

## Derleme

# Anevrizma Cerrahisinde Minimal İnvazif Yaklaşımlar

## Minimally Invasive Approaches for Aneurysm Surgery

Murad ASİLTÜRK

Bakırköy Mazhar Osman Ruh ve Sinir Hastalıkları Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

## ÖZ

Anevrizma cerrahi tedavisinde standart pterional kraniotomi yanında son yıllarda kullanım sıklığı artan minimal invazif yaklaşımlarından bahsedilecektir. Minimal invazif yaklaşımların tanıtımı, cerrahi sonuçları ve avantajları konu edilecektir. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan minimal invazif yaklaşımlardan supraorbital, lateral supraorbital, mini-pterional, mini-orbitozigomatik ve interhemisferik yaklaşımlardan bahsedilecektir. Bu yaklaşımlar; temporal kasın daha az travmatize edilmesine, beyin parankim dokusunun gerekmeden kısımlarının daha az ekspoz olmasına sonucu beyin az manipüle edilmesine, insizyonun küçüklüğü sebebiyle yara yeri iyileşmesinin hızlı olması sonucu beyin-omurilik sıvısı fistüllerinde azalmaya ve kozmetik sorunların minimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşımlar, klasik pterional kraniotomi yaklaşımı kadar cerrahi özgürlüğüne sahiptir. Bu yaklaşımlardan kısaca bahsedilecek, bizim tercihimiz olan lateral supraorbital kraniotomiye ağırlık verilecektir. Uygun hastalara uygulanan minimal invazif yaklaşımlar, daha iyi cerrahi ve kozmetik sonuçlar sağlamaktadır.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Anevrizma, Cerrahi tedavi, Minimal invazif yaklaşım

## ABSTRACT

We will discuss the minimally invasive procedures that are used more and more frequently in aneurysm surgery in addition to standard pterional craniotomy in this article. The aim is to familiarise the reader with minimally invasive methods, as well as the surgical results and advantages. Minimally invasive approaches commonly used in recent years include the supraorbital, lateral supraorbital, mini-pterional, mini-orbitozygomatic and interhemispheric approaches. These approaches contribute to lesser traumatization of the temporal muscle, lesser exposure of the brain parenchyma, and lesser manipulation of the exposed brain; facilitate wound healing due to the small size of the incision, and result in minimized risk of cerebrospinal fluid fistulae and reduction of cosmetic problems. These approaches allow surgical freedom as much as the classical pterional craniotomy. These approaches will be briefly mentioned and lateral supraorbital craniotomy, which we prefer, will be emphasised.

**KEYWORDS:** Aneurysm, Surgical treatment, Minimally invasive approach

## ■ GİRİŞ

Son yıllarda teknolojiye olan gelişim hayatın tüm alanlarına etki ettiği gibi beyin ve sinir cerrahisine de yansımaktadır. Yıllar öncesi ölümden kurtulması başarı sayılan subaraknoid kanama (SAK) sonrası anevrizma ameliyatı geçiren hastalarda, hele de insidental anevrizmaların da rutin olarak ameliyat edilir hale gelmesiyle, artık ameliyat sonrası gelişen

nörolojik defisitlerin ve kozmetik sorunların azaltılması ön planda tutulmaktadır (Şekil 1).

Genellikle anevrizma cerrahisinde standart pterional yaklaşımın modifikasyonu olarak kabul edebileceğimiz ve lezyona yönelik farklılıklar gösteren supraorbital, lateral supraorbital, mini-pterional, mini-orbitozigomatik yaklaşımlar ve interhemisferik yaklaşım da kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar ile beyin



Yazışma adresi: Murad ASİLTÜRK

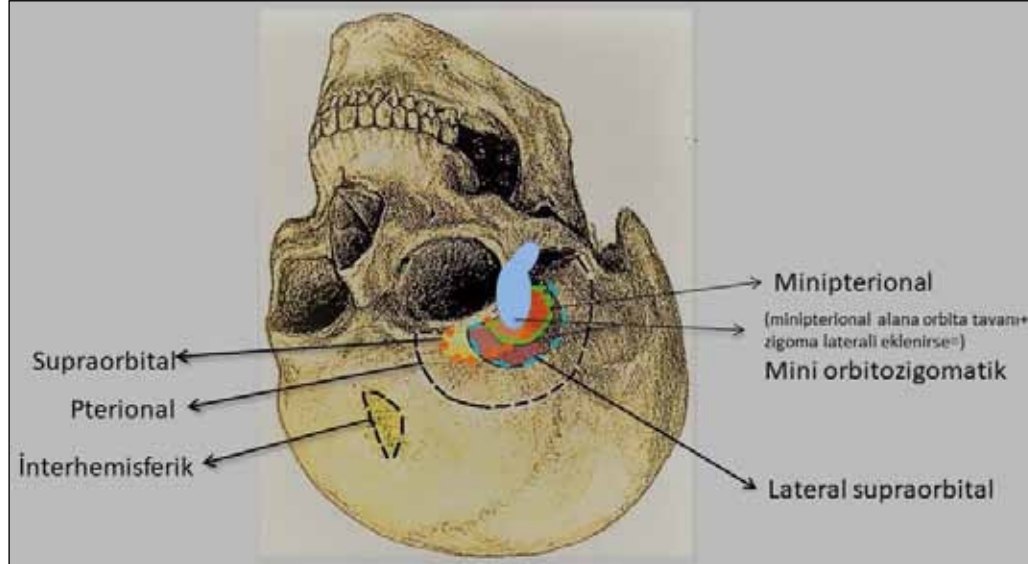
E-posta: muradasil@gmail.com

parankim dokusu cerrahi temasa daha az maruz bırakılarak daha iyi cerrahi sonuçlar elde edilir, temporal kasa az travma ile kozmetik sorunlar minimize edilir. Bu makalede, anevrizma cerrahi kliplenmesi veya desteklenmesi amacıyla kullanılan minimal invazif yaklaşımlarından kısaca bahsedilecektir.

### ■ LATERAL SUPRAORBİTAL (LSO) YAKLAŞIM

LSO yaklaşım ilk kez anevrizma cerrahi tedavisinde 2005 yılında Hernesniemi ve ark. (14) tarafından anlatılmıştır.

LSO yaklaşım beyin anterior fossasındaki tümörlerin eksizyonu, optik sinir dekompresyonu, orbital tümörlerin eksizyonu, parasellar tümörler ve beyin hem anterior hem de baziler tepe anevrizmalarının çoğunun cerrahi kliplenmesinde kullanılan minimal invazif bir yaklaşımdır (1,13,14). Bu yaklaşım bizim de 2006'dan beri 500'ün üzerindeki olguda kullandığımız yaklaşım olup alçak yerleşimli baziler tepe, baziler gövde, vertebral arter lezyonları ve distal anterior serebral arter (ACA) anevrizmaları hariç, kontrateral orta serebral arter (MCA) anevrizmaları da dâhil olmak üzere tüm anevrizmalarda güvenlidir. Subfrontal bir yol ile cerrahi yapılır (Şekil 2).



Şekil 1: Minimal invazif kraniyotomiler.

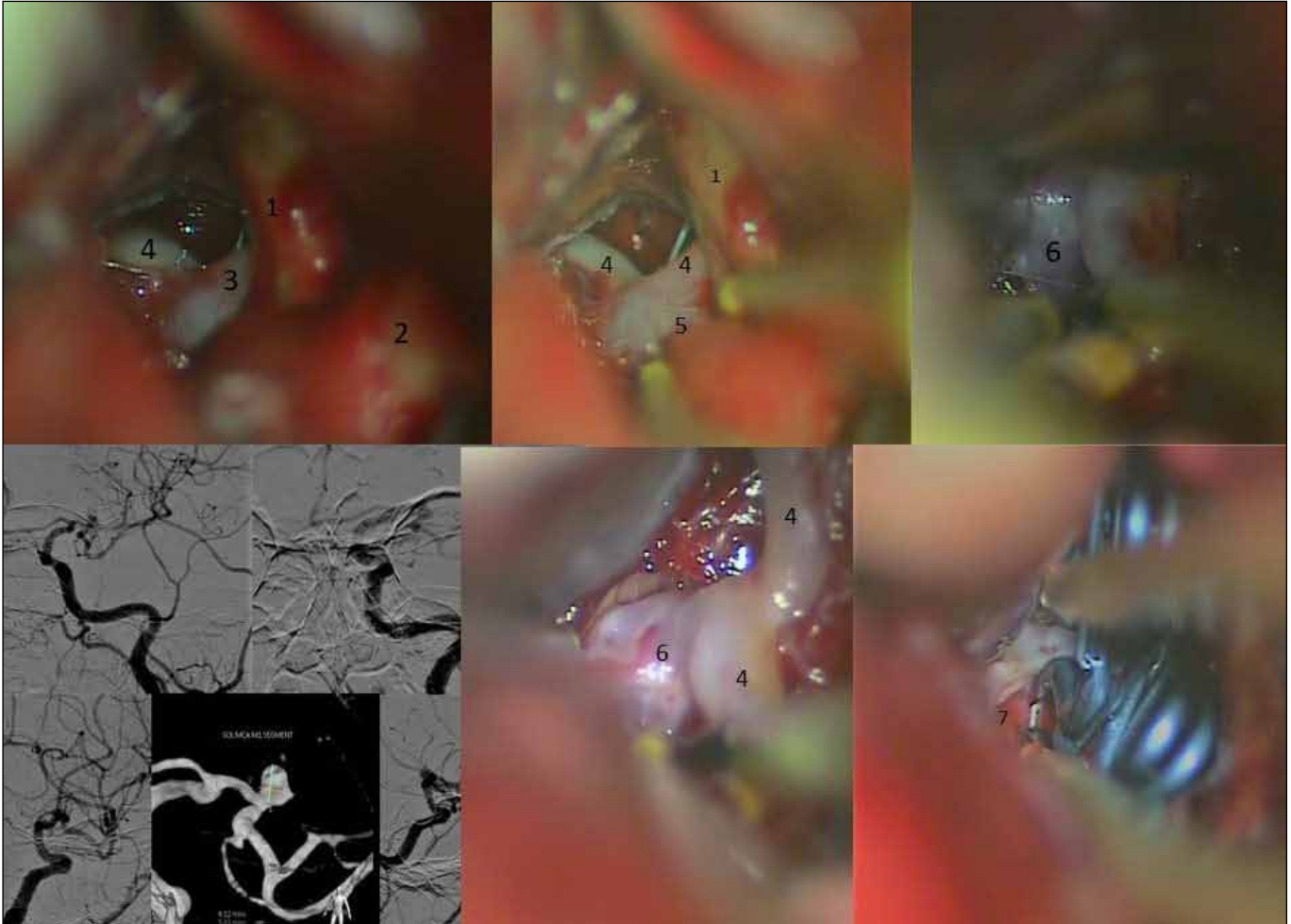


Şekil 2: Lateral supraorbital kraniyotomi. 5 cm'lik cilt insizyonu ile 3x3 cm'lik kraniyotomi yapılmış. Altı ay sonra kozmetik sorun kalmamış (farklı hasta).

Hasta sırtüstü pozisyonda ameliyat masasına alındıktan sonra masa, hastanın başı kalbinden 15-20 cm yüksek olacak şekilde ayarlanır. Çivili başlıkla, baş 30° ekstansiyonda; anterior komunikan arter (ACoA) ve karşı internal karotid arter (İCA)'e ulaşılacağı zaman baş karşı tarafa 45° döndürülür ve 30° karşı tarafa yatırılarak tespit edilir. Aynı taraf MCA ve İCA için 30° rotasyon, 30° karşı tarafa yatırma yeterlidir. Karşı MCA'ya ulaşılması gerektiği durumlarda baş karşıya 45° yatırılarak ACoA, karşı A1 ve karşı MCA'nın hemen hemen düz bir hat haline gelmesi sağlanır. Bu yaklaşımda cilt insizyonu 5-6 cm'e kadar uzatılabilir. Saç hizası aşağıdaysa saç içinden, değilse kaşın 3 cm üstüne gelecek şekilde cilt insizyonu yapılır. Galeanın korunmasına gayret edilir (25). Linea temporalisin altından, temporal kas altında kalacak şekilde burr deliği açılır. Kraniotomi için önde orbita üst duvarına sıfır geçilir. Linea temporalis superfisialisin 2,5-3 cm üstü, 0,5-1 cm altına gidilip 3-4x3 cm'lik kraniotomi tek burr ile tamamlanır. Bu temporal kasın minimal sıyrılması sonucu atrofisini engeller. Dura açılmadan 5 mm'lik elmas uçlu motor ile sfenoid kanat turlanıp, orbita arka duvarı inceltilecek yer kazanılır. Dura sfenoid kanat tarafına bakacak şekilde yarım ay şeklinde açıldıktan sonra

katlanıp kraniotomi kenarının altına subdural alana saklanılır. Sahaya mikroskop çekildikten sonra orbita arka duvarı ve frontal lob arasında turlama sonucu kazanılan anatomik koridor kullanılarak sırasıyla aynı taraf optik sinir, optik kiazma, lamina terminalise ulaşılarak açılıp beyin omurilik sıvısı (BOS) boşaltılır. Ardından ACoA anevrizmaları için girus rektus'un ön tarafı rezeke edilerek A1 segmentinin trasesi ortaya çıkarılır. Karşı MCA için diseksiyona devamlı kiazma, karşı İCA bifurkasyonu, karşı M1 ve MCA bifurkasyonu ekspoz edilir. Aynı taraf MCA için anevrizmanın tam proksimaline denk gelecek yerden küçük bir Silvan açılışı yapılır, proksimale ve distale hâkim olunur (1). Baziler tepe için karotid sisternde Lilliequist membranı açıldıktan sonra diseksiyona devamlı posterior komunikan arter (PCoA) ve baziler tepeye ulaşılır (Şekil 3).

Bu yaklaşımın avantajları; beyin korteksinin çok az ekspoz edilmesi dolayısıyla dış etkenlere maruz kalma riskinin az olması, tam bir açılı ile hedefe ilerlenerek retraksiyonun azaltılıp nörovasküler yapılara verilebilecek hasarın minimize inmesi; ameliyat süresinin daha kısa olması ve daha az doku anatomisi bozulması sebebiyle enfeksiyon riskinin daha az olması; Silvan



**Şekil 3:** Sağdan LSO yaklaşımıyla sağ MCA kliplendikten sonraki aşamada sol M1 anevrizmasının kliplenmesi. 1: Sol optik sinir, 2: Sağ optik, 3: Sol karotis, 4: Sol M1, 5: Sol A1, 6: Anevrizma, 7: Anevrizmanın domu kliplenmiş, sönmüş.

fissür tam açılmadığı için arterial manipülasyon azalacağından vazospazm sonrası morbidite riskini azaltmasıdır. Daha küçük bir kemik defekti olduğundan kozmetik sonuçların daha iyi olması, yara yeri küçük olduğundan BOS fistülü riskinin düşük olması da sayılabilir. Bu yaklaşımla trial karşılaştırılmalı prospektif çalışmalar olmamasına rağmen son 20 yıldır birçok retrospektif olarak olgu serileri bildirilmiştir (1).

### ■ SUPRAORBİTAL (SO) YAKLAŞIM

SO yaklaşım anterior kafatasına subfrontal bir yaklaşım olup ilk kez anevrizma cerrahi tedavisinde 1998 yılında ayrı olarak Paladino ve ark.(21) ve van Lindert ve ark.(27) tarafından anlatılmıştır (4). Pozisyon LSO yaklaşımdakine benzer yapıldıktan sonra cilt insizyonu kaş içine veya hemen üstüne yapılabilir (Şekil 4). Bu yaklaşımda supraorbital sinirin frontale giden dalını zedelenme riski vardır. Frontal sinüsün ve supraorbital sinirin lateralinden 25x15 mm'lik kraniotomi yapılır. Bu yaklaşım bazal sisternalara, lamina terminalise ve çoğu orta hat ve



Şekil 4: Supraorbital yaklaşım, kaş içi insizyonu ile.

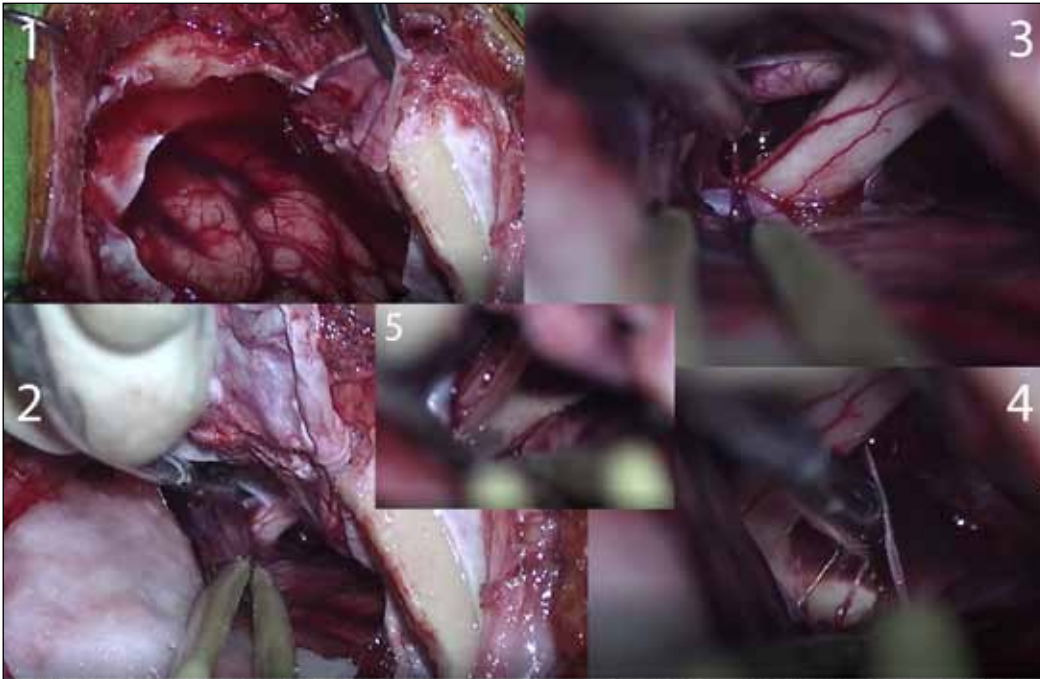
paramedian anevrizmaları içine alan müdahaleye izin vermektedir (4,9,19-21,27,28). Bu yaklaşımda frontal sinüs bütünlüğü bozulması sonucu BOS kaçağı, supraorbital sinir zedelenmesi gibi bazı komplikasyonlar görülebilir. Bu kraniotomi pterional kraniotomi veya LSO yaklaşım için yapılan cilt insizyonu ile de yapılabilir.

### ■ MİNİ PTERİONAL YAKLAŞIM

Bu yaklaşım klasik pterional kraniotominin küçültülmüş halidir. Cilt insizyonu saçlı deri arkasında; tragusa ve orta hatta ulaşmayacak şekilde daha kısa yapılır; süperior temporal çizginin üst tarafına 1, alt tarafına 2 cm taşan bir kraniotomi ile sfenoid kanadı dolayısıyla da Silvian fissürü ortalamayan 3-4x3 cm'lik bir kraniotomi yapılır (Şekil 5).

### ■ MİNİ ORBİTOZİGOMATİK (Mini-OZ) YAKLAŞIM

Mini-pterional yaklaşıma orbita üst duvarı ve zigoma mediali eklenerek yapılır. Pozisyon benzer şekilde verildikten sonra cilt insizyonu zigomatik ark kökünde tragusun 1 cm anterior ve süperiorundan başlayarak kurvilineer olarak saçlı cilt hattının arkasında ipsilateral mid-pupiller hat seviyesinde sonlanır. Mini pterional yaklaşımdan farklı olarak kraniotomiye süperior orbital rim, zigomatik prosesin 5 mm kadar ön kısmı ve komşu orbita tavanı eklenir. Orbita yan duvarını da içine alan MacCarty noktasından temporal skuamoz kemiğin yüzeyine 45° açıyla burr deliği açılır. Orbital içerik orbita duvarından sıyrılır. Süperior orbital rim ve zigoma 5 mm kadar kesildikten sonra orbital tavan çizil kullanılarak çıkartılır. (28,29). Frontal kemiği, süperior orbital rim'i, zigomatik prosesi ve orbital tavanı içine alan 3x3 cm'lik kraniotomi yapılır.



1: Turlama sonrası dura açıldığında geniş bir çalışma alanı görülüyor. 2: Sol optik. 3: Sol karotis, sol optik ve sol A1 proksimali görülüyor. 4: Karşı optik. 5: Lamina terminalis.

Şekil 5: Küçük bir LSO kraniotomi ile geniş bir ekspoşür sağlanmış.

## ■ İTERHEMİSFERİK YAKLAŞIM

İnterhemisferik yaklaşım ilk kez ACA anevrizmaları ve ona bağlı ACoA anevrizmalarının cerrahi tedavisi için 1991 yılında Fukushima ve ark.(11) tarafından anterior orta hat keyhole kraniotomi ile uygulamıştır. Bu aşağı veya öne oryante ACoA ve distal ACA anevrizmaları için uygun kliplene açısı sağlayabilir (13). Bu yaklaşım sınırlı olgularda kullanılmaktadır. Orta hattın 1 cm lateralinden, koronal sütün hizasından öne saçlı deri hizasına 5 cm'lik lineer bir insizyon yapılır. Orta hatta hâkim olmak ve sinüs ekartasyonu için 1 cm kadar karşıya geçen 3x3 cm'lik bir kraniotomi ile sağ taraftan interhemisferik olarak distal ACA ve ACoA anevrizmalarına ulaşılır.

## ■ ENDOSKOP YARDIMI İLE ANEVİRİZMA CERRAHİSİ

Son yıllarda nöroşirürjide kullanımı artan nöroendoskop anevrizma cerrahisinde de kullanılmaya başlanmıştır. Perneczky ve Fries tarafından mikrocerrahi operasyonlara yardımcı olabileceğinden teşvik edilmiştir (24,26). Modern nöroendoskoplar cerrahi alan derinliğinde tam aydınlatma ve özellikle açılı lensler kullanıldığında arkada kalan köşelerin görülmesini sağlayarak geniş bir ekspozura izin vermektedir (8). Bu nedenle, nöroendoskoplar görüşü tek doğrultu üzerinde sınırlı olan ameliyat mikroskobun tamamlayıcısı olabilmektedir (26).

Direkt görüşün İCA ve optik sinirler ile kapandığı İCA'nın medialinden veya inferiorundan kaynaklanan anevrizmaları göstermek için ideal bir cihaz olabilir (22). 0°-, 45°-4 mm ve 30°-2,7 mm endoskopların kadavralar üzerindeki yaptıkları çalışmalarda Peris-Celda ve ark. sık görülen anevrizmalarda ek olarak endoskopik eksplorasyonu değerlendirildi (22). Endoskop süperior hipofizer, PCoA ve anterior koroidal anevrizmalarda yararlı olup, ACoA anevrizmalarının tedavisinde girus rektus rezeksiyonu ihtiyacını azaltılabildiği bildirilmiştir (Tablo I) (8,22,26). MCA anevrizmaları dışında tüm anterior sirkülasyondan kaynaklanan anevrizmaların açılı endoskop ile daha iyi görünür hale getirdiği gözlemlenmiştir. Endoskop yardımı ile anevrizmaların cerrahi tedavisinde ilk rapor edilen çalışma 1994 yılında Fischer ve Mustafa tarafından yayımlanmıştır (10). Anevrizma cerrahisinde endoskoptan kliplenemeden önce inspeksiyon, endoskopik görüntüleme ile kliplene ve kliplene sonrası kontrol amaçlı faydalanılabilir (8).

## ■ TAM ENDOSKOPIK ANEVİRİZMA CERRAHİSİ

Endoskopik transkraniyal ve endoskopik transsfenoidal yaklaşım ile anevrizma kliplene hâlâ gelişim aşamasındadır. Birçok küçük seride iyi klinik ve kozmetik sonuçlar bildirilmiştir (12,15,23). Kadavra üzerinde yapılan çalışmalarda İCA paraklinoidal segment yerleşimli ve ACoA anevrizmalarının sıfır endoskop kullanarak yapılabileceği desteklemiştir (16,17). Endoskopik anevrizma cerrahisinde uygun olan olgularda özellikle ACoA anevrizmalarda girus rektus rezeksiyonuna ve frontal lob retraksiyonuna gerek kalmadan yeterli görüş alanı sağlanabilirken paroftalmik anevrizmalarda aşırı anterior klino-idal turlama ve optik sinir manipülasyonuna gerek kalmadan kliplenebilmektedir (16,17).

Sınırlamalarına gelince; endoskop 2 boyutlu görüntü verdiği için 3 boyutlu algıda sorun oluşturabilir. Şu ana kadar anev-

rizma ameliyatı için tasarlanmış özel bir endoskop yoktur. Endoskop görüntüsü ile intraoperatif rüptür riski olup kolaylıkla kapatılması zor olabilir. Endoskop ile rekürrens veya yeni anevrizma kliplene daha önce konulmuş klip varken son derece zordur. Ayrıca endoskopik cerrahi belli bir eğitim süresi gerektirir (17).

## ■ TARTIŞMA

Cerrahi teknolojideki gelişim, deneyimli mikrocerrahlar ve gelişmiş mikrocerrahi teknikleri minimal invazif cerrahi yaklaşımların güvenli bir şekilde yapılmasına izin vermektedir. Minimal invazif cerrahi yaklaşımlar klasik yaklaşımlardan daha az cerrahi travmaya neden olup klasik yaklaşımlar kadar cerrahi özgürlük sağlamaktadır. Anevrizma cerrahisinde, cerrahi yaklaşım seçimi son derece önemlidir. Ana hedefler arasında anevrizmanın güvenli diseksiyonu, perforan damarların korunması ve ana damarlara zarar verilmeden anevrizmanın tamamen kapatılarak rest bırakılmaması sayılabilir.

Minimal invazif anevrizma cerrahisinde asıl amaç küçük kraniotomi değildir. Amaç beyindeki anatomik boşlukları ve fissürleri kullanarak beynin diğer kısımlarına zarar vermeden cerrahi yapmaktır. Lezyona uyumlu keyhole kraniotomiler standart kraniotomi kadar görüş alanı sağlamaktaysa daha büyük bir alanı ekspoze etmenin faydadan çok zararı olur. (2,18,29). Klinik ve anatomik çalışmalara göre; keyhole yaklaşımlar ile dokulara minimal travma, hızlı yara iyileşmesi ve iyi kozmetik sonuçlar elde edilebilir (4,9,18,29). Örneğin, anterior sirkülasyondaki anevrizmaların cerrahisinde 3x3 cm'lik lateral supraorbital kraniotomi yapıp süperior orbita duvarı turlayarak subfrontal yol kullanıldığında büyük pterional kraniotomiye göre frontal lobun daha az ekspozuru ve daha az serebral doku mobilizasyonu olur. Lateral supraorbital kraniotomi yaklaşımında Silvan fissürü diseke etmeden ön kafa tabanına sağlanan eksplorasyon klasik pterional yaklaşımda tüm Silvan fissürün diseksiyonu ile sağlanan eksplorasyonun aynısıdır (6,7). Birçok çalışmada daha büyük kraniotominin derindeki lezyonlara daha geniş çalışma alanı sağlamadığı bildirilmiş, bu nedenle doğru yerde yapılan kraniotominin büyüklüğünden daha önemli olduğu gösterilmiştir (3,5). Büyük kraniotomi ile ancak lezyonun her halükarda üstüne denk düşmek sağlanmış olur.

Sonuç olarak; lateral supraorbital kraniotomi, mini-OZ ve mini-pterional yaklaşımlar lezyon özelliklerine göre modifiye edilip standart yaklaşımlar yerine kullanılabilir (29). Keyhole'lu minimal invazif yaklaşımlarda temporal kaslar manipülasyondan korunarak atrofi minimale inmektedir. Yara yeri iyileşmesi daha hızlı olacağından BOS fistüllerinde de azalma olacaktır. Anevrizma cerrahisinde yaklaşım seçerken cerrah, anevrizmanın yeri, yönelimi, çoklu anevrizma var olup olmaması ve kanamaya meyilli olan anevrizmaları göz önüne bulundurularak alışıktır olduğu yaklaşımı seçmelidir.

## ■ SONUÇ

Seçilen uygun hastalara minimal invazif yaklaşımlar, standart yaklaşımlara göre beyine ve temporal kasa az travmaya neden olup iyi cerrahi ve kozmetik sonuçlar sağlar.

Tablo 1: Kraniotomilerin Karşılaştırılması

	Standart Pterional	Lateral supraorbital (LSO)	Supraorbital (SO)	Supraorbital Kaş içi	Mini pterional (MPT)	Mini Orbitozigomatik (MOZ)
Cilt insizyonu	Saçlı deri arkası, tragusun 0,5 cm önünden, zigoma hizasından orta hattı geçiren	Saçlı deri arkası, tragusun 0,5 cm önünden, zigoma hizasından 3 cm yukarıdan başlayıp midpupiller hatta	Saçlı deri arkası, tragusun 0,5 cm önünden, zigomanın 2-3 cm üstünden orta hatta	Kaş kilları içinden; Supraorbital çentik lateralinden başlayıp 4-5 cm'lik insizyon	Saçlı deri arkası, tragusun 0,5 cm önünden, zigomanın 2-3 cm üstünden orta hatta	Saçlı deri arkası, tragusun 0,5 cm önünden, zigomanın kökünden orta hatta
Temporal kas diseksiyonu	Tam diseksiyon	Üst kısmında 0,5-1 cm'lik diseksiyon	Ön kısmında minimal diseksiyon	Ön kısmında minimal diseksiyon	Ön üst kısım sınırlı diseksiyon	Ön alt kısım interfasiyal diseksiyon
Burr deliği	Pterion	Süperior temporal çizgi altında arka tarafa	Süperior temporal çizgi altında ön tarafa	Süperior temporal çizgi altında ön tarafa	Pterion	MacCarty noktasından orbita ve kraniumu açacak şekilde
Kraniotomi yeri	Frontal, pterion, temporal	Süperior temporal çizginin 2 cm üstü, 1 cm altı, önde orbital rim, arkaya 3 cm	Süperior temporal çizgi ile frontozigomatik suture arası	Süperior temporal çizgi ile frontozigomatik suture arası	Süperior temporal çizgi, pterion, temporal	Süperior temporal çizgi, pterion, temporal, zigoma, orbita kenarı
Kraniotomi büyüklüğü	6x6 cm	3x3 cm	3x2 cm	2,5x1,5 cm	4x3 cm	4x4 cm
Sfenoid turlama	Süperior orbital fissüre kadar	Süperior orbital fissüre kadar, orbita duvarı da inceltir	Yok	Yok	Süperior orbital fissüre kadar	Süperior orbital fissüre kadar
Ekspoze olan beyin	Frontal, temporal lob, silvian fissür	Frontal lob, silvian fissür kenarı	Frontal tip	Frontal tip	Frontal inferioru, temporal süperioru ve tip, silvian fissür	Frontal inferioru, temporal süperioru, silvian fissür
Yaklaşım yolu	Geniş ekspoju	Subfrontal	Subfrontal	Subfrontal	Transsilvian	Transsilvian, lateral
Uygun anevrizmalar	Oftalmik, PComA, AChorA, ICA bif, ICA, AComA, MCA, Baziler tepe	Oftalmik, PComA, AChorA, ICA bif, AComA, MCA, Baziler tepe	AComA, MCA, PComA	AComA, MCA, PComA	Oftalmik, PComA, AChorA, ICA bif, AComA, MCA, Baziler tepe	Oftalmik, PComA, AChorA, ICA bif, AComA, MCA, Baziler tepe

## ■ KAYNAKLAR

- Asiltürk M, Abdallah A: Clinical outcomes of multiple aneurysms microsurgical clipping: Evaluation of 90 patients. *Neurol Neurochir Pol Sep* 23. pii: S0028-3843(17)30193-7, 2017 (Epub Ahead of Print)
- Caplan JM, Papadimitriou K, Yang W, Colby GP, Coon AL, Olivi A, Tamargo RJ, Huang J: The minipterional craniotomy for anterior circulation aneurysms: Initial experience with 72 patients. *Neurosurgery* 10 Suppl 2: 200-207, 2014
- Cheng CM, Noguchi A, Dogan A, Anderson GJ, Hsu FP, Mc Menomey SO, Delashaw JB Jr: Quantitative verification of the keyhole concept: A comparison of area of exposure in the parasellar region via supraorbital keyhole, frontotemporal pterional, and supraorbital approaches. *J Neurosurg* 118: 264-269, 2013
- Czirjak S, Szeifert GT: Surgical experience with frontolateral keyhole craniotomy through a superciliary skin incision. *Neurosurgery* 48: 145-150, 2001
- Figueiredo EG, Deshmukh P, Nakaji P, Shu EB, Crawford N, Spetzler RF, Preul MC: An anatomical analysis of the mini-modified orbitozygomatic and supra-orbital approaches. *J Clin Neurosci* 19: 1545-1550, 2012
- Figueiredo EG, Deshmukh P, Zabramski JM, Preul MC, Crawford NR, Spetzler RF: The pterional-transsylvian approach: An analytical study. *Neurosurgery* 62 (6 Suppl 3): 1361-1367, 2008
- Figueiredo EG, Teixeira MJ, Spetzler RF, Preul MC: Clinical and surgical experience with the minipterional craniotomy. *Neurosurgery* 75: E324-E325, 2014
- Fischer G, Oertel J, Perneczky A: Endoscopy in aneurysm surgery. *Neurosurgery* 70 Suppl operative 2: 184-190, 2012
- Fischer G, Stadie A, Reisch R, Hopf NJ, Fries G, Böcher-Schwarz H, van Lindert E, Ungersböck K, Knosp E, Oertel J, Perneczky A: The keyhole concept in aneurysm surgery: Results of the past 20 years. *Neurosurgery* 68 Suppl operative 1: 45-51, 2011
- Fischer J, Mustafa H: Endoscopic-guided clipping of cerebral aneurysms. *Br J Neurosurg* 8: 559-565, 1994
- Fukushima T, Miyazaki S, Takusagawa Y, Reichman M: Unilateral interhemispheric keyhole approach for anterior cerebral artery aneurysms. *Acta Neurochir Suppl (Wien)* 53: 42-47, 1991
- Germanwala AV, Zanation AM: Endoscopic endonasal approach for clipping of ruptured and unruptured paraclinoid cerebral aneurysms: Case report. *Neurosurgery* 68 Suppl operative 1: 234-239, 2011
- Hernesniemi J, Dashti R, Lehecka M, Niemela M, Rinne J, Lehto H, Ronkainen A, Koivisto T, Jaaskelainen JE: Microneurosurgical management of anterior communicating artery aneurysms. *Surg Neurol* 70: 8-28, 2008
- Hernesniemi J, Ishii K, Niemela M, Smrcka M, Kivipelto L, Fujiki M, Shen H: Lateral supraorbital approach as an alternative to the classical pterional approach. *Acta Neurochir Suppl* 94: 17-21, 2005
- Kassam AB, Gardner PA, Mintz A, Snyderman CH, Carrau RL, Horowitz M: Endoscopic endonasal clipping of an unsecured superior hypophyseal artery aneurysm. Technical note. *J Neurosurg* 107: 1047-1052, 2007
- Lai LT, Morgan MK, Dalgorf D, Bokhari A, Sacks PL, Sacks R, Harvey RJ: Cadaveric study of the endoscopic endonasal transtubercular approach to the anterior communicating artery complex. *J Clin Neurosci* 21: 827-832, 2014
- Lai LT, Morgan MK, Snidvongs K, Chin DC, Sacks R, Harvey RJ: Endoscopic endonasal transplanum approach to the paraclinoid internal carotid artery. *J Neurol Surg B Skull Base* 74: 386-392, 2013
- Lan Q, Gong Z, Kang D, Zhang H, Qian Z, Chen J, Huang Q: Microsurgical experience with keyhole operations on intracranial aneurysms. *Surg Neurol* 66 Suppl 1: S2-S9, 2006
- Mitchell P, Vindlacheruvu RR, Mahmood K, Ashpole RD, Grivas A, Mendelow AD: Supraorbital eyebrow minicraniotomy for anterior circulation aneurysms. *Surg Neurol* 63: 47-51, 2005
- Ormond DR, Hadjipanayis CG: The supraorbital keyhole craniotomy through an eyebrow incision: Its origins and evolution. *Minim Invasive Surg* 2013: 296469, 2013
- Paladino J, Pirker N, Stimac D, Stern-Padovan R: Eyebrow keyhole approach in vascular neurosurgery. *Minim Invasive Neurosurg* 41: 200-203, 1998
- Peris-Celda M, Da Roz L, Monroy-Sosa A, Morishita T, Rhoton AL Jr: Surgical anatomy of endoscope-assisted approaches to common aneurysm sites. *Neurosurgery* 10 Suppl 1: 121-144, 2014
- Perneczky A, Boecher-Schwarz HG: Endoscope-assisted microsurgery for cerebral aneurysms. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 38 Suppl: 33-34, 1998
- Perneczky A, Fries G: Endoscope-assisted brain surgery: Part 1- Evolution, basic concept, and current technique. *Neurosurgery* 1998; 42: 219-224, 1998
- Poblete T, Jiang X, Komune N, Matsushima K, Rhoton AL Jr: Preservation of the nerves to the frontalis muscle during pterional craniotomy. *J Neurosurg* 122: 1274-1282, 2015
- Taniguchi M, Takimoto H, Yoshimine T, Shimada N, Miyao Y, Hirata M, Maruno M, Kato A, Kohmura E, Hayakawa T: Application of a rigid endoscope to the microsurgical management of 54 cerebral aneurysms: Results in 48 patients. *J Neurosurg* 91: 231-237, 1999
- van Lindert E, Perneczky A, Fries G, Pierangeli E: The supraorbital keyhole approach to supratentorial aneurysms: Concept and technique. *Surg Neurol* 49: 481-489, 1998
- Wong JHY, Tymianski R, Radovanovic I, Tymianski M: Minimally invasive surgery for cerebral aneurysms. *Stroke* 46: 2699-2706, 2015
- Yagmurlu K, Safavi-Abbasi S, Belykh E, Kalani MYS, Nakaji P, Rhoton AL, Spetzler RF, Preul MC: Quantitative anatomical analysis and clinical experience with mini-pterional and mini-orbitozygomatic approaches for intracranial aneurysm surgery. *J Neurosurg* 127: 646-659, 2017