

DERLEME

REVIEW

Üç Boyutlu ve Baş Yukarıda (3D & Head Up) Cerrahiler ve Gelecekte Vitrektomi Cihazları**Three-Dimensional and Head Up (3D & Head Up) Surgeries and Future Vitrectomy Devices**¹ Pınar KAYA / ORCID No: 0000-0001-9243-6124² Yasemin ÖZDAMAR EROL / ORCID No: 0000-0002-0406-8921¹ Uzman Doktor, Etlik Şehir Hastanesi, Göz Hastalıkları Kliniği, Ankara, Türkiye² Profesör Doktor, Etlik Şehir Hastanesi, Göz Hastalıkları Kliniği, Ankara, Türkiye**Geliş Tarihi/Received:** 18/06/2023 **Kabul Tarihi/Accepted:** 31/08/2023 **DOI:** 10.37783/CRJ-0428**Yazışma Adresi/Address for Correspondence:** Etlik Şehir Hastanesi, Varlık Mahallesi, Halil Sezai Erkut Caddesi, Yenimahalle/ANKARA. **Tel./Phone:** +90 (506) 538 7159, **E-posta/E-mail:** drpnrcck@gmail.com**ÖZ**

Vitrektomi cerrahisi, yarım asırlık tarihinde oldukça büyük gelişim göstermiştir. Son yıllardaki teknolojik ilerlemeler, üç boyutlu (3D) dijital görselleştirme platformunun geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Yapılan yeniliklerle hem cerrah hem de hasta için daha konforlu ve güvenli bir cerrahi sistem sağlanmaktadır. Bu yazıda 3D ve baş yukarıda cerrahiler ile gelecekteki vitrektomi cihazları hakkında bilgiler verilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: 3D görüntüleme sistemleri, baş yukarıda cerrahi, üç boyutlu mikroskop, vitrektomi cihazları

Abstract

Vitrektomy surgery has made great progress in its half-century history. Technological advances in recent years have led to the development of a three-dimensional (3D) digital visualization platform. With the innovations, a more comfortable and safe system is provided for the surgeon and patient. This article aims to give information about 3D and head-up surgeries and future vitrectomy devices.

Key words: 3D imaging systems, head-up surgery, three-dimensional microscope, vitrectomy devices

Giriş

Geçmişten bugüne, yeni gelişmelerle birlikte geleneksel ameliyat mikroskoplarının oküler ve objektif sistemlerinde göz içi cerrahisi için alternatif görüntüleme formatlarının araştırılması ve geliştirilmesinde büyük adımlar atılmıştır. Son on yılda, teknolojik ilerleme, standart mikroskopun yerini alan üç boyutlu (3D) dijital görselleştirme platformunun geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Bu sistemler, cerrahi alanın üç boyutlu büyük bir ekranda görüntülenmesini sağlamaktadır. Üç boyutlu dijital cerrahi görselleştirme, cerrah için daha iyi ergonomi, gelişmiş cerrahi öğretim olanakları, hastanın ışık maruziyetinin azaltılmasının yanı sıra gelişmiş çözünürlük, artırılmış büyütme ve alan derinliği sağlamayı amaçlamaktadır. Bu alanda daha fazla deneyimin olduğu ve klinik çalışmanın bulunduğu sistem “baş yukarıda” sistemlerdir. Bu sistem

pasif bir sistemdir ve 3D görüntü, iki görüntünün yatay olarak karıştırılması ve ardından pasif olarak polarize 3D gözlüklere ayrılmasıyla elde edilir.¹

Baş yukarıda sistemde, cerrahların mikroskop okülerlerinden bakmadan; büyük, yüksek çözünürlüklü bir 3D monitörde polarize 3D gözlüklerle cerrahi alanı görüntülerken “baş -yukarıda” pozisyonda ameliyat yapmaları sağlanmaktadır.²⁻⁴ Baş yukarıda sistemler ilk olarak İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri havacılık alanında, askeri pilotların gözlerini kontrol paneli yerine gökyüzünde tutmaları umuduyla tasarlanmıştır. Bu teknoloji büyük ölçüde geliştirilerek cerrahi görselleştirmeyi ve ergonomiyi iyileştirmek için cerrahi alana uyarlanmıştır.⁵

Geleneksel vitrektomi sisteminde vitrektomiye yeni başlayan cerrahlar, özellikle fundusun lens yoluyla indirekt olarak görüntülediği arka segment cerrahisinde en iyi operatif görüntüyü elde etmede zorluk yaşarlar. Vitrektomi yapmayı öğrenmede vizualizasyon ve derinlik algısı kritik adımlardır. Cerrahi

sırasında cerrah, işlemi yaparken mikroskopun dürbünlerinden bakar ve öğrenciler ve diğer gözlemciler, cerrahın kullandığı mikroskopla aynı görüntüleme çözünürlüğüne sahip olmayan başka bir monitörde işlemi izlerler. Bu görüntüler iki boyutludur (2D) ve gözlemciler cerrahi derinliği belirleyemezler. Ayrıca asistanın gördüğü görüntüler çoğu oftalmik cerrahi mikroskopunda birincil cerrahın gördüğünden daha sönüktür. 3D baş üstü ekranı, cerrahi teknisyenler ve hemşireler de dahil olmak üzere tüm cerrahi ekip üyeleri tarafından cerrahi alanın gelişmiş şekilde izlenmesini sağlar. Çalışmalarda hem hemşireler hem de asistanlar baş yukarıda katarakt cerrahisinin eğitim değerini arttığını, tıp öğrencileri ise femtosaniye lazer ile katarakt ameliyatını görüntülerken baş üstü görselleştirme ile daha iyi alan derinliği ve görünürlük sağlandığını bildirmişlerdir.⁵ 12 cerrahın katıldığı bir çalışmada, cerrahların %83'ü baş yukarıda katarakt cerrahisinin geleneksel katarakt cerrahisine göre daha fazla eğitim potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir.⁶

Baş yukarıda sistemler, üstün derinlik algısı ve görüntü kalitesi sayesinde cerrahi alanın geleneksel mikroskoplardan daha iyi görüntülenmesine olanak sağlar. Wang ve ark.⁷ tarafından yapılan bir çalışmada, 65 katarakt cerrahı, baş yukarıda görüntüleme sisteminin ve geleneksel mikroskopun derinlik algısından memnuniyetlerini 1'den 10'a kadar bir ölçekte derecelendirmiş ve derinlik algısı derecelendirmeleri sırasıyla 9,40±0,81 ve 6,51±1,5 saptanmıştır. Alcon Ngenuity sisteminde standart bir ameliyat mikroskopuna kıyasla beş kat daha fazla genişletilmiş alan derinliği, %48 daha fazla büyütme ve %42 daha ince stereopsis sağlandığı bildirilmektedir.⁸ Ayrıca, 3D görüntüleme ile görüntü, odak ayarlamaları gerektirmeden arka kutuptan retina periferine kadar tutarlı kalma eğilimindedir. Çoğu vitreoretinal cerrah makula cerrahisi sırasında makulanın genel görünümünü korumak için düşük büyütmeyi tercih etmektedir. 3D görüntülemenin bir başka avantajı da makula cerrahisi sırasında görüntüyü yakınlaştırdıkça tüm alanın genişlemesi ve böylece görüş alanı kaybı olmamasıdır. El-göz koordinasyonu gerektiren vitreoretinal cerrahilerde, cerrahın performansını etkileyen bir diğer önemli faktör derinlik algısıdır.⁹ 3D baş yukarıda sistemler cerrahlara daha büyük stereo taban ve stereopsis sağlamaktadır.³

Hasta güvenliği açısından bakıldığında, 3D görselleştirmenin sıklıkla dile getirilen bir diğer faydası da retinal fototoksistite riskinin azaltılmasıdır.¹⁰ Vitreoretinal cerrahi sırasında endoillüminasyonun kullanımına sekonder retina hasarı fototermal, fotomekanik ve fotokimyasal sebepler dahil olmak üzere farklı mekanizmalarla gerçekleşebilen önemli bir sorundur.¹¹ Michels ve ark.¹² oküler cerrahide yüksek endoillüminasyon seviyelerinin neden olduğu fototoksistiteye bağlı postoperatif makula lezyonları tespit etmiş ve bu durumun görme keskinliği sonuçlarında azalmaya neden olduğunu bildirmiştir. Noell ve ark.¹³

ile Eichenbaum ve ark.¹⁴ retinal ışık toksisitesi çalışmalarında, kritik bir eşik doz değerinden bahsetmişlerdir. Ameliyat mikroskopu fototoksistitesi de tüm oküler cerrahiler için bilinen bir risktir ve 3D sistemler cerrahın görüntü kalitesinden ödün vermeden çok daha düşük ışık yoğunluğu kullanımını sağlar. Dijital filtreleme 3D cerrahide avantaj sağlayan bir diğer konudur. Geliştirilmiş görüntü ayarlamaları, toksistiteye de yol açabilen retinal boya ihtiyacını azaltabilmektedir. Aaberg ve Mura,¹⁵ internal limitan membran soyulmasında performans kaybı olmadan dijital filtreleme ile boya konsantrasyonlarında %50 azalma sağladıklarını bildirmişlerdir.

3D yeni görüntüleme sistemi, cerrah için daha fizyolojik bir "baş yukarıda" pozisyonu, daha geniş büyütmelerde bile çok yüksek görüntü tanımlaması, dijital filtreler ve cerrah ile salondaki diğer izleyicilerin (örn. hemşireler, asistanlar, öğrenciler) aynı görüşü elde etmesini sağlar. Ameliyathanedeki herkes ameliyatın aynı yüksek çözünürlüklü görüntüsüne sahip olduğundan, bir eğitim aracı olarak muazzam bir faydaya sahiptir.^{2,4} Koltuk değişiminde her seferinde interpupiller mesafeyi ayarlamak gerekmemektedir. Geleneksel katarakt cerrahisinin aksine, baş yukarıda görselleştirme sistemlerini kullanan cerrahların yakın görüşü kullanmasına gerek kalmamaktadır ve sonuç olarak cerrahlarda daha az astenopi semptomları görülebilir.

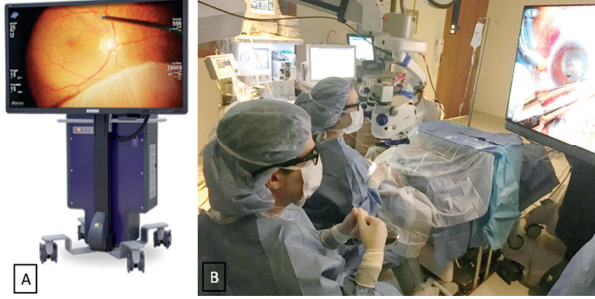
Mevcut kullanımda olan geleneksel cerrahi yöntemlerde cerrah ameliyat sırasında baş, omuzlar ve sırtı hareket ettiremez ve ameliyattan sonra boyun ve kas-iskelet yorgunluğu, sertlik, zihinsel ve fiziksel stres ve göz yorgunluğu yaygın olarak görülür. Oftalmologlar arasında boyun, üst vücut veya bel semptomlarının prevalansının %62'lere kadar çıktığı bildirilmiştir.^{16,17} Baş yukarıda cerrahi, standart binoküler mikroskopun getirdiği kısıtlamaları ortadan kaldırır ve görüntü kalitesini veya teknik özellikleri etkilemeden daha nötr, fizyolojik bir pozisyonda çalışmak için daha fazla fiziksel serbestlik sağlayarak, yorgunluğu en aza indirir. Yüksekliği ayarlanabilen harici bir monitörün kullanılması, ergonomiyi iyileştirir, sırt ve boyun kas-iskelet sisteminin yükünü azaltır ve kronikleşebilen sırt ve boyun ağrılarını ve aynı zamanda zihinsel stresi azaltır.²

Baş yukarıda 3D sistemlerde ameliyat mikroskopuna iki kamera yerleştirilir, sinyal merkezi bir işlemciye gönderilir ve ardından geniş ekran yüksek çözünürlüklü bir monitöre iletilir. Fakat yine de bu sistemler cerrahide kontakt veya nonkontakt görüntüleme cihazlarının kullanımını ortadan kaldırmamaktadır.²

Tablo 2: Piyasada bulunan 3D "başyukarıda" ve "HMS" sistemleri

Baş yukarıda 3D sistemleri	Baş takılan sistemler (HMS)
1. Alcon NGENUITY	1. Sony HMS-3000MT
2. ARTEVO 800	2. Beyeonics One

Baş yukarıda 3D sistemlerde piyasada 2 ticari model bulunmaktadır: Alcon NGENUITY 3D görüntüleme sistemleri (Alcon Laboratories, Fort Worth, TX) (**Şekil 1**) ve ARTEVO 800 sistemi (Zeiss, Oberkochen, Germany) (**Şekil 2**)



Şekil 1: Ngenuity 3D görüntüleme sistemi (Fotoğraf: <https://professional.myalcon.com/vitreoretinal-surgery/visualization/ngenuity-3d-system/>) (A). Alcon NGENUITY 3D sistemi kullanılarak gerçekleştirilen sistemde cerrah ve asistanlar 3D gözlükle baş yukarıda olarak cerrahi prosedürü tamamlamaktadırlar. (Fotoğraf: https://eyewiki.aao.org/File:Weng_NGENUITY.jpg) (B)



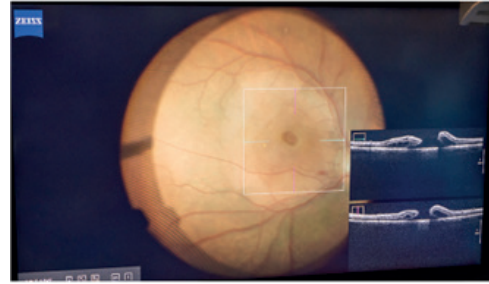
Şekil 2: Zeiss Artevo 800 3D sistemleri (Fotoğraf: <https://www.zeiss.com/meditec/en/products/surgical-microscopes/ophthalmic-microscopes/artevo-800/retina.html>)

Ameliyat öncesi hazırlık ve vaka seçimi: 3D ile vaka seçimi önemli bir husustur. Oda düzenini, ekran ve aydınlatma ayarlarını, odaklanmayı ve intraoperatif manevraları değerlendirmek için bir vakanın simülasyonunu yapmak faydalı olabilir. Bu teknolojiyi ilk kez deneyimleyen bazı cerrahlar, vitreus hemorajisi veya maküler patolojiler gibi daha az manevra gerektiren daha az karmaşık cerrahi vakalarla başlamayı tercih etmektedirler. Bu teknoloji ile maküler görüntüleme iyileştirildiğinden vitreomaküler arayüz bozuklukları iyi bir ilk tercih olabilir. Sütür gerektiren göz içi lens implantasyonları gibi önemli ön segment manipülasyonları gerektiren vakalarda, cerraha ve sisteme bağlı olarak daha dik bir öğrenme eğrisi olabilir.

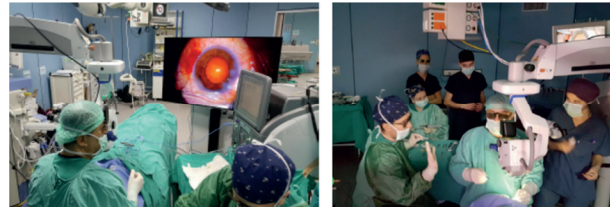
Ameliyat: Neredeyse tüm 3D sistemleri, geleneksel mikroskoplara kıyasla farklı bir oda düzeni gerektirir. 3D sistemlerinde, endolazer probu ile eş eksenli aydınlatma, lazer ışınının görselleştirilmesini ve potansiyel olarak lazer atımının görselleştirilmesini önemli ölçüde azaltabilir. Ekran konumu,

ekran açısı ve mikroskop konumu tercihlerinin hepsi başarının anahtarıdır. Çalışmalar, 3D ekranın cerrahın yaklaşık 1,5 m uzağa yerleştirilmesinin, lateral çözünürlük ve alan derinliği dahil olmak üzere görüşü en üst düzeye çıkarabileceğini göstermektedir. Birçok durumda, cerrahlar cerrahi prosedür sırasında genel ışık seviyesini azaltabilirler.

3D teknoloji, multimodal uygulamaların cerrahi alana dahil edilmesi için benzersiz bir fırsat sunar. Örnekler arasında cerrahi hizalama katmanları (örn. torik işaretleyiciler), cerrahi sistem parametreleri (örn. vakum, cerrahi modlar) ve intraoperatif optik koherens tomografi (OKT) (**Şekil 3**) yer almaktadır.¹⁸ Bu araçlar cerrahın cerrahi alana odaklanmasına yardımcı olurken, başka bir alana bakmasına gerek kalmadan ek bilgilere erişmesini sağlayabilir. 3D ile entegrasyon, inceleme için daha büyük bir görüntü boyutu sağlar ve ayrı bir ekrandan inceleme yapma ihtiyacını en aza indirir (**Şekil 4**).¹⁰



Şekil 3: İntraoperatif optik koherens tomografi görüntüleme (3D Heads-Up Display: Pearls for New Users) (April 2023 | Features, Retina Today)



Şekil 4: 3D sistemi kullanılarak gerçekleştirilen sistemde cerrah ve asistanlar 3D gözlükle baş yukarıda olarak cerrahi prosedürü tamamlamaktadırlar.⁴²

Arka segment cerrahları bu teknolojiye daha erken uyum sağlamışlardır. Bu teknolojinin retina cerrahisinde kullanımına ilişkin literatürde çok sayıda yayın olmasına rağmen ön segment cerrahisi ile ilgili daha az sayıda veri bulunmaktadır.

3D Sistemler İle Katarakt ve Ön Segment Cerrahileri

Oftalmolojide, baş yukarıda cerrahi kullanılarak insan gözünde katarakt ve ön segment cerrahisi ilk kez Weinstock tarafından yapılmış ve Boston'daki 2010 Amerikan Katarakt ve Refraktif Cerrahi Derneği (ASCRS) toplantısında, TrueVision 3D sistemi (TrueVision Systems Inc., Santa Barbara, CA, ABD) ile donatılmış bir mikroskopla standart binoküler mikroskop kullanılarak

katarakt cerrahisini karşılaştıran retrospektif bir analiz sunulmuştur. Weinstock, gruplar arasında minimal prosedür süresi farkı ile her iki grupta da mükemmel sonuçlar bildirmiştir.^{19,20} Weinstock ve ark.'nın²¹ 2019'da yaptığı, 2320 gözü içeren çalışmada ise, katarakt cerrahisi için cerrahi süre ve komplikasyon oranı geleneksel mikroskop (647 göz) ve Alcon Ngenuity (1673 göz) arasında karşılaştırılmış ve 3D sistemin, geleneksel binoküler mikroskoplara benzer güvenlik ve verimlilik gösterdiği bildirilmiştir. Amniyotik membran transplantasyonu ve kornea cerrahisi dahil olmak üzere birçok ön segment ameliyatı baş yukarıda sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.²² Mohamed YH ve ark.²³ baş yukarıda sistemi kullanan ilk kornea cerrahisi vakasını bildirmişlerdir.

3D Sistemler ile Vitreoretinal Cerrahiler

2018 yılında Romano ve ark.³ 20 gönüllü cerrahla yaptıkları prospektif çalışmada 3D baş yukarıda ve geleneksel görüntüleme sistemlerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada regmatojen ve traksiyonel retina dekolmanı, epiretinal membran, tam kat maküler delik, vitreus hemorajisi veya lens drop'u olan toplam 50 hasta iki grupta 25'er hasta olacak şekilde opere edilmiştir. Cerrahi sonrası cerrahlara anket uygulanmış ve bu yeni teknolojinin ergonomik olarak kullanışlılığı tüm cerrahlar tarafından teyit edilmiştir. Geleneksel ve 3D teknik arasında cerrahi süre açısından fark görülmemiş ve iki grupta da majör bir komplikasyon gelişmemiştir. Ayrıca bu çalışmada operasyon mikroskobuna monte edilen kameranın diyafram açıklığının derinlik algısı üzerine etkisinin oldukça az olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada ışık yoğunluğu %20'ye düşürülerek yoğun vitreus hemorajisi simüle edilmiştir. Aydınlatmayı iyileştirmek amacıyla yapılan sinyal amplifikasyonu aydınlatmayı iyileştirse de görüntü parazitlerinde artışa yol açmıştır ve bu durumun yoğun bir vitreus hemorajisinde karanlık bir görüntüye tercih edilebilir olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca bunun ışık kaynağının daha ekonomik kullanılmasına imkan sağladığı belirtilmiştir. Çalışmada, daha önce mikrocerrahi deneyimi olmayan cerrahların %62'sinin 3D görüntülemenin manipülasyonu kolaylaştırdığını belirtmesi ile 3D sistemlerin mikrocerrahide eğitim değerinin yüksek olduğu görüşünü desteklemektedir.

Literatürde bu alanda son yıllarda yapılan başka birçok çalışma mevcuttur. Palácios ve arkadaşlarının²⁴ yaptığı, maküler delik cerrahisinde pars plana vitrektomi ve internal limitan membran soyuma tamamlanma süresi, geleneksel ve 3D baş yukarıda görüntüleme sistemlerinde karşılaştırılmış ve ergonomi, eğitim değeri, görüntü keskinliği, derinlik algısı, görüş alanı ve teknik beceriler bir anket ile analiz edilmiştir. Cerrahi sürelerinde her iki sistem açısından istatistiksel bir fark bulunmamıştır. Ergonomi, eğitim değeri ve görüş alanı bakımından 3D görüntüleme üstün bulunmuştur. Derinlik algısı her iki yöntemde de benzer tespit edilmiştir.

Coopola ve ark.²⁵ geleneksel yöntemle ve 3D baş yukarıda sistemi kullanarak retina dekolmanı cerrahisi yapılan 2 grubu karşılaştırmışlardır ve 3D yöntemiyle opere edilen 7 vaka (6'sı basit, 1'i komplike rekürren retina dekolmanı) ile geleneksel yöntemle opere edilen 15 vakanın (14'ü basit, 1'i komplike rekürren retina dekolmanı) cerrahi sürelerinde fark saptamamışlardır. 3D teknik grubunda hiçbir hastada postoperatif vitreus kalıntısı saptanmazken, geleneksel yöntemle opere edilen hastaların 9'unda vitreus kalıntısı için dilüe triamsinolon enjeksiyonu yapılması gerekmiştir. Bu durumun 3D görüntülemeye yüksek çözünürlük elde edilmesi ve dijital filtrelerin kullanılması sayesinde vitreus kalıntılarının daha iyi seçilebilmesi sayesinde olduğu düşünülmüştür. Sonuç olarak 3D görselleştirme sistemi, analog bir platforma göre dijitalin tüm avantajlarını sağlayan geleneksel sistem kadar güvenli ve etkili bulunmuştur.

Zhang ve arkadaşlarının²⁶ 3D yöntemle opere edilen 124 ve geleneksel yöntemle opere edilen 202 olmak üzere toplamda 326 göz üzerinde yaptıkları retrospektif analiz 2019 yılında yayınlanmıştır. Her iki grupta son vizitte görme keskinliğinde anlamlı artış saptanmıştır ($p<0.05$) ve epiretinal membran, vitreus hemorajisi, maküler delik, retina dekolmanı ve patolojik miyopik foveoskizis ile ilgili başarılı anatomik düzeltilmeler saptanmıştır. Ortalama operasyon süresinde 3D grubu ile ($31,0 \pm 17,6$ dakika), geleneksel mikroskop grubu ($31,0 \pm 15,9$ dakika) arasında anlamlı fark saptanmamıştır ($p=0.994$). Takip sırasında postoperatif komplikasyon insidans oranları da 3D (%30,6) ve geleneksel mikroskop grupları (%30,2) arasında benzer bulunmuştur ($p=0.932$). Hastalar postoperatif dönemde en az 6 ay takip edilmiş ve 3D cerrahinin uzun dönem takip sonuçları da olumlu olarak değerlendirilmiştir. Bu alanda yapılan geniş çaplı bir diğer çalışma 2021 yılında Del Turco ve ark.'nın²⁷ yaptıkları araştırmadır. 2777 (%50,6) 3D görüntüleme ve 2706 (%49,3) geleneksel yöntemle olmak üzere toplam 5483 göz değerlendirilmiştir. Prosedürel komplikasyon oranı, farklı cerrahi alt tipler göz önüne alındığında dahi 3D ve geleneksel yöntemde benzer bulunmuştur. Memnuniyet anketine katılan tüm cerrahlar (12 cerrah) retina cerrahisinde uygulandığında 3D için en yüksek memnuniyet puanını vermişlerdir.

Epiretinal membran ve maküler delik, karşılaştırmalı araştırmalarda ele alınan bir diğer patolojidir. Reddy ve ark.²⁸ maküler delik nedeniyle opere edilen hastaların sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Minimum ve maksimum delik büyüklükleri arasında fark olmayan; 3D sistemle opere edilen 51 ve geleneksel yöntemle opere edilen 63 hastanın maküler deşilin kapanma oranının 3D grubunda anlamlı düzeyde daha yüksek olduğunu saptamışlardır ($p<0.004$). Kantor ve ark.²⁹ bir yıllık sürede aynı cerrahin opere ettiği 138 3D ve 103 geleneksel yöntem olarak ayrılan toplam 241 hastayı değerlendirmişler ve 3 aylık postoperatif dönemdeki retina dekolmanı nüksü,

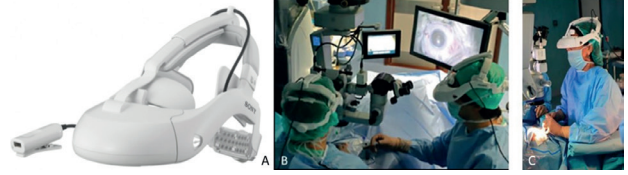
maküler delik kapanma oranı ve epiretinal membran hastalarında maküler kalınlıkta azalma miktarında iki grup arasında fark saptanamamışlardır.

3D tekniğinin bir diğer avantajı, görüntü parlaklığındaki değişiklik ve artış sayesinde görüntü kalitesinde önemli bir düşüş olmaksızın iç aydınlatma gücünün %10'a düşürülmesini mümkün kılmasıdır. Hatta, %20'ye kadar düşüşlerin görüntü kalitesinde çok bozulmalara sebep olmadan, tolere edilebildiği bildirilmiştir.² Matsumoto ve arkadaşlarının³⁰ yaptığı, 3D görüntüleme için düşük ışık ayarlarında (ana ışık %2; otto-flex %6) yüksek duyarlılıkta HD kamera sistemi kullandıkları çalışmada, nesneleri çok düşük ışıktaki pozlamada mikroskop oküler merceklerindeki gerçek görüntülerden 23 kat daha parlak görüntü elde etmişlerdir. Bu sistemde, son derece düşük ışık maruziyeti ile odak derinliğinin iyileştirilmesi ve yüksek parlaklıkta iyi kalitede bir görüntü sağlanmıştır. Kunikata ve arkadaşlarının³¹ yaptığı çalışmada, minimum aydınlatma seviyelerinde (%1- yaklaşık 0.1 lm) tüm hastalarda başarılı bir görüntüleme sağlanmış ve tüm vakalar başarıyla sonlandırılmıştır. Adam ve arkadaşlarının³² yaptığı başka bir çalışmada ise bu sonuçlar desteklenir şekilde 3D görüntüleme platformlarının, vitreoretinal cerrahi sırasında intraoperatif endoillüminasyon seviyelerini azaltması ile teorik olarak retinal fototoksisitede azalma sağladığı belirtilmiştir. Bu çalışmalar göz önüne alındığında, ışığın yoğunluğunu azaltmak, endoillüminasyona sekonder gelişen retinal hasar riskini azaltmaya yardımcı olmaktadır ve bu avantaj, fototoksisteye karşı artan duyarlılıkları nedeniyle maküler veya retinal dejeneratif hastalıklarda oldukça avantajlı olabilir.

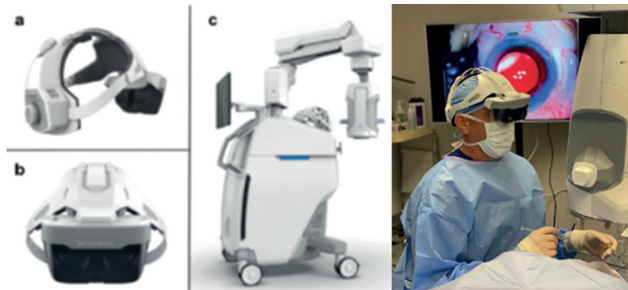
3D baş yukarıda sistemlerde; ekrana bakmak cerrahın sürekli baş yukarı ve dik bir oturma pozisyonunda, ekranla doğrudan sabit bir görüş açısında olmasını gerektirir ve ekrandan uzaklık göz önüne alındığında, standart bir cerrahi mikroskopun aynı sürükleyici görsel alan deneyimini sağlayamamaktadır. Bunun için son zamanlarda yeni bir 3D dijital başa takılan sistemler (Head-mounted systems: HMS) geliştirilmiştir ve bu sistem baş yukarıda ameliyat sistemlerinden bir diğeridir. Daha iyi ergonomi, dijital görselleştirme ve artırılmış gerçeklik özelliklerinin ek faydaları ile standart bir optik mikroskop kullanılarak görüntülenene benzer gerçek bir binoküler görüş alanı sağlanır. HMS'ler aktif sistemlerdir ve bu sistemde; 3D görüntü, sağ ve sol göz için dönüşümlü olarak yüksek hızlı ardışık görüntüler gösterilerek elde edilirken, özel bir elektronik gözlük diğer gözdeki görüntüyü aktif olarak bastırır.¹

Ivan Sutherland'ın 1960'lardaki ilk deneylerinde dürbün ekranında basit bir tel kafes modeli gösteren bir "başa takılan sistem" yapılmıştır. HMS'nin ana uygulamaları arasında askeri, polis, itfaiye ve sivil-ticari kullanım, video oyunları ve spor yer almaktadır. Oftalmolojide bu yenilikçi HMS teknolojinin

kullanımı ilk olarak Dutra-Medeiros ve ark tarafından bildirilmiştir.⁴ Sony Head-Mounted System HMS-3000 MT cihazına bağlı Haag-Streit ameliyat mikroskobu HS Hi-R NEO 900 (Haag-Streit Surgical GmbH, Wedel, Almanya) kullanılarak birkaç oftalmik ameliyat gerçekleştirilmiştir. İndirekt oftalmoskopa benzer bir şekilde cerrahın başına monte edilen ekranda, mikroskoba bağlanan video yakalama sistemindeki görüntüler yansıtılır (Şekil 5). Sağ ve sol göz için diyet ekranlarına farklı görüntüler iletilmesi sayesinde videonun cerrah tarafından üç boyutlu algılanması amaçlanmıştır. Aktif 3D görselleştirme kullanan ameliyathane cihazlarından biri de Beyeonics One'dır (Beyeonics One, Beyeonics Vision, Haifa, Israel) (Şekil 6). Beyeonics One'ı kullanmak için cerrah, görüntü sağlamak için artırılmış gerçekliğe dayanan başa takılan bir ekran kullanmaktadır. Cerrah, görüntüleri değiştirmek veya çeşitli alanlar arasında geçiş yapmak için baş hareketlerini ve bir ayak pedalını kullanabilir; bu da bazı önemli avantajlar sağlamaktadır.



Şekil 5: Sony HMS-3000 MT 3D görüntüleme sistemi (Fotoğraf https://pro.sony/tr_TR/products/surgical-monitors/hms-3000mt) (A). Başa takılan sistemlerle yapılan vitrektomi ameliyatları baş yukarıda cerrahi yapılmasına imkan tanır. Hem cerrahın hem de asistanın kullandığı kask aracılığıyla stereoskopik görüntüler ile cerrahi yapılır. Sony Head-Mounted System HMS-3000MT ve Haag-Streit Surgical mikroskop; HS Hi-R NEO 900 (Haag-Streit Surgical GmbH) (Fotoğraf; Dutra-Medeiros M et al, Three-Dimensional Head-Mounted Display System for Ophthalmic Surgical Procedures. Retina. 2017 Jul;37(7):1411-1414.) (B,C)



Şekil 6: BeyeonicsOne (Beyeonics Vision, Haifa, Israel) 3D HMS'nin yandan (a) ve önden görünümü (b). Kamera ünitesi, iş istasyonu ünitesi ve kamera ünitesini taşıyan yarı robotik kol dahil olmak üzere ana sistem paketi (c). Solda katarakt ameliyatı sırasında BeyeonicsOne (Beyeonics Vision, Haifa, Israel) 3D HMS teknolojinin kullanan cerrahın ergonomik duruşu.³⁵

Baş takılan sistem, pasif 3D sistemlerde oluşabilen gölge görüntü efektini önleyerek, her bir göz için bir tane olmak üzere iki eşzamanlı görüntü gösterdiğinden, geleneksel 3D sistemlerden farklıdır.³³

“Başa takılan sistemler (HMS)” ile katarakt ve ön segment cerrahileri

Gomel ve ark.³⁴ HMS’yi başarılı bir şekilde kullanarak endotel keratoplasti yaptıkları çalışmalarını yayınlamışlardır. Sorkin ve ark.³⁵ tarafından ise, 60 katarakt cerrahisinin HMS kullanarak güvenli bir şekilde gerçekleştirebildiği ve gelişmiş ergonomi, yüksek görüntü kalitesi ve gelişmiş görüntü kontrolünün sağladığı ek avantajlarla HMS’nin rutin katarakt cerrahisinde kolayca kullanılabilirdiği bildirilmiştir. Bu çalışmada cerrah için, göz içi lensinin kartuşa yüklenmesi gibi başa takılan sistem dışı bir alana görüntü geçişinin kolaylıkla yapılabildiği rapor edilmiştir. Ayrıca, HMS’nin odak, yakınlaştırma, kaydırma ve ışık seviyesi ayarı gibi görüntü parametrelerini kontrol etmek için baş hareketlerini kullanma becerisi sağladığı ifade edilmiştir.

“Başa takılan sistemler (HMS)” ile vitreoretinal cerrahiler

Martínez-Toldos ve arkadaşlarının¹⁷ Sony HMS-3000MT Head Mounted Display System (Sony Electronics Inc, Tokyo, Japonya) ile gerçekleştirdiği 3D oküler cerrahi deneyimlerinde (3 fakomülsifikasyon ve lens implantasyonu, 1 intraoküler lens implantasyonu, 3 makula cerrahisi, 1 silikon yağı çıkarılması ve 1 vitreus hemorajisi için pars plana vitrektomi); çok kısa bir adaptasyon süresine ve öğrenme eğrisine ihtiyaç duyulmuştur. Dokuz prosedürün hiçbirinde intraoperatif komplikasyon meydana gelmemiş ve hiçbir enstrümantasyon zorluğu yaşanmamıştır. Başa takılan sistem, ameliyat sırasında ergonomik boyun duruşlarına izin vermiştir ve bu sistemin oftalmik cerrahi için yararlı ve ergonomik olabileceğine ve yakın gelecekte büyük bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir.

3D baş yukarıda sistemler ile HMS arasında dijital görselleştirme açısından benzerlikler olsa da HMS’de bazı farklılıklar mevcuttur. HMS’de 3D görüntü cerrahin gözlerinin tam önüne monte edilir ve cerrahin cerrahi alanı görüntülemek için bir video ekranına başını çevirmesi gerekmez. HMS, görsel alan deneyimi açısından optik mikroskoba benzeyen, gözlemcinin gözüne çok yakın farklı binoküler görüş sağlar. Ayrıca, HMS’de cerrahin ekrana doğru olan görüş hattı asla bozulamazken, baş yukarıda sistemlerinde video ekranına olan görüş hattı daha uzaktadır ve ameliyathanede bulunan diğer nesneler veya kişiler tarafından potansiyel olarak engellenebilme olasılığı vardır.³⁵

HMS de bir öğrenme eğrisine ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca bu sistemler de göze gelen ışık miktarı ve toksisitesi yönünden koruyucudur. Stajyerler de cerrahla aynı görüşe sahiptir. İlerleyen teknolojik gelişmeler ile HMS’de görüntüye entegre OKT ve lens işaretleyicilerin gelecekte uygulanabileceği bildirilmektedir.^{1,35}

Yukarıdaki tüm bilgiler eşliğinde; 3D baş yukarıda cerrahinin literatürde bildirilen avantajlarını kısaca özetleyecek olursak; (1) en yüksek büyütmede bile daha yüksek çözünürlük; (2) daha geniş görüş alanına sahip panoramik görüntüleme; (3) endoillüminasyon gücünü önemli ölçüde azaltma ve bu sayede fototoksistide azalma; (4) belirli bir doku veya boyanın görünürlüğünü artırmak için görüntüye dijital filtreler uygulanabilmesi sayesinde boya kullanım ihtiyacında azalma; (5) cerrahin daha ergonomik bir pozisyonu; (6) tüm izleyici personelin aynı 3D görüntüye ulaşabildiği olağanüstü öğretim potansiyeli; (7) şiddetli kifoza dahil, hastanın pozisyonuna bağlı durumlarda kullanım kolaylığı olarak sıralanabilir.^{1,15,30,32}

Bu yeni teknolojinin dezavantajları değerlendirildiğinde ise mevcut sistemin hali hazırdaki geleneksel mikroskoplara bağlanarak çalışması en önemli kısıtlayıcı faktörlerden biridir. Sistemi kullanabilmek için geleneksel sistemle birlikte 3D sisteminin de satın alınması gerekmekte, bu da maddi bir yük oluşturmaktadır. Bunun yanında, sistem cerrahin ergonomisini artırmakla birlikte odada geniş bir yer kaplamakta ve bu sebeple odanın yeterli büyüklükte olması gerekmektedir. Ayrıca, uzun süreli lazer fotokoagülasyondan sonra cerrahin baş ağrısı ve mide bulantısı olabilmektedir. Bazı çalışmalarda ise cerrahi sürenin uzun olduğu bildirilmiştir.^{1,36}

Tablo 2: 3D başyukarıda ve HMS sistemlerinin karşılaştırılması

	Baş yukarıda 3D sistemleri	Baş takılan sistemler (HMS)
Ergonomik kullanım sağlama	+	+
Yüksek görüntü kalitesi	+	+
Fototoksistide azalma sağlama	+	+
Asistanın görüntüyü aynı kalitede izleme olanağı	+	+
Baş hareketlerine olanak tanıma	–	+
Gölgeli görüntü	+	–
Sistem dışı alana görüntü geçişi kolaylığı	–	+
Öğrenme eğrisi	+	+

Sonuç

Sonuç olarak üç boyutlu görüntüleme sistemleri hem ön hem de arka segment cerrahileri için oftalmoloji alanında her zamankinden daha umut vericidir. 3D ekranların kullanıldığı baş yukarıda cerrahi, bu teknolojiyi kullanan daha fazla sayıda çalışma ve deneyim içerirken, HMS’nin kullanımı ile ilgili de son zamanlarda klinik çalışmalarda artış mevcuttur. Üç boyutlu görüntüleme sistemi kullanımı önemli bir öğrenme eğrisine sahip olsa da ve bazı çalışmalar cerrahi sürenin daha uzun olabileceğini öne sürse de bu teknoloji daha iyi alan/odak derinliği, gelişmiş çözünürlük, özelleştirilebilir görselleştirmeler ve ergonomide potansiyel iyileştirmeler sağlamaktadır.

Gelecekte Vitrektomi Cihazları

Yapay zeka son zamanlarda tıbbi ve cerrahi bir çok alanda kullanılmaktadır. Oftalmoloji, yapay zekanın bilimsel araştırmaların parçası olmasına izin veren en zengin alanlardan biridir. Bu alanlarındaki ilerlemeler, akıllı robotların geliştirilmesini sağlamıştır.³⁷⁻³⁹

Robotik ve optik koherens tomografi destekli sistemler vitreoretinal cerrahide heyecan verici yeni gelişmelerdir. Robotik sistemler ile tremor ve el becerisi engellerinin üstesinden gelinmesi, mikroyapıların doku planlarını saptayabilmek için derinlik algısının geliştirilmesi ve doku diseksiyonu için gerekli olan ideal kuvvet hissinin algılanamamasının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Robotik sistemler, prosedürler sırasında güvenli anatomik hareketlere olanak sağlayan kalibrasyon yöntemleri ve kontrol algoritmaları ile özellikle OKT kullanan güçlü kontrol bilgisayarlarını içermektedir.⁴⁰⁻⁴¹ Akıllı mikro-manipülasyon destekli robotik cerrahi araç, OKT'yi bir cerrahi mikro aletin şaftıyla birleştiren yeni geliştirilmiş bir mikrocerrahi platformudur. Bu sistemler ile hedeflenen amaçlardan bir tanesi tremorun önlenmesidir. Vitreoretinal cerrahin makulada membran soyma esnasında pensetinin ucuna yansıttığı tremor amplitüdü, x-y-z eksenlerinde 24-22-20 mikrometre olarak ölçülmüş ve penset ucunun istemsiz ve sadece tremora bağlı olarak etkilendiği tespit edilmiştir. Vitreoretinal cerrahide soyulan membranların kalınlıkları göz önünde bulundurulacak olursa (internal limitan membran kalınlığı: 2,5 mikrometre) oluşan istemsiz hareketin boyutu ortaya çıkmaktadır.⁴² Telif edici bir piezoelektrik mikro motoru çalıştırmak için mesafe algılama bilgisinden yararlanılarak, istenmeyen el titremesi ortadan kaldırılır.^{43,44}

Vitreoretinal alanda, robotik destekli kullanımlar arasında retina cerrahilerinin yanı sıra, gen tedavisi, retina implantasyonu, intraoküler tümörlerde besleyici damarının içine optimal/etkin dozda kemoterapötik ilacın verilmesi veya tümörün besleyici damarının kapatılması, retinal damar mikrokantülasyonu ve ven dal tıkanıklıklarında arterio-venöz şitotomi gibi teknik olarak zor işlemler de yapılabilmektedir.⁴⁵⁻⁴⁸

Göz cerrahisinde robotik yardımın deneysel modelleri ilk olarak 1980'lerde Spitznas ve Guerrouad ve Vidal tarafından tanıtılmış ve ardından hızla gelişim göstermiştir.⁴⁹⁻⁵⁰

Robotik Da Vinci Cerrahi Sistemi (Intuitive Surgical Inc., Sunnyvale, CA) insan cerrahilerinde en yaygın kullanılan sistemdir (Şekil 7).⁵¹ Bu sistem kadavra ve domuz gözlerinde korneal kesi tamirinde ve keratoplasti yapımında kullanılmıştır.⁵² Ancak Bourla ve ark'nın⁵¹ bu sistemle 25-G PPV gerçekleştirdiği domuz gözlerinde yaptığı çalışmada bazı yetersizlikleri bildirmiştir.



Şekil 7: Da Vinci robot⁵¹

Vitreoretinal cerrahide kullanılan robotik sistemler cerrah ile olan etkileşimlerine göre 4 farklı kategoride değerlendirilmektedir; (1) robot yardımcı cihazlar, (2) telemanipülasyon sistemler, (3) "hand-on-hand" sistemler ve (4) manyetik olarak kontrol edilen sistemler.⁵³

1. Robot Yardımcı Cihazlar

Elde taşınan mikromanipülatörler veya robotik cerrahi aletler, cerrahi iş akışında minimum kesinti ile fizyolojik titreme ve güç algısının zorluklarıyla baş edebilmek için üretilmiştir. "Micron" bu amaçla üretilen cihazlardan biridir.⁵⁴ Piezoelektrik aktüatörler, cerrahi aleti stabilize etmek için Micron'un alet ucunu titremeye zıt ve büyüklük olarak eşit bir yöne yönlendirir. "SMART" (Smart micromanipulation aided robotik surgical tool), elle tutulan vitreoretinal mikrocerrahi aleti olup aktif tremorları engelleyen diğer bir mikromanipülatördür.⁵⁵ He ve ark. tarafından geliştirilen Entegre Robotik Göz İçi Yılanı ("Integrated Robotic Intraocular Snake"), kısaca IRIS, bu yöntemle üretilen diğer cihazlardan biridir. Elde tutulan bir cihaz veya robotik bir platforma monte edilebilir bir bağlantı ile çalışan robotik cerrahi alet prototipidir. IRIS, 0,9 mm dış çapa sahip 20 gauge oftalmik cerrahi aletlerin boyutuna uyacak şekilde tasarlanmıştır.⁵⁶

2. Telemanipülasyon Sistemler

Wei ve ark.⁵⁷ göz küresini manipüle edebilen ve mikro stentleri veya kısıkaçları yerleştirebilen bir bükülme robotu yoluyla göz içi el becerisi sunan çok platformlu bir robotik sistem sunmuştur. Sistem, yazılım kontrollü uzaktan hareket merkezi kullanımına izin verir. Bu sisteme kontrol geri bildirimini için OKT ile entegre edilebilmektedir.⁵⁸

PRECEYES Cerrahi Robotik Sistemi, retinal ven kanülasyonu ve internal limitan membran soyulması gibi mikro-intraoküler prosedürler için geliştirilmiştir. PRECEYES sisteminde cerrah joystick ile robotu kullanmakta ve robot ise cerrahi enstrümanlara müdahale etmektedir. Harici bir OKT görüntüleme cihazı bu sisteme entegre edilebilir.⁵⁹

Wilson ve ark.⁶⁰ ayrıca yarım daire biçimli raylara monte edilen ve bunlar üzerinde hareket eden iki manipülatör ile benzersiz bir tele-manipüle intraoküler robotik girişimsel cerrahi sistemi (intraocular robotic interventional surgical system), "IRISS"i geliştirdi. Bu sistem, domuz gözlerinde kapsülözeksis, lens korteksinin çıkarılması, kor vitrektomiler ve retinal ven mikro kanülasyonu gibi anterior ve posterior oküler prosedürlerde kullanılmıştır (Şekil 8).^{61,62}

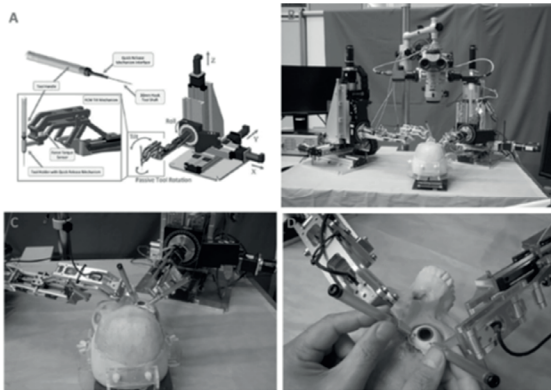


Şekil 8: IRISS Robot⁶¹

3. "Hand-on-hand" Robotik Sistemler

Bu robot, özellikle arka segment ameliyatları sırasında cerrahi aletlerin kontrolünü paylaşmak üzere tasarlanmıştır ve cerrahın kuvvet girişi komutları kullanarak robotik bir platform üzerine monte edilmiş bir aleti kullanmasına olanak tanır. Düşük maliyet ve klinik uygulama kolaylığı açısından çeşitli avantajları vardır. Ek olarak, robot, cerrah aleti bıraksa bile aleti sabit bir konumda tutabildiğinden, titreme filtreleme, konum hatırlama ve cerrah yorgunluğunu azaltmak için kullanılabilir.

Steady-Hand Robot ve Steady-Hand Robot 2, bu sistem içinde tasarlanmış robotik uygulamadır ve robotu sürmek için cerrahın el hareketlerinden gelen kuvvet sinyallerini okuyan robot denetleyicisi ile cerrahi aletleri geleneksel aletlerle aynı şekilde manipüle eder. Robot, titremeden kaynaklanan harici hareketleri ortadan kaldırırken, bir cerrahın tipik olarak retinal prosedürler sırasında kullanacağı düzgün, doğal hareket profillerini üretebilir. Cihaza OKT entegre edilebilir ve OKT görüntüleme ile kuvvet sensöründen gelen birleşik girdiler, örneğin, membran yırtulmasını sınırlamak için direnci en aza indiren bir soyuma hareketi sırasında alet açısını korurken, alet yörüngesini optimize eder (Şekil 9).⁶³



Şekil 9: John Hopkins Steady Hand Robot⁶³

4. Manyetik Kontrollü Robotik Sistemler

Bu sistemler, retinal ven kanülasyonu ve ilaç salan mikrokapsüller kullanılarak lokalize ilaç enjeksiyonu gibi prosedürler için göz içindeki robotik mikrokapsülleri kontrol etmek için ekstraoküler bir manyetik alan kullanır. Kummer ve ark.⁶⁴ bir mikrokapsül robotu üç derece konum kontrolü ve iki yön derecesi içinde yönlendirmek için OctoMag adı verilen bir manyetik alan sistemi kullandılar. Manyetik sistemlerin avantajlarından biri, ekstraoküler boşluğa fiziksel bağlanma olmadan yüksek düzeyde göz içi el becerisi ve manevra kabiliyeti elde etmektir.

Uzaktan cerrahi (telecerrahi) ise; kablolu ağ ve robotik teknolojiyi kullanan uzak bir merkezden de cerrahın robotu yönlendirmesine ve uzaktan cerrahinin gerçekleştirilmesine ve ayrıca farklı yerlerdeki cerrahlara eğitim verilmesine olanak sağlayan bir sistemdir. Oftalmolojide uygulama alanları henüz geniş değildir. Geleceğe yönelik perspektifler arasında; 5G ve yapay zeka gibi teknolojilerin telecerrahide kaynak planlama sorunlarını azaltmaya yardımcı olması yer almaktadır.⁶⁵

Son yıllarda bu alanda kaydedilen umut verici eğilimler ve hızlı ilerlemeler göz önüne alındığında, retina mikrocerrahisinde robotiğin tam potansiyelini gerçekleştirmek için daha fazla araştırma ve yatırım yapılacağı öngörülmektedir.

Kaynaklar

1. Moura-Coelho N, Henriques J, Nascimento J, Dutra-Medeiros M. Three-dimensional display systems in ophthalmic surgery—A review. *European Ophthalmic Review*. 2019 Aug 30.
2. Eckardt C, Paulo EB. Heads-up surgery for vitreoretinal procedures: an experimental and clinical study. *Retina*. 2016;36(1):137-47.
3. Romano MR, Cennamo G, Comune C, et al. Evaluation of 3D heads-up vitrectomy: outcomes of psychometric skills testing and surgeon satisfaction. *Eye (Lond)*. 2018;32(6):1093-1098.
4. Dutra-Medeiros M, Nascimento J, Henriques J, et al. Three-Dimensional Head-Mounted Display System for Ophthalmic Surgical Procedures. *Retina*. 2017;37(7):1411-1414.
5. Mayro EL, Wozniak RA. Three-Dimensional Heads-Up Cataract Surgery. *Advances in Ophthalmology and Optometry*. 2023 Mar 27.
6. Del Turco C, D'Amico Ricci G, Dal Vecchio M, et al. Heads-up 3D eye surgery: Safety outcomes and technological review after 2 years of day-to-day use. *Eur J Ophthalmol*. 2021;32(2):1-7.
7. Wang K, Song F, Zhang L, et al. Three-Dimensional Heads-up Cataract Surgery Using Femtosecond Laser: Efficiency, Efficacy, Safety, and Medical Education-A Randomized Clinical Trial. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(9):4.
8. Nattis A. 3D cataract surgery - The ophthalmology resident's guide. May 25, 2021. Accessed February 16, 2022. eyesoneyecare.com/resources/3d-cataract-surgery-the-ophthalmology-resident-guide
9. Westheimer G. Seeing depth with two eyes: stereopsis. *Proc Biol Sci*. 1994;257:205-14.
10. Jacob D, Grodsky, Hossein Asghari, Nilofar Piri; The Pros And Cons Of 3d Visualization. *Retina Today*, April 2022

11. Glickman RD. Phototoxicity to the retina: mechanisms of damage. *Int J Toxicol*. 2002;21(6):473-490.
12. Michels M, Lewis H, Abrams GW, Han DP, Mieler WF, Neitz J. Macular phototoxicity caused by fiberoptic endoillumination during pars plana vitrectomy. *Am J Ophthalmol*. 1992;114(3):287-296.
13. Noell WK, Walker VS, Kang BS, Berman S. Retinal damage by light in rats. *Invest Ophthalmol*. 1966;5:450-73.
14. Eichenbaum JW, Cinaroglu A, Eichenbaum KD, Sadler KC. A zebrafish retinal graded photochemical stress model. *J Pharmacol Toxicol Methods*. 2009;59:121-7.
15. Thomas M. Aaberg, Marco Mura, Christopher D. Riemann. Looking Into the Future... Today. *Insert Retina Today*; 2016:8.
16. Dhimitri KC, McGwin G, McNeal SF, et al. Symptoms of musculoskeletal disorders in ophthalmologists. *Am J Ophthalmol* 2005;139:179-81.
17. Martínez-Toldos JJ, Fernández-Martínez C, Navarro-Navarro A. Experience using a 3D head-mounted display system in ophthalmic surgery. *Retina*. 2017;37(7):1419-21.
18. Amine R., Clevenger L. M., Ehlers J. P., 3D Heads-up Display: Pearls for New Users, *Retina Today*, April 2023
19. Weinstock RJ. Operate with your head up. *Cataract Refract Surg Today*. 2011;8:66, 74
20. Weinstock RJ, Desai N. Heads up cataract surgery with the TrueVision 3D Display System. In: Garg A, Alio JL, eds. *Surgical Techniques in Ophthalmology—Cataract Surgery*. New Dehli, India: Jaypee Medical Publishers; 2010:124-127.
21. Weinstock RJ, Diakonis VF, Schwartz AJ, Weinstock AJ. Heads-up cataract surgery: complication rates, surgical duration, and comparison with traditional microscopes. *J Refract Surg*. 2019;35:318-22.
22. Uematsu M, Amniotic membrane transplantation with head-up surgery, presentation at the Annual Cornea Day in the 21th ESCRS Winter Meeting Maastricht 2017
23. Mohamed, Yasser Helmy et al. First experience of nDASEK with heads-up Surgery: A case report: Erratum. *Medicine (Baltimore)*. 2018;97(35):e12287.
24. Palácios RM, Maia A, Farah ME, Maia M. Learning curve of three-dimensional heads-up vitreoretinal surgery for treating macular holes: a prospective study. *International ophthalmology*. 2019;39(10):2353-9.
25. Coppola M, La Spina C, Rabiolo A, Querques G, Bandello F. Heads-up 3D vision system for retinal detachment surgery. *Int J Retina Vitreous*. 2017 Nov 20;3:46.
26. Zhang T, Tang W, Xu G. Comparative Analysis of Three-Dimensional Heads-Up Vitrectomy and Traditional Microscopic Vitrectomy for Vitreoretinal Diseases. *Curr Eye Res*. 2019;44(10):1080-1086.
27. Del Turco C, D'Amico Ricci G, Dal Vecchio M, Bogetto C, Panico E, Giobbio DC, Romano MR, Panico C, La Spina C. Heads-up 3D eye surgery: Safety outcomes and technological review after 2 years of day-to-day use. *Eur J Ophthalmol*. 2021 Apr 30;11206721211012856.
28. Reddy S, Mallikarjun K, Mohamed A, Mruthyunjaya P, Dave VP, Pappuru RR, Chhablani J, Narayanan R. Comparing clinical outcomes of macular hole surgeries performed by trainee surgeons using a 3D heads-up display viewing system versus a standard operating microscope. *Int Ophthalmol*. 2024;41(8):2649-2655.
29. Kantor, P., Matonti, F., Varenne, F., Sentis, V., Fournié, P., & Soler, V. (2021). Use of the heads-up NGENUITY 3D Visualization System for vitreoretinal surgery: A retrospective evaluation of outcomes in a French tertiary center. *Scientific Reports*, 11(1), 1-11.
30. Matsumoto CS, Shibuya M, Makita J, et al. Heads-up 3D surgery under low light intensity conditions: new high-sensitivity HD camera for ophthalmological microscopes. *J Ophthalmol* 2019;2019:5013463.
31. Kunikata H, Abe T, Nakazawa T. Heads-up macular surgery with a 27-gauge microincision vitrectomy system and minimal illumination. *Case reports in ophthalmology*. 2016;7(3):543-7.
32. Adam MK, Thornton S, Regillo CD, Park C, Ho AC, Hsu J. Minimal endoillumination levels and display luminous emittance during three-dimensional heads-up vitreoretinal surgery. *Retina*. 2017;37(9):1746-9.
33. Sony's HMS-3000MT brochure, available at https://pro.sony.com/bb-sccms/assets/files/mkt/med/brochures/HMS-3000MT_brochure.pdf
34. Gomel N, Levinger E, Lankry P, Cohen S, Schwartz S, Barak A, Lowenstein A, Varssano D, Sorkin N. Use of a Novel Three-dimensional Head-mounted Digital Visualization Platform in Corneal Endothelial Transplantation. *Ophthalmol Ther*. 2023;12(1):625-631.
35. Sorkin N, Levinger E, Achiron A, et al. Use of a three-dimensional head-mounted digital visualization platform in cataract surgery [published online ahead of print, 2023 Feb 3]. *Eye (Lond)*. 2023;10.1038/s41433-023-02427-w.
36. Panthier C, Courtin R, Moran S, Gatineau D. Heads-up descemet membrane endothelial keratoplasty surgery: feasibility, surgical duration, complication rates, and comparison with a conventional microscope. *Cornea*. 2021;40:415-9
37. Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*. 2019;103(2):167-175.
38. Reid JE, Eaton E. Artificial intelligence for pediatric ophthalmology. *Curr Opin Ophthalmol*. 2019;30(5):337-346.
39. Schmidt-Erfurth U, Sadeghipour A, Gerendas BS, Waldstein SM, Bogunović H. Artificial intelligence in retina. *Prog Retin Eye Res*. 2018;67:1-29.
40. Agranat JS, Miller JB, Douglas VP et al (2019) The scope of three-dimensional digital visualization systems in vitreoretinal surgery. *Clin Ophthalmol* 13:2093-2096
41. Nowomiejska K, Toro MD, Bonfiglio V, Czarnek-Chudzik A, Brzozowska A, Torres K, Rejdak R. Vitrectomy Combined with Cataract Surgery for Retinal Detachment Using a Three-Dimensional Viewing System. *J Clin Med*. 2022 Mar 24;11(7):1788.
42. Güncel Vitreoretinal Cerrahi. Ed. Yılmaz G, Durukan AH, 2021, TOD Eğitim yayınları, syf: 91-110 Süleyman Kaynak: 3D Cerrahinin Özellikleri ve Vitreoretinal Cerrahiye
43. Cheon GW, Huang Y, Cha J, Gehlbach PL, Kang JU. Accurate real-time depth control for CP-SSOCT distal sensor based handheld microsurgery tools. *Biomed Opt Express*. 2015;6(5):1942-1953
44. Song C, Park DY, Gehlbach PL, Park SJ, Kang JU. Fiber-optic OCT sensor guided "SMART" micro-forceps for microsurgery. *Biomed Opt Express*. 2013;4(7):1045-1050.
45. Channa R, Iordachita I, Handa JT (2017) Robotic vitreoretinal surgery. *Retina* 37(7):1220-1228.
46. Molaei A, Abedloo E, de Smet MD, et al. Toward the Art of Robotic-assisted Vitreoretinal Surgery. *J Ophthalmic Vis Res*. 2017;12(2):212-218.
47. Cehajic-Kapetanovic J, Xue K, Edwards TL, et al. First-in-Human Robot-Assisted Subretinal Drug Delivery Under Local Anesthesia. *Am J Ophthalmol*. 2022;237:104-113.
48. Willekens K, Gijbels A, Smits J, et al. Phase I trial on robot assisted retinal vein cannulation with ocriplasmin infusion for central retinal vein occlusion. *Acta Ophthalmol*. 2021;99(1):90-96.
49. Spitznas M. Motorized teleguided stereotactic micromanipulator for vitreous microsurgery. *Archives of ophthalmology* (Chicago, Ill: 1960). 1983;101(4):623-630.

50. Guerrouad A, Vidal P. SMOS: stereotaxical microtelemanipulator for ocular surgery. Paper presented at: Engineering in Medicine and Biology Society, 1989. Images of the Twenty-First Century., Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in 1989; 9–12 Nov, 1989. Seattle, WA, USA
51. Bourla DH, Hubschman JP, Culjat M, Tsirbas A, Gupta A, Schwartz SD. Feasibility study of intraocular robotic surgery with the da Vinci surgical system. *Retina*. 2008;28(1):154-158.
52. Tsirbas A, Mango C, Dutson E. Robotic ocular surgery. *Br J Ophthalmol*. 2007;91(1):18-21.
53. Ahronovich EZ, Simaan N, Joos KM. A Review of Robotic and OCT-Aided Systems for Vitreoretinal Surgery. *Adv Ther*. 2021 May;38(5):2114-2129.
54. Becker BC, Voros S, Lobes LA, Handa JT, Hager GD, Riviere CN. Retinal vessel cannulation with an image-guided handheld robot. In: 2010 Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology. *IEEE*; 2010. pp. 5420–5423.
55. Song C, Gehlbach PL, Kang JU. Active tremor cancellation by a “smart” handheld vitreoretinal microsurgical tool using swept source optical coherence tomography. *Opt Express*. 2012;20(21):23414-23421.
56. He X, Van Geirt V, Gehlbach P, Taylor R, Iordachita I. IRIS: integrated robotic intraocular snake. In: 2015 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). *IEEE*; 2015. pp. 1764–1769.
57. Wei W, Goldman RE, Fine HF, Chang S, Simaan N. Performance evaluation for multi-arm manipulation of hollow suspended organs. *IEEE Trans Robot*. 2008;25(1):147–57.
58. Yu H, Shen JH, Joos KM, Simaan N. Calibration and integration of B-mode optical coherence tomography for assistive control in robotic microsurgery. *IEEE ASME Trans Mechatron*. 2016;21(6):2613–23.
59. Maberley DA, Beelen M, Smit J, et al. A comparison of robotic and manual surgery for internal limiting membrane peeling. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2020;258(4):773–8.
60. Wilson JT, Gerber MJ, Prince SW, et al. Intraocular robotic interventional surgical system (IRISS): mechanical design, evaluation, and master–slave manipulation. *Int J Med Robot Comput Assist Surg*. 2018;14(1):e1842.
61. Rahimy E, Wilson J, Tsao TC, Schwartz S, Hubschman JP. Robot-assisted intraocular surgery: development of the IRISS and feasibility studies in an animal model. *Eye (Lond)*. 2013;27(8):972-978.
62. Chen CW, Lee YH, Gerber MJ, et al. Intraocular robotic interventional surgical system (IRISS): Semi-automated OCT-guided cataract removal. *Int J Med Robot*. 2018;14(6):e1949.
63. Üneri A, Balicki MA, Handa J, Gehlbach P, Taylor RH, Iordachita I. New steady-hand eye robot with micro-force sensing for vitreoretinal surgery. In: 2010 3rd IEEE RAS and EMBS international conference on biomedical robotics and biomechatronics. *IEEE*; 2010. pp. 814–819.
64. Kummer MP, Abbott JJ, Kratochvil BE, Borer R, Sengul A, Nelson BJ. OctoMag: an electromagnetic system for 5-DOF wireless micro-manipulation. *IEEE Trans Robot*. 2010;26(6):1006–17.
65. Alafaleq M. Robotics and cybersurgery in ophthalmology: a current perspective. *J Robot Surg*. 2023;17(4):1159-1170.



Op. Dr. Pınar KAYA

1989 yılında Ankara'da doğmuştur. Lise öğrenimini Ankara Atatürk Anadolu Lisesi'nde 2007 yılında, üniversite öğrenimini Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi'nde 2013 yılında tamamlamıştır. İhtisasını Sağlık Bilimleri Üniversitesi Ulucanlar Göz Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde yapmış ve 2018 yılında uzman olmuştur. 2018-2021 yılları arasında Zonguldak Devrek Devlet Hastanesi'nde çalışmış, 2021 yılında Ulucanlar Göz Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde göreve devam etmiştir. 2022 yılından itibaren Etlik Şehir Hastanesi Göz Hastalıkları Kliniği'nde çalışmaktadır. Türk Oftalmoloji Derneği Uvea-Behçet Birimi ve Genç Oftalmologlar Grubu aktif üyesidir.