



Nöroşirürjide Egzoskop ve Robotik Cerrahi Uygulamaları

Exoscope and Robotic Surgery Techniques in Neurosurgery

Barış ALBUZ¹, Defne ŞAHİNOĞLU², Emrah EGEMEN²

¹Trabzon Fatih Devlet Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Bölümü, Trabzon, Türkiye

²Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, Denizli, Türkiye

Yazışma adresi: Barış ALBUZ ✉ barisalbuzz@yandex.com

ÖZ

Birçok cerrahi disiplinde olduğu gibi mikronöroşirürjide de teknolojik gelişmeler ışığında kendine yer edinen robotik cerrahi ve egzoskop gibi gelişmiş görsel enstrümanlar gittikçe artan bir popüleriteye sahiptir. Bu tip aletler sayesinde cerrahi girişimlerin olabildiğince az invaziv hâle getirilmesi buna bağlı olarak da komplikasyon oranlarında belirgin azalma, hastanede yatış sürelerinde kısalma, daha yüz güldürücü kozmetik sonuçlar elde edilmesi öngörülmektedir. Hâlâ birtakım dezavantajları olan bu sistemlerin özellikle çok dar alanlarda ve uzun süreli stabil çalışmayı gerektiren kraniyal cerrahiye entegrasyonu tam olarak gerçekleşmemiş olsa da ergonomi ve cerrahi kolaylıklar açısından gelecek vadeden cihazlar mevcuttur. Bu derlemede genel olarak özelliklerinden, çeşitlerinden ve sağladığı avantaj ve dezavantajlarından bahsedilen robotik cerrahi aletler ve egzoskoplar için genel bir inceleme ve güncel veriler ışığında değerlendirmeler yapılmaya çalışılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Egzoskop, Mikroskop, Robotik cerrahi, Teknoloji

ABSTRACT

As in many surgical disciplines, advanced visual instruments such as robotic surgery and exoscope, which have gained a place in the light of technological developments in micro neurosurgery, have increasing popularity. Thanks to those types of instruments, it is foreseen that surgical interventions will be made as noninvasive as possible. Accordingly, a significant decrease in complication rates, shorter hospitalization times, and more satisfactory cosmetic results will be achieved. Although integrating these systems, which still have some disadvantages, into cranial surgery, which requires long-term work in a stable position, especially in very limited areas, has not been fully realized, they are considered promising devices by many authors in terms of ergonomics and surgical convenience. This article discusses a general review and evaluations in light of the current literature for robotic surgical instruments and exoscopes, whose properties, types, advantages and disadvantages are generally mentioned.

KEYWORDS: Exoscope, Microscope, Robotic surgery, Technology

■ GİRİŞ

Tüm alanlarda olduğu gibi tıp sektöründeki yenilikler de teknolojik gelişmeler ışığında takip edilmesi zor değişim ve gelişimlere yol açmaktadır. Bu yenilikler içinde en popülerlerinden birisi olan robotik cerrahi sistemler; göğüs cerrahisi, genel cerrahi, kulak burun boğaz cerrahisi, kadın doğum ve hastalıkları cerrahisi, üroloji, ortopedi, kalp ve damar cerrahisi, plastik cerrahi gibi branşlarda rutin ve genel

bir uygulama hâline gelmiştir. Yüksek hassasiyet gerektiren cerrahilerin yoğunlaştığı kraniyal hastalıklara uyumlu teknik ekipman gereksinimine paralel olarak nöroşirürjideki kullanım alanı da artış göstermektedir. Fakat tıp alanındaki teknolojik gelişmelerden özellikle görsel alandaki buluşlar, son yıllarda beyin ve sinir cerrahisi tarafından büyük oranda benimsenmiş ve kendine kullanım alanı yaratmıştır. Bu bağlamda cerrahi mikroskoplara ek olarak egzoskop sistemleri günümüzde bu tip cerrahiler için popüler araçlardan biri olmuştur.

Artan hasta sayısı, uygulanan cerrahi tedavinin minimal invaziv tekniklere evrilme çabası (daha az kan kaybı, daha küçük yara izi, azalan enfeksiyon riski ve kısa hastanede yatış süresi) dolayısıyla daha az komplikasyon görülme oranının amaçlanması bu tip robotik cerrahi uygulamaları ve görsel yeniliklerin keşfini zorunlu kılmıştır. Bu yenilikler günümüzde başlangıç seviyesinde olsa da beyin ve sinir cerrahisinin bazı temel sorunlarına çözüm getirebileceği ya da belirli oranda yardımcı olabileceği ön görülmektedir. Özellikle uzun cerrahi süreleri gerektiren kraniyal ameliyatlarda, operasyonun gidişatını etkileyen ergonomi ve cerrahi sırasındaki alan erişimi gibi insan faktörüne bağlı sorunların çözümünde ek yararlar sağlaması beklenmektedir.

■ TARİHÇE

Yıllar içerisinde, özellikle küçük ve riskli alanlarda çalışmak zorunda kalan beyin cerrahları için çeşitli yardımcı araçlar geliştirilmiştir. Bu gelişmelerdeki ortak amaç cerrahi tekniğin uygulanabilirliğini artırmak, normal parankima dokusuna daha az hasar vermek, ince ve dikkat gerektiren işlemlerin daha güvenilir ve hassasiyetle yapılabilmesine olanak sağlamaktır.

Beyin ve sinir cerrahisi tarihinde literatürde ilk bildirilen robotik cerrahi sistem 1985 yılında Swoh ve ark. tarafından bildirilen bilgisayarlı tomografi (BT) kılavuz stereotaktik beyin biyopsisinde kullanılan bir PUMA 200 cihazıdır (8,18,21,22). PUMA 200 cihazı ile hastalar üzerinde girişim yapılmadan önce çeşitli meyve ve sebzeler gibi objelerde pratikler yapılıyor ardından en uygun doğruluk ve güvenilirlikle hasta üzerinde hedefe yönelmesine olanak sağlanarak işlem uygulanıyordu. Cerrahi başlık sistemi ile bütünleştirilen bu robot ile ameliyat öncesi çekilen tomografi aracılığıyla yapılan ölçümler kullanılarak hastadan güvenilir bir şekilde biyopsi alınmasına olanak sağlanıyordu. Bu robot kraniyal cerrahide sabit bir bölgeden biyopsi almak için yapılmış duyarlılığı yüksek ilk cihazlardandı.

İleriki dönemlerde Neuromate (Renishaw Mayfield, Lyon, France), Pathfinder (Prosurge, High Wycombe, United Kingdom), NeuroArm (University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada), ve Renaissance (MAZOR Robotics) sistemleri kullanıma girmiştir. Neuromate Amerikan Gıda ve ilaç Dairesi (FDA) onayı alan ilk robotik sistemdir (2). Altı düzlemde (ileri/geri, sağ/sol ve yukarı/ aşağı) hareket serbestliği sağlayan kolu ile derin beyin uyarımı, endoskopi ve invaziv EEG monitörizasyonu yerleştirilmesi amacıyla çeşitli nöroşirürjikal uygulamalarda kullanılmaktadır (5). Bir diğer sistem olan Pathfinder robotu da benzer amaçlarla kullanılmaktadır. Diğer taraftan bu sistem robotik kolların yönlendirmesini Neuromate'de olduğu gibi ameliyat öncesi radyolojik görüntüleri temel alarak değil, hasta başına sabitlenmiş kamera-yansıtıcı sistemi aracılığıyla anlık ve canlı görüntüler ile sağlamaktadır. NeuroArm robotu ise stereotaksinin ötesinde imkânlar sağlaması ile bu iki sistemden ayrılmaktadır. Manyetik rezonans uyumlu bir robotik sistem olan NeuroArm ile cerrahın ayrı bir ortamdan kontrol ettiği robotik kol aracılığıyla bipolar koterizasyon, aspirasyon ve yıkama yapılabilir (7).

İleriki yıllarda stereotaksi dışında açık cerrahi girişimlerde, cerrahda meydana gelen olası tremor ve küçük alanlarda

cerrahi donanımların manevra ve manipülasyonları için daha güvenli yöntemlere ve buna yardımcı aletlere ihtiyaç duyuldu. Bu bağlamda ameliyat edilen dokuyu yakın büyütme ve cerrahi aletlerin kullanımı için kol dayama sistemleri araştırılmaya başlandı. Günümüzde en çok kullanılan görsel yardımcılardan Cerrahi Mikroskoplar, ilk olarak 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen günümüze gelene kadar birçok değişim ve gelişime uğratıldı. Özellikle operasyon sırasındaki hareket kısıtlılığı, erişim sorunu ve maliyet konusunda belirli dezavantajları olsa da cerrahi anatomiye büyütme ve aydınlatmada en popüler araçlardan biri oldu. Cerrahi alan açıklığının görüşü yalnızca ameliyat eden ve yardımcı cerrahlarla sınırlanması, aynı zamanda cerrahları rahatsız edici bir duruş sürdürmeye zorlaması ve böylece intraoperatif yorgunluğu teşvik etmesi, alternatif bir görüntüleme teknolojisinin araştırılmasını gerekli kıldı. Bu ihtiyaçlardan doğan yeni teknoloji, mikroskopun avantajlarını korurken, bahsi geçen zorluklara da çözüm üretmeliydi ve böylece yakın zamanda ekstrakorporeal teleskoplar (egzoskop) oluşturuldu (14). Tüm bu gelişmelere rağmen özelliikli işlemlerde daha yüksek hassasiyet ve güvenli hareket kabiliyetinin cerrahlara daha fazla kolaylık sağlayacağı düşüncesi robotik cerrahi ve görsel aletlerde gelişmelerin devam etmesine olanak sağladı.

Uzay sanayisinde kullanılmak üzere üretilen tele robotlar ile bahsi geçen hassasiyet ve güvenli cerrahi üzerine yapılan çalışmalarda, cerrahi aletlerin daha hassas konumlandırılması, el titremesinin önüne geçilmesi, dokunsal etki ile oluşan kuvvetin robotik kollarla iletilmesi ve bilgisayar sistemleri ile belirli cerrahi alanlarda aletlerin hareket imkânının sağlanması, robot destekli mikrocerrahi sistemin zor ve karmaşık girişimlerde yapılan işlemin etkinliğini daha da artırmasına olanak sağladığı görüşünü akıllara getirdi (1). Tıp camiasındaki bu tip robotik gelişmeler, işlem yapan cerrahın fiziksel ve zihinsel zorlukları atlama konusunda yardımcı olacağı gibi aynı zamanda normal dokunun da daha az hasar almasını sağlayacaktı. Pozitif etkilerinin yanında dezavantajlarının da olduğu bu sistemlerle ilgili Das ve ark. yaptığı çalışmada; cerrahi hızını yavaşlattığı ve belirli bir tremor filtresinden sonra işlemi daha da zorlaştırdığı görüldü (1).

Robotik cerrahi konusunda gelen son noktada karşımıza çıkan Da Vinci Robotik Cerrahi sistemleri ise 1995 yılında kurulan Intuitive firması tarafından geliştirilen bir sistemdir ve 2017 yılında 4400'den fazla cerrahi sistemle yaklaşık 5 milyondan fazla cerrahi girişime olanak sağlamıştır. Şu an dünya genelinde kullanımı en yaygın olan robotik cerrahi sistemidir. İlk olarak kadın doğum ve üroloji alanında kullanıma sunulan Da Vinci Robotu ilk olarak 2 kol ve 1 kamera sistemi ile başlayan gelişme sürecinde 4 kol ile 7 eklem hareketine olanak sağlayan ergonomik yapısıyla 3 boyutlu görüntü ve uzaktan minimum gecikme ile sağlanan bağlantı teknolojisi ile henüz tam gerçekleşmemiş olsa da nöroşirürjide de kendine yer bulacağı öngörülmektedir.

■ ROBOTİK CERRAHİ AVANTAJLARI ve DEZAVANTAJLARI

Beyin ve sinir cerrahisinde günümüzde Da Vinci Robotik Sistemleri, üst servikal bölge tümörleri, spinal kapanma defektle-

rinin intrauterin tamiri gibi alanlarda hâlihazırda kullanılmakla birlikte kafa tabanı cerrahisi ve vasküler patolojiler için de uygun olabileceği düşünülmüştür (10,16). Pediyatrik nöroşirürjide kullanımı özellikle sendromik kraniyosinostoz hastalarında orta ve ön yüz ilerletme cerrahisinde 2015 yılından beri etkin olarak kullanılmaktadır. Ortalama 1,5 yaşındaki 18 çocuk üzerinde yapılan bir çalışmada robotik cerrahi ile uygulanan girişimler büyük oranda yüz güldürücü olarak bildirilmiştir (23).

Cerrahin diğer sistemlere kıyasla ergonomik olarak daha uygun bir pozisyonda çalışabilmesine olanak sağlaması, bu sayede hata oranı ve uzayan cerrahilerdeki yıpranma miktarını en aza indirmesi, tremoru azaltması ve diseksiyona yardımcı olması cerrahi başarı oranlarını yükseltebilmektedir. Robotik kollardaki kamera sistemleri operasyon bölgesinin daha net ve yüksek keskinlikle izlenmesini ve ameliyat yöntemlerinin daha kolay ve etkili yapılabilmesini sağlamaktadır. Yine birden fazla kol ve dolayısıyla çok sayıda alet ile çalışmaya olanak sağladığından insan becerisi ile yapılması mümkün olmayan karmaşık tekniklerin uygulanabilmesine izin vermektedir. Geometrik olarak daha doğru ve net cerrahi onarımlar yapılabileceğinden, fonksiyonel ve kozmetik anlamda daha yüz güldürücü sonuçlar elde edilebilmektedir. Yine operasyonda kullanılan bu cerrahi kollar insan eline göre daha efektif şekilde dezenfekte edilebildiğinden ve biyolojik risk taşımadığından, cerrahi sahanın daha steril ve güvenli tutulmasını sağlamaktadır. Özellikle yüksek radyasyona maruz kalınan çok tekrarlı skopi çekimlerinin eşlik ettiği girişimlerde ortamda bulunulmasının zorunluluğunu ortadan kaldırdığından cerrah ve yardımcı personel için güvenli bir alan yaratmaktadır.

Tüm bu olumlu yanlarına rağmen özellikle kranial cerrahilerde operasyonların çok küçük bir açıklıktan yapılmak zorunda olması, cerrahi aletlerin hasta açısından güvenli olmayan yapıların etrafından dolaşmak zorunda olması ve hedef dokunun komşuluğunda önemli yapıların çevresinden müdahale gereken durumlarda eğimli cerrahi aletlere gerek olması gibi sebeplerle ortaya çıkan hesaplama yükü mevcut sistemlerin sınırını zorlayabilmektedir. Kafa tabanı ve omurga cerrahisinde en sık kullanılan aletlerden biri olan yüksek devirli drill sisteminin hâlâ robotik sistemlerle bütünleşmemiş olması yine dezavantajları arasında sayılabilir. Bir nöroşirürji uzmanının cerrahi sırasında kullandığı aletlerle ya da doğrudan parmakları ile hissettiği dokunma hissinin (haptik uyarı) bu tür sistemlerde bulunmayışı ve bazı durumlarda robotik sistemlerin kollarında çaprazlanma ve kilitlenmelerin olabilmemesi, ciddi öneme sahip dokularda yapılan işlemler sırasında tamiri mümkün olmayan hatalara yol açabileceğinden hâlen bu tip teknolojilerde çözülmesi gereken sorunların var olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır.

■ EGZOSKOP

Mikronöroşirürjide kullanılan görsel cihazlar planlanırken; büyütme gücü, aydınlatma, geniş görüş alanı sağladığı etkinliği, ergonomi ve cerrahi sırasındaki alan erişimi açısından değerlendirilir ve oluşturulurlar. Günümüze kadar en sık kullanılan görsel yardımcıardan birisi olan cerrahi mikroskopların görüşü yalnızca ameliyat eden ve yardımcı cerrahlarla sınırlanması, aynı zamanda cerrahları rahatsız edici bir duruş

sürdürmeye zorlaması ve böylece intraoperatif yorgunluğu teşvik etmesi, alternatif bir görüntüleme teknolojisini gerektirmiştir. Egzoskop sistemi, cerrahi alanın yüksek çözünürlüklü görüntüsünün iki boyutlu veya üç boyutlu yüksek çözünürlüklü monitöre yansıtılacağı şekilde vücut boşluğunun dışına yerleştirilmiş bir dürbünden oluşur. 3 boyutlu (3B) egzoskop sisteminin kraniyal ve spinal ameliyatlara gibi çok sayıda beyin cerrahisi işleminde kademeli olarak uygulanması, bunun cerrahi mikroskoplara ek alternatif güvenli ve etkili olduğunu ortaya koymuştur (6). Son zamanlarda yapılan bazı klinik çalışmalar (11), 3B egzoskopun aydınlatmayı ve büyütme koruduğunu ve aynı zamanda ergonomik olarak daha uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca 3B egzoskop, ameliyathanede bulunan tüm bireyler için yüksek kaliteli görüntü sunarak, eğitim alanları için de önemli bir araç olma potansiyeli göstermiştir.

Bugüne kadar, beyin cerrahisi kullanımı için 4 egzoskop sistemi mevcuttur: VITOM (Karl Storz, Tuttlingen, Almanya), KINEVO (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Almanya), Modus V ve ORBEYE (Olympus, Tokyo, Japonya). Benzerliklerinin yanında belirgin farklılıkları da bulunan bu 4 platformu özetleyen ve kıyaslayan kısa bir tablo ekte belirtilmiştir (Tablo I). VITOM esasen bir pnömatik kol kullanılarak konumlandırılabilen, yükseltmiş optiklere sahip bir endoskop görevi görür. Buna karşılık Modus V ve ORBEYE yüksek çözünürlüklü ekrana yansıtma ile manuel olarak manipüle edilebilen bağımsız tabanlara monte edilmiş egzoskoplardır. ORBEYE 3B ve 4K kaliteleri sunarken, 2 boyutlu (2B) Modus V gelişmiş robotik navigasyon desteği ve kortikal traktografi sunar. Son olarak, KINEVO gelişmiş cerrahi görselleştirme ve planlama için sayısız potansiyel eklenti birleşik bir mikroskop ve egzoskop görevi görür. Tüm cihazlarda oda kurulumu, kasa tipine ve konumlandırmaya bağlıdır ve bu etmenlere bağımlı olarak biraz değişebilir (9).

Ameliyathane kurulumuna bakıldığında egzoskop kullanımında en efektif olduğunu düşündüğümüz düzen (Şekil 1); doğrudan cerrahin önünde yaklaşık 2 ila 3 m mesafede bir izleme ekranı, çoğunlukla primer cerrahin sağ ya da sol tarafında konumlanmış egzoskop, tüm işlem boyunca cerrah tarafından kullanılan ekipmana ait enstrümanlar, aspirasyon eksenine hizalanan kamera takibi, sağ ayak tarafından düğmelerle çalıştırılan ayak pedali (hareket aktivasyonu, yakınlaştırma/uzaklaştırma, otomatik odaklama açık/kapalı) şeklindedir.

■ EGZOSKOP AVANTAJLARI ve DEZAVANTAJLARI

Görsel kalite ile ilgili olarak, üç boyutlu herhangi bir egzoskop, 4K çözünürlük ve hatta ultra HD çözünürlük (kullanılan monitöre bağlı olarak) özelliğine sahiptir. Düşük çözünürlük, başlangıçta egzoskopik sistemlerin negatif özelliği olmasına rağmen, şu anda hem 2B hem de 3B egzoskop (Şekil 2) sistemleri genellikle bir cerrahi mikroskopununkine eşdeğer veya daha yüksek çözünürlüğe sahiptir (19,20). Cerrahi alanın aydınlatılması ile ilgili olarak, bir egzoskopun LED ışık kaynağı, mikroskopta kullanılan halojen ampullerden daha az ısı üretir (12,15). Bunun, cerrahi alandaki dokularda termal hasarı azaltabileceği düşünüldüğünde, dikkate değer bir avantaj olduğu görülebilir. Bir diğer kayda değer avantaj, egzoskopun LED aydınlatmasının cerrahi alanda daha doğru bir renk kontrastı sunmasıdır. Bu, ameliyat alanının mikro ve

Tablo I: Temel Egzoskopik Platform Seçeneklerinin Kısa Açıklamaları

Platform	VITOM	KINEVO	ORBEYE	Modus V
İçeriği	Egzoskop	Mikroskop + Egzoskop + Endoskop	Egzoskop	Egzoskop
Eklentiler	Pnömatik kol, navigasyon		Navigasyon	
Optik özellikleri	3B, HD, 4K	3B, HD, 4K	3B, HD, 4K	2B, HD
Odak uzaklığı, yakınlaştırma gücü	20-50 mm/8-30x	200-625 mm/10x	220-550 mm/26x	650mm/12.5x
Maliyet (tahmini)	200.000\$	1.500.000\$	400.000\$	1.000.000\$
Ek özellikler	ICG	Birleşik navigasyon, ICG, QEVO skopi, floresan, akış değerlendirme		Birleşik navigasyon, traktografi
Şirket	Karl Storz SE and Co KG, Tuttlingen, Germany	Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany	Olympus, Tokyo, Japan	Synaptive Medical, Toronto, Canada

ICG: Indocyanine green, QEVO skopi: Cerrahi alanın hızlı endoskopik görüntülerini sağlayan entegre bir endoskop.



Şekil 1: Kranial cerrahi için intraoperatif kurulum (VITOM) (Pamukkale Üniversitesi Beyin ve Sinir Cerrahisi AD arşivinden alınmıştır).



Şekil 2: Gözlük aparatı ile derinlik algısının korunduğu 3B görüntü kalitesine ulaşılabilen egzoskop teknolojisi.

makro görünümüleri arasında geçiş yaparken yapıların daha kolay tanınmasına izin verdiği için cerrah için potansiyel olarak faydalıdır. 3B egzoskop sistemlerinin önemli avantajlarından birisi de cerrahi alanın 3B görünümünü sağlamasıdır. Literatürde 2B egzoskopların derinlik algısında önemli ölçüde sınırlı olduğu belirtilmiş olsa da, bu sınırlama mevcut 3B egzoskop sistemlerinde giderilmiştir (3).

Kullanıcı rahatlığı ve ergonomi, bir cerrahi mikroskop ile karşılaştırıldığında 3B cerrahi egzoskopun belki de en önemli avantajıdır. Bir mikroskopta kullanıcı pozisyonu, cerrahın boynunun uzun süreler boyunca belirli pozisyonlarda bükülmesini ve gerilmesini gerektirirken egzoskop, işlem süresince cerrah tarafından istenilen herhangi bir pozisyonun veya duruşun alınmasına olanak sağlar. Ayrıca bu konfor avantajı, mikroskopun diğer göz merceğine birincil cerrah tarafından dikte edilen rahatsız edici bir pozisyonda bakacak olan birinci asistanı da kapsar. Ek olarak bir 3B cerrahi egzoskopun teleskopik tasarımı, cihazın ameliyat alanının yukarısında asılı kalmasına olanak tanır. Bu, işlem sırasında cerrahi aletlerin daha rahat manevra kabiliyetinin yanı sıra ameliyat alanı boyunca daha net bir görüş yolu nedeniyle cerrahın ameliyat hemşiresi ve asistan ile daha kolay iletişim kurmasını sağlar (17). Mikroskopun cerrahi alana yakınlığı, ameliyat alanında hem fiziksel hem de görsel yolları yaygın olarak engellediği için şu anda açıkça bir dezavantajdır. Bu genellikle cerrahın aletlerinin rahat değişimine engel olur, cerrahi mikroskop çevresinde ameliyathane içi yeniden düzenleme ihtiyacını doğurur ve cerrahın dominant eline bağlı olarak daha da karmaşık olabilir. Diğer bir fayda, egzoskopların sterilize edilebilmesidir, bu da mikroskop için gerekli olan ameliyat sırasında steril örtü yerleştirme ihtiyacını ortadan kaldırır.

Bir 3B egzoskopun diğer bir avantajı da potansiyel olarak eğitim ve öğretime daha elverişli oluşudur. Bir egzoskop ile yapılan operasyonda, cerrahın monitöre ve ameliyathanenin büyük bir kısmına hâkim olmasına izin verilir, ameliyathanedeki personelin kontrolünü sağlamakta zorlanmaz ve kursiyerleri işlemi izlemeye ve cerrahiye dâhil etmeye daha elverişli hâle getirir. Artan görüş açısı aynı zamanda birden fazla cerrah arasında daha kolay işbirliğine dayalı fikir alışverişine olanak tanır ve cerrahi asistanları ve ameliyathane hemşireleri ile daha anlamlı görsel iletişime fırsat verir. Egzoskop kullanımının uygulandığı ortamlarda ameliyathane personeliyle yapılan bir ankette, personelin ameliyathane boyunca yapılan işe daha fazla dâhil olduğunu ve mikroskop kullanımına kıyasla ameliyatın tamamı boyunca daha fazla yardımcı olma becerisine sahip olduğunu göstermiştir. Bu fayda, izleyen tıp öğrencilerini de kapsar. Ayrıca mikroskopta doğrudan oküler merceğe bakıldığı için cerrah ve asistanın ameliyathanenin geri kalanıyla çoğu zaman bağlantısı kesilir. Bu nedenle, bir cerrah çevresindeki kursiyerlerden habersiz olabilir ve bu da değerli öğretim fırsatlarının kaçırılmasına neden olabilir. Ek olarak, mikroskop monitörü ile yapılan cerrahilerde mikroskoplar cerrahi alanın makroskopik görünümünü belirgin şekilde engellediğinden, cerrahın elleriyle yaptığı manevraları ve enstrümanların kullanılış şekillerini kursiyerler net olarak izleyemez. Egzoskop kullanılan vakalarda bu dezavantaj ortadan kalkar (4).

Egzoskop kullanımının güncel bir faydası da, kişisel koruyucu cihazların yaygın olarak uygulanmasının birçok hastane merkezinde bir zorunluluk hâline geldiği korona virüs 2 (SARS-CoV-2) pandemi durumunda acil operasyonlar sırasında gözlükler, yüz siperleri veya alınan bariyer önlemleri, ameliyatların mikrocerrahi kısmı için çıkarılması gerektiğinden, mikroskop kullanımını zorlaştırmaktadır (4). Koruyucu gözlüklerinin kullanımı cerrahın isteği doğrultusunda egzoskopun 3B görüntülerde kullanılan gözlüklerle birlikte kullanılabilmesinden bu gibi acil operasyonlarda primer cerrah ve yardımcı personelin güvenliği konusunda da belirgin avantaj sağlamaktadır (4).

3B egzoskopların görüntü kalitesi ve 3B görüş gibi gelişmiş görsel yönleri göz önüne alındığında, teknik dezavantajlar minimum düzeydedir. Başlangıçta, 2B egzoskoplar tanıtıldığına, derinlik algısı veya stereopsis eksikliği gibi önemli bir sınırlamaya sahiptiler. Ardından eklenen 3B özelliği, 3B gözlük kullanımıyla mükemmel bir derinlik algısı sağladı. 3B egzoskopun bu yönünün bir dezavantajı, cerrahların operasyon sırasında uzun süreli 3B gözlük kullanımından dolayı baş dönmesi, baş ağrısı ve belirgin göz yorgunluğu çekmeleri olarak sıralanabilir (24). Ek olarak, egzoskop sistemlerinin yukarıda bahsedilen LED aydınlatma kaynağının da bir dezavantajı vardır, çünkü ışık kaynağının çalışma alanından uzak mesafesi bazen uygun çözünürlüğü korumak için ek aydınlatmanın eklenmesini gerektirir.

Ameliyat süresinin uzaması gibi başka bir dezavantaj egzoskoplar için düşünülebilir. Bu, cerrahların elleriyle aynı hızda olmayan bir monitörü izlerken dolaylı görme taktikleri ve manevra yapma becerilerini geliştirme ihtiyacını ortaya çıkarır. Egzoskop konusunda deneyimli beyin cerrahları olağanüstü el-göz koordinasyonuna sahip olabilirken, doğrudan hareket düzlemine bakmadan bu tür hareketleri koordine etme ihtiyacı, yeni başlayan ya da nispeten daha az deneyime sahip olan cerrahlarda taktiksel karmaşıklığa neden olabilir.

Egzoskopun intraoperatif olarak yeniden konumlandırılması konusunda hantal oluşu da bir sınırlama olarak tanımlanabilir. Egzoskop, cerrahların hareketlerinin ekrandaki hareketleri ile oryantasyonuna paralel olarak gerçekleşmesi için hassas bir dönüş ayarı gerektirir. Ayrıca bir egzoskopu yeniden konumlandırmak, tek elle rahat bir manipülasyona izin veren bir mikroskopu ayarlamaktan şu anda daha karmaşık ve zaman alıcıdır.

3B egzoskop sistemlerinin maliyeti 250.000 – 1.500.000\$ arasında geniş bir aralığa sahiptir. Bir cerrahi mikroskopun satın alım maliyeti ile karşılaştırıldığında her ne kadar bir dezavantaj gibi görünse de daha yüksek cihaz karmaşıklığı göz önüne alındığında, mikroskop için onarım ve depolama maliyetleri biraz daha yüksek olabilir. Ek olarak, ameliyat sırasında mikroskopun steril örtülmesi için sürekli kılıf gereksinimi önemli bir maliyettir. Bir mikroskop için sadece steril örtülerin beyin cerrahisi merkezlerine yıllık maliyeti 130.000 \$'dır (13). Bu, sterilize edilebilen ve dolayısıyla örtü gerektirmeyen egzoskop sistemlerine kıyasla büyük bir dezavantajdır.

Egzoskop teknolojisindeki son gelişmeler, robotik cerrahi alanında gelecekteki olası ilerlemeye ışık tutmaktadır. Şu anda Modus V egzoskoplar, robotik kol ve ışık kaynağının

baskın olmayan el tarafından yönlendirilen aspiratörü takip etme ve operasyon sahasını otomatik odaklama dahil olmak üzere çeşitli robotik işlevlere sahiptir (4). Gelecekte de 3B egzoskoplarda otomatik robot destekli hareketlerin ve sesle etkinleştirilen işlevlerin iyileştirilmesi, beyin cerrahisi kullanıcı deneyimini geliştirecek ve devrim yaratmaya devam edecek gibi görünmektedir.

■ SONUÇ

Henüz sınırlı sayıda yapılmış olan çalışmalar göz önüne alındığında egzoskop, çalışma ortamı ergonomisi ve cerrahi alanın erişilebilirliği açısından mikroskoba göre avantajları olan yenilikçi bir görselleştirme aracıdır. Bununla birlikte, görüş alanı, aydınlatma ve kullanım kolaylığı açısından elbette bir takım iyileştirmeler gerekebilir. Egzoskopun cerrahin yorgunluğunu azaltıp azaltmayacağı, hatta yeni tekniklere veya daha iyi sonuçlara izin verip vermeyeceği, daha fazla kullanıcı deneyimlerini bildirdikçe zaman içinde gösterilecektir. Günümüzde robotik cerrahi ile birlikte çok sınırlı olsa da, sağlayacağı olası avantajlar düşünüldüğünde bu yönde yürütülen çalışmaların daha da hız kazanacağını kestirmek zor değildir.

■ KAYNAKLAR

- Das H, Zak H, Johnson J, Crouch I, Frambach D: Evaluation of a telerobotic system to assist surgeons in microsurgery. *Comput Aided Surg* 4(1):15-25, 1999
- Doulgeris JJ, Gonzalez-Blohm SA, Filis AK, Shea TM, Aghayev K, Vrionis FD: Robotics in neurosurgery: Evolution, current challenges, and compromises. *Cancer Control* 22:352-359, 2015
- Evans JJ, Kenning TJ, Farrell C, Kshetry VR: *Endoscopic and Keyhole Cranial Base Surgery*. New York, NY: Springer, 2019
- Fiani B, Jarrah R, Griep DW, Adukuzyiyil J: The role of 3D exoscope systems in neurosurgery: An optical innovation. *Cureus* 13(6):e15878, 2021
- Haegelen C, Touzet G, Reyns N, Maurage CA, Ayachi M, Blond S: Stereotactic robot-guided biopsies of brain stem lesions: Experience with 15 cases. *Neurochirurgie* 56:363-367, 2010
- Herlan S, Marquardt JS, Hirt B, Tatagiba M, Ebner FH: 3D exoscope system in neurosurgery—comparison of a standard operating microscope with a new 3D exoscope in the cadaver lab. *Oper Neurosurg* 17(5):518-524, 2019
- Küçükyürük B, Çalış F: Nöroşürji'de robotik cerrahi kullanımı. *Türk Nöroşir Derg* 28(3):345-349, 2018
- Kwoh YS, Hou J, Jonckheere E, Hayati S: A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery – *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on. IEEE Trans Biomed Eng* 35(2):153-160, 1988
- Langer DJ, White TG, Schulder M, Boockvar JA, Labib M, Lawton MT: Advances in intraoperative optics: A brief review of current exoscope platforms. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 19(1):84-93, 2020
- Marcus HJ, Seneci CA, Payne CJ, Nandi D, Darzi A, Yang GZ: Robotics in keyhole transcranial endoscope-assisted microsurgery: A critical review of existing systems and proposed specifications for new robotic platforms. *Neurosurgery* 10 Suppl 1:84-95, 2014 discussion: 95-96
- Montemurro N, Scerrati A, Ricciardi L, Trevisi G: The exoscope in neurosurgery: An overview of the current literature of intraoperative use in brain and spine surgery. *J Clin Med* 11(1): 223, 2021
- Muhammad S, Lehecka M, Niemela M: Preliminary experience with a digital robotic exoscope in cranial and spinal surgery: A review of the Synaptive Modus V system. *Acta Neurochir (Wien)* 161:2175, 2019
- Murphy L: Cost/benefit study of reusable and disposable OR draping materials. *J Healthc Mater Manage* 11:44-48, 1993
- Nishiyama K: From exoscope into the next generation. *J Korean Neurosurg Soc* 60(3):289, 2017
- Panchal S, Yamada Y, Nagatani T, Watanabe T, Kishida Y, Sayah A, Kato Y: A practice survey to compare and identify the usefulness of neuroendoscope and exoscope in the current neurosurgery practice. *Asian Neurosurg* 15:601-607, 2020
- Perez-Cruet MJ, Welsh RJ, Hussain NS, Begun EM, Lin J, Park P: Use of the da Vinci minimally invasive robotic system for resection of a complicated paraspinal schwannoma with thoracic extension: Case report. *Neurosurgery* 71:209-214, 2012
- Piquer J, Llacer JL, Rovira V, Riesgo P, Rodriguez R, Cremades A: Fluorescence-guided surgery and biopsy in gliomas with an exoscope system. *Biomed Res Int* 2014:207974, 2014
- Rocco B, Albo G, Coelho RE: From Leotards to Da Vinci: The history of robot-assisted surgery in urology. *SRI Int* 108(11):1714-1714, 2011
- Rossini Z, Cardia A, Milani D, Lasio GB, Fornari M, D'Angelo V: VITOM 3D: Preliminary experience in cranial surgery. *World Neurosurg* 107:663-668, 2017
- Sack J, Steinberg JA, Rennert RC, Hatefi D, Pannell JS, Levy M, Khalessi AA: Initial experience using a high-definition 3-dimensional exoscope system for microneurosurgery. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 14:395-401, 2018
- Shah J, Vyas A, Vyas D: The history of robotics in surgical specialties. *Am J Robot Surg* 1(1):12-20, 2014
- Tan A, Ashrafian H, Scott AI, Mason SE, Harling L, Athanasiou T, Darzi A: Robotic surgery: Disruptive innovation or unfulfilled promise? A systematic review and meta-analysis of the first 30 years. *Surg Endosc* 30(10):4330-4352, 2016
- Udayakumaran S, Krishnadas A, Subash P: Robot-assisted frontofacial correction in very young children with craniofacial dysostosis syndromes: A technical note and early functional outcome. *Neurosurgical Focus* 52(1):E16, 2022
- Wanibuchi M, Komatsu K, Akiyama Y, Mikami T, Mikuni N: Effectiveness of the 3D monitor system for medical education during neurosurgical operation. *World Neurosurg* 109: e105-e109, 2018