

YAPAY ZEKANIN CERRAHİ UYGULAMALARA ENTEGRASYONU

İlayda ÖLÇER*, Atınç YILMAZ**

ÖZET

Yapay zeka teknolojisinin, robotların icadıyla ortaya çıktığı bilirse de yapay zekadaki hızlı gelişmeler bu zaman açığını kapatmıştır. Geleceğimizi şekillendirecek teknolojiler arasında sayılan yapay zeka teknolojisi hayatın her alanına olduğu gibi sağlık alanına da her geçen gün daha çok etki etmektedir. Bu etkilerin en büyük getirilerinden biri yapay zekanın robotiğe entegre olmasının cerrahi uygulamalarda çığır açan gelişmeleri beraberinde getirmesi olmuştur. Yapay zeka teknolojisinin robotikte yer alması ile birlikte problemleri analiz ederek bu problemleri çözümlenmeye dair gerekli olan eylem planlarını yerine getirebilen ve karşılaşılan yeni problemler için çözüm üretebilen üst düzeyde teknik özelliklere sahip robotların geliştirilmesi beklenmektedir. Yapay zekanın robotikle entegrasyonunda geline son noktada ise sadece basit bir akıl yürütmeden ziyade insan benzeri kognitif yeteneklerin robotlara kazandırılması söz konusudur. Yapay zekanın robotikte meydana getirdiği bu ilerlemelerle beraber yapay zeka teknolojisinin cerrahi uygulamalarda yer bulması zamandan tasarruf sağlamanın yanında meydana gelebilecek tıbbi hataların en aza indirilerek daha başarılı bir cerrahi süreç meydana gelmesine ve ameliyat sonrası sürecin de en az hasarla atlatılmasına olanak sağladığı için yapay zekanın cerrahide kullanılması önem arz etmektedir. Bu makalede yapay zekanın cerrahi uygulamalara dahil olması sonucu geliştirilen bir takım cerrahi teknolojilerden bahsedilmiştir. Yapay zeka teknolojisinin robotiğe sağladığı avantajlar değerlendirilerek gelecekte daha kapsamlı gelişmelere katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka,robotik,iKnife, doku, sanalbıçak

*Makalenin Gönderim Tarihi: 03/02/2021 Makalenin Kabul Tarihi: 23/02/2021, Makale Türü: Araştırma

DOI: 10.20854/bujse.873770

**Sorumlu yazar: Beykent Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,İstanbul. atincyilmaz@beykent.edu.tr (ORCID ID: 0000-0003-0038-7519)

*Beykent Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul. ilaydaolcer98@gmail.com

GİRİŞ

Yapay zeka; makinelere akıl yürütme yeteneği kazandıran ve bunun yanı sıra makinelerin problem çözüme, kelime ve nesnelere ayırt edebilme ve kendi kendine karar üretebilme gibi kognitif fonksiyonları yani kavramaya ilişkin bilişsel fonksiyonları yerine getirmek adına programlanmış makinelerde insan zekasının bir simülasyonu olarak ifade edilebilir. Makinenin öğrenmesi, doğal dil işleme, yapay sinir ağları, bilgisayarla görüntü yapay zekanın odaklandığı disiplinler arasındadır. Yapay zekanın, sağlık hizmetlerini nasıl etkileyebileceğini kavramak ve yapay zeka teknolojisiyle doğru bir etkileşim içinde olabilmek adına cerrahların yapay zeka konusunda belli bir altyapıya sahip olması önem arz etmektedir [1].

Günümüzde sağlık hizmetleri ve bünyesinde bulunan diğer alanlarda yapay zeka potansiyeline dair gün ışığına çıkarılmak istenen konular mevcuttur. Bunlar bilhassa de örtüntü ve şekil tanıma, tıbbi görüntüleme ve histopatoloji adını verdiğimiz doku hastalıklarını tanıma bilimi başta olmak üzere yapay zeka tabanlı platformların canlılarla eşdeğerlendirilebildiği ve kimi zaman da bu canlı emsallerden üstün çıkabilme potansiyeline sahip olan disiplinlerle alakalıdır. Yapay zeka teknolojisindeki gelişmelere örnek olarak Cornell Üniversitesi'ndeki bilgisayar uzmanlarının; meme kanserinde lenf düğümü metastazlarının belirlenmesinde, derin öğrenme algoritmaları yardımıyla yaygın olarak kullanılan patolojiye göre ortalamamın üstünde sınıflandırma doğruluğunun ortaya konulması verilebilir[2].

Görüntüleme ve tanı teknolojilerinde, cerrahi enstrümantasyon, cerrahi navigasyon ve robotik müdahale uygulamaları gibi alanlarda ileri düzeyde teknolojik gelişmelerin meydana gelmesi yapay zekanın da cerrahi uygulamalar üzerinde kademeli olarak gelişimine sebep olmaktadır. Cerrahideki bu gelişmelere paralel olarak, akut ve kronik hastalıklarda yaşam süresinin ve hayatta kalma limitinin devamlı olarak uzaması gibi dikkate değer etkiler gözlenmiştir. Cerrahi gelişmelerin devamında ameliyat öncesinde ve ameliyat sırasında kullanılabilen, manyetik rezonans görüntüleme (MRI), bilgisayarlı tomografi (CT) ve ultrason gibi görüntüleme tekniklerinin kullanımı ile cerrahi navigasyon ve planlama olası hale getirilmiştir[3]. Robot Destekli Minimal İnvaziv Cerrahi (MIS) ile daha hızlı hasta iyileşmesi ve buna bağlı hastane maliyetlerinin azalması ve cerrahi travmanın az olması gibi geleneksel cerrahi ile kıyaslama yapıldığında birçok avantaja sahip olduğu gözlemlenmektedir[4]. Yapay zekanın ortognatik tedavilere entegre edilmesi ile birlikte yüz çekiciliği ve yaş görüntümü üzerindeki

etkileri de araştırılan çalışma konularından biridir[5]. Evrişimsel sinir ağına dayalı bilgisayarlı bir algoritma uygulaması ile birçok hastanın görüntümünün ve çekiciliğinin ortognatik tedavi ile yenilenmiş olduğu sonucuna ulaşılmıştır[6].

Yapay zeka uygulamasının tıp dünyasına dahil olması sanal ve fiziksel komponentler ile mümkündür. Sanal komponent, deneyim yoluyla öğrenmeyi geliştiren matematiksel algoritmalarla temsil edilen 'Makine Öğrenimi' ile temsil edilir[7]. Yapay zekanın fiziksel komponentler ile tıp dünyasına entegrasi ise minimal invaziv cerrahi için hem cerrahlara hem de hastalara kolaylık sağlayan bir teknoloji olan cerrahi robotikler ile temsil edilmektedir[8]. Yapay zekanın disiplinlerinden biri olan makine öğrenmesinde bilgisayarlara bir veri girişi olduğu takdirde; bu veri örneklerinden belli modelleri, kalıpları, şekil düzenlerini tanıyıp öğrenme sağlamak için öğrenme komutu veren algoritmaların yararlanılır. Makinenin öğrenme metodlarından biri olan derin öğrenmede, veri hakkında daha az varsayımı olan modeller baz alınır. Buna bağlı olarak daha karmaşık veriler işlenebilir. Denetimli ve denetimsiz olabilen derin öğrenme metodları, girişin ayrımsama gücü için önem taşıyan özellikleri kuvvetlendirirken konu ile bağıntısız varyasyonları ortadan kaldıran verilerin çeşitli temsil katmanlarına dayanmaktadır. Denetimli öğrenme makine öğrenme algoritmasını eğitmek için bilinen bir sonucu tahmin etmeye dayanır. Denetimsiz öğrenme de ise makine öğrenimi algoritması eğitilmeden büyük veri gruplarının içindeki modeller, kalıplar, örtüntüler tespit edilerek veriler birçok kategoride tasnif edilir. Denetimli öğrenmede amaç, bilgisayara tanıtılan insana ilişkin etiketli veriler sayesinde, bilgisayar tarafından herhangi bir görüntüyü tanıma veya veritabanındaki bir komplikasyonu saptama gibi fonksiyonları bilgisayara öğretmektir. Denetimsiz öğrenmede ise herhangi bir şekilde etiketleme olmadan bulunan veriler makine öğrenme algoritmasına tanıtılır. Daha sonra bilgisayar tarafından verilere ait, cerrahi açıdan dikkate değer bir gizli katman bulunmaya çalışılır. Bu bilgiler ışığında makine öğrenmesinde yer alan denetimli ve denetimsiz öğrenme metodları yapay zeka cerrahisine ışık tutan uygulamalardandır [9-11]. Bu disiplinin yapay zeka cerrahisine dair ışık tutan uygulamalarına benzer şekilde makinelerin görüntüleri ve videoları kavrama gücünü ifade eden farklı bir disiplini ifade eden bilgisayarla görüntü alanında da gerçekleşen kayda değer gelişmeler nesne ve görüntü tanıma sağlayan bilgisayarların insan kapasitesindeki yeteneklere ulaşmasını beraberinde getirmiştir. Bilgisayarla görüntü sağlığına entegre edilmesiyle, sanal kolonoskopi, görüntüleme rehberliğindeki cerrahi ve bilgisayar destekli tanı uygulamalarıyla birlikte eksen boyunca gerçekleşen

görsüntülerden görüntü eldesi ve elde edilen bu görüntülerin yorumlanması gibi yapay zeka cerrahisine ışık tutabilecek kayda değer sonuçlar gözlenmektedir[9]. Makine öğrenimi, bilgisayarla görsel görüntü gibi yapay zeka disiplinlerinin cerrahi uygulamalara entegre edilmesi sağlık hizmetlerini daha etkin kullanabilmek açısından önem arz etmektedir. Gelişmekte olan teknoloji sayesinde cerrahi uygulamalara ilişkin tanı ve teşhislerde yüksek oranda kesinlik sağlanması, tedavi kolaylığının yanında kısa sürede kapsamlı sonuçlar elde edilebilmesi sağlık hizmetlerinde yapay zekanın kullanılmasını destekleyici etmenlerdendir. Yapay zekanın robotik ile beraber cerrahi uygulamalarda yer edinmesi ile ortaya çıkan çeşitli cihazlar, bu cihazların kullanım alanları ve çalışma prensiplerinden bahsedilen bu çalışmanın dikkate alınmasıyla bu cihazların avantaj ve dezavantaj sağladığı konular belirlenerek bu birikimler farklı çalışmalara aktarılabilir. Bunun yanında bu çalışmada söz edilen cihazların farklı alanlarda sağladıkları etkiler araştırılarak cihazların kapsam alanı genişletilebilir. Bu çalışmanın gelecekteki yapay zeka ve robotik tabanlı çeşitli çalışmalar için bir rehber niteliğinde olması hedeflenmektedir.

YAPAY ZEKA VE ROBOTİK

Robotik, cerrahlar ve benzer şekilde hastalar tarafından öncelik tanınan iyi yapılandırılmış bir yöntem olarak cerrahide yerini almıştır. Stereotaktik radyoterapi uygulamaları için geliştirilmiş, robotik bir kol üzerine monte edilen, iyonlaştırıcı radyasyon kaynağı olarak doğrusal hızlandırıcı içeren, hedef bölgeyi konumlandıran bir çerçeveye sahip olmaksızın tedavi hedefiyle bağlantılı anatomik noktaları bulmak için tedavi ışığını hedef bölgeye hizalayan görüntü kılavuzluğunda bir radyocerrahi sistemi olan Cyberknife sayesinde radyasyon demetleri odaksal olarak kullanılarak beyindeki kanserli dokuların veya belirli bir lokasyondaki tümörlerin imha edilebilmesi için önceden tanımlanan tedavi planları gerçekleştirilebilir[12-15] Günümüzde CyberKnife ile beyin metastazlarının tedavisine ilişkin yayınlanmış bazı araştırma çalışmaları bulunmaktadır (Tablo.1) [16]. Araştırma çalışmaları sonucu ortaya çıkan bilgilere göre CyberKnife sisteminin ve stereotaktik radyocerrahinin beyin metastazları tümörleri için efektif ve tehlikesiz bir tedavi yöntemi olarak incelenmesi bu yöntemin uygulanabilirliğinin kapsam alanını genişletmektedir[17]. Bu bağlamda çoklu ve büyük büyük boyutlu tümörlerin beyin metastazları CyberKnife sistemi ile tedavi edildiğinde tümörün ilerlemesinin durdurulmasına yönelik elde edilen sonuçlar farklı çalışmalarla kıyaslanabilecek dikkate değer sonuçlar olmuştur [16, 18]. Tüm bunlara ek olarak

melanom veya renal hücre beyin metastazına sahip hastalarda CyberKnife radyocerrahisi ile sürdürülen tedavilere bağlı olarak sonuçlar, tümörlerin kabul edilebilir toksisite değerlerine ulaşması sonucu lokal olarak tümör kontrolünün sağlandığına ilişkin [16] [19]. Bu çalışmalar sonucu metastatik beyin tümörleri için CyberKnife ile radyasyon ışınlarını kafatası içindeki küçük hedeflere tam olarak odaklamak için tercih edilen bir yöntem olan stereotaktik ışınlanmanın etkili ve güvenli bir yöntem olduğuna işaret etmektedir. [16, 20]. Buna ek olarak CyberKnife sisteminin çok katlı veya büyük boyutlu tümörler için bir radyasyon dozunun birden fazla parçaya bölünme sürecini kapsayan fraksiyone tedaviye olanak sağladığını gözlemlenmiştir[16]. Bu tedavi yöntemi, sağlıklı dokulara verilen hasarı en aza indirirken kötü huylu hücrelerin ortadan kaldırılmasının en üst seviyeye çıkmasını amaçlamaktadır[21].

Bunların yanında eklem kapstülünün iltihaplanması veya gerilmesi ile ortaya çıkabilen facetojenik sırt ağrısı, obsesif kompulsif bozukluk ve kalpteki anormal kalp ritmine neden olan dokuları ortadan kaldırmak veya yok etmek için yararlanılan kardiyak ablasyon gibi alanlar için CyberKnife radyocerrahi araştırmaları halen sürdürülmektedir[22]. MAKO total diz robotik-kol destekli cerrahi ise, kemik rezeksiyonundan önce implantları boyutlandırılmak ve yöneltmek için ameliyat öncesinde hastanın dizine ait bilgisayarlı tomografi taraması ve üç boyutlu planlama kullanılarak hasarlı eklem bir kısmının veya tamamının çıkarılıp yapay implantlarla değiştirilmesini kapsayan eklem replasmanında kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Ek olarak dental implant süreçlerinde klinik uzmanlığı arttırmak ve cerrahlara rehberlik etme amacıyla kullanılan Yomi robotik cerrahi cihazı, implant cerrahisi esnasında enstrümantasyona yönelik planlama ve yönlendirme rehberlik sistemi için yazılım sağlar[23, 24]. Robotik cerrahi cihazına gelen bilgisayarlı tomografi taramalarından elde edilen bilgiler; sinirler, sinüs, komşu dişler gibi temel anatomik özellikler dikkate alınarak ameliyatı planlamaya olanak tanıyan yazılıma beslenir [25]. Bilgisayarlı tomografi görüntülerindeki eksiklikleri yok etmek ve mevcut görüntülerden yeni bilgiler elde etmek için bilgisayarlı tomografi görüntülerinin 3 boyutlu yeniden yapılandırılması ile operasyon öncesi tanımlanan planı yerine getirir [12, 26]. Robotik sistem aynı zamanda cerrahi hassasiyet sağlamak amacıyla tekrar edilebilir dokunsal robotik rehberlik sağlar ve implant uygulamalarında osteotomi için pozisyonu, derinliği ve açılacak şeklin kontrolünü yapar [23, 27].

Robotikte söz edilen bu geniş kapsamlı ilerlemelere rağmen yapay zeka teknolojisinin cerrahi uygulamalara entegre olma süreci daha uzun sürmüştür.

İnsan dokusuyla etkileşimin komplike olması ve aynı zamanda bu tür gelişmelere gereksinim duyulmaması sürecin daha yavaş ilerlemesine sebep olan etmenler arasında yer almaktadır [12].

Tablo.1: Beyin metastazları için CyberKnife radyocerrahisi üzerine yayımlanmış çalışmaların incelenmesi.

1.yazar Referans Yıl	n hasta n metastaz	Doz fraksiyonları Gy	Tümör toksisitesi kontrolü
Shimamoto[17],2002	48	9-30	yüksek > 24 Gy
	77	mevcut değil	şiddetli değil
Solty[28],2007	72	15-30	86%
	76 kavite	1-5	7 (3 nekroz)
Nishizaki[18],2006	71	7.8-30.1	83%
	148	1-3	kalcı değil
Hara[19],2009	62	14-24	87%
	145	1	6%
Muacevic[29],2009	333	17-22	95.2%
	783	1	6.3%
Wang[30],2009	40	18-36	94.1%
	68	1-5	14/40
Wowra[31],2009	63	17-22	95%
	63	1	5%

CERRAHİDE AKILLI BIÇAK/ iKnife

Bir doku profilinin kanserli olup olmadığını tespit etmek için geleneksel yöntemler dikkate alındığında patoloji laboratuvarlarında numunenin 20-30 dakika kadar sürebilen zaman alıcı bir dizi işlemden geçmesi sonucu doku profile hakkında kesin olmayan sonuçlara ulaşmak söz konusu olabilir.

Kanserli dokuları tespit etmek adına vakit alan bu süreçte kıyasla iKnife tarafından ilgili örnekler saniyeler içinde değerlendirilebilir. iKnife, dokuyu elektrik kullanarak kesmek veya buharlaştırmak için kullanılan elektrocerrahi sistemi ile birlikte eksizye edilen buharlaşmış dokuya ilişkin gerekli bilgileri depolar ve analiz eder [32, 33].

Akıllı bıçak (iKnife) olarak da bilinen hızlı buharlaşmalı iyonizasyon kütle spektrometrisi (REIMS) aerosollerin kimyasal analizi için biyolojik doku analizine yardımcı olmak adına geliştirilmiş teknolojilerdendir[34]. Aerosollerin analizi için geliştirilmiş ortam iyonizasyon kütle spektrometrisi REIMS, kompleks parçacıkları

gerçek zamanlı olarak incelemek adına hızlı yanıtlama süresi ve yüksek duyarlılık sağlamaktadır[35]. Cerrahi aerosol numune hazırlığı gerekmeden standart elektrocerrahi cihazları kullanımıyla doğrudan doku yüzeylerinden üretilir ve operasyon sırasında yapılacak teşhis için potansiyel kullanım imkanı sunar[34]. REIMS tarafından birçok kanser türü ile ilişkili olan lipid metabolizmasındaki bozukluklar çeşitli doku tiplerinde kolaylıkla tespit edilmiştir. iKnife teknolojisi sayesinde tümör barındıran beyin, meme, kolon ve yumurtalık bölgelerindeki kanserli doku normal dokudan kuvvetli bir doğruluk payı ile ayırt edilir[34].

iKnife PROSES

iKnife prosesinin sağlıklı doku durumunu, hastalık etkeninin organizmaya girerek dokulara yayılmasından önceki doku durumunu ve mikroorganizmanın konağa yerleşip tiremesi halindeki servikal doku durumu arasında ex vivo inceleme ile doğru bir şekilde ayırt ederek erken evre rahim ağzı kanserinin cerrahi tedavisinde operasyon esnası yönetimi geliştirme potansiyeline sahip olup olmadığını değerlendirildiği çalışmalar mevcuttur[34]. Bu bağlamda doku toplama işlemi ve iKnife prosesini kavramak amacıyla kolposkop adı verilen cerrahi bir aletle rahim ağzı, vajina ve vulvayı inceleme yönteminden oluşan kolposkopik değerlendirme ve numunenin çok hızlı bir şekilde -70 °C'nin altındaki sıcaklıklara indirildiği dondurma işlemi esnasında rahim ağzında bulunan anormal hücreleri ortadan kaldırmak ve hücreleri daha yakından incelemek için cisimleri tutmaya yarayan servikal punch biyopsi forsepsi kullanılarak servikal punch biyopsi gerçekleştirilir (Fig.1A) [34]. Dondurulma işleminden geçtikten sonra oda sıcaklığına çözdürülen numunenin iKnife aracılığıyla yüksek frekanslı elektromanyetik akımların kullanıldığı cerrahi diatermi uygulamasıyla diyatermize edilmesi dokuların sahip olduğu lipid profilinde iyonlaşma ve aerosol ekstraksiyonuna yol açmıştır (Fig.1B) [34]. Diyatermi ısı tedavisi sonucu ortaya çıkan aerosol bir emme pompasına takılı camdan yapılmış bir emme tüpü vasıtasıyla kütle spektrometresine iletilir (Fig.1C) [34, 36]. Kütle spektrometresine taşınan aerosol, bilimsel bulguların potansiyel hastalık tedavilerine çevrilmesine yönelik meydana gelen translaşyonel sonuçlar aracılığıyla işlemden geçirilir (Fig.1D) [34].



Şekil.1: Doku toplama işlemi ve iKnife prosesi .

SONUÇ

Yapay zeka, minimum insan aracılığıyla insana özgü bilişsel yeteneklerin simüle edilmesinin bilgisayarlar aracılığıyla gerçekleştirilmesidir. Yapay zeka, tıp biliminde; robotik, tıbbi teşhis, tıbbi istatistikler ve insan biyolojisi gibi alanlarda yer alabilir. Yapay zeka ve robotiğin cerrahi alana entegre olmasıyla belli alanlara özgü robotik sistemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında bu çalışmada söz edilen tüm vücutta kanser tedavisi için tasarlanmış olan robotik radyocerrahi sistemi Cyberknife sisteminin kullanılmasıyla beyin metastazları tümörleri için yapılan çalışmalarda tümör toksisite kontrolü sonucu ortaya çıkan sonuçlar bu sistemin etkili ve güvenli bir tedavi yöntemi olarak kabul edilmesine olanak tanımakla beraber robotik sistemlerin cerrahi uygulamalarda kullanılmasının doğurduğu olumlu etkileri gözler önüne sermektedir. Buna ek olarak bu çalışmanın hedefleri doğrultusunda CyberKnife radyocerrahinin farklı alanlarda sağlayabileceği olanakların incelenmesi ile doğabilecek olumlu sonuçlar daha geniş bir kapsamda tedavi uygulanabilirliğini sağlayabilir. CyberKnife dışında çalışma kapsamında incelenen iKnife hızlı buharlaşmalı iyonizasyon kütle spektrometresi (REIMS) yardımıyla elektrocerrahi diseksiyonu ile eksizye edilen buharlaşan dokudan toplanan bilgilerin kanserli doku tespiti için önemli sonuçlar taşıdığı ve bu sistemin çalışma mekanizması hakkında sunulan ayrıntılı içerikler bu sistemlerin işleyişini anlamak ve gelecekte bu sistemleri daha da geliştirebilmek açısından önem arz etmektedir. Yapay zekanın cerrahi uygulamalara dahil olması hastalıkların tanısında, teşhisinde ve tedavisinde insan kaynaklı hataların en aza indirilmesini sağlamanın yanı sıra tanı, teşhis ve tedavi süreçlerinde zamandan büyük ölçüde tasarruf sağlayarak cerrahi uygulamalarda insana özel sebepler sonucu karşılaşılan dezavantajları azaltmaya olanak sağlar. Yapay zeka ve robotiğin cerrahi uygulamalara entegrasyonu cerrahların bu uygulamalardaki geleneksel rollerinin değişmesine neden olmakla birlikte bu çalışmada yer edinen robotik sistemlerin cerrahi uygulamalara sağladığı faydalardan yararlanılarak ya da bu sistemlerin cerrahi uygulamalarda meydana getirdiği zorluklar göz önünde tutularak tüm bu birikimler farklı sistemlerin geliştirilmesinde rol oynayabilir. Yapay zeka teknolojisindeki ilerlemelerle beraber robotik sistemlerin de geliştirilmesiyle birlikte etkilerinin kanıtlandığı durumlar dışında farklı hastalıklar için de tanı, teşhis ve tedavi sürecinde yer alarak daha geniş bir kapsamda hizmet verebilirler. Bu çalışmadan yola çıkarak yapay zeka ve robotiğin cerrahi uygulamalarda hem hastalara hem de cerrahlara önemli ölçüde umut vaat eden çalışmalar sağladığı ve cerrahi uygulamalarda

kullanılmak üzere gelecekte gerçekleştirilecek yapay zeka ve robotik tabanlı çeşitli çalışmalar için rehber olması hedeflenmektedir. Bu çalışmaların gelişen teknolojiyle birlikte çok daha efektif bir şekilde cerrahi uygulamalara entegre olması umut edilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Hashimoto, D.A., et al., Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. *Ann Surg*, 2018. 268(1): p. 70-76.
2. Mirnezami, R. and A. Ahmed, Surgery 3.0, artificial intelligence and the next-generation surgeon. *The British journal of surgery*, 2018. 105(5): p. 463-465.
3. Zhou, X.-Y., et al., Artificial Intelligence in Surgery. *arXiv preprint arXiv:2001.00627*, 2019.
4. Troccaz, J., G. Dagnino, and G.-Z. Yang, Frontiers of medical robotics: from concept to systems to clinical translation. *Annual review of biomedical engineering*, 2019. 21: p. 193-218.
5. Patcas, R., et al., Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2019. 48(1): p. 77-83.
6. Bouletreau, P., et al., Artificial intelligence: applications in orthognathic surgery. *Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery*, 2019. 120(4): p. 347-354.
7. Hamet, P. and J. Tremblay, Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, 2017. 69: p. S36-S40.
8. Gomes, P., Surgical robotics: Reviewing the past, analysing the present, imagining the future. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2011. 27(2): p. 261-266.
9. Hashimoto, D.A., et al., Artificial intelligence in surgery: promises and perils. *Annals of surgery*, 2018. 268(1): p. 70.
10. Wang, L., Discovering phase transitions with unsupervised learning. *Physical Review B*, 2016. 94(19): p. 195105.
11. Panch, T., P. Szolovits, and R. Atun, Artificial intelligence, machine learning and health systems. *Journal of global health*, 2018. 8(2).
12. Bhandari, M., T. Zeffiro, and M. Reddiboina, Artificial intelligence and robotic surgery: current perspective and future directions. *Current opinion in urology*, 2020. 30(1): p. 48-54.
13. Murphy, M.J., et al., Patterns of patient movement during frameless image-guided radiosurgery. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 2003. 55(5): p. 1400-1408.
14. Lutz, W., K.R. Winston, and N. Maleki, A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 1988. 14(2): p. 373-381.
15. Nuyttens, J.J. and M. Van De Pol, The CyberKnife radiosurgery system for lung cancer. *Expert review of medical devices*, 2012. 9(5): p. 465-475.
16. Wowra, B., A. Muacevic, and J.-C. Tonn, CyberKnife radiosurgery for brain metastases. *Current and Future Management of Brain Metastasis*, 2012. 25: p. 201-209.
17. Shimamoto, S., et al., CyberKnife stereotactic irradiation for metastatic brain tumors. *Radiation medicine*, 2002. 20(6): p. 299-304.
18. Nishizaki, T., et al., The role of cyberknife radiosurgery/radiotherapy for brain metastases of multiple or large-size tumors. *min-Minimally Invasive Neurosurgery*, 2006. 49(04): p. 203-209.

- 19.Hara, W., et al., Cyberknife for brain metastases of malignant melanoma and renal cell carcinoma. *Neurosurgery*, 2009. 64(suppl_2): p. A26-A32.
- 20.Corn, B.W., et al., Stereotactic irradiation: potential new treatment method for brain metastases resulting from ovarian cancer. *American journal of clinical oncology*, 1999. 22(2): p. 143-146.
- 21.Chmiel, A.M.D.E. Fractionation (radiation therapy). 2020; Available from: <https://radiopaedia.org/articles/fractionation-radiation-therapy?lang=us>.
- 22.Hara, W., S.G. Soltys, and I.C. Gibbs, CyberKnife® Robotic Radiosurgery system for tumor treatment. *Expert review of anticancer therapy*, 2007. 7(11): p. 1507-1515.
- 23.Wu, Y., et al., Robotics in dental implantology. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 2019. 31(3): p. 513-518.
- 24.Spiers, H.J. and E.A. Maguire, A navigational guidance system in the human brain. *Hippocampus*, 2007. 17(8): p. 618-626.
- 25.Natarajan, M., A Review of Robotics in Dental Implantology.
- 26.Maksimovic, R., S. Stankovic, and D. Milovanovic, Computed tomography image analyzer: 3D reconstruction and segmentation applying active contour models—'snakes'. *International journal of medical informatics*, 2000. 58: p. 29-37.
- 27.Neocis. Robotic Guidance in Implant Dentistry. What is YOMI? [cited Accessed January 7, 2018; Available from: <https://www.neocis.com/meet-yomi/>.
- 28.Soltys, S.G., et al., Stereotactic radiosurgery of the postoperative resection cavity for brain metastases. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 2008. 70(1): p. 187-193.
- 29.Muacevic, A., et al., Feasibility, safety, and outcome of frameless image-guided robotic radiosurgery for brain metastases. *Journal of neuro-oncology*, 2010. 97(2): p. 267-274.
- 30.Wang, Z.-z., et al., Brain metastasis treated with Cyberknife. *Chinese medical journal*, 2009. 122(16): p. 1847-1850.
- 31.Wowra, B., A. Muacevic, and J.-C. Tonn, Quality of radiosurgery for single brain metastases with respect to treatment technology: a matched-pair analysis. *Journal of neuro-oncology*, 2009. 94(1): p. 69-77.
- 32.Granovetter, M., Intelligent knife shown to be effective in surgery. *The Lancet Oncology*, 2013. 14(10): p. e392.
- 33.Goble, C., N. Goble, and F. Amoah, Electrosurgery system. 2002, Google Patents.
- 34.Tzafetas, M., et al., The intelligent knife (iKnife) and its intraoperative diagnostic advantage for the treatment of cervical disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. 117(13): p. 7338-7346.