

Mehmet Özer , Zeki Boğa , Semih Kıvanç Olguner Adana Şehir Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahi Kliniği, Adana, Türkiye
✉ mehmetozerd@gmail.com

Derleme / Review

Geliş tarihi: 12.12.2023

Kabul tarihi: 21.01.2024

Yeni Operasyonel Mikroskoplar ve Kullanım Farklılıkları

New Operational Microscopes and Differences in Use

ÖZ

Nöroşirürji pratiğinde operasyonel mikroskopların kullanımı son zamanlarda büyük hız kazanmıştır. Ergonomik ve kolay yönlendirilebilir ideal tasarım arayışı sürmektedir. Yeni operasyonel mikroskoplar tümör dokusu ve sağlıklı dokunun ayrımı, vasküler yapıların devamlılığının korunması gibi konularda bilgi sağlamaktadır. Anatomik köşelerin görüntülenmesi ve aydınlık alan sağlanması gibi güçlüklerin aşılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca yeni nesil cerrahi mikroskoplar diğer optik cihazların aldığı görüntü ve ölçümleri işleyerek cerraha sunabilmektedir. 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: Operasyon mikroskobu, Teknoloji, Nöroşirürji

ABSTRACT

The use of microscopes in neurosurgery practice has reached great speeds recently. The search for the ideal ergonomic and easy-to-manage design continues. New microscopes provide information such as monitoring the tumor mass and healthy parts and preserving the continuity of circulatory structures. It helps overcome difficulties in imaging and enlarging anatomical corners. In addition, new generation surgical microscopes can process comprehensive images and measurements of other optical units and present them to the surgeon. These developments in operating microscopes, one of the most important working tools in brain surgery, enable faster and safer surgical practices and better clinical results in the future.

Keywords: Neurosurgery operating microscope, Technology, Neurosurgery

GİRİŞ

Mikrocerrahi operasyonlarda mikroskobun ve beraberinde özellikli cerrahi aletlerin kullanımını kapsayan bir terimdir. Cerrahi mikroskop ameliyathane koşullarında kullanılmak üzere tasarlanmış optik aygıttır.

Cerrahide büyütücü mercekler bir göz hekimi olan Zehender tarafından 1886 yılında kullanılmıştır. İlk monoküler ameliyat mikroskobunu ise kulak burun boğaz doktoru Nylen 1921 yılında kullanmıştır. 1923 yılında Zeiss firması binoküler mikroskobu geliştirmiştir (9). Klinik nöroşirürjide ameliyat mikroskobu 1957 yılında ensefalosel ameliyatında Kurze tarafından ilk kez kullanılmıştır. 1965-1966 yıllarında Zeiss firması tarafından nöroşirürji ameliyatlarına uygun bir mikroskop geliştirme çalışmalarına Gazi Yaşargil katkıda bulunmuştur. Tüm bu gelişmeler ile nöroşirürji pratiğinde mikroskop kullanımı hızlandırmıştır. Binoküler mikroskoplarda, monoküler mikroskoplarda elde edilemeyen derinlik algısı sağlandı ve eklenen ışık kaynağı ile görüntü loşluğunun üstesinden gelindi (9). Yaşargil'in mikroskopların hantallığını ortadan kaldı-

ran hareket yeteneğini artıran aynı zamanda stabilitesini bozmayan gelişmiş süspansiyon sistemlerini ve elektromanyetik frenlere sahip modelleri tasarlamasından sonra mikroskobun kullanımı kolaylaşmıştır (11,21). 1990'lı yılların sonunda sodyum flurosein gibi boyar maddelerin mikroskop filtresi eşliğinde kullanıma girmiştir. 2000'li yılların başında indosiyanın yeşili ile görüntüleme özellikle vasküler girişimlerde kullanılmaya başlanmıştır (8,13,16,19).

Günümüzde cerrahi mikroskoplar sadece büyütme ve aydınlatma amaçlı kullanımın dışında cerraha yol gösterici ve dokuları ayırt edici özellikler sunmaktadır. Yeni kuşak cerrahi mikroskoplar tümör sınırlarının ayırt edilmesine, doku kan akımı görüntülenmesine, endoskop intraoperatif ultrason gibi diğer araçlardan gelen görüntüleme verilerini mikroskobun objektifinden gelen verilerle entegre sunabilen hâle gelmiştir (22).

Mikroskoplar teknolojinin ilerlemesi ile günümüzde gelişimini sürdürmektedir bu bölümde yeni görüntüleme sistemleri ve donanımlarına değinilecektir.

MULTİSPEKTRAL FLORESAN MİKROSKOPI

Operasyon mikroskobu altında indosyanin yeşili (indocyanine green- ICG), sodyum floresein (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 (22). Başlangıçta harici monitörler kullanılmak zorunda iken günümüzde görüntü direkt mikroskop objektifine entegre edilmiştir. Ancak filtreler ve farklı dalga boylarındaki ışıklar nedeniyle görüntü eş zamanlı değildir ve çevre anatomik yapıların net görüntülenmesine olanak sağlamayan siyah beyaz bir görüntü elde edilir. Bu sorunun üstesinden gelmek için artırılmış gerçeklik görüntüsü oluşturan mikroskop sistemleri geliştirilmiştir. Böylece operasyon sırasında cerrah, beyaz ışık ile filtre arasında geçiş yapmadan kesintisiz olarak çalışabilmektedir. 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 (1,2). Anevrizma klipsleri ve cerrahi aletlerin görüntüyü bozmaması ve filtreler arasında geçiş yapma gereksinimi olmadan doğrudan beyaz ışık altında kesintisiz çalışabilmesi de tekniğin avantajları arasındadır.

KONFOKAL LAZER ENDOMİKROSKOPI

Tümör cerrahisinde hedef her zaman mümkün olan en geniş rezeksiyonun sağlanmasıdır. Ancak özellikle tümörün sınırlarında sağlam doku ve tümör dokusu ayırımı yapmak güçtür. İntraoperatif ultrason, nöronavigasyon ve tümör boyayan floresan boyalar gibi teknikler bu konuda büyük katkı sağlamış olsada bu yöntemlerin hiçbiri hücresel düzeyde hassasiyete sahip değildir. Tümör sınırlarını en kesin olarak gösteren tetkik histopatolojik incelemedir; fakat nöroşirürji pratiğinde bu durum pek mümkün değildir. 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 (22).

Nöroşirürji pratiğinde henüz yaygın olarak kullanılsa da mevcut ticari ürünlerin ve klinik çalışmaların sayısı artmaktadır (2,14,15). Konfokal lazer endomikroskopi sistemi steril olarak giydirilebilir bir prob ve prob aracılığıyla dokuya ait verilerin aktarıldığı bir çalışma ekranından oluşmaktadır. Endoskopa entegre edilebilen sistemlerin yanı sıra kendine özgü bir probu bulunan 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. Patolog için kolaylık sağlayan yönleri olsada konfokal görüntüleme ile alınan siyah-beyaz dijital görüntüleri değerlendirmek, alımlı hematoksilen-eozin ile boyanmış preparatlara göre daha fazla tecrübe ve bir öğrenme eğrisi gerektirmektedir. Günümüzde bu teknik, beyin tümörlerinde seçilmiş bölgelerden alınan dijital bir biyopsi işlemi görmektedir. Yakın gelecekte, kullanılan donanım ve veriyi işleme tekniklerinin rafine edilmesi ile, cerrah ve patoloğa operasyon sırasında tümör dokusunun ayırımı, histopatolojik tanı ve sağlam doku sınır-

larının tanınması gibi çok değerli bilgiler sağlayacak standart bir araç hâline evrilmesi beklenmektedir.

HİPERSPEKTRAL GÖRÜNTÜLEME

İnsan gözü 400-700 nanometre (nm) dalga boyundaki ışığı ayırtedebilmektedir. Hiperspektral görüntüleme ise 400-700 nm spektrumunun ötesindeki elektromanyetik spektral bantları kapsayan 400-1000 nm ya da 1000-2500 nm lik dalga boyu aralığını tarayabilmektedir. Hiperspektral görüntüleme tekniği, bir sensör aracılığıyla her dalga boyunun ölçülmesi ve nesnelerin kendine has spektral "imzalarının" tanınması prensibine dayanır (22). Uzay, güvenlik, adli tıp alanlarında kullanılmakta olan bu yöntem son zamanlarda tümör cerrahisinde dokuların ayırt edilmesi için kullanılmaya başlamıştır. Diğer organlarda kullanıma başlamış olsada beyin tümörlerinin hiperspektral görüntüleme ile ayırt edilmesine yönelik yazılım ve donanım teknolojileri henüz gelişim aşamasındadır. 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 (3,4,7,10,12). 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 sistemlerin cerrahlara yardımcı olacağı düşünülmektedir.

LAZER BENEK KONTRAST GÖRÜNTÜLEME

Bir ışık kaynağından çıkan fotonların dokuya çarpıp geri saçıldıktan sonra bir sensör tarafından algılanması prensibine dayanır. Yüzeylerden yansıyan ışığın sensör üzerinde oluşturduğu aydınlık ve karanlık noktalara benek adı verilir. Benek görüntüsü statik ve dinamik beneklerden oluşur. Statik benekler zamanla değişmezken, dinamik benekler zamanla değişerek dokunun durumu hakkında bilgi sağlar. Örneğin fotonların damar içinde hareket hâlinde olan kan elemanlarına çarpıp dağılımlarıyla elde edilen statik benek görüntüsü, dokudaki kan akım hızını ve dolayısıyla doku perfüzyonunun durumunu gösterir. Operasyonları sırasında serebral doku perfüzyonunun nicel olarak ölçülmesi hedeflenmektedir. 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 (5). 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 (6).

ENDOSKOPİK MİKROİNSPEKSİYON CİHAZI

Modern beyin cerrahisinde endoskopik yaklaşımlar ve kombine prosedürler için cerrahi mikroskoplara ek olarak endos-

koplar kullanılır. Pterional, retrosigmoidal, transsfenoidal ve transkallozal yaklaşımlarda mikroskobik görüş açısı yetersiz kalabilmektedir. Endoskoplar; üçüncü ventrikülostomide, sfenoid sinüs ve sellar bölgeye transnazal yaklaşımlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple kaliteli bir operasyon için tam yüksek çözünürlüklü endoskop ve mikroskop teknolojisinin kombinasyonu olması gerekmektedir (17,18). Zeiss tarafından geliştirilmiş olan QEVO mikroinspeksiyon cihazı; 45° açılı, görüş alanı 100° olan, tek elle kullanılmak üzere tasarlanmış bir endoskoptur. Operasyon mikroskobuna entegre edilebilmesi sayesinde, cerrahi akışı kesintiye uğratmadan endoskopik ve mikroskobik bakış açıları arasında geçiş yapabilme 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. Cihazla ilgili deneyimlerin aktarıldığı bir çalışmada, interhemisferik, retrosigmoid ve 4. ventriküle telovelar yaklaşımdaki avantajlar vurgulanmıştır. İnterhemisferik yaklaşımda transkallozal koridoru daraltmadan ve parankime zarar vermeden geniş bir görüş açısı sağlandığı bildirilmiştir.

Serebellopontin köşe cerrahisinde Meckel kovuğundaki bir tümör, trigeminal sinir ve serebellum ileri derecede retrakte edilmeden çıkarılabilmektedir. Telovelar yaklaşımda serebellar vermisin aşırı retraksiyonuna gerek duyulmadan güvenli ve geniş bir bakış açısı sağladığı belirtilmiştir (20).

Sonuç olarak el tipi cerrahi mikroinspeksiyon cihazı QEVO, posterior fossa ve ventrikül içi gibi anatomik köşelerin ve kör noktaların olduğu mikroskop ile doğrudan aydınlatmanın ve görüntü almanın pek mümkün olmadığı derin cerrahi koridorlarda avantaj sağlamaktadır.

ROBOTİK KONTROL SİSTEMLERİ

Nöroşürüji girişimleri sırasında mikroskobun ayarlanması ile geçen sürenin toplam operasyon süresinin %40'ı kadar zaman alabildiği gösterilmiştir (22). 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

Bu bölümde anlattığımız mikroskopların göze çarpan özelliklerini kısaca sıralamak gerekirse:

- Multispektral floresan mikroskopi boyar maddeler yardımı ile ışık filtresi kullanmadan tümör dokusunun ve vasküler yapının devamlılığını gösterebilmektedir.
- Konfokal lazer endomikroskopi günümüzde beyin cerrahi pratiğinde yaygın olarak kullanılmasa da in vivo veya ex vivo olarak hücresel düzeyde görüntü alabilmekte ve aynı anda patoloğa inceleme fırsatı sunmaktadır.

- Hiperspektral görüntüleme henüz cerrahi görüntüleme sistemleri arasında tam olarak yerini almamış olsa da farklı dalga boylarındaki ışığı ayırt edebilme ve bu doğrultuda doku hakkında yorum yapma yeteneğinin gelişmesi ile beyin cerrahi pratiğinde de yerini alacağını düşünmekteyiz.
- Lazer benek kontrast görüntüleme dokuya çarpıp saçılan fotonların sensör tarafından yakalanması ve yansıdığı dokunun perfüzyonu hakkında bilgi vermesine dayanan bir yöntemdir.
- Endoskopik mikroinspeksiyon cihazı, cerrahi mikroskop ve endoskobun sentezi konumunda olup görüş açısını artırmaktadır.

Başlangıçta bir ışık kaynağı ve mercekle sistemlerinden oluşan operasyon mikroskopları, günümüzde yalnızca büyütme ve aydınlatma amaçlı optik aygıtlardan 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.

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 for vascular 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 microscopy for 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. 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
5. Hecht N, Woitzik J, Dreier JP, Vajkoczy P: Intraoperative monitoring of cerebral blood flow by laser speckle contrast analysis. *Neurosurg Focus* 27(4):1-6, 2009
6. 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
7. 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
8. Kabuto M, Kubota T, Kobayashi H, T Nakagawa, H Ishii, Takeuchi H, Kitai R, Kodera T: Experimental and clinical study of detection of glioma at surgery using fluorescent imaging by a surgical microscope after fluorescein administration. *Neurol Res* 19(1):9-16, 1997
9. Kiriş T, Ünal F: Nöroşürüjide ameliyat mikroskobu. *Türk Nöroşürüji Derg* 7:97-105, 1997

10. 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 core architecture. *J Syst Archit* 77:101-111, 2017
11. Ma L, Fei B: Comprehensive review of surgical microscopes: Technology development and medical applications. *J Biomed Opt* 26(1):010901, 2021
12. 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
13. Moore GE, Peyton WT: The clinical use of fluorescein in neurosurgery; the localization of brain tumors. *J Neurosurg* 5(4):392-398, 1948
14. Osman H, Georges J, Elsayh D, Hattab EM, Yocom S, CohenGadol AA: In vivo microscopy in neurosurgical oncology. *World Neurosurg* 115:110-127, 2018
15. Parikh N, Perl D, Zhou E, Gonzalez S, Anandasabapathy S: Confocal Laser Endomicroscopy for the Differentiation of Normal from Neoplastic Barrett's Mucosa. New York: Mount Sinai School of Medicine, 2013
16. Raabe A, Ph D, Beck J: Technique application near - infrared indocyanine green video. *Neurosurgery* 52(1):17-19, 2003
17. 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
18. 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
19. 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
20. 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
21. Uluç K, Kujoth GC, Başkaya MK: Operating microscopes: Past, present, and future. *Neurosurg Focus* 27(3): E4, 2009
22. Utangeç K, Şahin M, Urgan C, Hergünel ÖB: Nöroşirürji operasyon mikroskoplarındaki gelişmeler: Yeni görüntüleme teknikleri ve eklentiler. *Türk Nöroşir Derg* 32(2):203-209, 2022