



Nöroşirürji Operasyon Mikroskoplarındaki Gelişmeler: Yeni Görüntüleme Teknikleri ve Eklentiler

Advances in Neurosurgery Operating Microscopes: Novel Imaging Techniques and Accessories

Kardelen UTANGEÇ, Mustafa ŞAHİN, Cihan URGAN, Ömer Batu HERGÜNSEL

Şişli Hamidiye Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

Yazışma adresi: Kardelen UTANGEÇ ✉ kardelenutangece@gmail.com

ÖZ

Nöroşirürjide operasyon mikroskoplarındaki gelişmeler son dönemlerde büyük hız kazanmıştır. Uzun süren operasyonlar sırasında iş akışını kesintiye uğratmayacak, fiziksel yorgunluğu en aza indirecek, ergonomik ve kolay yönlendirilebilir ideal bir tasarım arayışı sürmektedir. Bunun yanı sıra, intraoperatif görüntüleme tekniklerindeki yenilikler, cerraha operasyon sırasında tümör dokusu ve sağlıklı dokunun ayırımı, vasküler yapıların devamlılığının korunması gibi konularda bilgi sağlamaktadır. Donanımsal gelişmeler ve eklentiler, özellikle derin alanlarda çalışırken karanlık noktaların ve anatomik köşelerin görüntülenmesi gibi güçlüklerin aşılmasına yardımcı olmaktadır. Günümüzde operasyon mikroskopları, yalnızca çalışma sahasını aydınlatan ve büyüten optik bir aygıt olmanın daha ötesine evrilmiş olup, yeni görüntüleme sistemleri ile endoskop ya da mikroişpeksiyon cihazları gibi ek görüntüleme araçlarından gelen verileri birleştirerek bir arada sunan bir çalışma istasyonu hâline gelmiştir. Beyin cerrahisindeki en önemli çalışma araçlarından biri olan operasyon mikroskoplarındaki bu gelişmeler, gelecekte daha hızlı ve daha güvenli cerrahi uygulamalarına ve daha iyi klinik sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Nöroşirürji operasyon mikroskobu, İntraoperatif görüntüleme, Florescin mikroskopi

ABSTRACT

Developments in neurosurgical operating microscopes have gained great momentum in recent years. The search continues for an ideal ergonomic and easily controllable design that will not interrupt the workflow during long-lasting operations and will minimize physical fatigue. In addition, innovations in intraoperative imaging techniques provide the surgeon with information such as discriminating tumor tissue from healthy tissue and preserving the continuity of vascular structures. Hardware developments and accessories help overcome difficulties such as imaging behind anatomical corners and dark spots, especially when working in deep-seated areas. Today, operating microscopes have evolved beyond being just an optical device that illuminates and magnifies the workspace and have become a workstation that combines data from new imaging techniques and additional imaging tools such as endoscopes and microinspection devices. These developments in operating microscopes, one of the most important working tools in neurosurgery, will enable faster and safer surgical applications and better clinical results in the future.

KEYWORDS: Neurosurgery operating microscope, Intraoperative imaging, Fluorescein microscopy

■ GİRİŞ

Mikrocerrahi, operasyonlarda mikroskobun ve berabesinde özelliği cerrahi aletlerin kullanımını kapsayan bir terimdir. Operasyon mikroskobu olarak da bilinen cerrahi mikroskop, ameliyathane koşullarında kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmış bir optik aygıttır.

Kompleks mikroskop 1590'da icat edilmiş ve 17. yüzyılın sonlarında yaraların ve yara izlerinin incelenmesi için kullanılmış olmasına rağmen, renk tonları ve küresel sapmalar ile ağırlık, büyük boyut ve düşük görüntü kalitesi gibi çeşitli sınırlamaları vardı. Daha sonra monoküler ve binoküler mikroskoplar, tripodlar ve ekli ışık kaynakları ile birleştirildi ve çeşitli incelemeler için kullanıldı. 1921'de Stockholm Üniversitesi'nde genç bir kulak burun boğaz cerrahi olan Carl Olof Nylén, kronik otitli bir hastayı ameliyat ederken Brinell-Leitz tarafından geliştirilmiş monoküler bir mikroskop kullandı ve bu işlem, ameliyathanedeki ilk cerrahi mikroskop kullanımı olarak tarihe geçti. Bir yıl sonra Gunnar Holmgren, bu fikri daha ileriye taşıyarak ışık kaynağına bağlı bir binoküler mikroskop geliştirdi. Binoküler mikroskop, monoküler mikroskopta elde edilemeyen derinlik algısını sağladı ve eklenen ışık kaynağı, artan büyütme ile görüntünün loşluğunun üstesinden gelindi.

Nöroşirürji pratiğinde mikroskobun ameliyathanedeki kullanımı ilk olarak 1957 yılında Kurze tarafından gerçekleştirilmiştir. 1970'lerden sonra Yaşargil'in mikroskopların hantallığı ile mücadele edecek yeni yöntemler geliştirmesi sayesinde mikroskobun hareket yeteneğini bozmadan stabilitesinin sağlanmasına yönelik, daha gelişmiş süspansiyon sistemlerine ve elektromanyetik frenlere sahip modeller tasarlanmıştır (12,25).

Sodyum floreseinin beyin tümörlerinin saptanmasındaki kullanımı 1948 yılına kadar uzansa da, özel olarak geliştirilmiş bir operasyon mikroskobu filtresi eşliğinde uygulanan sodyum floreseinin ve 5-aminolevulinik asit (5-ALA) gibi görüntüleme yöntemleri, nöroşirürji ameliyathanelerine 1990'ların sonunda girmiştir. Bunu takiben 2000'lerin başında indosiyanın yeşili (indocyaninegreen-ICG) videoanjiyografi, özellikle vasküler girişimlerde intraoperatif görüntüleme için büyük bir adım olmuştur (10,14,19,23).

Tüm bu teknik gelişmelere karşın, ideal bir operasyon mikroskobu geliştirme arayışı sürmektedir. Beyin cerrahisi operasyon mikroskoplarının tasarımında aşılması gereken bazı güçlükler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Dar ve derin kavimlerde çalışırken farklı anatomik yapıların ayrımını sağlayacak yeterli aydınlatmanın sağlanması ve anatomik köşelerin arkasında kalan yapıların izlenebilmesi
- Tümör rezeksiyonu sırasında sağlıklı doku ile tümör dokusu arasında ayırım yapılabilmesi
- Başta nörovasküler cerrahi uygulamaları olmak üzere serebral kan akımının devamlı ve yeterli olduğunun gösterilebilmesi
- Uzun süren operasyonlar sırasında cerrahin hareketlerinin akıcı şekilde sürdürülebilmesi ve fiziksel yorgunluğun önlenmesi için hantal olmayan, kolay yönlendirilebilir ve ergonomik bir tasarım sağlanması

Günümüzde operasyon mikroskopları, yalnızca operasyon sahasını büyütürken ve aydınlatarak cerraha daha hassas çalışma olanağı sunan bir araç olmaktan, farklı görüntüleme tekniklerini birleştirerek birden çok kanaldan cerraha bilgi sunan bir çalışma istasyonuna evrilmiştir. Bu evrimin sonucunda, yeni kuşak nöroşirürji operasyon mikroskopları, tümör sınırlarının yeni görüntüleme teknikleri ile ayırt edilmesini; serebral kan akımının devamlılığının kontrol edilebilmesini; doğrudan görüntüleme olanağı olmayan anatomik köşelerin ötesine bakabilmeyi; endoskop, intraoperatif ultrason gibi diğer araçlardan gelen görüntüleme verilerini mikroskobun objektifinden gelen verilerle entegre edebilmeyi sağlamaktadırlar. Bu bölümde beyin ve sinir cerrahisinde halihazırda kullanıma girmiş ya da öncü çalışmaları yapılan yeni görüntüleme sistemleri ve donanımlara değinilecektir.

■ MULTİSPEKTRAL FLORESAN MİKROSKOPİ

Operasyon mikroskobu altında indosiyanın yeşili (indocyaninegreen- ICG), sodyum floreseinin (NaFl) ya da 5-aminolevulinik asit (5-ALA) gibi floresan ajanlara özel dalga boyu filtreleri kullanılarak vasküler yapıların devamlılığının gösterilmesi ya da tümör dokusunun görüntülenmesi, son yirmi yıldır giderek artan bir biçimde nöroşirürji pratiğinde kullanılmaktadır. Başlangıçta harici monitörlere aktarılan bu floresan görüntüsü, daha sonraki mikroskop modellerinde objektife entegre edilen filtreler yardımıyla doğrudan mikroskobun oküler parçasına yansıtılmış, böylece cerrahın başka bir ekrana bakmadan görüntüyü takip edebilmesi amaçlanmıştır. Ancak filtre altında çalışırken karanlıkta kalan çevre yapıların daha iyi görüntülenebilmesi için cerrah beyaz ışık ile floresan filtresi arasında geçiş yapmak zorunda kalmakta ve bu da cerrahi akışı olumsuz yönde etkilemektedir. Örneğin konvansiyonel ICG görüntüleme sırasında kızılötesi dalga boyunda algılanan görüntü, kızılötesi kamera görüntüleme sistemi yardımı ile gözün görebildiği dalga boyuna dönüştürülür. Bu sebeple görüntü eş zamanlı değildir ve çevre anatomik yapıların net görüntülenmesine olanak sağlamayan siyah beyaz bir görüntü elde edilir.

Bu sorunun üstesinden gelmek için beyaz ışık kaynağı ve floresan görüntüsünü eşleştirerek bir artırılmış gerçeklik görüntüsü oluşturan mikroskop sistemleri geliştirilmiştir. Leica firması tarafından geliştirilmiş olan ve M530 OHX mikroskop modeline adapte edilebilen ARveo Glow800® sistemi (Leica Microsystems, Wetzlar, Almanya), beyaz ışık altında elde edilen görüntüyü ve ICG filtresinden elde edilen verileri eş zamanlı olarak işleyen bir yazılım kullanarak hem yeterli aydınlatmanın sağlandığı hem de vasküler yapıların görüntülenebildiği bir bileşik görüntü oluşturmaktadır (1,2). Böylece operasyon sırasında cerrah, beyaz ışık ile filtre arasında geçiş yapmadan kesintisiz olarak çalışabilmektedir (Şekil 1).

Kadavralardaki intrakraniyal anevrizma modelleri ve hayvan modellerinde yapılan çalışmaların ardından (15) ARveo Glow800® multispektral floresan mikroskopi tekniğine ait klinik çalışmalar yayımlanmıştır. 29 anevrizma ve bir serebellar arteriovenöz fistül olgusunu içeren 30 olgulu bir çalışmada santral venöz kateterden 25 ml ICG uygulanarak vasküler yapıların görüntülenmesi sağlanmıştır. Hem klasik siyah beyaz ICG görüntüsü elde edilmiş, hem de filtre değiştirilerek yazılım



Şekil 1: Anevrizma kliplenmesi sırasında beyaz ışık, multispektral floresan mikroskopi ve klasik ICG videoanjiyografinin karşılaştırılması. Sanal olarak renklendirilmiş multispektral floresan görüntüleme, beyaz ışık altında olduğu gibi aydınlık bir çalışma sahası sağlarken ince dallar ve perforanlar dahil olmak üzere vasküler yapıların devamlılığını belirgin biçimde göstermektedir (Görseller Leica GLOW800 tanıtım bülteninden alınmıştır).

ile oluşturulan ve beyaz ışıkta vasküler yapıların sanal olarak renklendirildiği görüntü altında çalışılmıştır. Yazarlar, multispektral floresan görüntülemenin, özellikle büyük büyütme altında ve derin alanlarda çalışırken ince dalları ve perforan damarları göstermede klasik ICG video anjiyografiye göre daha üstün olduğunu bildirmişlerdir. Anevrizma klipleri ve cerrahi aletlerin görüntüyü bozmaması ve filtreler arasında geçiş yapma gereksinimi olmadan doğrudan beyaz ışık altında kesintisiz çalışılabilmesi de tekniğin avantajları olarak bildirilmiştir (1).

■ KONFOKAL LAZER ENDOMİKROSKOPİ

Yüksek dereceli glial tümör cerrahisinde mümkün olan en geniş çıkarımın sağ kalım üzerinde belirleyici olduğu bilinmektedir. Ancak özellikle tümörün sınırlarında sağlam doku ve tümör dokusu ayrımını yapmak güçtür. İntraoperatif ultrason, nöronavigasyon ve tümör boyayan floresan boyalar gibi teknikler, tümör çıkarım oranlarını artırmıştır. Ancak bu yöntemlerin hiçbiri hücresel düzeyde hassasiyete sahip değildir. Tümör sınırlarını en kesin olarak gösteren tetkik histopatolojik incelemedir. Bu doğrultuda, tümör sınırlarında “frozen section” inceleme ile daha detaylı bir sonuca ulaşmak mümkündür. Ancak beyin parankiminin yapısının ve bütünlüğünün cerrahi sırasında mekanik olarak bozulması ya da tümör yapısının homojen olmaması gibi nedenlerle “frozen section” incelemelerde yanıltıcı sonuçlar elde edilebilmektedir. Örneğin aynı tümör dokusu içinde hem düşük hem de yüksek dereceli tümör özelliği gösteren farklı alanlar bulunabilmektedir.

Bu sorunlara yönelik olası çözüm arayışları içinde, son dönemde konfokal lazer endomikroskopi teknolojisi, cerrahi sırasında dokuya ilişkin gerçek zamanlı hücresel veri sunan bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Genel cerrahi, üroloji ve jinekoloji gibi alanlarda kullanıma girmiş olan bu teknik, başarılı ex vivo ve in vivo çalışmalardan sonra beyin cerrahisinde de uygulanmaya başlamıştır. Nöroşürüji pratiğinde henüz yaygın olarak kullanılsa da mevcut ticari ürünlerin ve klinik çalışmaların sayısı artmaktadır (2,16,17,20).

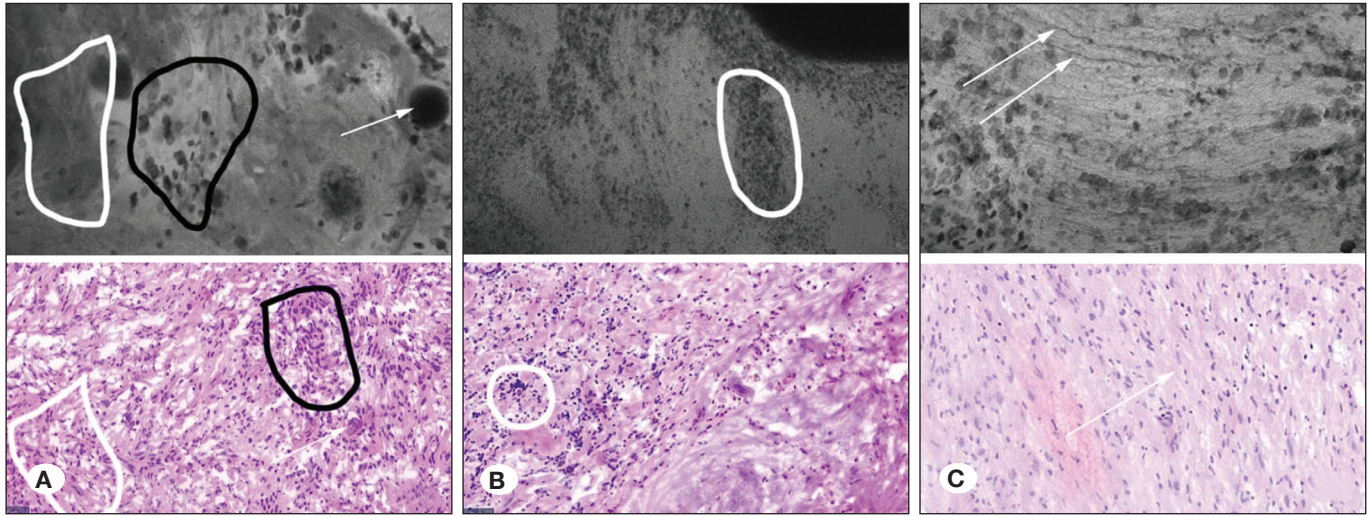
Konfokal lazer endomikroskopi sistemi, steril olarak giydirilebilir bir prob ve prob aracılığıyla dokuya ait verilerin aktarıldığı bir

çalışma ekranından oluşmaktadır. Endoskopa entegre edilebilen EC3870K® (Pentax, Japonya) gibi sistemlerin yanı sıra kendine özgü bir probu bulunan Zeiss Convivo® (Carl Zeiss, Meditec, Oberkochen, Almanya), ya da Cellvizio® (Manua Kea Technologies, Fransa) gibi sistemler geliştirilmiştir. Doku örneği, eksizyon sonrasında ex vivo olarak ya da operasyon sırasında in vivo olarak prob tarafından incelenmekte ve elde edilen hücresel düzeydeki görüntüler çalışma ekranına aktarılmaktadır. Patolog, ameliyathanede verileri inceleyebileceği gibi uzaktan erişimle de görüntülere ulaşabilmektedir.

Literatürde in vivo klinik çalışmalar sınırlı sayıda olup daha çok yöntemin uygulanabilirliğine yönelik fizibilite çalışmaları şeklinde tasarlanmıştır. İlk sonuçlar, konfokal sistemlerden elde edilen sonuçlarla “frozen section” inceleme sonuçlarının paralellik gösterdiği yönündedir (Şekil 2). Ancak konfokal görüntüleme ile alınan siyah-beyaz dijital görüntüleri değerlendirmek, alışılmış hematoksilen-eozin ile boyanmış preparatlara göre daha fazla tecrübe ve bir öğrenme eğrisi gerektirmektedir. Bunun dışında konfokal görüntülemenin bir kısıtlaması da geniş alanları tarama güçlüğüdür. Günümüzde bu teknik, beyin tümörlerinde seçilmiş bölgelerden alınan dijital bir biyopsi işlevi görmektedir. Yakın gelecekte, kullanılan donanım ve veriyi işleme tekniklerinin rafine edilmesi ile, cerrah ve patoloğa operasyon sırasında tümör dokusunun ayrımı, histopatolojik tanı ve sağlam doku sınırlarının tanınması gibi çok değerli bilgiler sağlayacak standart bir araç hâline evrilmesi beklenmektedir.

■ HİPERSPEKTRAL GÖRÜNTÜLEME

Hiperspektral görüntüleme, insan gözünün ayırt edebildiği 400-700 nanometredeki (nm) kırmızı yeşil ve mavi (red green blue - RGB) renk spektrumunun ötesindeki elektromanyetik spektral bantları kapsayan bir görüntüleme tekniğidir. Hiperspektral kameralar 400-1000 ya da 1000-2500 nm. lik dalga boyu aralıklarını tarayabilmektedir. Hiperspektral görüntüleme tekniği, bir sensör aracılığıyla her dalga boyunun ölçülmesi ve nesnelerin kendine has spektral “imzalarının” tanınması prensibine dayanır. Başlangıçta yeryüzü kaynaklarının uzaktan tespiti için geliştirilen bu sistem, zamanla güvenlik, adli tıp ve son dönemlerde tümör cerrahisinde dokuların ayırt edilmesi için kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2: Üst sırada Zeiss Convivo Konfokal Lazer Endomikroskopi ile tümör rezeksiyonu sırasında elde edilen görüntüler ve alt sırada hematoksileneozin ile boyanmış preparatlar görülmektedir. Tümör tanısı klasik morfolojik inceleme ve hematoksileneozin boyama ile konulmuştur (Görseller Zeiss Convivo tanıtım bülteninden alınmıştır). **A)** Fibroblastik menenjiyom, WHO Grad I. Psammom gövde (beyaz ok), fibröz lifler (beyaz kutucuk), monomorfik hücre çekirdekleri (siyah kutucuk). **B)** Rekürren glioblastom, WHO Grad IV. Hücre çekirdeği (beyaz kutu). **C)** Schwannoma, WHO Grad I. Dalga benzeri büyüme modelleri. İnce retikülün lifleri (beyaz oklar).

Gastrointestinal tümörler, larinks, cilt, meme ve prostat kanserinde tümör dokusunun normal dokudan ayırımına yönelik olumlu sonuçlar veren eks vivo ve in vivo çalışmaları takiben beyin tümörlerinin hiperspektral görüntüleme ile ayırt edilmesine yönelik yazılım ve donanım teknolojileri geliştirilmektedir. HELICoiD (Hyperspectral Imaging Cancer Detection - Hiperspektral Görüntüleme Kanser Tespiti) çalışmasında, bu amaçla beyin tümörlerinin gerçek zamanlı tespitine olanak sağlayan kamera ve veri işleme sistemleri tasarlanmaktadır. Ameliyat sırasında gerçek zamanlı görüntü elde edilmesinin amaçlanması, hiperspektral sensörlerin yüksek miktarda veri elde etmesi ve kanser tanıma algoritmalarının da bu yüklü veriyi hızlı bir şekilde işlemesi gerektiği için günümüzde bilgisayar anakartları ya da ekran kartları üzerinde bulunan yüksek performanslı donanım hızlandırıcılara ya da grafik işlemci birimlerine gereksinim duyulmaktadır (3-6,9,11,13).

Tümör dokusunun tanınabileceği optimal dalga boyu aralıklarının tanınmasının ve kanser tanıma algoritmasının makine öğrenmesi ile daha rafine hâle gelmesinin sistemin tümör hücrelerini normal dokudan ayırt etme becerisini artıracığı düşünülmektedir. Henüz geliştirilme aşamasında olmakla birlikte, hiperspektral görüntüleme ile elde edilen umut verici çalışmalar, yakın gelecekte operasyon mikroskoplarına entegre edilmiş sistemler ile tümör dokusu sınırlarını daha kesin bir biçimde saptamada cerrahlara yardımcı olacakmış gibi görünmektedir (Şekil 3).

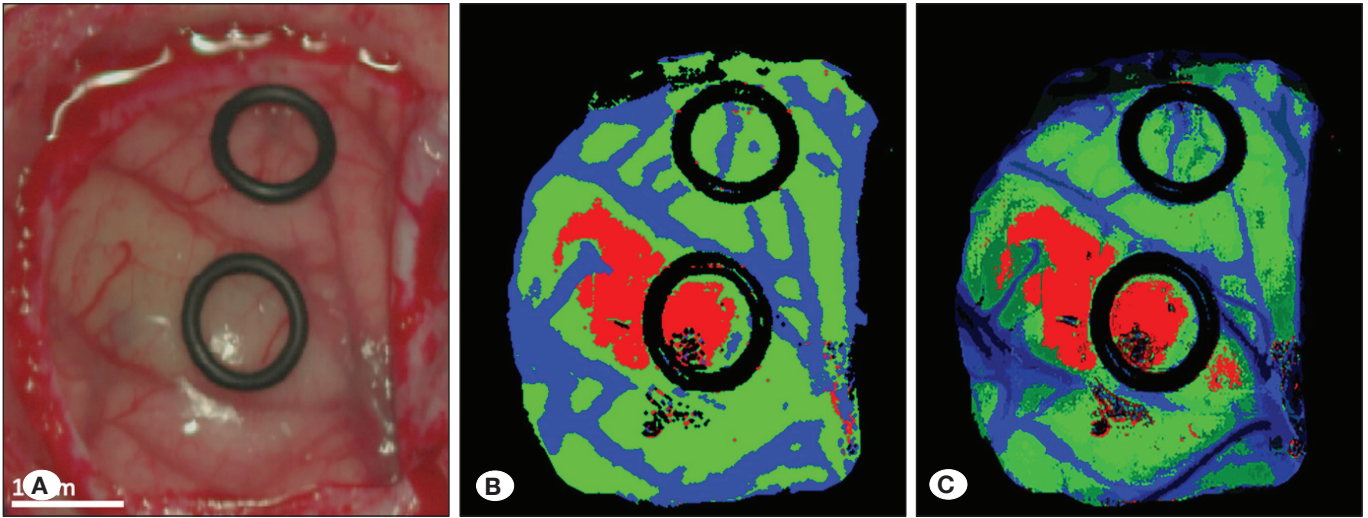
■ LAZER BENEK KONTRAST GÖRÜNTÜLEME

Lazer Benek Kontrast Görüntüleme (Laser Speckle Contrast Imaging) ya da Lazer Kontrast Görüntüleme, bir ışık kaynağından çıkan fotonların dokuya çarpıp geri saçıldıktan sonra bir sensör tarafından algılanması prensibine dayanır. Farklı yüzeylerden yansıyan ışığın sensör üzerinde oluşturduğu aydınlık ve karanlık noktalara benek adı verilir. Benek görün-

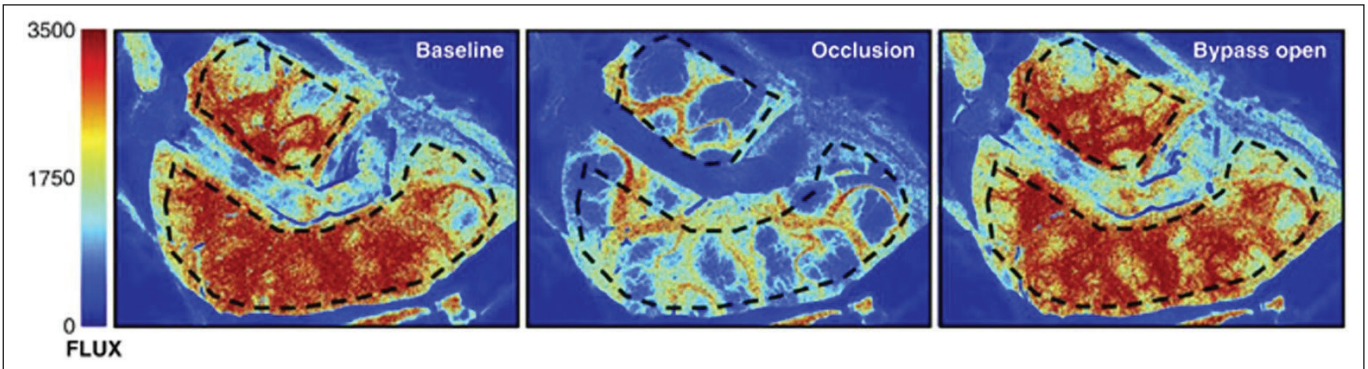
tüsü statik ve dinamik beneklerden oluşur. Statik benekler zamanla değişmezken, dinamik benekler zamanla değişerek dokunun durumu hakkında bilgi sağlar. Örneğin fotonların kortikal damarların içinde hareket hâlinde olan eritrositlere çarpıp dağılmasıyla elde edilen statik benek görüntüsü, dokudaki kan akım hızını ve dolayısıyla doku perfüzyonunun durumunu gösterir (Şekil 4).

Beyin cerrahisi operasyonları sırasında serebral doku perfüzyonunun ölçülmesi için cerrahi işlemi en az kesintiye uğratan, kan akımındaki değişiklikleri nicel olarak ölçebilecek ve gerçek zamanlı olarak uygulanabilecek teknikler geliştirilmesi hedeflenmektedir. Lazer kontrast görüntülemenin deneysel olarak iskemik inme modellerinde etkinliği gösterildikten sonra beyin cerrahisi uygulamalarına yönelik, az sayıda olgu içeren öncü klinik çalışmalar tasarlanmıştır.

Ekstrakraniyal-intrakraniyal by-pass cerrahi uygulanan üç hasta üzerinde yapılan bir çalışmada, lazer kontrast görüntüleme sonrasında temel düzeye göre kan akımının arttığı ve by-pass sonrası dokuya yeterli kan akımının sağlanabildiği lazer kontrast görüntüleme ile gösterilmiştir (7). Bu çalışmada halihazırda kullanılan ticari bir lazer kontrast görüntüleme cihazı ile doku görüntülenmiştir. Bunu takip eden başka bir çalışmada ise operasyon mikroskopuna entegre edilerek cerrahi süresini en az kesintiye uğratması hedeflenen bir prototip kullanılmış ve yapılan ölçümlerle eş zamanlı olarak elektrokortikografi yapılarak beyin pulsasyon hareketine bağlı artefaktların düzeltilmesi hedeflenmiştir. Tümör cerrahisi yapılan üç hastadan elde edilen sonuçlar umut vericidir (18). Ateroskleroz, Moyamoya Hastalığı, dev anevrizma gibi nedenlerle direkt vaskülarizasyon cerrahisi uygulanan otuz hastalık bir seride benzer biçimde lazer kontrast görüntülemenin akut perfüzyon değişikliklerini gerçek zamanlı gösteren kullanışlı bir araç olduğu sonucuna varılmıştır (8).



Şekil 3: Glioblastom cerrahisinde derin öğrenme algoritması kullanan hiperspektral görüntüleme. Yeşil alanlar normal parankim dokusunu, mavi alanlar hipervaskülarizasyon alanlarını ve kırmızı alanlar da tümör dokusunu temsil etmektedir (Kaynak no: 3). **A)** Sentetik RGB (red-green-blue / kırmızı-yeşil-mavi) görüntü. **B)** Tek boyutlu derin nöral ağ ile oluşturulan sınıflama haritası. **C)** Sınıflama haritası ile elde edilen yoğunluk haritası.



Şekil 4: Yüksek akımlı by-pass uygulanan bir hastada greftleme sonrası elde edilen lazer benek kontrast görüntüleri. Soldan sağa test oklüzyonu öncesinde, sırasında ve sonrasında kortikal perfüzyon görüntülenmiştir (Kaynak no: 8).

■ ENDOSKOPİK MİKROİNSPEKSİYON CİHAZI

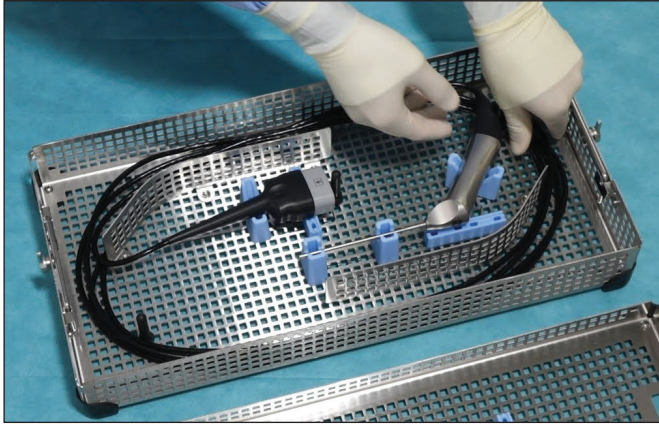
Modern beyin cerrahisinde endoskopik yaklaşımlar ve kombine prosedürler için cerrahi mikroskoplara ek olarak endoskoplar kullanılır. Mikroskopik görüş açısı pterional, retrosigmoidal, transsfenoidal ve transkallozal yaklaşımlarda yetersiz kalabilmektedir. Endoskoplar, üçüncü ventrikülostomide, sfenoid sinüs ve sellar bölgeye transnazal yaklaşımlar için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu sebeple kaliteli bir operasyon için tam yüksek çözünürlüklü (HD) endoskop ve mikroskop teknolojisinin kombinasyonu ihtiyacı mevcuttur (21,22).

Zeiss tarafından geliştirilmiş olan QEVO mikrospeksiyon cihazı; 45° açılı, görüş alanı 100° olan, tek elle kullanılmak üzere tasarlanmış bir endoskopdur. Operasyon mikroskobuna entegre edilebilmesi sayesinde, cerrahi akışı kesintiye uğratmadan endoskopik ve mikroskobik bakış açıları arasında geçiş yapabilmeye olanağını sağlar. Cerrah mikroskop ile sahaya doğrudan bakarken gözünü mikroskoptan ayırmadan endoskop ile anatomik köşelerin arkasını kontrol edebilmektedir. 250

gram ağırlığında, 12 cm uzunlukta ve 3.6 mm genişliğindeki bu cihaz, otoklav uyumlu olduğu için steril örtüm gerektirmeksizin kullanılabilir. KINEVO 900 mikroskop sistemine doğrudan bağlanarak yüksek çözünürlüklü görüntü sağlamaktadır (Şekil 5).

Cihazla ilgili deneyimlerin aktarıldığı bir çalışmada, interhemisferik, retrosigmoid ve 4. ventriküle telovelar yaklaşımdaki avantajlar vurgulanmıştır. İnterhemisferik yaklaşımda transkallozal koridoru daraltmadan ve çevre parankim yapılarını germeden geniş bir görüş açısı sağlandığı bildirilmiştir. Serebellopontin köşe yerleşimli bir epidermoid kist rezeksiyonunda Meckel kovuğundaki bir kalıntı, trigeminal sinir ve serebellum ileri derecede retrakte edilmeden çıkarılabildiği bildirilmiştir. Telovelar yaklaşımla yapılan bir ependimom cerrahisinde yine serebellar verminin aşırı retraksiyonuna gerek duyulmadan güvenli ve geniş bir bakış açısı sağlandığı belirtilmiştir (24).

Sonuç olarak el tipi cerrahi mikrospeksiyon cihazı QEVO, posterior fossa ve ventrikül içi gibi anatomik köşelerin ve kör



Şekil 5: Zeiss QEVO mikrospeksiyon cihazı.

noktaların olduğu ve mikroskobun doğrudan aydınlatmasının yetersiz kalabildiği derin cerrahi koridorlarda avantaj sağlamaktadır. Endoskop yardımıyla mikrocerrahi için bir endoskop alternatifi değildir, ancak cerrahın bakış açısını ve çalışma güvenliğini artıracak faydalı bir yardımcı sistemdir.

■ ROBOTİK KONTROL SİSTEMLERİ

Nöroşirürji girişimleri sırasında mikroskobun ayarlanması ile geçen sürenin toplam operasyon süresinin %40'ı kadar zaman alabildiği gösterilmiştir. Bu amaçla geliştirilen robotik kontrol sistemleri, cerrahın çalıştığı pozisyonu kaydetmekte ve farklı bir bakış açısına geçildiğinde istenildiği zaman bir düğmeye basarak tekrar eski pozisyona dönme özelliğine sahiptirler. Bunun dışında dar bir açıklığın arkasındaki geniş bir kavitenin görüntülenmesi istenen durumlarda, odak noktası sabit kalacak şekilde, odak noktasının çevresinde dairesel hareketler yaparak kavitenin her yönden explore edilmesine izin veren kilitleme sistemleri geliştirilmiştir.

■ SONUÇ

Başlangıçta bir ışık kaynağı ve mercek sistemlerinden oluşan operasyon mikroskopları, günümüzde yalnızca büyütme ve aydınlatma amaçlı optik aygıtlar olmaktan çıkıp, farklı görüntü işleme yazılım ve donanımları ile bütünleşmiş karmaşık sistemlere dönüşmüşlerdir. Cerraha farklı kanallardan bilgi akışı sağlayan bu sistemlerin geliştirilmesi ile yakın gelecekte tümör rezeksiyon oranının artması, vasküler girişimlerdeki komplikasyonların azalması, daha hızlı ve daha güvenli cerrahi uygulamaların yapılabilmesi ve daha iyi klinik sonuçlara erişilebilmesi mümkün olacak gibi görünmektedir.

■ NOT

Bu derleme, güncel tıbbi literatür taraması ve Leica (Leica Microsystems, Wetzlar, Almanya) ve Zeiss (Carl Zeiss, Meditec, Oberkochen, Almanya) firmaları tarafından sağlanan veriler eşliğinde hazırlanmıştır. Yazarların herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

■ KAYNAKLAR

1. Athanasopoulos D, Heimann A, Nakamura M, Kakaletri I, Kempinski O, Charalampaki P: Real-time overlapping of indocyaninegreen-video angiography with white light imaging forvascular neurosurgery: Technique, implementation, and clinical experience. *Oper Neurosurg* 19(4):453-460, 2020
2. Charalampaki P, Nakamura M, Athanasopoulos D, Heimann A: Confocal- assisted multispectral fluorescent microscopyfor brain tumor surgery. *Front Oncol* 9:583, 2019
3. Fabelo H, Halicek M, Ortega S, Shahedi M, Szolna A, Piñeiro JF, Sosa C, O'Shanahan AJ, Bisshopp S, Espino C, Márquez M, Hernández M, Carrera D, Morera J, Callico GM, Sarmiento R, Fei B: Deep learning-based framework for In Vivo identification of glioblastoma tumor using hyperspectral images of human brain. *Sensors (Basel)* 19(4):920, 2019
4. Fabelo H, Ortega S, Kabwama S, Callicó G, Bulters D, Szolna A, Piñeiro JF, Sarmiento R: HELICoiD project: A new use of hyperspectral imaging for brain cancer detection in real-time during neurosurgical operations. In: *Hyperspectral Imaging Sensors: Innovative Applications and Sensor Standards 2016*. SPIE Commercial + Scientific Sensing and Imaging, 2016:986002
5. Fabelo H, Ortega S, Lazcano R, Madroñal D, Callicó GM, Juárez E, Salvador R, Bulters D, Bulstrode H, Szolna A, Piñeiro JF, Sosa C, O'Shanahan AJ, Bisshopp S, Hernández M, Morera J, Ravi D, Kiran BR, Vega A, Báez-Quevedo A, Yang GZ, Stanciulescu B, Sarmiento R: An intraoperative visualization system using hyperspectral imaging to aid in braintumordelineation. *Sensors (Basel)* 18(2):430, 2018
6. Florimbi G, Fabelo H, Torti E, Ortega S, Marrero-Martin M, Callico GM, Danese G, Leporati F: Towards real-time computing of intraoperative hyperspectral imaging for brain cancer detection using multi-GPU platforms. *IEEE Access* 8:8485-8501, 2020
7. Hecht N, Woitzik J, Dreier JP, Vajkoczy P: Intraoperativ emonitoring of cerebral blood flow by laser speckle contrast analysis. *Neurosurg Focus* 27(4):1-6, 2009
8. Hecht N, Woitzik J, König S, Horn P, Vajkoczy P: Laserspeckle imaging allows real-time intraoperative blood flow assessment during neurosurgical procedures. *J Cereb Blood Flow Metab* 33(7):1000-1007, 2013
9. Heeman W, Steenbergen W, van Dam GM, Boerma EC: Clinical applications of laser speckle contrast imaging: A review. *J Biomed Opt* 24(8):1-11, 2019
10. Kabuto M, Kubota T, Kobayashi H, T Nakagawa, H Ishii, Takeuchi H, Kitai R, Koderu T: Experimental and clinical study of detection of glioma at surgery using fluorescent imaging by a surgical microscope after fluoresce in administration. *Neurol Res* 19(1):9-16, 1997
11. Lazcano R, Madroñal D, Salvador R, Desnos K, Pelcat M, Guerra R, Fabelo H, Ortega S, Lopez S, Callico GM, Juarez E, Sanz C: Porting a PCA- based hyperspectral image dimensionality reduction algorithm for brain cancer detection on a many corearchitecture. *J Syst Archit* 77:101-111, 2017
12. Ma L, Fei B. Comprehensive review of surgical microscopes: Technology development and medical applications. *J Biomed Opt* 26(1):010901, 2021

13. Manni F, van der Sommen F, Fabelo H, Zinger S, Shan C, Edström E, Elmi-Terander A, Ortega S, Callicó GM, de With PHN: Hyperspectral imaging for glioblastoma surgery: Improving tumor identification using a deepspectral-spatial approach. *Sensors (Basel)* 20(23):6955, 2020
14. Moore GE, Peyton WT: The clinical use of fluorescein in neurosurgery; the localization of brain tumors. *J Neurosurg* 5(4):392-398, 1948
15. Nickele C, Nguyen V, Fisher W, Couldwell W, Aboud E, David C, Morcos J, Charalampaki C, Arthur A: A pilot comparison of multispectral fluorescence to indocyanine green videoangiography and other modalities for intraoperative assessment in vascular neurosurgery. *Oper Neurosurg* 17(1):103-109, 2019
16. Osman H, Georges J, Elsayh D, Hattab EM, Yocom S, Cohen-Gadol AA: In vivo microscopy in neurosurgical oncology. *World Neurosurg* 115:110-127, 2018
17. Parikh N, Perl D, Zhou E, Gonzalez S, Anandasabapathy S: Confocal Laser Endomicroscopy for the Differentiation of Normal from Neoplastic Barrett's Mucosa. Mount Sinai School of Medicine. USA: New York, 2013
18. Parthasarathy AB, Weber EL, Richards LM, Fox DJ, Dunn AK: Laser speckle contrast imaging of cerebral blood flow in humans during neurosurgery: A pilot clinical study. *J Biomed Opt* 15(6):066030, 2010
19. Raabe A, Ph D, Beck J: Technique application near - infrared indocyanine green video. *Neurosurgery* 52(1):17-19, 2003
20. Restelli F, Pollo B, Vetrano IG, Cabras S, Broggi M, Schiariti M, Falco J, de Laurentis C, Raccuia G, Ferroli P, Acerbi F: Confocal laser microscopy in neurosurgery: State of the art of actual clinical applications. *J Clin Med* 10(9):2035, 2021
21. Schebesch KM, Brawanski A, Tamm ER, Kühnel TS, Höhne J: QEVO - A new digital endoscopic microinspection tool - A cadaveric study and first clinical experiences (case series). *Surg Neurol Int* 10(46):1-5, 2019
22. Schebesch KM, Doenitz C, Haj A, Höhne J, Schmidt NO: Application of the endoscopic micro-inspection tool QEVO® in the surgical treatment of anterior circulation aneurysms - a technical note and case series. *Front Surg* 7:602080, 2020
23. Stummer W, Stocker S, Wagner S, Stepp H, Fritsch C, Goetz C, Goetz AE, Kiefmann R, Reulen HJ: Intraoperative detection of malignant gliomas by 5- aminolevulinic acid- induced porphyrin fluorescence. *Neurosurgery* 42(3):518-526, 1998
24. Tomlinson SB, Hendricks BK, Cohen-Gadol A: Single-surgeon in vivo experience with the Zeiss QEVO microinspection tool: An analysis of its use for extending the reach of operative visualization. *World Neurosurg* 147:268-272, 2021
25. Uluç K, Kujoth GC, Başkaya MK: Operating microscopes: Past, present, and future. *Neurosurg Focus* 27(3): E4, 2009