluşturulabilir.^[19] Teoride bu planlanmanın uygulanması ve yapılması meşakkatlidir ve *Taylor Spatial Frame* (TSF) tam da bu noktada devreye girmiştir. TSF kendiliğinden bu hesaplamalara gerek kalmaksızın bilgisayar programı desteğiyle bu uygulamayı yerine getirebilmektedir. Ancak gene de uzaysal fiksator uygulamasının yapılabilmesi için görüntüleme yöntemlerinin de pratik olması gereklidir. Bu anlamda günümüz teknolojisinin sunduğu diğer bir ürün *Picture Archiving and Communication System* (PACS) bilgisayar yardımlı bir program cerrahi planlama aracı olmuştur. Şu anda altın standart ürün olarak kullanılan bu programın en temel özelliği, deformite planlamasında önemli handikaplardan biri olan standardizasyon yeteneğidir. Çünkü PACS sistemiyle ilgili yapılan çalışmalar gözlemciler arası ve gözlemci içi güvenilirliğinin fazla olduğunu göstermiştir.^[20] Diğer yandan çizim ve ölçümlerin, çıktı görüntülerle elde edilen çizim ve ölçümlerle benzer olduğunu göstermiştir. PACS sadece görüntü analizi ve deformitenin ölçülmesine katkıda bulunmamakta; travmada bilgisayar yardımlı cerrahi ve bugünlerde deformite tedavisinde telefon uygulamaları olan *Bone Ninja* gibi uygulamaların da temelini oluşturmaktadır.^[21] Travmada, bilgisayar yardımlı cerrahide ilgili kemiklerin anatomik köşe taşlarının daha net belirlenmesi; *Bone Ninja* uygulamasında ise osteotominin sanal olarak uygulanması mümkündür. Ancak her iki uygulamanın klinik uygulamada etkinlik konusunda PACS'tan anlamlı bir farkı olmadığını göstermiştir.^[22] Dolayısıyla imkân olduğunda *Bone Ninja* uygulaması uygun ve deformite düzeltilmesine yönelik kolay ve pratik bir yöntemdir.

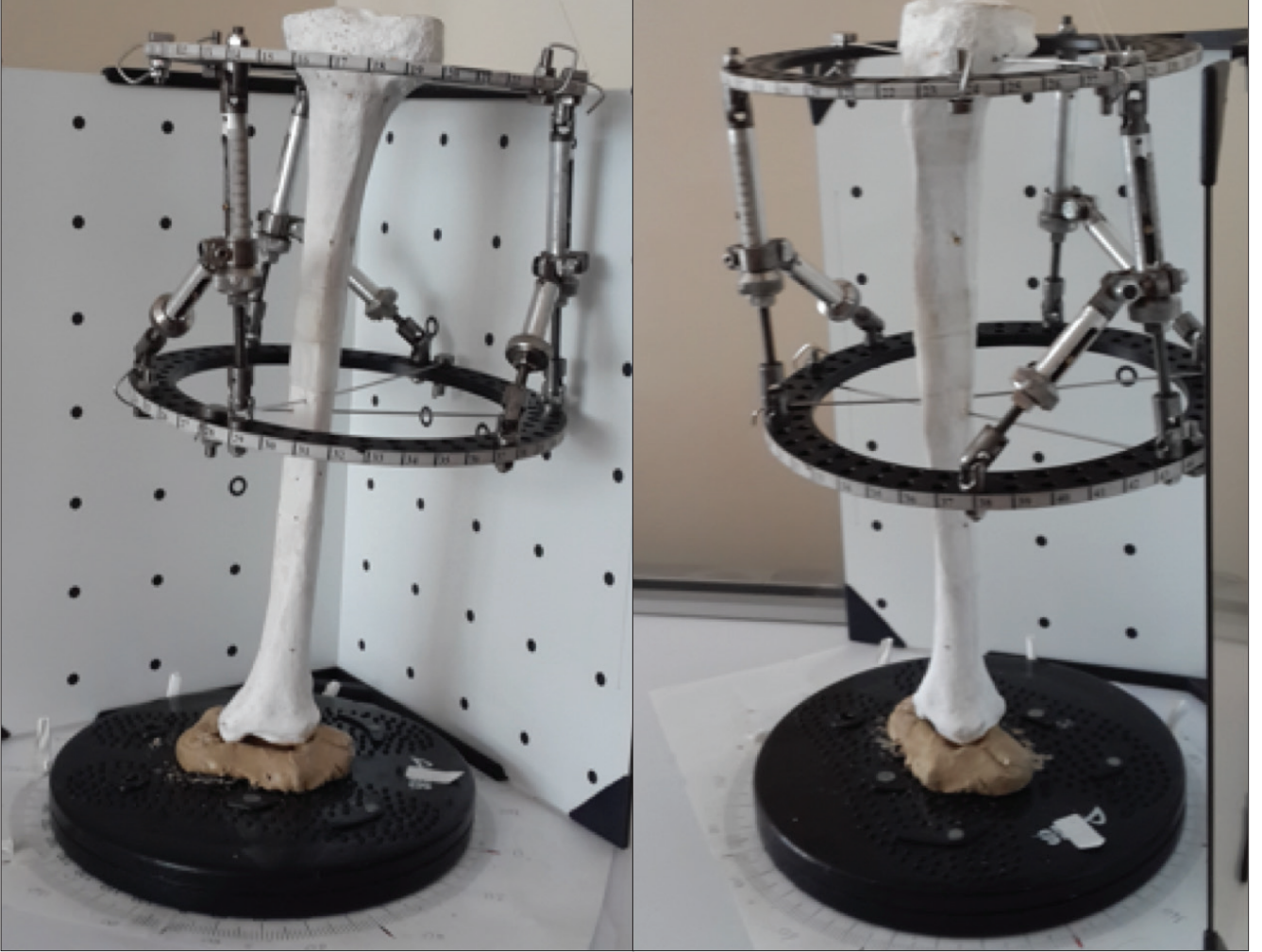
Ekstremitte eşitsizlikleri özellikle epifizlerin açık olduğu adolesan çağda sık görülen deformitelerden biridir. Bu hastalarda ekstremitte eşitsizliklerinin tedavisinde kullanılan hemiepifizyodez, pratik ve daha az invaziv bir girişimdir. Tedaviye karar verilen yaş, tedavi için ne kadar süre ile hastada bırakılacağı ise hastaya göre değişkenlik gösteren bir durumdur. Değişkenlerin ortadan kaldırılması için birtakım algoritmalar ortaya konulmuştur. Bilgisayar destekli planlama sınıfında yer alan bu algoritmalara hasta ile ilgili demografik verilerin ve uygun görüntülerle elde edilen deformite analizi sonrasında elde edilen ekstremitte eşitsizliğinin veya deformite açılarının bu programlara girilmesiyle tedavi planı otomatik olarak çıkarılır. Böylece hemiepifizyodezin ne zaman uygulanacağı, epifizyodez plaklarının ne kadar süreyle hastada kalacağı bilgisi edinilerek tedavi planlanır. Bu amaçla en sık kullanılan algoritma Paley'nin Çarpanlar

Metodu'dur.^[23] Bugün hâlâ akıllı telefonların hayatımızda çok yer aldığı bir ortamda, bu metodun uygulamasının telefonda kolaylıkla ulaşılabilir olması, cerraha klinik pratikte büyük kolaylık sağlamaktadır. Çarpanlar Metodu haricinde Green-Anderson'un Kalan Büyüme Metodu, Mosley'in Düz Çizgi Metodu da bilinmektedir. Bu metodların tedavi planlamasında kullanılması daha önceden farklı çalışmalarda ele alınarak, anlamlı bir fark olmadığı çıkarımı yapılmıştır. Ancak 2013 yılında yayınlanan bir çalışmada eşitsizlik etiyojileri de göz önünde bulundurulduğunda en güvenilir yöntemin Green-Anderson'un Kalan Büyüme Metodu ile elde edildiği gösterilmiştir.^[24] Gelişen teknolojiyle bu algoritmaların da uygulamalarının ortaya çıkması muhtemelen tedavi planlamasında cerrahın tedavi planı perspektifini geliştirebilir.

TEDRİCİ VE AKUT DÜZELTME YÖNTEMLERİ

Bilindiği üzere deformite, akut düzeltilebildiği gibi tedrici olarak da düzeltilebilmektedir. Bilgisayar destekli deformite cerrahisi bu iki yöntemin her ikisinde de kendine yer bulmuştur. Temelde manuel düzeltme adımlarını ihtiva eder. Manuel yöntemden farklı olarak düzeltme aşamasında ise kişiye bağlı değişkenlerin minimize edildiği bilgisayar programları kullanılarak uygun düzeltme yapılır. Akut düzeltme genellikle hafif ve basit eğrilikler için kullanılmaktadır. Klasik olarak *Centre of Rotation of Angulation* (CORA) belirlenir ve osteotomi planlanır. Akut düzeltme, direkt olarak osteotomi hattının açılımı, düzeltmenin sağlanması ve uygun implant tespiti şeklinde yapılabilir. Bu noktada bilgisayar; kemiğin üç boyutlu anatomisinin çıkarılarak ameliyat öncesinde osteotomi hattının belirlenmesi, deformiteye uygun şekilde kesinin yapılması ve hatta atlanması muhtemel olan minimal rotasyonların fark edilmesi konusunda fayda sağlayabilir. Yazarlar, bu yöntemin farklı şekillerde akut düzeltme için kullanıldığını göstermişlerdir. Bir çalışmada, radiusu ilgilendiren deformite için, deformitenin topografisini üç boyutlu olarak çıkarıp vida yerleşimini de simülasyonda belirlemişlerdir.^[25] Bunun sonucunda ameliyat süresinin kısaldığını ve daha anatomik bir düzeltme elde ettiklerini bildirmişlerdir. Başka bir çalışma olan distal humerustaki kubitus varus deformitelerinin düzeltilmesinde, düzeltilmeye yardımcı olacak bir taslak aparat hazırlayıp, aparatın osteotomi hattına yerleştirilmesiyle sagittal, koronal ve aksiyel planda düzeltilmenin daha etkin şekilde sağlandığını göstermişlerdir.^[26] Alt ekstremitte için en sık karşılaşılan aks deformitesi olan genu varumda, bilgisayar destekli yüksek tibial osteotomi (YTO) ile hastalarda daha etkin düzeltme sağlandığı da gösterilmiştir.^[27]

Tedrici düzeltme yöntemleri için en sık kullanılan yöntem eksternal fiksator ile düzeltilmedir.^[28] Bu, manuel olarak açılabilir deformite için kullanılabilen sirküler ekster-



Şekil 1. Çukurova Üniversitesi Makine Alet ve Cihaz Tasarım İmalat Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (MACTİMARUM) yazılım ve tasarımı yapılan bilgisayar destekli eksternal fiksator sistemi prototipinin uygulama görselleri.

nal fiksatorler veya uzaysal fiksatorler ile yapılabilmektedir. Hasta uyumunun önemli olduğu her iki yöntemde de, özellikle manuel düzeltme yöntemlerinde hastaya bağlı faktörlerden (düzeltmeye uyumsuzluk, hastanın düzeltme için yapması gerekenleri anlayamaması) dolayı sorunlar yaşanabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için bilgisayar destekli uzaysal fiksatorler tasarlanmıştır. Deforme kemiğin direkt grafilerle veya üç boyutlu BT ile elde edildiği görüntülerinin bilgisayar programına yüklenmesi ve analizinin yapılması ile bir düzeltme planının çıkarılması sağlanır. Böylece hastaya bağlı problemler veya uyumsuzluk minimize edilir. Yapılan çalışmalarda, özellikle kompleks ve birden fazla CORA içeren deformitelerde, uzaysal fiksatorlerle yapılan düzeltmelerin, klasik manuel yöntemlerden daha etkin düzeltme sağladığını gösteren yayınlar mevcuttur. Ayrıca hastaların klinik takiplerinin daha seyrek yapılmasına

izin vermektedir. Aslında sirküler eksternal fiksatorlerle uzaysal fiksatorlerin başarı oranları birbirine benzerdir. Ancak Taylor; uzaysal fiksator yapısı itibarıyla birden fazla deformitenin eş zamanlı düzeltilmesine ve varsa rezidüel deformitelerin düzeltilmesine izin vermekte, böylece nihai dizilimin sağlandığı zamana daha erken ulaşılmasını sağlamaktadır. Bunun dışında basit ve açısız olarak daha hafif deformitelerde, uzaysal fiksatorün düzeltme algoritmasının akut olarak uygulanması sonrası internal tespit yöntemlerinden birinin kullanılması ile fiksatorle bağlı komplikasyonlar ortadan kaldırılabilir ve hasta için daha konforlu bir tedavi yöntemi uygulanabilmektedir (Şekil 1).

DEZAVANTAJLAR

Bilgisayar yardımcı cerrahi ve tedavi seçenekleri sadece ortopedik cerrahide değil, kranial deformitelerde,

omurga cerrahisinde ve yüzdeki rekonstrüktif işlemlerde de kullanılabilir. Ancak bu yöntemin de kendine özgü birtakım handikapları bulunmaktadır. Bu handikapların başında maliyetle ilgili problemler yer almaktadır. Bu yöntemler gerek planlamada gerekse cerrahi uygulamalarda her ne kadar cerraha konfor ve kolaylık sağlasa da, ilgili bilgisayar sistemleri ve implantlar manuel yöntemlerde kullanılan implantlardan çok daha pahalıdır. Bu nedenle pek çok ülkenin sağlık sisteminde ayrıcalıklı vakalar için sağlık sigorta kapsamına dahil edilmiştir. Ayrıca bilgisayar destekli cerrahilerin tedavide avantajlı olup olmadığı konusu da tartışmalıdır. Bazı yayınlar bu yöntemin kullanılmasının klasik yöntemlerden daha etkin olduğunu iddia etse de bunun tersi de söz konusudur. Örneğin; klasik yöntemlerle uygulanan düzeltme cerrahilerinden de uzun dönemde bilgisayar destekli düzeltme yöntemlerine yakın sonuçlar elde edilmesi, bu yöntemlerin ek maliyet külfeti yaratmasından daha fazla olmadığını düşündürmüştür.

Ameliyathane şartları, cerrahide ikincil enfeksiyonlarla yakından ilişkilidir. Bilgisayar destekli cerrahilerde, perioperatif kullanıldığı yöntemlerde, yardımcı aletlerin ameliyathanede kapladığı yer fazla olabilmektedir. Hatta bazı ameliyathanelerin fiziksel koşulları yardımcı aletlerin yerleştirilebileceği yeterli alanı sağlayamamaktadır. Bu nedenle hasta ve cerrahın pratik yatkınlığına ek olarak, uygun ameliyathane fiziki koşullarının sağlanamaması, bu yöntemlerin kullanılmasında sıkıntılara neden olabilmektedir. Mevcut yazılım programlarıyla yönlendirilen tedaviler esnasında sistemin stabilitesinin zamanla azalarak boşluğa düşmesi, tekil riski, dinamizasyona izin vermemesi ve bunun kallus oluşumu üzerindeki olası etkileri de hâlâ tam olarak çözülememiş problemler arasında sayılabilir.^[29]

GELECEK

Bilgisayar destekli cerrahi yöntemlerin yaygınlaşması ve gelişmesi ile ilerleyen zamanda daha da fazla kullanılacağı öngörülmektedir. Teknolojik yeniliklerle birlikte bu alanda kullanılan yardımcı aletlerin kullanılabilirliğinin artırılması, yazılımların geliştirilerek planlama ve uygulama aşamasında insan faktöründen kaynaklı hataların ve maliyetin asgari seviyeye indirilebilmesi, aletlerden daha fazla yararlanılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Wei M, Chen J, Guo Y, Sun H. The computer-aided parallel external fixator for complex lower limb deformity correction. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2017;12(12):2107-17. [Crossref](#)
- McKellop HA, Llinás A, Sarmiento A. Effects of tibial malalignment on the knee and ankle. *Orthop Clin North Am* 1994;25(3):415-23. [Crossref](#)
- Noonan KJ, Price CT, Sproul JT, Bright RW. Acute correction and distraction osteogenesis for the malaligned and shortened lower extremity. *J Pediatr Orthop* 1998;18(2):178-86. [Crossref](#)
- Probe RA. Lower extremity angular malunion: evaluation and surgical correction. *J Am Acad Orthop Surg* 2003;11(5):302-11. [Crossref](#)
- Weinberg DS, Park PJ, Liu RW. Association Between tibial malunion deformity parameters and degenerative hip and knee disease. *J Orthop Trauma* 2016;30(9):510-5. [Crossref](#)
- Belei P, Schkommodau E, Frenkel A, Mumme T, Radermacher K. Computer-assisted single- or double-cut oblique osteotomies for the correction of lower limb deformities. *Proc Inst Mech Eng H* 2007;221(7):787-800. [Crossref](#)
- Moon YW, Ha CW, Do KH, Kim CY, Han JH, Na SE, et al. Comparison of robot-assisted and conventional total knee arthroplasty: a controlled cadaver study using multiparameter quantitative three-dimensional CT assessment of alignment. *Comput Aided Surg* 2012;17(2):86-95. [Crossref](#)
- Matziolis G, Krockner D, Weiss U, Tohtz S, Perka C. A prospective, randomized study of computer-assisted and conventional total knee arthroplasty. Three-dimensional evaluation of implant alignment and rotation. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89(2):236-43. [Crossref](#)
- Udupa JK, Herman GT (eds). *3D Imaging in Medicine*. 2nd ed. CRC Press; 2000.
- Siston RA, Giori NJ, Goodman SB, Delp SL. Surgical navigation for total knee arthroplasty: a perspective. *J Biomech* 2007;40(4):728-35. [Crossref](#)
- Attias N, Lindsey RW, Starr AJ, Borer D, Bridges K, Hipp JA. The use of a virtual three-dimensional model to evaluate the intraosseous space available for percutaneous screw fixation of acetabular fractures. *J Bone Joint Surg Br* 2005;87(11):1520-3. [Crossref](#)
- Atesok K, Schemitsch EH. Computer-assisted trauma surgery. *J Am Acad Orthop Surg* 2010;18(5):247-58. [Crossref](#)
- Cimerman M, Kristan A. Preoperative planning in pelvic and acetabular surgery: the value of advanced computerised planning modules. *Injury* 2007;38(4):442-9. [Crossref](#)
- Fadero PE, Shah M. Three dimensional (3D) modelling and surgical planning in trauma and orthopaedics. *Surgeon* 2014;12(6):328-33. [Crossref](#)
- Schkommodau E, Frenkel A, Belei P, Recknagel B, Wirtz DC, Radermacher K. Computer-assisted optimization of correction osteotomies on lower extremities. *Comput Aided Surg* 2005;10(5-6):345-50. [Crossref](#)
- Nelitz M, Guenther K, Gunkel S, Puhl W. Reliability of radiological measurements in the assessment of hip dysplasia in adults. *Br J Radiol* 1999;72(856): 331-4. [Crossref](#)
- Viceconti M, Lattanzi R, Antonietti B, Paderni S, Olmi R, Sudanese A, et al. CT-based surgical planning software improves the accuracy of total hip replacement preoperative planning. *Med Eng Phys* 2003;25(5):371-7. [Crossref](#)
- Illés T, Somoskeöy S. The EOS™ imaging system and its uses in daily orthopaedic practice. *Int Orthop* 2012;36(7):1325-31. [Crossref](#)

19. Chasles M. Note sur les proprietes generals du systeme de deux corps semblables entr'eux. Bulletin des Sciences Mathematiques, Astronomiques, Physiques et Chimiques 1830;14:321-6.
20. Marx RG, Grimm P, Lillemoe KA, Robertson CM, Ayeni OR, Lyman S, et al. Reliability of lower extremity alignment measurement using radiographs and PACS. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2011;19(10):1693-8. [Crossref](#)
21. Mosa AS, Yoo I, Sheets L. A systematic review of healthcare applications for smartphones. BMC Med Inform Decis Mak 2012;10(12):67. [Crossref](#)
22. Whitaker AT, Gesheff MG, Jauregui JJ, Herzenberg JE. Comparison of PACS and Bone Ninja mobile application for assessment of lower extremity limb length discrepancy and alignment. J Child Orthop 2016;10(5):439-43. [Crossref](#)
23. Paley D, Bhav A, Herzenberg JE, Bowen JR. Multiplier method for predicting limb-length discrepancy. J Bone Joint Surg Am 2000;82(10):1432-46. [Crossref](#)
24. Lee SC, Shim JS, Seo SW, Lim KS, Ko KR. The accuracy of current methods in determining the timing of epiphysiodesis. Bone Joint J 2013;95-B(7):993-1000. [Crossref](#)
25. Walenkamp MM, de Muinck Keizer RJ, Dobbe JG, Streekstra GJ, Goslings JC, Kloen P, et al. Computer-assisted 3D planned corrective osteotomies in eight malunited radius fractures. Strategies Trauma Limb Reconstr 2015;10(2):109-16. [Crossref](#)
26. 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](#)
27. Iorio R, Pagnottelli M, Vadalà A, Giannetti S, Di Sette P, Papandrea P, et al. Open-wedge high tibial osteotomy: comparison between manual and computer-assisted techniques. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013;21(1):113-9. [Crossref](#)
28. Feldman DS, Madan SS, Koval KJ, van Bosse HJ, Bazzi J, Lehman WB. Correction of tibia vara with six-axis deformity analysis and the Taylor Spatial Frame. J Pediatr Orthop 2003;23(3):387-91. [Crossref](#)
29. Avsar E, Akcalı İD, Aydın A, Un MK, Mutlu H, İbrıkcı T, et al. Ortopedik uygulamalarda bilgisayarlı denetim sistemi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2015;30(2):93-101. [Crossref](#)