



## Araştırma

Geliş Tarihi: 09.02.2024  
Kabul Tarihi: 03.05.2024

DOI: 10.5137/1019-5157.TND.3311

# Robotik Stereotaktik Yardım Cihazının Nöroonkolojik Cerrahide Kullanımı ve Teknik İncelikler

## Utilization and Technical Intricacies of Robotic Stereotactic Assistance Device in Neuro-Oncological Surgery

Muhammet Enes GÜRSES

Miami Üniversitesi Leonard M. Miller Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Ana Bilim Dalı, Lois Pope Life Merkezi, Miami, Florida, Amerika Birleşik Devletleri

Yazışma adresi: Muhammet Enes GÜRSES ✉ megursesmd@gmail.com

## ÖZ

**AMAÇ:** ROSA (Robotik Stereotaktik Yardım Cihazı) sistemi son yıllarda çok yönlülük, verimlilik, kullanım kolaylığı gibi özellikleri sayesinde çeşitli cerrahi alanlardaki kullanım alanını hızla genişletti. Nöroonkolojik cerrahi, yüksek doğruluk gerektiren prosedürlerin güvenliğini ve hassasiyetini artırmayı hedefleyerek robot teknolojisinin beyin cerrahisi pratiğine entegrasyonuna öncülük etti. Bu çalışmada ROSA sisteminin nöroonkolojik cerrahideki uygulamaları gösterildi.

**GEREÇ ve YÖNTEMLER:** Stereotaktik biyopsi, lazer termal terapi, endoskopik cerrahilerde ROSA robotik sistemi ile optimal yörüngelerin ameliyat öncesi doğru planlaması, ameliyat sırasında kayıt, robotik kol tarafından tutulan spesifik aletlerin kullanımı ve cerrahi tedavi aşamaları açıklandı.

**BULGULAR:** ROSA sisteminin stereotaktik biyopsi, lazer termal terapi, endoskopik üçüncü ventrikülostomi gibi nöro-onkolojik cerrahide robotik yardım kullanımının, etkinliği ve pratik değeri gösterilmiştir.

**SONUÇ:** Robotik cerrahi sistemi, minimal invaziv nöroonkolojik cerrahinin güvenliğini ve uygulanabilirliğini artırmakta, sonuçları optimize etmekte ve postoperatif morbiditeyi en aza indirmektedir. Robotik sistemin hassasiyeti, kullanıcı dostu arayüzü ve uyarlanabilirliği, bu sistemi nöroonkolojik prosedürler için tercih edilebilir kılmıştır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Biyopsi, Beyin tümörü, Lazer ablasyonu, Robotik beyin cerrahisi, ROSA

## ABSTRACT

**AIM:** The ROSA (Robotic Stereotactic Assistance) system has rapidly expanded its applications in various surgical fields in recent years, thanks to its versatility, efficiency, and ease of use. Leading the integration of robotic technology into neurosurgical practice, with the aim of enhancing the safety and precision of procedures requiring high accuracy, neuro-oncological surgery has paved the way for the adoption of robot technology in brain surgery practice. This study demonstrates the applications of the ROSA system in neuro-oncological surgery.

**MATERIAL and METHODS:** The accurate preoperative planning of optimal trajectories with the ROSA robotic system for stereotactic biopsy, laser interstitial thermal therapy, and endoscopic surgeries, intraoperative registration, use of specific instruments held by the robotic arm, and surgical treatment stages were described.

**RESULTS:** The effectiveness and practical value of using robotic assistance in neuro-oncological surgery, such as stereotactic biopsy, laser thermal therapy, and endoscopic third ventriculostomy, with the ROSA system have been demonstrated.

**CONCLUSION:** The robotic surgical system enhances the safety and feasibility of minimally invasive neuro-oncological surgery, optimizes outcomes, and minimizes postoperative morbidity. The precision, user-friendly interface, and adaptability of the robotic system have made it preferable for neuro-oncological procedures.

**KEYWORDS:** Biopsy, Brain tumor, Laser ablation, Robotic brain surgery, Rosa

Muhammet Enes GÜRSES  : 0000-0001-7141-0654

Bu eser "Creative Commons Atıf-GayriTicari-4.0 Uluslararası Lisansı" ile lisanslanmıştır.

## ■ GİRİŞ

**R**obotik stereotaktik yardım cihazı veya uluslararası kullanımdaki ismi ile ROSA® (Medtech, Montpellier, Fransa), entegre bir platformla birleştirilmiş, bilgisayar kontrollü bir robot kolunu temsil eder. Bu sistem, görüntü rehberliğiyle yönlendirilen beyin cerrahisi planlama yazılımını robotik navigasyonla birleştirerek, beyin cerrahlarına minimal invaziv prosedürleri gerçekleştirmede yardım sağlar (1). Hassasiyet, güvenlik ve çerçevesiz yüzey kaydı gibi kullanıcı dostu tekniklerdeki gelişmeler, robotik yardımın beyin cerrahisindeki çeşitli prosedürlere entegre edilmesinin önünü açtı (1). Bunlar, derin beyin stimülasyonu için stimülator yerleştirmeyi, çerçevesiz stereotaktik biyopsileri, epileptojenik odakları hedefleyen lazer ablasyonunu, endoskopik üçüncü ventrikülostomiye, nöbet kaydı için derinlik elektrotlarının yerleştirilmesini ve lezyon ablasyonunu içerir (1-6,8,10,12,18,19,24,26).

Stereotaktik biyopsi, nöroşirürji pratiğinde uzun zamandır kullanılan ve minimum morbiditeyle kesin histolojik tanıları ulaşmayı amaçlayan standart bir prosedürdür. Zamanla, cerrahlar serbest el biyopsisinden, doğruluk, kesinlik ve güvenilirlik nedeniyle çerçeve bazlı stereotaktik biyopsiye geçtiler (12). Çerçevesiz teknikler nöroşirürjiyenler tarafından ağırlıklı olarak benimsense de, çerçeve tabanlı yaklaşımlar hâlâ belirli vakalarda geçerliliğini korumaktadır (16,20,22). Bununla birlikte, yalnızca sınırlı sayıda klinik seriler yayınlandığı için robotik stereotaktik biyopsinin rolü belirsizliğini korumaktadır.

Lazer interstisyel termal terapi (LITT), nöro-onkolojide, özellikle erişilebilirlik konusunda zorluklar yaratan veya geleneksel tedavilere direnç gösteren intrakraniyal lezyonların tedavisindeki kullanımıyla öne çıkmıştır (17). Bu sistem, lezyonların minimal invazif olarak hedefe yönelik termal ablasyonunu kolaylaştırır. Çevredeki sağlıklı dokuya verilen hasarı en aza indirir ve ulaşılması zor lezyonların tedavisine olanak sağlar (21,25).

Robotik sistemler beyin cerrahları tarafından giderek daha fazla benimsenirken, literatürde bu sistemlerin nöroşirürjideki kullanımını ortaya koyan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Kraniyal cerrahide bu sistemin uygulanması sırasındaki teknikleri açıklayan bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu çalışma, robot yardımcı biyopsi, LITT ve endoskopik girişimler için temel yöntemleri tanımlamakta ve ROSA yardımcı sisteminin kullanımını ve tekniğini incelemektedir.

## ■ GEREÇ ve YÖNTEMLER

Çalışma için ilgili kurumdan etik onay alınmıştır [Yerel etik kurul (IRB) numarası: 20160437].

### Ameliyat Öncesi Planlama

Ameliyat öncesi görüntüleme süreci, planlanan ameliyattan önce çerçeve veya anestezi kullanılmadan yapılan bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) taramalarını içerir. 0,625 mm kesit kalınlığı ve 512 x 512 piksel matris boyutu kullanılarak ameliyat öncesi BT taraması elde edilir. MR için, stereotaktik biyopsi protokolüne özel olarak uyarlanmamış olmasına rağmen, beyin tümörü tanısı için nöroradyolojik ekibimiz tarafından 3-T MR protokolü kullanılır. Hedefleme için kullanılan MR dizileri, 1 mm kesit kalınlığına ve 512 x 512 pik-

sel matris boyutuna sahip bir T2 ağırlıklı diziyi, FLAIR ve gadolinyum-T1 (Gd-T1) ağırlıklı diziyi içerir. BT ve MR görüntüleri özel planlama yazılımına aktarılır ve yazılımın algoritması kullanılarak kayıt yapılır.

### ROSA Sistemi ve Ameliyat Aşamaları

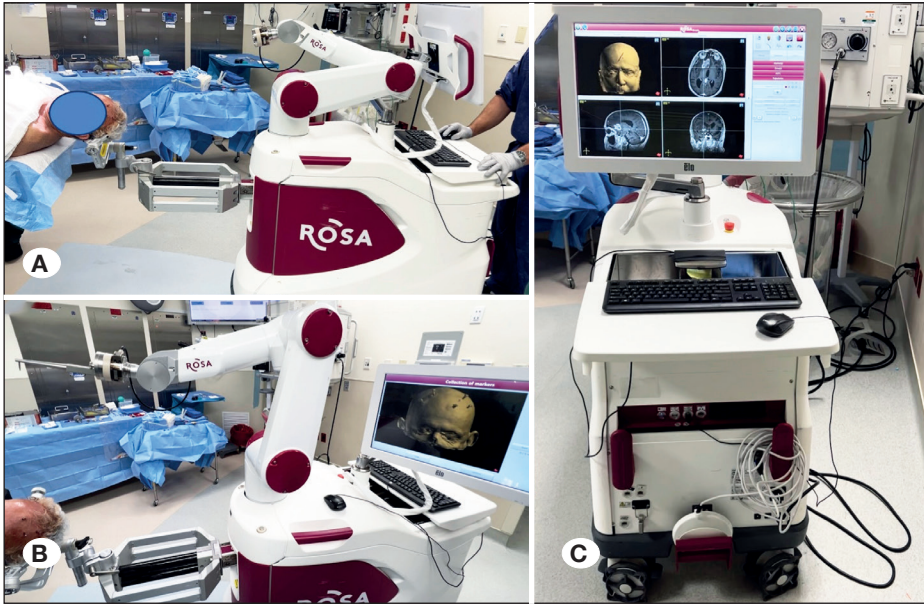
ROSA® kompakt bir robot kol ve dokunmatik ekran içeren platformdan oluşur ve tüm sistem, taşınabilir bir seyyar arabaya monte edilir (Şekil 1A, 1B). Sistemde kullanılan yazılım, BT ve MR görüntüleri kullanarak biyopsi iğneleri ve lazer problemleri için çeşitli yörüngelerin planlanmasını kolaylaştırır. Robotik kol, görüntülemeleri hastanın yüz özelliklerine göre hizalar. Daha sonra robotik kol sisteme takılır, planlanan yörünge boyunca cerrahi aletlerin kesin yönü için hizalamayı koruyarak amaçlanan konuma bilgisayarla yönlendirilir (Şekil 1C). Operatif aşamada, robot kol seçilen giriş noktasına hareket eder ve ilgili güzergaha göre yönlendirilir. Kol hareketi cerrah tarafından 3 farklı modda (aksiyal, izosantrik ve serbest) ve 2 hızda (yavaş veya hızlı) kontrol edilebilir. Robot kolun 6 serbest derecesi vardır ve kuvvet algılamaya ve geribildirim esasına dayalı "hissetme" özelliklerine sahiptir.

## ■ BULGULAR

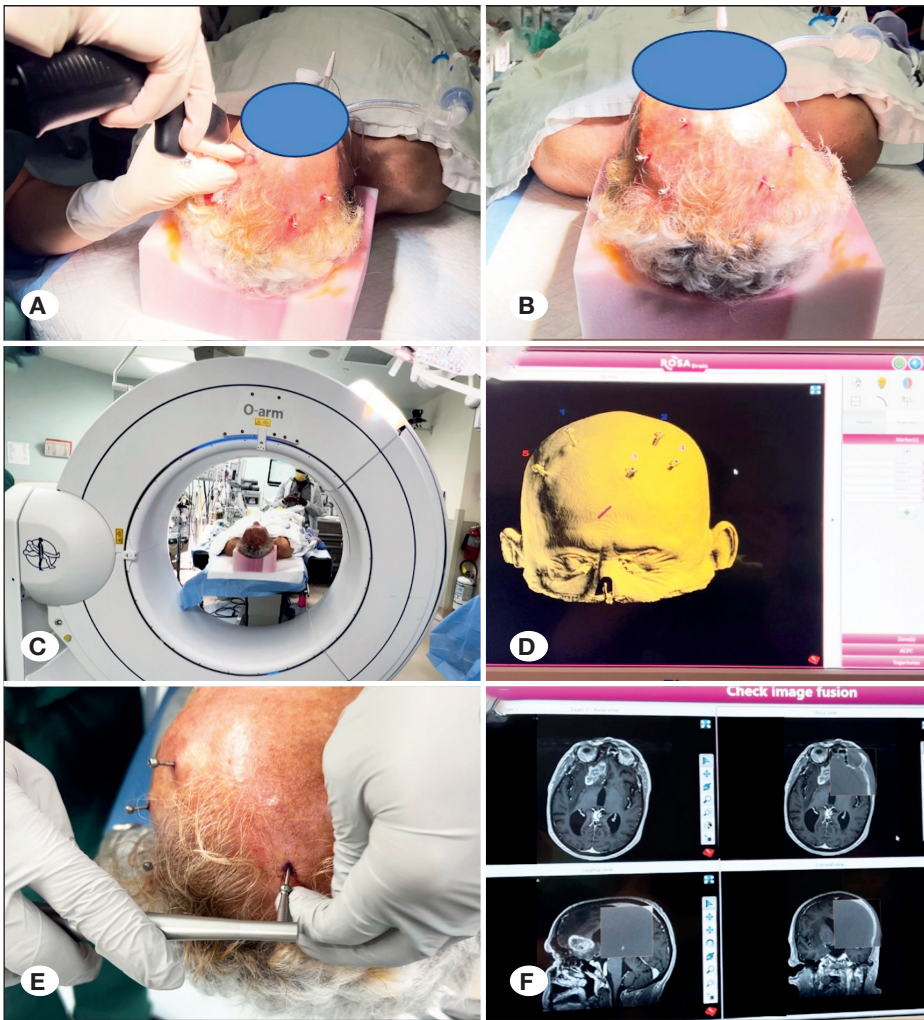
### Cerrahi Teknik

İşlem genel anestezi altında gerçekleştirilir. Başın pozisyonu, işleme bağlı olarak değişir: intraventriküler işlemlerde, pallidotomi ve derin beyin stimülasyonu (DBS) için nötr veya hafif fleksiyonlu; biyopsi ve LITT için genellikle supin pozisyonda ve nötr olmakla beraber lezyonun yerleşimine göre lezyona daha kolay ulaşılacak pozisyonlar cerrahın seçimine kalmıştır. Yüzey kaydı için iki yöntem kullanılabilir. Çerçevesiz yüzey kaydı için, hastanın kafasını herhangi bir mekanik hareket olmadan güvenli bir şekilde konumlandırmak amacıyla çivili başlık ile sabitlenir (Şekil 1C). Otomatik robotik çerçevesiz yüzey kaydı, robotik hareketleri ve noninvazif, temassız lazer ölçümünü birleştiren bir kayıt sistemi kullanılarak gerçekleştirilir. Belirli yüz işaretlerindeki yaklaşık 5000 ile 8000 nokta otomatik olarak kaydedilir ve bu kaydın doğruluğu, cerrah tarafından çeşitli işaret noktalarında doğrulanır. Alternatif yüzey kaydı için ameliyatın başlangıcında ROSA'ya kılavuz olacak 5 adet kemik referans işaretleyicileri kemiğe yerleştirilir ve ameliyat öncesi görüntüler referanslar aracılığıyla hastanın yüz hatlarına kaydedilir (Şekil 2A ve 2B). Ameliyat öncesi BT taramaları, çerçevesiz bir şekilde yüzey kaydı için referans görüntüler olarak görev yaparken, ameliyat sırasındaki flat panel bilgisayarlı tomografi (FPBT) taramaları, kemik referans işaretleyicilerinin kaydedilmesine yardımcı olur (Şekil 2C ve 2D). BT taramalarını ameliyat öncesi stereotaktik olmayan MR veri seti ile hizalamak için bu görüntüler planlama istasyonuna aktarılır ve doğrusal bir algoritma kullanılarak görüntüler birleştirilir (Şekil 2E ve 2F). Bu ortak kayıt sürecinin doğruluğu kontrol edilir, gerekirse düzeltilir ve ardından cerrah tarafından onaylanır (Şekil 2F). Her iki görüntüleme veri setini gösteren bir arayüz, ventriküller, komissürler veya kemik gibi anatomik işaretlere dayalı olarak doğrulama yapılmasına olanak sağlar.

Özetle yüzey kaydı bu adımları içerir: 1) kol kalibrasyonu; 2) robot kol tarafından tutulan temaslı mesafe sensörü ile yüz



**Şekil 1:** A) Robot standı, geri çekilebilir teleskopik destek kolu. B) Teleskopik destek koluna eklenen robotik işaretleyici parça. C) Dokunmatik ekran arayüzü.



**Şekil 2:** A) ROSA'ya kılavuz olacak kemik referans işaretleyicilerinin matkap yardımıyla yerleştirilmesi. B) ROSA'ya kılavuz olacak 5 adet kemik referans işaretleyicileri. C) Ameliyat sırasındaki flat panel bilgisayarlı tomografi (FPBT) taraması. D) Ameliyat sırasındaki FPBT taramasında 5 adet kemik referans işaretleyicisinin 3D görüntüsü. E) Yüzey kaydı için ROSA robotik kolu ile kemik referans işaretleyicisinin eşleştirilmesi. F) BT ve MR görüntüsünün füzyonu.

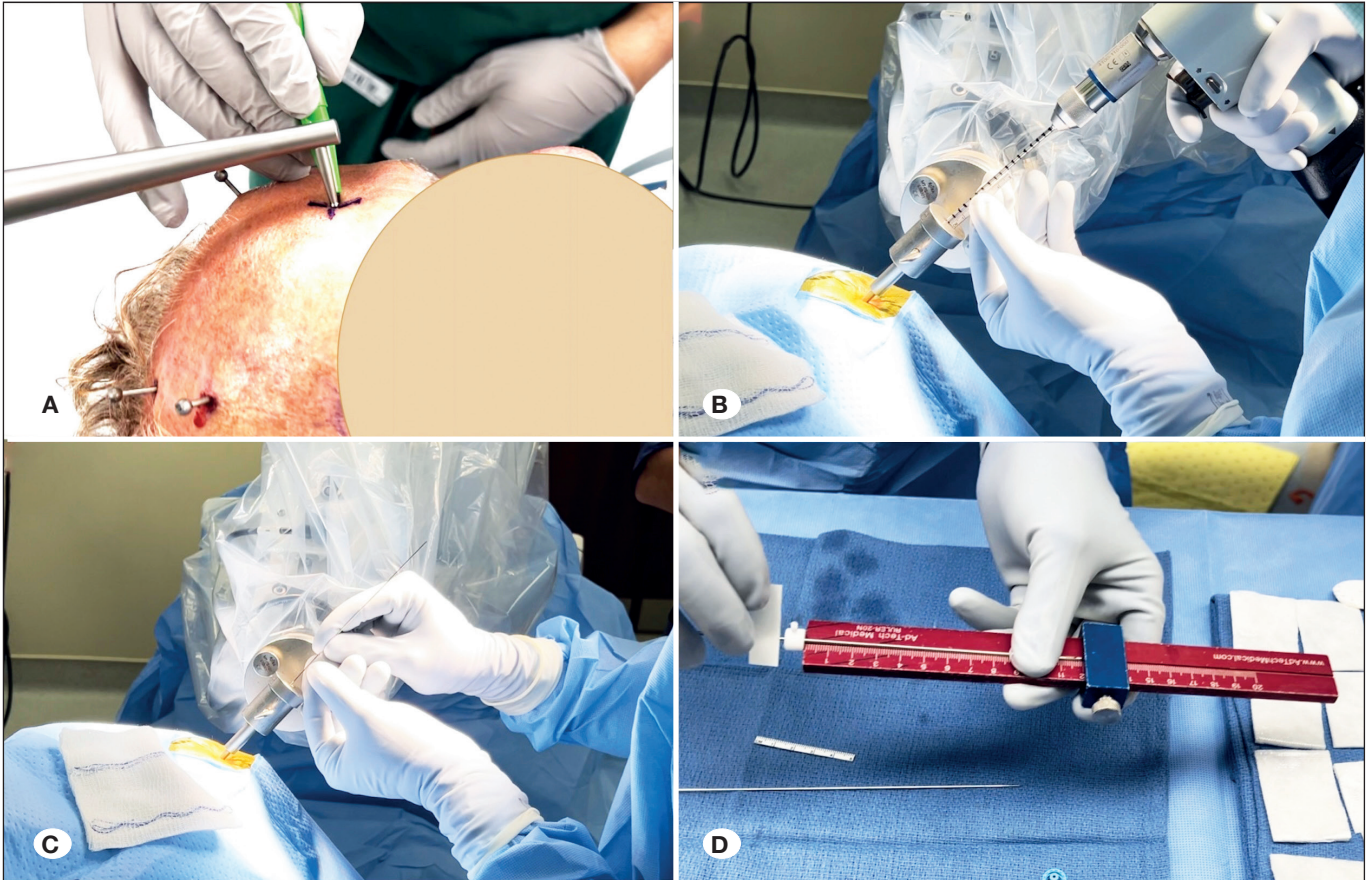
hatlarının elde edilmesi (bilateral lateral orbital bölge, iç ve dış kantus, nasion ve burun kemiği ucunu içerir); 3) cerrahi sırasında taranan üç boyutlu (3D) hacmin, ameliyat öncesi 3D MR veya BT verileriyle eşleştirilerek kayıt hatalarının düzeltilmesi; 4) hastanın yüzünün ilgili bölgelerinin otomatik taraması; 5) manuel tarama (burun yan yüzeyi ve bilateral lateral ön orbital bölge); 6) seçilen araca göre izleme izni doğrulama (mesafe sensörü, endoskop tutucu, mikroindirgeyici tutucu); ve 7) başlangıçtaki yüz hatlarının seviyesinde robot kolunu manuel olarak konumlandırılmasıyla hastanın ve görüntülemenin uyumluluğunun son doğrulaması. Daha sonra ROSA® kendisini cerrahi plana göre amaçlanan yörüngeye göre hizalar ve cerrah için giriş noktası, hedef ve güzergahı titizlikle belirler (Şekil 3A). Hedefleme süreci, transsulkus yörüngelerini veya ependimal duvarın sıyrılmasını önlemek için giril giriş noktalarının belirlenmesine dayanır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra belirli cerrahi işleme bağlı olarak robotik kolun ucundaki özel bir tutucuya birkaç enstrüman bağlanabilir. Örtme işlemi tamamlandıktan sonra robotik kol, planlanan yörünge boyunca otomatik olarak konumlandırılır. Stereotaktik cerrahi sırasında robot, alet tutucusu olarak görev yaparken, cerrah da aletleri robotik kolun tuttuğu redüktörler aracılığıyla manuel olarak yönetir.

### Endoskopik üçüncü ventrikülostomi (ETV) ve Endoskopik Yaklaşımlar

Endoskopik yaklaşımlar için planlanan giriş noktasına göre bir burr-hole açılır. ETV için ise Kocher noktası kullanılır. ROSA yazılımının ayarladığı açı ve derinlik ile robot kola entegre edilen rijit bir 0° endoskop (orta boy, Karl Storz), ventriküllere taşınır. Ventriküle iso-eksal moda ulaşıldığında, endoskop, işbirliği veya serbest moda geçilerek hedef noktasına taşınır. Üçüncü ventrikülostomi, klasik yöntemde olduğu gibi 3-Fr Fogarty balonlu kateter robotik kola monte edilen sistem içinden yollanarak gerçekleştirilir.

### Biyopsi ve LITT

Cerrahi teknik kısmında bahsi geçen basamaklar tamamlandıktan sonra ROSA yazılımının belirlediği giriş noktasına göre bir insizyon yapılır ve burr-hole açılır (Şekil 3A ve 3B). Ardından stilet ile dura delinir (Şekil 3C). ROSA sisteminin yazılımı aracılığıyla belirlenen uzunluk ölçülür (Şekil 3D). Biyopsi iğnesinin hedeflemesi ve yörünge planlaması, robotun özel planlama yazılımı kullanılarak gerçekleştirilir. Hedef noktalar kontrast artışı gösteren bölgelerden seçilir. Kontrastlanma olmayan patolojilerde ek olarak FLAIR veya T2 ağırlıklı sekanslarda hiperintens sinyal sergileyen alanlar üzerinden seçilir. Enjektöre tutturulmuş biyopsi iğnesi ölçüme göre işaretlenir ve ilerletilir.



**Şekil 3:** A) ROSA'nın cerrahi plana göre amaçlanan yörüngeye göre robotik kolunu hizalaması ve cerrah için giriş noktası, hedef ve güzergahı belirlemesi. B) ROSA yazılımının belirlediği giriş noktasına göre bir insizyon yapılması ve burr-hole açılması. C) Stilet ile duranın delinmesi. D) ROSA sisteminin yazılımı aracılığıyla belirlenen uzunluk ölçülür ve işaretlenir.

(Şekil 4A). Biyopsiler, bir Nashold iğnesi (10 mm numune penceresi; 2,5 mm çap, Medtronic) kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 4A). Sıklıkla lezyondan altı adet biyopsi alınır. İğnenin yönü her seferinde 60 derece çevrilir ve böylece 6 farklı yönden örnek alınarak biyopsinin optimal olma şansı artırılır. Lezyondan biyopsi alınmasının doğrulanması patoloj tarafından intraoperatif histopatolojik analizle elde edilir. Tanı doğrulandıktan sonra LITT işlemine geçilir. LITT işlemine başlanmadan önce işlem için ROSA yazılımının önerdiği uzunlukta termokoagülasyon elektrodu yerleştirilir ve sabitlenir (Şekil 4B). LITT vakalarında, herhangi bir lazer ayarlamasından önce kontrast içeren MR çekilir ve böylece doğru temel veriler sağlanır. Böylece LITT kateterleri planlandığı gibi hassas anatomik ablasyonu mümkün kılar. Termokoagülasyon seansları sırasında (70°C'de 60 saniye, Medtronic radyofrekans jeneratörü) özel bir elektrot kullanılarak gerçekleştirilir (Şekil 4C ve 4D). İşlem sonrasında cilt tek dikişle kapatılır. Cerrahiden sonra, tüm hastalara hedefi kontrol etmek ve cerrahi komplikasyonları dışlamak için kontrol BT veya MR görüntüleme yapılır.

## ■ TARTIŞMA

ROSA robotu, özellikle stereotaktik biyopsiler ve LITT gibi işlemlerde nöroonkolojik prosedürler için önemli avantajlar sunan çok yönlü bir platformdur. Bununla birlikte epilepsi

cerrahisinde, endoskopik girişimlerde ve spinal cerrahide de kullanım alanı bulmaktadır (3-5,14,15,26).

Stereotaktik biyopsi, güvenilir bir histolojik tanıya ulaşmak için kullanılan minimal invaziv bir yöntem olarak hizmet eder; özellikle küçük ve derin yerleşimli beyin tümörlerine erişimde faydalıdır (6,7,9). Geleneksel olarak iki ana yaklaşım kullanılmıştır: Çerçeveye dayalı yaklaşım ve çerçevesiz teknikler. Genel olarak çerçevesiz biyopsi, gelişmiş ergonomik özellikler ve daha kolay bir cerrahi iş akışı sunar; (1,6,23) özellikle supratentoryal tümörler ve 15 mm'den büyük lezyonları içeren vakalar için uygundur (20,22). Buna karşılık, çerçeve bazlı biyopsi daha karmaşık bir prosedür içerir. Cerrahi iş akışı ve en derin ve en küçük lezyonlar veya pineal bölge gibi yüksek vasküler alanların proksimalindeki lezyonlar için tercih edilmeye devam etmektedir (22).

Şimdiye kadar robot yardımı biyopsiler seçilmiş merkezlerde sınırlı sayıda yapılmış (3,11,13). Mallereau ve ark. yakın zamanda çerçevesiz robotik yüzey kaydı kullanarak farklı konumlara ve histolojik tiplere sahip 314 hastadan oluşan bir seride stereotaktik biyopsiler için ROSA cihazının kullanımını kanıtladı (15). Bu çalışma, minimal postoperatif kanama (%3,5, %0,6 semptomatik) ve geçici nörolojik morbidite (%2,5) insidansı ile yüksek tanılma oranı (%97,4) bildirmiştir (15).



**Şekil 4:** **A)** Nashold iğnesi (10 mm numune penceresi; 2,5 mm çap, Medtronic) kullanılarak biyopsi gerçekleştirilir. **B)** LITT işlemine başlanmadan önce kelebek sabitleyici kemiğe yerleştirilir. **C)** ROSA yazılımının önerdiği uzunlukta termokoagülasyon elektrodu yerleştirilir ve sabitlenir. **D)** MR çekimi sonrası LITT işlemi gerçekleştirilmesi.

Intraoperatif MR veya BT, iğnenin doğru yerleştirildiğini doğrulamaya yardımcı olur ve robotun mikro hareket yetenekleri, gerçek zamanlı ayarlamalara olanak tanıyarak prosedür boyunca hassasiyet sağlar. Bu robotik yaklaşımın çeşitli boyut ve lokasyonlardaki lezyonlarda etkili olduğu kanıtlanmıştır ve daha küçük veya posterior fossa lezyonlarında bile doğru teşhislerde elde edilebilmektedir. ROSA robotunun, beyin cerrahisi biyopsilerinde kullanılan diğer mevcut robotik cihazlarla karşılaştırıldığı çeşitli çalışmalardan elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, ROSA sisteminin tanısal doğruluğu ve güvenilirlik profili yüksektir. İlk elden deneyimimiz ROSA sisteminin çok yönlü ve kullanıcı dostu bir platform olduğunu doğrulamaktadır. Güvenli ve nispeten hızlı bir öğrenme eğrisi sergilerken, cerrahın tercihlerini ve farklı teknik ihtiyaçlarını karşılama konusunda uzmandır. Posterior fossaya erişimi engelleyebilecek stereotaktik çerçevelerin aksine, çerçevesiz stereotaktik biyopsilerde bu tür engeller yoktur. Ek olarak robotik sistem, birden fazla biyopsi geçişi gerektiğinde kateterin aynı yol boyunca ilerletilmesi veya geri çekilmesi konusunda hassas ayarlamalara olanak tanır. SurgiScope (Stockholm, Sweden) ve Mehrkoordinatlı Manipülatör Sistemi (MKM, Zeiss, Oberkochen, Germany)'den farklı olarak ROSA, işletim ortamında daha fazla esneklik ve uyarlanabilirlik sağlayan mobil bir cihazdır. ROSA, tasarım değişikliği gerektirmeden intraoperatif görüntülemeyle sorunsuz bir şekilde birleşir. ROSA'nın özellikleri, ventriküler endoskopi, transnazal endoskopi ve anahtar deliği prosedürleri için dokusal bir endoskop tutucusu olarak işlev görerek stereotaktik prosedürlerin ötesinde kullanılmasını sağlar. Bu çok yönlülük, uygulama yelpazesini genişletir ve faydasını özel stereotaktik prosedürlerin ötesine genişleterek potansiyel olarak maliyet etkinliğini artırır.

ROSA sistemi, daha küçük hedefler, daha dar koridorlar, fonksiyonel prosedürler ve elektrot implantasyonu gibi en yüksek düzeyde hassasiyet gerektiren işlemlerde cerrahın haptik yeteneğini artırarak insan karar verme yeteneğini makine teknolojisinin doğruluğuyla birleştirir. ROSA cihazının çeşitli minör invaziv prosedürlerde kullanımını, güvenliğini ve uygulamaya esnasındaki aşamalarını özetlediğimiz bu çalışmamızda aynı zamanda farklı araçları entegre etme olasılığını da gösterdik. Olgu serilerini de içeren daha fazla çalışmalar, önceki sonuçları doğrulamak, mevcut teknolojiyi geliştirmek ve robot destekli stereotaktik sistemlerin nörocerrahi prosedürlerin kalitesine olan etkisini optimize etmek için gereklidir.

### Sınırlamalar

ROSA cihazı çeşitli avantajlar sunsa da sınırlamaları vardır. Cihaz, boyutu nedeniyle, operasyon alanında önemli miktarda alan kaplamaktadır. Ek olarak, sistemi kullanmak için bir öğrenme eğrisi vardır, ancak diğer karmaşık cihazlarla karşılaştırıldığında öğrenme süresi nispeten kısadır. ROSA'da uzmanlaşmak, öncelikle bir navigasyon sistemine benzer şekilde robotik kolun çalışmasını öğrenmeyi gerektirir.

Geleneksel görüntü yönlendirme sistemlerinin aksine, robotik yönlendirmenin dikkate değer bir teknik dezavantajı, rijit kafa sabitlemesinin gerekliliğidir. Bu sınırlama, ameliyat sırasında hasta pozisyonunu ayarlama yeteneğini kısıtlar. Bu, intraoperatif kanamayı yönetmek veya belirli cerrahi yollara erişimi artırmak için baş pozisyonunu değiştirme ihtiyacının ortaya çıkabileceği kraniyotomiler sırasında önemli hâle gelir.

Diğer bir sınırlama ise makinenin hastanın kafasına olan optimal mesafesinin ve açısının belirlenmesidir. Cerrahi işlemlere başlamadan önce kayıt ve yörünge rehberliği için robotik kola yeterli erişime izin veren en uygun makine pozisyonunu bulma konusunda bu deneme-yanılma süreci, özellikle öğrenme aşamasında anestezi süresini uzatabilir.

ROSA robotik sistemi, özellikle stereotaktik biyopsiler, LITT ve ETV'de doğruluk, güvenlik ve verimlilik sunarak nöroşirürji prosedürlerinde değerini ortaya koyuyor ve bu alanda cerrahi hassasiyeti ve sonuçları daha da artırma konusunda umut vadediyor. Cihaz, giriş noktaları için hassas planlama sağlarken belirli yörünge türleriyle ilişkili riskleri azaltarak cerrahi iş akışını kolaylaştırıyor.

### ■ SONUÇ

Çalışmamız ROSA robotik sisteminin nöroşirürji prosedürlerinde, özellikle stereotaktik biyopsiler, LITT, endoskopik girişimler ve ETV'de kullanım basamaklarını göstermektedir. Sistemin çok yönlülüğü, kullanıcı dostu arayüzü ve güvenli olması, sistemi doğru teşhis ve kesin tedavi sonuçları elde etmek için değerli bir araç hâline getiriyor. Sistemin faydalarını en üst düzeye çıkarmak ve nöroonkolojik cerrahiye daha fazla entegre etmek için ileri araştırmalar gereklidir. Özellikle uzun vadeli sonuçlar ve maliyet etkinliği konusunda gelecekteki araştırmalar, sistemin faydasını ve bu alandaki daha geniş uygulama potansiyelini tam olarak anlamada hayati önem taşıyacaktır.

### YAZAR KATKILARI

Yazar (MEG) aşağıdaki sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son hâlini onaylamıştır: Çalışmanın fikri veya tasarımı, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının hazırlanması ve makalenin kritik revizyonu.

### ■ KAYNAKLAR

1. Ball T, Gonzalez-Martinez J, Zemmar A, Sweid A, Chandra S, VanSickle D, Neimat JS, Jabbour P, Wu C: Robotic applications in cranial neurosurgery: Current and future. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 21:371-379, 2021. <https://doi:10.1093/ons/opab217>
2. Barnett GH, Miller DW, Weisenberger J: Frameless stereotaxy with scalp-applied fiducial markers for brain biopsy procedures: Experience in 218 cases. *J Neurosurg* 91:569-576, 1999. <https://doi:10.3171/jns.1999.91.4.0569>
3. Bekelis K, Radwan TA, Desai A, Roberts DW: Frameless robotically targeted stereotactic brain biopsy: Feasibility, diagnostic yield, and safety. *J Neurosurg* 116:1002-1006, 2012. <https://doi:10.3171/2012.1.JNS111746>
4. Dammers R, Haitsma IK, Schouten JW, Kros JM, Avezaat CJ, Vincent AJ: Safety and efficacy of frameless and frame-based intracranial biopsy techniques. *Acta Neurochir (Wien)* 150:23-29, 2008. <https://doi:10.1007/s00701-007-1473-x>
5. De Benedictis A, Trezza A, Carai A, Genovese E, Procaccini E, Messina R, Randi F, Cossu S, Esposito G, Palma P, Paolina Amante P, Rizzi M, Marras CE: Robot-assisted procedures in pediatric neurosurgery. *Neurosurg Focus* 42:E7, 2017. <https://doi:10.3171/2017.2.FOCUS16579>

6. Dorward NL, Alberti O, Palmer JD, Kitchen ND, Thomas DG: Accuracy of true frameless stereotaxy: in vivo measurement and laboratory phantom studies. Technical note. *J Neurosurg* 90:160-168, 1999. <https://doi:10.3171/jns.1999.90.1.0160>
7. Dorward NL, Paleologos TS, Alberti O, Thomas DG: The advantages of frameless stereotactic biopsy over frame-based biopsy. *Br J Neurosurg* 16:110-118, 2002. <https://doi:10.1080/02688690220131705>
8. Gonzalez-Martinez J, Vadera S, Mullin J, Enatsu R, Alexopoulos AV, Patwardhan R, Bingaman W, Najm I: Robot-assisted stereotactic laser ablation in medically intractable epilepsy: Operative technique. *Neurosurgery* 10 Suppl 2:167-172; discussion 172-173, 2014. <https://doi:10.1227/NEU.0000000000000286>
9. Grossman R, Sadetzki S, Spiegelmann R, Ram Z: Haemorrhagic complications and the incidence of asymptomatic bleeding associated with stereotactic brain biopsies. *Acta Neurochir (Wien)* 147:627-631; discussion 631, 2005. <https://doi:10.1007/s00701-005-0495-5>
10. Gupta M, Chan TM, Santiago-Dieppa DR, Yekula A, Sanchez CE, Elster JD, Crawford JR, Levy ML, Gonda DD: Robot-assisted stereotactic biopsy of pediatric brainstem and thalamic lesions. *J Neurosurg Pediatr* 27:317-324, 2020. <https://doi:10.3171/2020.7.PEDS20373>
11. 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* 56:363-377, 2010. <https://doi:10.1016/j.neuchi.2010.05.006>
12. Kondziolka D, Lunsford LD: The role of stereotactic biopsy in the management of gliomas. *J Neurooncol* 42:205-213, 1999. <https://doi:10.1023/a:1006105415194>
13. Lefranc M, Touzet G, Caron S, Maurage CA, Assaker R, Blond S: Are stereotactic sample biopsies still of value in the modern management of pineal region tumours? Lessons from a single-department, retrospective series. *Acta Neurochir* 153:1111-1121; discussion 1121-1122, 2011. <https://doi:10.1007/s00701-010-0936-7>
14. Liu L, Mariani SG, De Schlichting E, Grand S, Lefranc M, Seigneuret E, Chabardès S: Frameless ROSA(R) robot-assisted lead implantation for deep brain stimulation: Technique and accuracy. *Oper Neurosurg (Hagerstown)* 19:57-64, 2020. <https://doi:10.1093/ons/onz320>
15. Mallereau CH, Chibbaro S, Ganau M, Benmekhbi M, Cebula H, Dannhoff G, Santin MN, Ollivier I, Chaussemy D, Coca AH, Proust F, Todeschi J: Pushing the boundaries of accuracy and reliability during stereotactic procedures: A prospective study on 526 biopsies comparing the frameless robotic and Image-Guided Surgery systems. *J Clin Neurosci* 95:203-212, 2022. <https://doi:10.1016/j.jocn.2021.11.034>
16. McMillen JL, Vonau M, Wood MJ: Pinless frameless electromagnetic image-guided neuroendoscopy in children. *Childs Nerv Syst* 26:871-878, 2010. <https://doi:10.1007/s00381-009-1074-5>
17. Medvid R, Ruiz A, Komotar RJ, Jagid JR, Ivan ME, Quencer RM, Desai MB: Current applications of MRI-guided laser interstitial thermal therapy in the treatment of brain neoplasms and epilepsy: A radiologic and neurosurgical overview. *AJNR Am J Neuroradiol* 36:1998-2006, 2015. <https://doi:10.3174/ajnr.A4362>
18. Miller BA, Salehi A, Limbrick DD Jr, Smyth MD: Applications of a robotic stereotactic arm for pediatric epilepsy and neurooncology surgery. *J Neurosurg Pediatr* 20:364-370, 2017. <https://doi:10.3171/2017.5.PEDS1782>
19. Nelson JH, Brackett SL, Oluigbo CO, Reddy SK: Robotic stereotactic assistance (ROSA) for pediatric epilepsy: A single-center experience of 23 consecutive cases. *Children (Basel)* 7:94, 2020. <https://doi:10.3390/children7080094>
20. Owen CM, Linskey ME: Frame-based stereotaxy in a frameless era: Current capabilities, relative role, and the positive- and negative predictive values of blood through the needle. *J Neurooncol* 93:139-149, 2009. <https://doi:10.1007/s11060-009-9871-y>
21. Rahmathulla G, Recinos PF, Valerio JE, Chao S, Barnett GH: Laser interstitial thermal therapy for focal cerebral radiation necrosis: A case report and literature review. *Stereotact Funct Neurosurg* 90:192-200, 2012. <https://doi:10.1159/000338251>
22. Smith JS, Quinones-Hinojosa A, Barbaro NM, McDermott MW: Frame-based stereotactic biopsy remains an important diagnostic tool with distinct advantages over frameless stereotactic biopsy. *J Neurooncol* 73:173-179, 2005. <https://doi:10.1007/s11060-004-4208-3>
23. Woodworth GF, McGirt MJ, Samdani A, Garonzik I, Olivi A, Weingart JD: Frameless image-guided stereotactic brain biopsy procedure: Diagnostic yield, surgical morbidity, and comparison with the frame-based technique. *J Neurosurg* 104:233-237, 2006. <https://doi:10.3171/jns.2006.104.2.233>
24. Xu F, Jin H, Yang X, Sun X, Wang Y, Xu M, Tao Y: Improved accuracy using a modified registration method of ROSA in deep brain stimulation surgery. *Neurosurg Focus* 45:E18, 2018. <https://doi:10.3171/2018.4.FOCUS1815>
25. Zeller S, Kaye J, Jumah F, Mantri SS, Mir J, Raju B, Danish SF: Current applications and safety profile of laser interstitial thermal therapy in the pediatric population: A systematic review of the literature. *J Neurosurg Pediatr* 2:1-8, 2021. <https://doi:10.3171/2021.2.PEDS20721>
26. Zimmermann M, Krishnan R, Raabe A, Seifert V: Robot-assisted navigated endoscopic ventriculostomy: Implementation of a new technology and first clinical results. *Acta Neurochir (Wien)* 146:697-704, 2004. <https://doi:10.1007/s00701-004-0267-7>