

25. BÖLÜM / CHAPTER 25

NÖRONAVİGASYON

NEURONAVIGATION

Mustafa BOZBUĞA*

*Prof. Dr., Üsküdar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nöroşirürji Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-mail: mustafabozbuga@gmail.com

DOI: 10.26650/B/ET07.2021.003.25

ÖZ

Etimolojik olarak denizcilikten alınan terimlerden türetilen “nöronavigasyon” kavramı, sinir sisteminde bilinen referans noktalarından hareketle belirli bir noktayı hedeflemek, bulmak, hareket etmek anlamına gelmektedir. Nöroşirürjide büyük ilerleme sağlamış teknolojik yöntemler olan nöroanatomik ve nörofizyolojik bilgiler ve haritalamalar, anatomofizyolojik görüntüleme yöntemleri, cerrahi mikroskop, bilişim teknolojisi, matematik ilkeler - modeller ve modern teknolojinin olanakları ile navigasyon sistemleri birlikte kullanılarak, nöroşirürjideki işlemlerin çok kesinlik gerektiren doğasına uygun düşen tarzda, patolojik lezyona hatasız ve kesin bir biçimde ulaşılabilme olanaklarını ortaya çıkarmış ve bu teknikler zaman içinde hızla gelişmiştir. Tıpta yüksek teknolojinin önemli bir örneği olan nöronavigasyon uygulamalarında, nöroanatomik ve nörofizyolojik bulgu/ veri sağlayan pek çok teknolojik donanım, örneğin bilgisayarlı tomografi ya da manyetik rezonans görüntüleme kullanılarak ulaşılmak istenen patolojik lezyonun üç-boyutlu olarak koordinatlarının tanımlanması ve bu tanım üzerinden verinin işlenerek referans alınıp, yine üç-boyutlu koordinat sisteminden cerrahi olarak yapılan işin izlenmesiyle lezyona hatasız ulaşım ve yapılan cerrahi manipülasyonun kontrolü sağlanır. Burada amaç, beyinde yapılacak cerrahi girişimin hatasız, kesin, etkin ve nörovasküler yapıya en az riskle yapılmasıdır. Daha çok beyin derin ve kritik yapılarında yerleşim gösteren ve çoğunlukla küçük çaplı çeşitli patolojik lezyonlarda ya da durumlarda, örneğin tümörlerde, vasküler lezyonlarda, dirençli ağrılı hastalarda, epilepside ve nörodejeneratif hastalıklarda biyopsi, rezeksiyon, destrüksiyon, stimülasyon, implantasyon vb. işlemlerin yapılması şeklinde uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra spinal enstrümantasyon uygulamalarında da kullanılmaktadır. Nöronavigasyon başlığı altında toplanan çeşitli çalışma ve uygulamaları, günümüzde modern nöroşirürji için bir lüks değil, her klinikte olması gereken standart çalışma ve donanım olarak düşünmek gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arteriyovenöz malformasyon, beyin tümörü, nöronavigasyon, stereotaktik, ağrı

ABSTRACT

Neuronavigation, which is etymologically derived from the maritime terminology, is a term that means to move or aim to a certain point from the reference coordinates in the central nervous system. The giant steps and technological methods in the neurosurgical advancements, for example, neuroanatomical and neurophysiological knowledge and mapping, imaging methods, surgical microscope, computer technology, calculation and mathematical

principles and modeling, and modern technological methods have made the navigation systems more and more accurate and effective in reaching the desired pathological lesion in the central nervous system, which could not be accessed in other way. In neuronavigation, which is an important example of high technology in medicine, data are provided neuroanatomically and neurophysiologically via methods, such as computerized tomography, magnetic resonance imaging and others, in the three-dimensional coordinate system. Next, the data are processed and converted to a computerized system for reference. Then during surgery, surgical manipulation is controlled and aimed to find the lesion correctly. The purpose here is to achieve maximum surgical treatment without any neurovascular injuries. Neuronavigation is used often in deep, critically located and relatively small lesions, mostly in tumors, vascular lesions, resistant pain, epilepsy, neurodegenerative diseases, etc., for the purpose of biopsy, resection, destruction, stimulation, implantation, and others. It is also used in the spinal instrumentation surgery. All these neuronavigational systems and applications are required and mandatory for contemporary neurosurgical practice, not a luxury equipment and/or applications.

Keywords: Arteriovenous malformation, brain tumor, neuronavigation, stereotactic, pain

1. Giriş

Nöroşirürji/ Beyin ve Sinir Cerrahisi, tıbbın yeni branşlarından biridir; çünkü, cerrahi disiplinlerin gelişiminin arkasında, aslında doğa bilimlerinden tıbbın temel bilimlerine, hümanitastan felsefeye ve bilimsel bilginin uygulamaya yansımalarıyla geliştirilen teknolojiye çok geniş bir alanda bilgi birikimi, deneyim, inovasyon ve *poiesis* vardır. Tıbbın statik temel bilimi olan anatomi çalışmaları Rönesans Dönemi ile hızlanır; fizyolojiye ilgi ise, ancak felsefede hareket kavramının düşünülmesiyle tetiklenir ve insan bedeninin çalışma ilkelerinin incelenmesi araştırılıp ortaya konur; bu çalışmaları morfoloji-patoloji, patofizyoloji, mikrobiyoloji, ve diğer temel tıp bilimleri izler (Rutkow). Gerçekten de, bir organın/ bölgenin cerrahisini yapabilmek demek, o bölgenin anatomisini, fizyolojisini, patolojisini, patofizyolojisini, vb. bilmek demektir ve bu bölgedeki patolojileri cerrahi olarak tedavi edebilmenin çözümlerini önce kavramsal – teorik olarak geliştirebilmek ve bunu pratikte yapabilmek için yeterli tıbbi, teknolojik ve pratik donanımınızın olması demektir. Cerrahinin etkin bir biçimde başlaması enfeksiyonlar, ağrı ve kanama gibi majör sorunların çözülmesiyle sağlanmıştır; 19. yüzyılın sonlarında ama daha çok 20. yüzyılda başlayan nöroşirürji, çıplak gözle yapılan “makronöroşirürji” olarak ortaya çıkmıştır, tüm cerrahi branşlar gibi; zaman içinde bilgi ve deneyime eklenen teknolojik gelişmelerle sürekli gelişerek 1960-70’lerde cerrahi mikroskobun kullanılmaya başlanıp yaygınlaşmasıyla “mikronöroşirürji” tekniği uygulanmış ve cerrahi olarak yapılan işlerde ve alınan sonuçlarda belirgin iyileşmeler görülmüştür. Daha sonrasında görüntüleme tekniklerindeki adeta devrim niteliğindeki yenilikler ile bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG) yaygın bir biçimde kullanıma girmiştir. Nöroşirürjide beyin görüntüleme yöntemleriyle hastanın nöroanatomik, patolojik anatomik ve nörofizyolojik özelliklerinin tanımlanıp matematiksel olarak işlenip düzenlenmesiyle gerçekleştirilen

tedavilerle yapılması gereken işler çok daha ince, ayrıntılı, doğru, etkin ve nörovasküler yapılar için daha az travmatik şekilde yapılabilir duruma gelmiştir.

Nöronavigasyon ve ilişkili sözcüklerin etimolojisine baktığımızda, navigasyon (Latince “*navigare*” sözcüğünden gelir ki “*navis*” gemi ve “*agere*” hareket etmek, yolculuk etmek anlamlarına gelir; *navigare* ya da *navigation* “su üstünde yolculuk etmek” anlamında kullanılmıştır. Ayrıca, Latince “*navigare*” bir gemide yolculuk etmek, bir yerden bir yere gitmek anlamına da gelmektedir; böylece, denizcilikten alınan sözcükler ile ifade edilerek, “nöronavigasyon” sinir sisteminde bilinen referans noktalarından hareketle belirli bir noktayı hedeflemek, bulmak, hareket etmek anlamına gelmektedir denilebilir); “stereotaktik/ *stereotactic*” sözcüğü ise (Yunanca “*stereos*” üç-boyutlu; Latince “*tactus*” dokunmak anlamına gelir; böylece, stereotaksi mekan içinde bir noktaya dokunmak) demektir. Böylece, nöronavigasyon ve stereotaksinin birlikte düşünülmesi gereken iç içe kavramlar ve uygulamalar olduğu da açıktır.

2. Nöronavigasyonun Tarihsel Gelişimi

Radyografik görüntülemenin nöroşirürjide (/ tıpta) kullanıma girmesi, lezyonu lokalize etmede adeta bir devrim yaratmıştır. Gerçekten, ilk “görüntü-rehberli cerrahi” Wilhelm Röntgen’in X-ışınlarını keşfinden hemen on sekiz gün sonra yapılmıştır; radyografi ile görüntü yardımıyla, bir kadının kafasının içine gömülmüş bir iğne çıkartılmıştır (Maciunas). Ancak, radyografinin yardımının sınırlı olduğu da aşıkardır; çünkü, sadece radyo-opak yabancı cisimler ve kalsifiye kitleler röntgen ile saptanabilmekteydi. Daha sonra, 1918’de Dandy’nin pnömoventrikülografiyi geliştirmesi ve kullanması (Wilkins), 1927’de Portekizli nörolog Antonio Egas Moniz’in karotid arteriyografiyi geliştirmesi (Wilkins), her ne kadar nöronavigasyona katkıları bakımından sınırlı kalsa da, nöroşirürjinin gelişimi bakımından önemli aşamalarıdır.

İlk anatomi atlası-temelli sistem (bu sistem insanda kullanım için değildi), 1908’de Horsley ve Clark tarafından (Alexander & Nashold, Horsley & Clarke, Maciunas) tanımlanmıştır; çerçeve-temelli bu sistem ile dış referans noktalar esas alınarak, maymunun beynine elektrotların tam olarak/ doğru bir şekilde yerleştirilebilmesi sağlanmıştır. Bu uygulama, geliştiricileri tarafından “stereotaksik (*stereotaxic*)” olarak adlandırılmış ancak daha sonra kelime “stereotaktik (*stereotactic*)” olarak değiştirilmiş olup günümüzde çoğunlukla “stereotaktik” şeklinde kullanılmaktadır. İnsanda ilk defa modern çerçeve-temelli stereotaktik uygulama, 1947’de Spiegel ve Wycis’in öncü çalışmaları (Alexander & Nashold, Spiegel) ile, insan beynine yapılan bir cerrahi girişim ile gerçekleşmiştir. Yazarlar ayrıca pnömoensefalografi ile saptanan intrakranyal referans noktaları da insan atlası şeklinde yayımlamışlardır. Ve bu çalışmayla birlikte, hareket bozuklukları, kronik ağrı, epilepsi ve psikiyatrik hastalıkların

stereotaktik rehberli tedavisi başlamıştır. Çerçeve-temelli stereotaktik navigasyon cihazlarıyla deneysel ve klinik çalışmalar çok erken dönemde, -19. yüzyılın sonlarında- başlamakla birlikte (Blomstedt, Magoun, Waltregny, Zernov), L. Leksell bu tekniği çok geliştirmiş ve önemli katkılar sağlamıştır (Leksell). Daha sonraki dönemde, 1970’lerde BT’nin geliştirilerek kullanıma sokulmasıyla, nörolojik tanıda, üç-boyutlu lokalizasyonda ve stereotaktik yaklaşımda devrim olmuştur. BT görüntülemeyle, stereotaktik hedefler, atlastan genellemeye gerek kalmaksızın kişiye özgü anatomi esas alınarak işlem yapılabilmesi mümkün olmuştur. BT görüntüleme, üç-boyutlu koordinat sistemini zaten kullandığı için, çerçeve-temelli stereotaktik kullanım için de idealdir. Çerçeve-temelli stereotaktik sistemlerin en önemli avantajı, başın üç-boyutlu koordinat sisteminde sabit kalmasını sağlamasıdır; ancak, sistemin hantal yapısı aynı zamanda başın pozisyonlanmasını kısıtlayarak ciddi bir kısıtlama da yaratır. Bu nedenle, intrakranyal navigasyonun dıştan bir çerçeveye bağımlı olmaksızın uygulanabileceği bir görüntü-temelli sistem geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. 1980’lerden başlayarak, BT ya da MRG görüntülemelerinin üç-boyutlu görüntü verisini intrakranyal navigasyona uygulayan yöntemler araştırılmıştır ve bu yönde pek çok sistem geliştirilmiştir ki, bu sorunun çözümünde aşağıdaki üç kavramın birlikteliği esas alınmaktadır: 1. fiziksel mekan ve görüntü mekanının ilişkilendirilmesi, 2. interaktif lokalizasyon için “işaretleyici bir alet” kullanılması, 3. bilgisayar esaslı bir arayüzden görüntü-rehberi geri bildiriminin sağlanması (Maciunas). Böylece, “çerçevesiz stereotaktik nöronavigasyon” teknik olarak olanaklı hale gelmiştir ve uzun bir zamandan beri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çerçevesiz stereotaktik uygulamanın öncelikli avantajı, cerraha, bulunduğu yer ve yönü konusunda gerçek-zamanlı veri sağlamasıdır. Bu özelliği ile, lezyonun ulaşımında – bulunmasında, normal doku ile lezyonun ayırımında ve böylece daha güvenli ve daha geniş rezeksiyon gerçekleştirilmesinde katkı sağlar. Tekniğin milimetrik kesinliği sayesinde daha küçük scalp ensizyonları ve kranyotomilerden girişim olanaklı hale gelmektedir. Ancak yine de, tekniğin yardımcı bir araç olduğu, çok önemli katkılarına karşın cerrahi mikrotekniğin ve doğru strateji yapmanın yerini almayacağı unutulmamalıdır.

Nöroşirürjide büyük ilerleme sağlamış teknolojik yöntemler olan cerrahi mikroskop (mikronöroşirürji), görüntüleme yöntemleri (X-ışınları ile skopi, ultrasonografi/ USG, BT, MRG, metabolik - kimyasal yöntemlerle nörofizyolojik görüntülemeler, SPECT, ...), bilişim teknolojisi, matematik ilkeler - modellemeler ve modern teknolojinin olanakları ile navigasyon sistemleri birlikte kullanılarak, nöroşirürjideki işlemlerin çok kesinlik gerektiren doğasına uygun düşün tarzda, patolojik lezyona hatasız ve kesin bir biçimde ulaşılma olanaklarını ortaya çıkarmış ve bu teknikler zaman içinde hızla gelişmiştir. Tıpta yüksek teknolojinin

önemli bir örneği olan nöronavigasyon uygulamalarında preoperatif ve intraoperatif nöroanatomik ve nörofizyolojik bulgu/ veri sağlayan pek çok donanım, yüksek bir bilimsel süreç içinde kullanılır. Burada esas, nöroşirürjide yapılacak işin hatasız/ kesin, etkin ve nöral yapıya riskin en az olması yaklaşımıdır. Daha çok beynin derin ve kritik yapılarında ve küçük çaplı patolojik lezyonlarda ve çeşitli amaçlarla, örneğin tümörlerde, vasküler lezyonlarda, dirençli ağrısı olan hastalarda, epilepside, nörodejeneratif hastalıklarda, ... biyopsi, rezeksiyon, destrüksiyon, stimülasyon, implantasyon vb. işlemlerin yapılması şeklinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra spinal instrumentasyon uygulamalarında da kullanılmaktadır (Miner, Nabavi, Orringer, Shurkhay).

Navigasyon, çok eski tarihlerde denizde yön bulmak ve ya da görünür bir kara olmaksızın yer bulmak üzere geliştirilmiş bir yöntemdir. Kranyal girişimlerin ise, yine Neolitik Dönemden bu yana uygulandığı bilinmektedir (Rutkow); ancak, modern nöroşirürjinin uygulanabilmesi ancak anestezinin ve asepsinin uygulanabilir olması ile birlikte serebral lokalizasyonun anlaşılmasını gerektirmiştir. Serebral lokalizasyonun keşfinden sonra, yine de, başlangıçta büyük kranyotomiler olağandı ve yanlış-lokalizan nörolojik belirti ve bulgulara bağlı olarak negatif nöroşirürjikal eksplorasyonlar sık görülmekteydi. Sonrasında röntgen ile başlayıp gelişen görüntüleme teknikleri, bilgisayar teknolojisi, matematik modellemeler, modern alet teknolojisi, ... ile intrakranyal bölge – beyindeki herhangi bir nokta/ lezyon tanımlanabilir olmuş ve bununla nöronavigasyon yaklaşımı giderek gelişmiştir. Beyindeki herhangi bir nokta/ lezyon, Kartezyen koordinat sistemine göre horizontal, sagittal ve koronal olmak üzere üç uzaysal plana göre tanımlanabilir. Beynin (ve beyindeki lezyonun), çeşitli görüntüleme teknikleri, örneğin BT ya da MRG ile, görüntülenip –lezyonun koordinatlarının da hesaplanarak- sisteme yüklenmesi ve imajın sistemin bilgisayar yazılımında işlenmesiyle sağlanan paralel koordinat sistemi ile çakıştırılması sonucunda, işlem yaparken beyinde aranan lezyon ile örtüşmesi (ve böylece beyin içinde aranan noktaya ulaşılması) sağlanır. Böylece, ameliyat ya da işlem sırasında hasta üzerindeki gerçek noktalarla, koordinat sisteminin tanımıyla imaj noktaları arasında birebir karşılıklık kurularak nöronavigasyon sağlanmış olur.

3. Nöronavigasyonun İlkeleri ve Kullanım Alanları

Nöronavigasyonda temel unsurlar, (üstte belirtilmiş kurallar çerçevesinde) intraoperatif olarak lezyonun kesin bir biçimde bulunması ve ya da işlem sırasında/ sonrasında kontrol edilmesi, -örneğin derin - kritik yerleşimli, çok sayıda ve nispeten küçük hacimli tümörlerde-; lezyona en az travmatik – en az invazif şekilde ulaşılması, -örneğin endoskopik ya da nörovasküler yapılarda fizyolojik yolların kullanılmasıyla-; ve lezyonun en etkin ve etraf nörovasküler yapılara zararsız yöntemle tedavi edilmesi bileşenleridir. Buradaki unsurlardan

intraoperatif olarak lezyonun bulunması ve ya da işlem sırasında/ sonrasında kontrol edilmesini ele aldığımızda:

1. intraoperatif olarak (ya da bir işlem amacıyla) lezyon alanının bulunması ve ya da işlem sırasında/ sonrasında kontrol edilmesi, görüntü-rehberli olarak cerrahi alanın bulunmasını gerektirir ve bu da stereotaktik uygulamanın kullanılması ile sağlanır. Stereotaktik uygulama, doğrudan görmeksizin bir nokta/ bölgenin, -örneğin derin beyin yapılarının- kesin bir şekilde bulunması için koordinat sisteminin kullanılması, koordinat sistemi içinde tanımlanan lezyona ulaşılması esasına dayanır. Stereotaktik nöroşirürjinin endikasyonları başlıca:

- a. tümörlerde (biyopsi, rezeksiyon, radyocerrahi),
- b. arteriyovenöz malformasyon (AVM)'lerde cerrahi rezeksiyonda navigasyon ya da radyocerrahi için,
- c. epilepside (yapısal ve fizyolojik veri için ya da rezeksiyonda navigasyon için, ...),
- d. fonksiyonel anormalliklerin tedavisi için lezyon oluşturma ya da uyarı verme (hareket bozuklukları, ağrı durumlarında, ...),
- e. stereotaktik nöral doku implantasyonları, ilaç uygulamaları, gen terapisi, ...
- f. spinal cerrahide enstrümentasyonda,
- g. ventriküler kateterizasyon için kullanılabilir.

Stereotaktik nöroşirürjide **yapısal işlemler** başlıca:

- a. biyopsi (AVM'lerde ve inmelerde kaçınılmalıdır, kontrendikedir),
- b. stereotaktik olarak rehber eşliğinde endoskopik işlemlerde ya da açık kranyotomilerin küçültülmesi amacıyla,
 - c. stereotaktik olarak rehber eşliğinde intraserebral hematoma, apse boşaltılması, örneğin derin yerleşimli ve çok sayıda lezyonlar için,
 - d. interstisyel/kavite içine irradasyon,
 - e. radyocerrahi, örneğin tümörlerde, AVM'lerde, ... yapılmaktadır.

Stereotaktik nöroşirürjide **fonksiyonel işlemler** fonksiyonu bozulmuş bir işleyişin fonksiyonunu düzenlemek – değiştirmek, ... için başlıca:

- a. hareket bozuklukları, ağrı, epilepsi, ...

b. hedef anatomik olarak tanımlanmıştır ve standart beyin atlaslarındaki lokalizasyon hastanın anatomisine göre ayarlanıp koordinat sisteminde tam olarak belirlenmelidir.

Stereotaktik girişimlerde lezyonlar harap edici (*destructive*) ya da uyarıcı/ artırıcı (*augmentative*) niteliktedir, bunlar aşağıdaki şekilde olabilir.

Destrüktif yöntemler olarak:

a. radyofrekans sıcaklık lezyonları, elektrod ucunun sıcaklığı ayarlanabilir ve beyinde/ nöral yapıda kalıcı lezyonlar yapmadan önce test için geçici lezyonlar oluşturulabilir,

b. lazer sıcaklık lezyonları,

c. mekanik lezyonlar,

d. soğuk lezyonları (sıvı azot kullanarak kriyolezyonlar),

e. balon ile yapılan lezyonlar,

f. kimyasal lezyonlar

Uyarıcı/ artırıcı (*augmentative*) yöntemler olarak kronik beyin uyarıları, hücre ya da doku transplantları, gen transferi söylenebilir.

Nöronavigasyon uygulamaları ağırlıklı olarak kranyal olgularda ayrıca spinal ameliyatlarda da kullanılmaktadır ve giderek daha da yaygınlaşmaktadır; çünkü, nöronavigasyon uygulamaları artık bir lüks değil modern nöroşirürjinin gereğidir. Aslında çok önceden (19. yüzyılın sonlarında) başlamasına karşın uygulama alanları ve etkinliği ancak teknolojik gelişmelerle olanaklı olabilmıştır ve günümüz koşullarında bu uygulamalar rutin olmuştur denilebilir. Nöronavigasyon kullanımı ile, beyin tümörlerinin rezeksiyonunda, vasküler lezyonlarda, epilepsi cerrahisinde, spinal cerrahide enstrümanın daha iyi yerleştirilmesinde daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Nöronavigasyonun kullanım alanlarını ayrı ayrı ele alırsak:

Tümör Biyopsisi

Beyin tümörlerinde seçkin tedavi cerrahi rezeksiyon olmakla birlikte cerrahi planlama pek çok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Günümüzde, çeşitli sekanslarda ve tekniklerde yapılan MRG, BT perfüzyon görüntüleme, MR spektroskopisi, Pozitron Emisyon Tomografi (PET) metabolik görüntüleme, SPECT (*single photon emission computerized tomography*) gibi gelişmiş görüntüleme teknikleri ile beyin kitlesel lezyonlarında yüksek doğruluk oranları ile patoloji öngörülebilmeyle birlikte bazen biyopsiler, özellikle derin, çok sayıda ve kritik yerleşimli kitlelerde- gerekli olabilmektedir. Bu durumda nöronavigasyon önemli bir yardımcı araç olarak kullanılmaktadır.

Tümör Rezeksiyonu

Preoperatif ayrıntılı morfolojik ve fonksiyonel görüntüleme teknikleri ile olası patolojisi öngörülen ve cerrahi planlaması yapılan, özellikle kritik bölge ve derin yerleşimli tümör olgularında ayrıca nöronavigasyon kullanılarak tümöre ulaşımı daha da güvenli kılmak ve tümörün rezeksiyon derecesini maksimize ederek nörovasküler etkilenmeyi minimize etmek daha yüksek bir olasılıkla mümkün olur. Tümörlerde sağkalım/ *sürvi* ve yaşam kalitesini belirleyen en önemli faktörler tümörün histopatolojisi, tümör rezeksiyonunun derecesi ve özellikle kritik nörovasküler yapıların korunmasıdır. Nöronavigasyonun kullanılması ile daha güvenli ve etkin bir biçimde tümör rezeksiyonu yapılabilenkte, intraoperatif olarak rezeksiyonun derecesi kontrol edilebilmekte ve böylece daha iyi sonuçlar alınabilmektedir (Nabavi, Orringer, Shurkhay).

Vasküler Lezyonlar

Nöronavigasyon, özellikle küçük çaplı ancak yüksek *grade*'li (Spetzler derecelendirmesine göre: duyarlı bölge yerleşimi, büyüklük, majör arteriyel beslenme, derin venöz drenaj kriterleri esas alınarak) arteriyövenöz malformasyon (AVM)'lerde, kavernomalarda lezyonun lokalizasyonunda yararlı olmaktadır.

Epilepsi Cerrahisi

Medikal tedaviye dirençli, epileptojenik odak saptanan hastalarda nöronavigasyon odağın bulunmasını ve tam olarak sınırlarını göstermesi bakımından epilepsi cerrahisinde son derece yararlı ve gereklidir.

4. Sonuç

Sonuç olarak, genç bir cerrahi branş olan nöroşirürjinin başlangıcından bu yana, intrakranial alanda beynin lezyon noktasına doğru ve kesin olarak ulaşabilmek, normal nörovasküler yapıları korumanın yanında maksimum cerrahi etkinliği sağlamak için sürekli olarak araştırma ve çalışmalar yapılmış, bilim ve teknolojik gelişmelere koşut olarak çözümler geliştirilmiştir. Nöronavigasyon başlığı altında toplanan bu çalışma ve uygulamaları, günümüzde modern nöroşirürji için bir lüks değil her klinikte olması gereken standart çalışma ve donanım olarak düşünmek gerekmektedir.

Kaynakça / References

- Alexander E, Nashold BS, Jr.: A history of neurosurgical navigation, in Alexander E, III, Maciunas RJ (eds): Advanced Neurosurgical Navigation. New York: Thieme, 1999, pp 3-14.
- Blomstedt P, Olivecrona M, Sailer A, et al: Dittmar and the history of stereotaxy; or rats, rabbits, and references. Neurosurgery 2007;60(1):198-201; discussion 192-201.

- Horsley V, Clarke RH: The structure of the cerebellum examined by a new method. *Brain* 31:45-124, 1908.
- Leksell L: The stereotaxic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand.* 1951;102(4):316-319.
- Maciunas RJ: Overview of interactive image-guided neurosurgery: Principles, applications, and new techniques, in Alexander E, III, Maciunas RJ (eds): *Advanced Neurosurgical Navigation*. New York: Thieme, 1999, pp 15-32.
- Magoun HW: The Northwestern Connection with the Reticular Formation. *Surg Neurol.* 1985;24(3):250-252.
- Miner RC: Image-Guided Neurosurgery. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences* 48:2017, 328-335.
- Nabavi A, Stark AM, Dörner L, Mehdorn HM: Surgical Navigation with Intraoperative Imaging: Special Operating Room Concepts, in Quinones-Hinojosa A (ed): *Schmidek & Sweet Operative Neurosurgical Techniques. Indications, Methods, and Results*. sixth edition, Elsevier Saunders, 2012, pp 12-20.
- Orringer DA, Golby A, Jolesz F: Neuronavigation in the surgical management of brain tumors: current and future trends. *Expert Rev Med Devices* 2012 September;9(5):491-500.
- Rutkow IM: *Surgery, An Illustrated History*, Mosby, St. Louis, 1993.
- Shurkhay VA, Coryaynov SA, Aleksandrova EV, et al: Navigation Systems in Neurosurgery. *Problems of Neurosurgery after N.N. Burdenko* 6;98-104, 2016.
- Spiegel EA, Wycix HT, Marks M, et al: Stereotactic apparatus for operations on the human brain. *Science* 106:349-350, 1947.
- Waltregny AJ: A stereotactic frame for trigeminal ganglionectomy. *Appl Neurophysiol.* 1982;45(4-5):516-517.
- Wilkins RH: Historical aspects, in Sabiston I, David J, Jr (eds): *Textbook of Surgery: The Biological Basis of Modern Surgical Practice*. Philadelphia: W.B. Saunders, 1991, pp 1235-1236.
- Zernov DN: Encephalometer: device for determination of the location of brain parts of living humans. *Proceedings of the society of physicomedicine* 1889;2:70-86.

