



Hemisferotomi Cerrahisinde Ak Madde Liflerinin Mikrocerrahi Anatomisi

Microsurgical Anatomy of White Matter Tracts in Hemispherotomy

Tufan KARTUM, Barış KÜÇÜKYÜRÜK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Yazışma adresi: Barış KÜÇÜKYÜRÜK ✉ bariskucukyuruk@gmail.com

ÖZ

Hemisferotomi, geniş hemisferik hasardan dolayı ortaya çıkan epileptik nöbetlerin tedavisinde uygulanan cerrahi bir prosedürdür. Hemisferotomi esnasında kesilen ak madde liflerinin mikroanatomisinin tanımlanması ve intraventriküler kallozotomi sırasında başvuru olan cerrahi rehber noktalarının tarifi amaçlanmıştır. Kortikal ve subkortikal yapılar 32 adet hemisferde incelenmiştir. İnfierior limitan sulkus boyunca yapılan temporal stem insizyonu insulo-operküler lifler, uncinat fasikül, inferior oksipitofrontal fasikül ve orta longitudinal fasikül, anterior komissür ile optik ve odituar liflerden geçer. Superior limitan sulkus boyunca yapılan insizyon insulo-operküler lifler, internal kapsül genu'su ve arka bacağını içine alır. Anterior limitan sulkus boyunca yapılan insizyon; insulo-operküler lifler, internal kapsül ön bacağı, anterior komissür ve anterior talamik liflerden geçer. Anterior serebral arterin terminal kortikal dalının yukarı doğru dönüş yaptığı ve intraventriküler cerrahi sahada gözden kaybolduğu nokta rehber olarak alınırsa, korpus kallozumun posterior kısmının diskoneksiyonu tamamlanamaz. Hemisferlerin %85'inde anterior serebral arterin terminal kortikal dalının splenium'un posterior sınırına ulaşmadan önce yukarı dönüş yaptığı tespit edilmiştir. Splenium'un posterior sınırını belirlemede falxın takip edilmesi, anterior serebral arterden daha güvenilir bir rehberdir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Ak madde lifleri, Ak madde lif diseksiyonu, Epilepsi, Hemisferotomi, Kallozotomi, Mikrocerrahi anatomi

ABSTRACT

Hemispherotomy is a surgical procedure performed for refractory epilepsy due to wide hemispheric damage. This study focuses on the microanatomy of the white matter tracts transected in hemispherotomy and the relationship of the surgical landmarks used during intraventricular callosotomy. Incision of the temporal stem along the inferior limiting sulcus crosses the insulo-opercular fibers, uncinat, inferior occipitofrontal and middle longitudinal fasciculi, anterior commissure, and the optic and auditory radiations. The incision along the superior limiting sulcus transects insulo-opercular fibers and the genu and posterior limb of the internal capsule. The incision along the anterior limiting sulcus crosses the insulo-opercular fibers, anterior limb of the internal capsule, anterior commissure, and the anterior thalamic bundle. The disconnection of the posterior part of the corpus callosum may be incomplete, as it was in 85% of the hemispheres in this study, if the point at which the last cortical branch of the anterior cerebral artery (ACA) turns upward and disappears from view through the intraventricular exposure is used as the landmark for estimating the posterior extent of the callosotomy. The falx, followed to the posterior edge of the splenium, is a more reliable landmark for completing the posterior part of an intraventricular callosotomy.

KEYWORDS: Callosotomy, Epilepsy, Fiber dissection, Hemispherotomy, Microsurgical anatomy, White matter tracts

■ GİRİŞ

Geniş hemisferik hasardan dolayı ortaya çıkan ilaca dirençli epilepsi durumunda, hasarlı hemisferin karşı hemisferle bağlantılarının ayrılması uygulanabilir. Geniş hemisferik hasara yol açabilen patolojiler arasında Rasmussen Ensefaliti, Sturge-Weber Sendromu, geniş alana yayılan kortikal displazi, travma veya enfeksiyona sekonder gelişen atrofik beyin hasarı örnek olarak gösterilebilir (1,2,30). Bir hemisferin tümünün çıkarılması işlemi olan hemisferektominin 1950'lerde bu tür hastalarda faydalı olduğu saptandı; ancak aşırı kan kaybı, cerrahi sonrası geniş subdural boşluk oluşması gibi kısa ya da uzun dönemde hayatı tehdit eden komplikasyonların görülmesi nedeniyle bu komplikasyonların daha az görülebileceği benzer bir cerrahi prosedür ihtiyacı doğdu (2,3,12). Böylece geniş cerrahi rezeksiyon alanı olmadan hemisferlerin ak madde yapıları arasındaki bağlantıların sonlandırılmasını sağlayan "fonksiyonel hemisferektomi" prosedürü tariflenmiş oldu (39). Fonksiyonel hemisferektomi, başarılı sonuçları ve azalmış komplikasyon oranı ile daha az rezeksiyon ve daha fazla diskoneksiyon sağlayan "hemisferotomi" prosedürüne öncü olmuştur (1,2,13,22,31,30).

Eksik diskoneksiyon, hemisferotomi sonrası başarısız nöbet kontrolünün önde gelen bir sebebi olarak gösterilmiştir (15,20-22,25,26,36). Buna ek olarak; son zamanlarda daha küçük kraniyotomi ve dura açılışına dayanan hemisferotomi yöntemlerinin uygulanışı, ak madde yapıları ile diğer cerrahi rehber noktalar arasındaki ilişkiyi anlamının önemini artırmaktadır (9,27).

Bu çalışmada, hemisferotomi uygulaması esnasında aşamalı olarak kesilen ak madde liflerinin mikrocerrahi anatomisi konu alınmıştır (Şekil 1A-H). Ek olarak, eksik diskoneksiyonun yaygın sebeplerinden olan frontal lob ve korpus kallozum diskoneksiyonuna da değinilmiştir.

Serebrum üç farklı tip akmadde liften meydana gelir (14). Asosiyasyon lifleri sadece aynı lob ya da aynı hemisfer içinde bağlantı sağlayan liflerdir. Epileptik aktivitenin asosiyasyon lifleri yoluyla karşı hemisfere veya santral kora yayılımı olamayacağı için hemisferotomilerde hedef değildirler. Komşu girusları bağlayan "U" lifleri, superior, inferior ve orta longitudinal lifler, uncinat fasikül, inferior oksipitofrontal fasikül ve cingulum assosiyasyon liflerini örnek olarak verilebilir. Hemisferotomide amaç epileptik aktivitelerin diğer hemisfere yayılımını sağlayan komisüral lifler ve beyin merkezi yapılarına yayılımını sağlayan projeksiyon liflerinde diskoneksiyon sağlamaktır. Bununla birlikte asosiyasyon liflerinin bir kısmını operasyonun tüm aşamasında komisüral lifler ve projeksiyon liflerinden ayırmak mümkün değildir. Hemisferotomilerin konusu olan komisüral lifler anterior komisür ve korpus kallozumdur; projeksiyon lifleri ise optik radyasyon, odituar radyasyon ve internal kapsüldür.

■ YÖNTEM

Otuziki kadavra hemisferinde, %10 formalin solüsyonu ile fikse edilmelerini takiben vasküler yapıları çevreleyen araknoid ayrıldı. Oniki hemisfer liflerin ayrılmasını kolaylaştırmak amacıyla, su kristallerinin genişlemesine neden olmak

üzere 6-8 hafta boyunca -16 °C'de donduruldu. Operasyon mikroskobu altında, değişik genişliklerde cerrahi disektörler ile akmadde diseksiyonu uygulandı. Diğer 20 hemisfer bu makalede tartışılan ölçümleri göstermek üzere disekte edildi. Diseksiyonun her aşamasında, anatomik yapıları göstermek amacıyla iki ve üç-boyutlu fotoğraflar çekildi.

■ BULGULAR

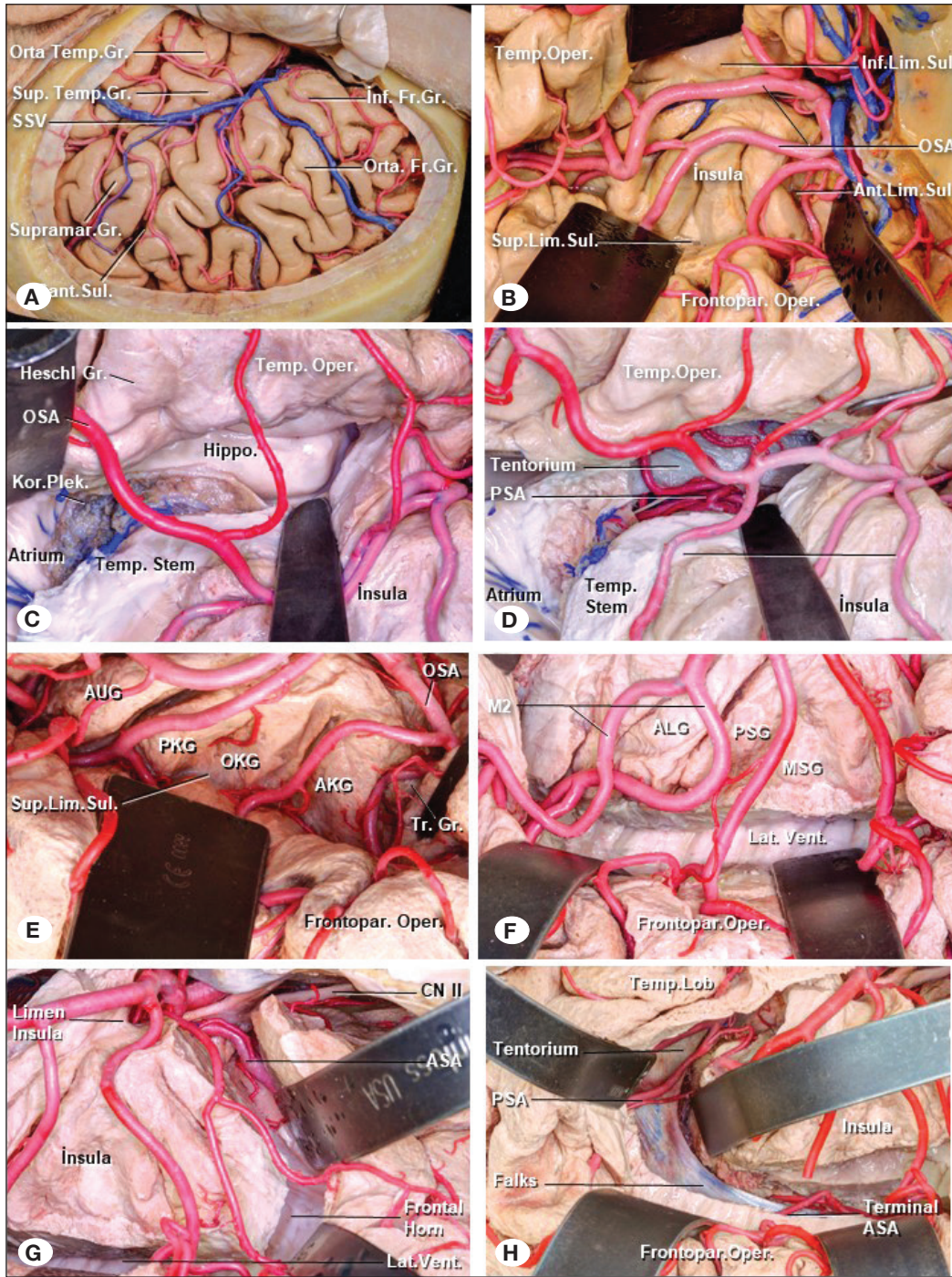
Çeşitli hemisferotomi teknikleri tanımlanmıştır (1,7,25,31-33,37). Morino ve ark., kendi tekniklerini şu şekilde özetlemiştir (21): *i*) mesial temporal yapıların çıkarılması, *ii*) corona radiata'dan geçerek alt merkezlerle uzanan liflerin kesilmesi, *iii*) frontal lob diskoneksiyonu, *iv*) korpus kallozotomi ve *v*) oksipitoparietal diskoneksiyon. Farklı hemisferik diskoneksiyon teknikleri arasındaki temel fark ventriküler sisteme giriş yoludur. Lateral yoldan gerçekleştirilen hemisferotomiler, ayrıca kendi içerisinde çıkarılan operküler bölgenin miktarı ve ventriküle girmek için kullanılan yol bakımından da ayırım gösterir (9,31). Bu çalışmada yaklaşımların çoğunda kullanılan ventriküle lateral yoldan giriş üzerine yoğunlaşmış olup ventriküllere süperior yoldan erişilme olanağı da mevcuttur (31).

Slyvian Fissür Açılımı

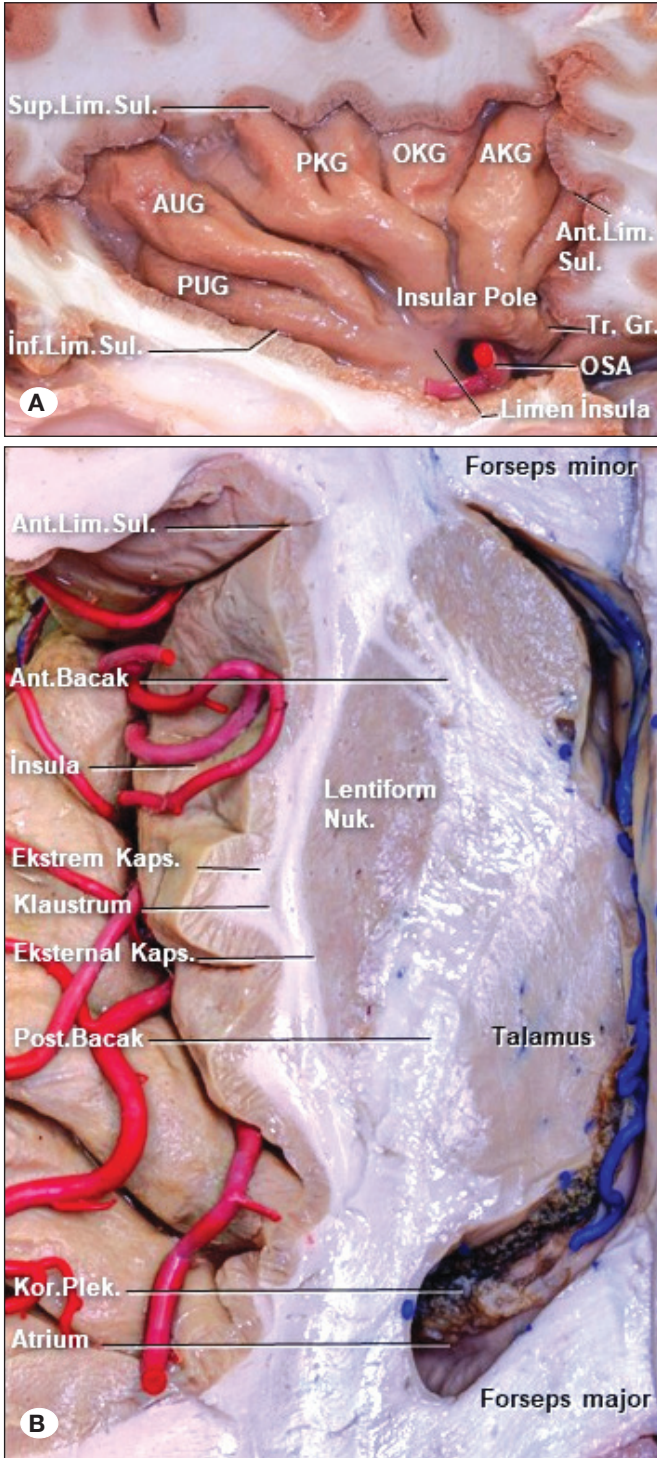
Serebrumun lateral yüzeyinin en belirgin yapısı olan Slyvian fissür, insula ve limitan sulkus'un süperior, inferior ve anterior olmak üzere her üç kısmını ortaya koyacak şekilde genişçe açıldı (Şekil 1B) (4,11,19). Limitan sulkus boyunca yapılan kesi, merkezi yapılara yönelen çok sayıda lif demetinin kesilmesine olanak sağlar; ayrıca intraventriküler kallozotominin yapılabilmesi ve mesial temporal yapıların çıkarılması için ventriküler sisteme erişimi kolaylaştırır.

Merkezi yapılar olarak tanımlanan lentiform nükleus, kaudat nükleus, talamus, klastrum, internal kapsül, eksternal kapsül ve ekstrem kapsül; lateralde insula, medialde lateral ve üçüncü ventriküller arasında yerleşim gösterir (Şekil 2A, B). Serebral kortikal yapılar, limitan sulkus'un derininden geçen ak madde lifleri aracılığıyla merkezi yapılar ile direkt bağlantılıdır. Ek olarak, serebrum ile beyin sapı ve spinal kord arasındaki iletişimi sağlayan ak madde lifleri de bu bölge boyunca seyreder. Merkezi yapılar; inferior limitan sulkusun altında yer alan temporal stemden geçen lifler aracılığıyla temporal lob ile, superior ve inferior limitan sulkusun derininden geçen internal kapsül lifleri aracılığıyla parietal ve oksipital loblar ile, ve anterior limitan sulkusun derininden geçen anterior isthmus boyunca seyreden lifler aracılığıyla frontal lob ile bağlantılıdır (Şekil 2A, B).

İnsülanın lateral yüzeyinde bulunan santral insüler sulkus, insulayı 3 kısa girusun bulunduğu ön bölüm ve 2 uzun girusun bulunduğu arka bölüm olmak üzere ikiye ayırır (Şekil 2A) (4,11,19,23). Kısa giruslar insula'nın anteroinferior kenarında birleşerek insüler pol'ü oluştururlar. İnsular pol'ün medialinde kısa girusların birleşmesiyle oluşan transvers girus, anterior limitan sulkus'un alt kenarına yapışır ve burada sınırlanır. Limen insula, temporal lobun medialde frontal lobun bazal yüzeyi boyunca uzanan, uncinat fasikülün üzerindeki bir kortikal köprüdür.



Şekil 1: Bir sol hemisferde hemisferotomi prosedürünün aşamalarının gösterilmesi. **A)** Sol frontotemporal kraniyotomi ve dura açılması sonrasında sol hemisferin görünümü. **B)** Sylvian fissür genişçe açılarak insula ve çevresindeki limitan sulkus ortaya koyulmuştur. **C)** İnferior limitan sulkus kesisi ile temporal stemi meydana getiren geçen lifler geçilerek temporal horna ulaşılmıştır. Koroidal pleksusun örttüğü hippokampus görülmektedir. **D)** Mesial temporal yapıların çıkarılması sonrasında cerrahi sahanın en derininde tentorium görülmektedir. **E ve F)** Frontoparietal operkulumun altında gösterilen superior limitan sulkus kesisi yapılarak lateral ventriküle ulaşılmıştır. **G)** Anterior limitan sulkus kesisi ile frontal horna ulaşılır. Ardından frontal horn tabanı, interhemisferik fissürde anterior serebral arter saptanana kadar açılarak frontal lob diskoneksiyonu sağlanır. **H)** Anterior serebral arter önden arkaya doğru ventrikül içinden takip edilerek intraventriküler korpus kallosotomi uygulanır. Anterior serebral arterin terminal kortikal arteri cerrahi görüşten kaybolduğunda falksın serbest kenarı tentoriuma kadar takip edilerek kallosotomi tamamlanır. **AKG:** anterior kısa giris; **ASA:** anterior serebral arter; **AUG:** anterior uzun giris; **CN II:** 2. kranial sinir; **Frontopar.:** frontoparietal; **Gr.:** giris; **Hippo.:** hippokampus; **Kor.:** koroidal; **Lat.:** lateral; **Lim.:** limitan; **MSG:** orta kısa giris; **Oper.:** operkulum; **OSA:** orta serebral arter; **PKG:** posterior kısa giris; **Plek.:** pleksus; **Sant.:** santral; **PSA:** posterior serebral arter; **PUG:** posterior uzun giris; **PUG:** posterior uzun giris; **SSV.:** superfisiyal Sylvian ven; **Sul.:** sulkus; **Sup.:** superior; **Supramarg.:** supramarjinal; **Temp.:** temporal; **Tr.:** transvers; **Vent.:** ventrikül



Şekil 2: A) Frontoparietal, fronto-orbital ve temporal operkulumlarnın çıkarılması ile sağ hemisfer insulası gösterilmiştir. **B)** Sol hemisfer insulasının orta hattından geçen bir kesi ile merkezi yapılar gösterilmiştir.

AKG: anterior kısa girus; **AUG:** anterior uzun girus; **Bac.:** bacak; **Gr.:** girus; **Kaps.:** kapsül; **Kor.:** koroidal; **Lim.:** limitan; **MSG:** orta kısa girus; **Nuk.:** nükleus; **OSA:** orta serebral arter; **PKG:** posterior kısa girus; **Plek.:** pleksus; **Post.:** posterior; **PUG:** posterior uzun girus; **Sup.:** superior.

Temporal Stem Diskoneksiyonu ve Mesial Temporal Yapıların Çıkarılması

Cerrahinin bu aşaması inferior limitan sulkusun derininde temporal stem boyunca geçiş gösteren ak maddenin kesilmesi ve amigdala, unkus ve hipokampusu içeren mesial temporal yapıların çıkarılmasını içerir (Şekil 1B-D; 3A-E) (6,11,17,34,37).

Temporal stem sıklıkla inferior limitan sulkus ile temporal horn'un tavanı arasındaki kalan doku olarak tanımlanır (Şekil 4A-E) (5,26,40). Temporal stem kesisinde diskonekte edilen akmadde lifleri yüzeyden derine doğru ele alındığında, ilk olarak insular korteks ile lentiform nükleus arasında bulunan ekstrem kapsül ve eksternal kapsüller karşımıza çıkar (Şekil 4A-E) Ekstrem ve eksternal kapsüller, liflerin seyir yönüne göre ventral ve dorsal olarak ikiye ayrılır. Dorsal bölümün en yüzeyel tabakasını insulanın giruslarından köken aldıktan sonra operkulumlara ve temporal pol'e ulaşan insulo-operküler lifler meydana getirir. Bir alt katmanda bulunan projeksiyon tipi akmadde demeti olan klaustro-kortikal liflerin hemen tüm kortikal alanlara uzanması sebebiyle, tam diskoneksiyonları ancak limitan sulkusun tamamının (anterior, superior, inferior) insize edilmesi ile tamamlanmış olacaktır (11,16). Klaustro-kortikal liflerin arka kısmını Heschl girus ve superior temporal girusun ön tarafından köken aldıktan sonra temporal stem'in en arka kısmından geçiş gösteren orta longitudinal işgal eder (Şekil 4A-E) (24). Ekstrem ve eksternal kapsüllerin ventral kısmında ise, unsinat fasikül ve inferior oksipitofrontal fasikül bulunur. Klastrumun ventral kısmı bu iki akmadde demetinin lifleri arasında dağınık gri madde adacıkları şeklinde yerleşim gösterir.

Unsinat fasikül temporal stemin ön üçte birinde yer alır. İki ayrı grup lif içerir: Lateral seyir gösteren bir grup lif, frontal lobun lateral ve posterior orbital girusları ile temporal pol ve superior temporal girusun ön kısmını bağlarken; medial seyir gösteren lifler ise medial ve posterior orbital giruslar ve girus rektus'u temporal pol'ün mediali ve amigdala ile birleştirir (Şekil 4A-E).

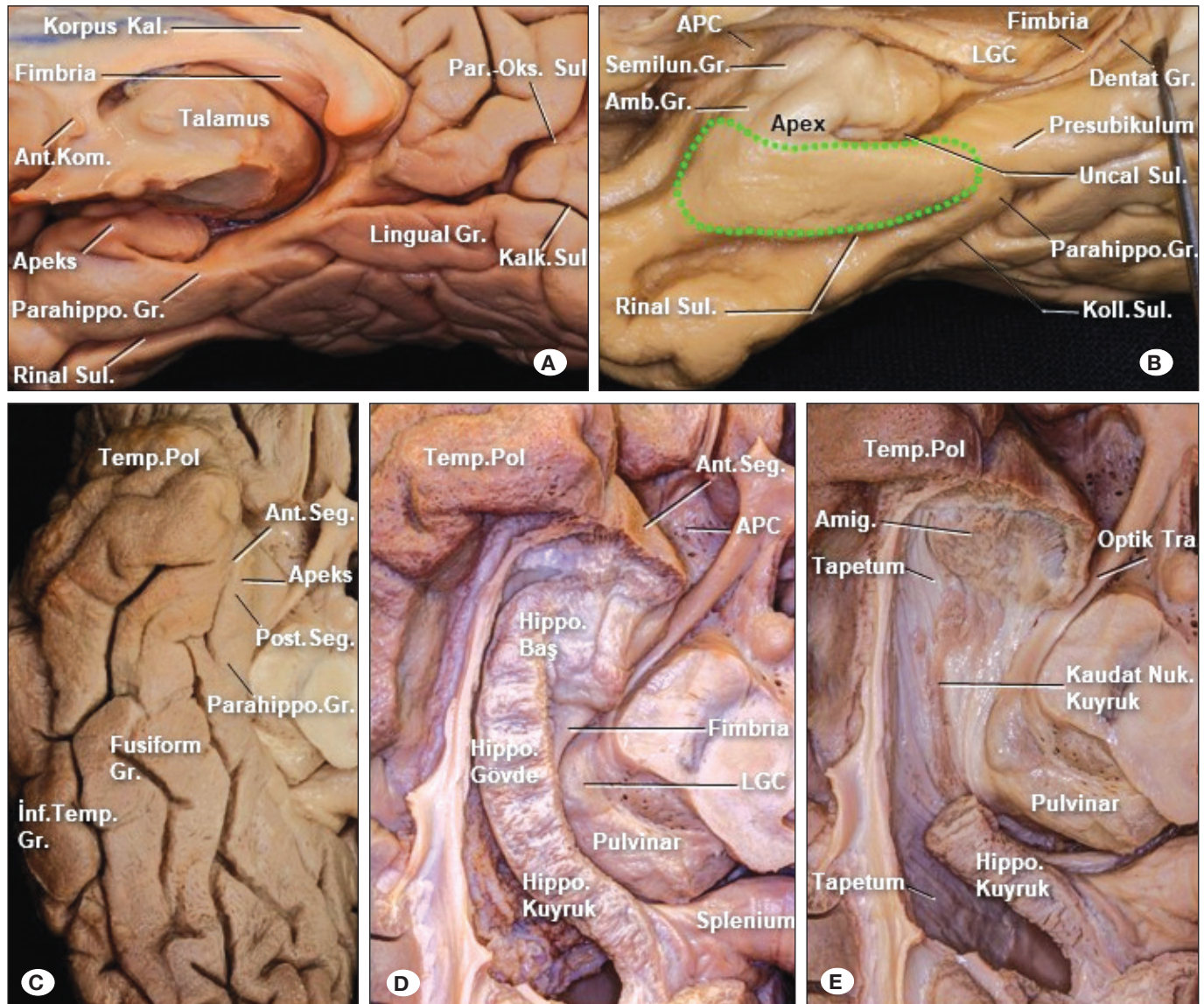
Inferior oksipitofrontal fasikül, temporal stemin unsinat fasikül'ün arkasında bulunan arka üçte ikisini kapsar (Şekil 4A-E). Inferior oksipitofrontal fasikül temporobazal yüzeyin posteriorundan ve oksipital lobun medial yüzeyinden köken alır. Atriyum'un lateral duvarı ve tavanı boyunca örtecek şekilde temporal steme doğru ilerler ve burada dar bir demet halinde birleştikten sonra, sonlanma bölgeleri olan inferior frontal girus ve dorsolateral prefrontal ve premotor kortekse uzanacak şekilde yeniden yayılır. Bu aşamada temporal ve oksipital lobların kortikal diskoneksiyonu tamamlanmıştır. Unsinat, inferior oksipitofrontal ve orta longitudinal fasiküller hemisferotomide hedef olmayan asosiasyon lifleri grubuna ait olsalar da temporal stem içinde bu akmadde demetlerini diğerlerinden ayırmak mümkün değildir.

Ekstrem ve eksternal kapsüllerin derininde, anterior komisür, optik radyasyon ve odituar radyasyon lifleri temporal stemden geçer. Anterior komisür lifleri optik ve odituar radyasyon liflerinden biraz daha yüzeyel olarak ilerlese de lifler genellikle önemli ölçüde birbirine karışmış durumdadır. Atriyum'un lateral duvarında, inferior oksipitofrontal lifleri de içeren, arkada tarafta karışmış halde bulunan lifler sagittal stratum olarak gösterilmiştir (Şekil 4A-E) (14,29).

Anterior komissür, lamina terminalis'in üzerinde, 3. ventrikülün ön duvarında bulunan bir orta hat yapısıdır. Lateral ve bir parça da posterior yönde, yukarıda lentiform nükleus ve aşağıda substantia innominata arasından ilerleyerek temporal stem'e ulaşır (Şekil 4A-E) (14). Anterior komissür ön ve arka bacakları vardır. Ön bacak her iki hemisferin anterior olfaktör nükleus ve primer olfaktör korteksleri arasında bağlantı kurar. Anterior olfaktör nükleus frontal lobun bazal yüzeyinin posteriorunda bulunur. Primer olfaktör korteks, unkus'un anterior segmentinde yer alan seminular ve ambient girusları kabaca kaplayan periamigdaloid ve prepiriform bölgelerden oluşur (Şekil 4A-E) (35). Posterior bacak temporal stem'den geçerek temporal ve oksipital kortekste son bulur (33).

Anterior komisür liflerinin diskoneksiyonu iki aşamalı gerçekleşir: temporal stem kesisi posterior bacakların diskoneksiyonunu sağlar ve mesial temporal yapıların çıkarılması primer olfaktör kortekse giden anterior bacak liflerini kesintiye uğratır; ancak anterior olfaktör nükleus bağlantısını sağlayan ön bacak lifleri henüz kesintiye uğramamış olarak kalmaktadır.

Optik lifler, ya da genikülökalkarin yolak, lateral genikül cisim ile oksipital lob arasındaki bağlantıyı sağlar (Şekil 4A-E) (18). Optik lifler kalkarin kortekse seyirleri esnasında üç ayrı demet halinde incelenirler. Arka demet, atriyum'un tavanı boyunca neredeyse düz bir seyir izleyerek kalkarin sulkus'un süperior kenarında sonlanır. Ön demet-Meyer Halkası olarak da isimlendirilir- ve orta demet ise, temporal horn'un ve atriyum'un



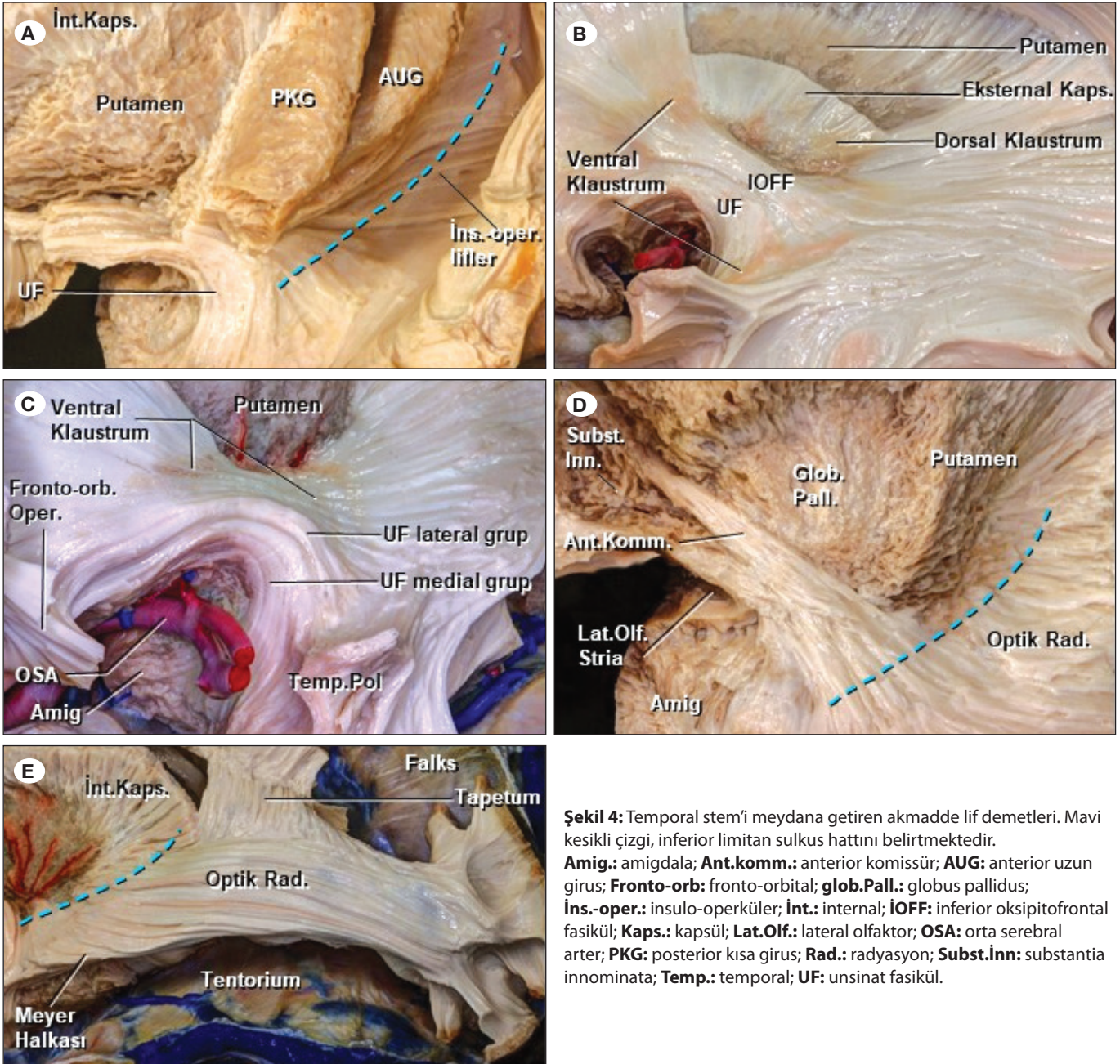
Şekil 3: Sağ temporal lob. A, B) Temporal lobun medial yüzeyi. Yeşil noktali çizgi entorinal alanı temsil etmektedir. C-E) Temporal lobun inferior yüzeyinin kortikal ve subkortikal yapıları.

Amb.: ambient; **Amig.:** amigdala; **Ant.:** anterior; **APC:** anterior perforan cisim; **CN I:** 1. kranial sinir; **Gr.:** girus; **Hippo.:** hipokampus; **İnf.:** inferior; **Kal.:** kallosum; **Kalk.:** kalkarin; **Koll.:** kollateral; **Kom.:** kommissür; **Kor.:** koroidal; **LGC:** lateral genikül cisim; **Nuk.:** nükleus; **Par.-Oks.:** parieto-oksipital; **Parahippo.:** parahippokampal; **Seg.:** segment; **Semilun.:** semilunar; **Sul.:** sulkus; **Temp.:** temporal; **Tra.:** trakt.

tavanı ve lateral duvarı boyunca ilerleyip atriumun tabanını çevreleyerek kalkarin sulkus'un inferior kenarında sonlanırlar. Optik lifler temporal horn'un tavanı ve lateral duvarın ön kısmı hariç tamamını örter (10). Optik liflerin tamamı inferior limitan sulkus kesisi tamamlandığında diskonekte edilmiş olur. Odituar lifler; talamusun inferior yüzeyinde yer alan medial genikülart cisimden köken alır, optik liflerin üzerinde ilerler ve primer odituar korteks olan Heschl girus ve superior temporal girusun posterior kısmında sonlanır (32).

Kaudat nükleusun kuyruğu; temporal horn'un tavanı boyunca ependim tabakasının hemen altında arkaya doğru uzanır, pulvinar'ın laterali ve atriyum'un anterior duvarı boyunca yukarı yönelir ve kaudat nükleus'un gövdesine ulaşır (Şekil

3A-E). Önceki çalışmalar, kortikal alanların topografik olarak kaudat nükleus'a yansıdığını öne sürmüştü; ancak daha güncel çalışmalar göstermektedir ki, kortikal alanlardan gelen lifler kaudat nükleus'un baş ve gövde kısmına girdikten sonra kuyruk kısmına ilerlemektedir (28,38). Bizim çalışmamızda da kaudat nükleus'un kuyruğuna giren lifler görülmedi; ancak ayrıca internal kapsül'ün medial tarafında seyreden ve kaudat nükleus başı ve gövdesine giren dikkate değer sayıda lif grubu saptandı. Bu durum yüksek olasılıkla göstermektedir ki, hemisferotominin daha sonraki bir aşamasında kaudat nükleus'un başına ve gövdesine giren liflerin kesintiye uğratılması, kaudat nükleus üzerinden merkezi yapılara yayılacak epileptik aktivitenin önlenmesini sağlayacaktır.



Şekil 4: Temporal stem'i meydana getiren akmadde lif demetleri. Mavi kesikli çizgi, inferior limitan sulkus hattını belirtmektedir.
Amig.: amigdala; **Ant.komm.:** anterior komissür; **AUG:** anterior uzun girus; **Fronto-orb. Oper.:** fronto-orbital; **glob.Pall.:** globus pallidus; **İns.-oper.:** insulo-operküler; **İnt.:** internal; **İOFF:** inferior oksipitofrontal fasikül; **Kaps.:** kapsül; **Lat.Olf.:** lateral olfaktor; **OSA:** orta serebral arter; **PKG:** posterior kısa girus; **Rad.:** radyasyon; **Subst.İnn.:** substantia innominata; **Temp.:** temporal; **UF:** unsinat fasikül.

Hemisferotomide çıkarılan mesial temporal yapılar amigdala, unkus ve hipokampustur (Şekil 3A-E). Amigdala, ventriküler tarafta temporal horn'un anterior duvarını ve tavanının ön duvarını oluştururken medial tarafta ise unkusun anterior segmentinde yer alan seminular girus ile örtülüdür. Amigdala'nın temel lif bağlantıları lateral olfaktör stria, stria terminalis ve ventral amigdalofugal yolaktır. Lateral olfaktör stria koku girdisini amigdala'nın kortikal nükleusuna iletir (35). Amigdala'nın esas efferent yolağı olan stria terminalis; temporal horn'un tavanının medial sınırında yer alır ve arkaya doğru ilerler, atrium'un anterior duvarında yukarı yönelir ve kaudat nükleus gövdesi ile talamus arasında yer alan striotalamik sulkus içerisinde ilerleyerek nükleus accumbens'in superior ve medialinde yer alan septal bölgede sonlanır (11). Ansa pedicularis'in amigdalotalamik ve amigdalohipototalamik lifleri olarak da bilinen ventral amigdalofugal yolak; amigdala'nın dorsomedial kısmından başlar, anterior perforan cismin üzerinde substantia innominata boyunca ilerler ve merkezi yapılar içerisinde yukarı yönlenecek talamik ve hipotalamik sonlanma bölgelerine ulaşır (35).

Amigdala'nın superomedial yönde globus pallidus'a doğru uzanımı olması ve globus pallidus'la arasında keskin bir sınır olmaması nedeniyle, mesial temporal lob epilepsi cerrahisinde amigdala rezeksiyonunun superior sınırı önem taşır. Öte yandan, Villemure ve Mascott'a göre hemisferektomide cerrahi öncesi dönemde çoğu olguda mevcut olan nörolojik defisit ve cerrahi sonrasında ise hemiplejinin beklenen bir durum olması nedeniyle pallidum'a zarar vermekten kaçınmak çok önem taşıyabilir (37).

Parahipokampal girus üst yüzeyinin 4-katmanlı korteksi olan subikulum, hipokampus'u oluşturmak üzere dentat girus etrafında katlanan kornu ammonis ile birleşir (Şekil 3A-C). Hipokampusun esas afferent bölgesi olan entorhinal alanın sınırları net olarak belirlenmemiştir; ancak parahipokampal girusun ön kısmını ve unkus'un inferior yüzeyini içeren alanı kapsadığı kabul edilir (7,8,35). İki tür girdi entorhinal alandan geçerek entorhinal alana ulaşır: Singulum ve parahipokampal girusun medial yüzeyinde bulunan 6-katmanlı modifiye kortikal yapı olan presubikulum'dan köken alan lifler.

Hipokampal formasyonun ventriküler yüzünü kaplayan alveus, hipokampüs'ün temel efferent yolağı olan forniks'e giren aksonları içerir (7). Hipokampal bilgi; forniksin fimbria, krus, gövde ve kolonları boyunca taşınır. Nihayetinde forniksin kolonları anterior komissür seviyesinde prekomissüral ve postkomissüral lifler olarak ayrılır. Prekomissüral kifler hipotalamus'un preoptik bölgesinde sonlanırken, postkomissüral lifler mamiller cisimlerde sonlanır. Hemisferotomide hipokampus diskonneksiyonunu tam olarak sağlamak için, hipokampüs ve fimbria rezeksiyonunu mümkün olduğunca posterior, spleniuma yakın bir noktada sağlamak gereklidir.

Superior Limitan Sulkus Kesisi

Hemisferotominin bu aşaması superior limitan sulkus boyunca uygulanan bir kesi aracılığıyla, internal, dorsal ekstrem ve dorsal eksternal kapsüllerin ayrılmasını amaçlar. Posterioran anteriora doğru uygulanan kesinin tamamlanması için, en derin cerrahi planda lateral ventrikülün gövdesini ve ardından frontal horn'u göstermesi gerekmektedir (Şekil 1E, F; 5A-F) (11).

Superior limitan sulkus kesisi ile ilk ayrılan lifler frontoparietal operkulum'a uzanan dorsal eksternal ve dorsal ekstrem kapsül lifleridir. Bu lif demetlerinin bir kısmı temporal stem kesisi ile ayrılmıştı; ancak tam diskonneksiyonları ancak anterior limitan sulkus kesisinin de uygulanması sonrası tamamlanmış olacaktır.

İnternal kapsülün beş bölümü vardır: ön bacak, genu, arka bacak, retrolentiküler ve sublentiküler kısımlar (Şekil 5A-D) (11). Ön bacak medialde kaudat nükleus başı ile lateralde lentiform nükleus arasında bulunur ve frontopontin lifleri içerir (14). Arka bacak medialde talamus ile lateralde lentiform nükleusun arasında bulunur ve presantral ve postsantral giruslardan bulbosa uzanan lifleri içerir. Ön ve arka bacak internal kapsülün en medial kısmı olan ve foramen monro'nun hemen lateralinde yer alan genu'da birleşir. Retrolentiküler ve sublentiküler kısımlar sırasıyla lentiform nükleus'un posterior ve inferiorunda yer alır ve sagittal stratuma katılırlar. İnternal kapsülün ön ve arka bacakları ve retrolentiküler kısım putamen'den girdi ve çıktıkları taşıyan lateral bir lif tabakası oluşturur. Ön ve arka bacaklarda, medial tarafta, kaudat nükleusun başı ve gövdesine yönelen ve oradan ayrılan bir dizi lif grubu da yer alır. Kaudat nükleus kuyruğuna lif girişi veya çıkışı yoktur.

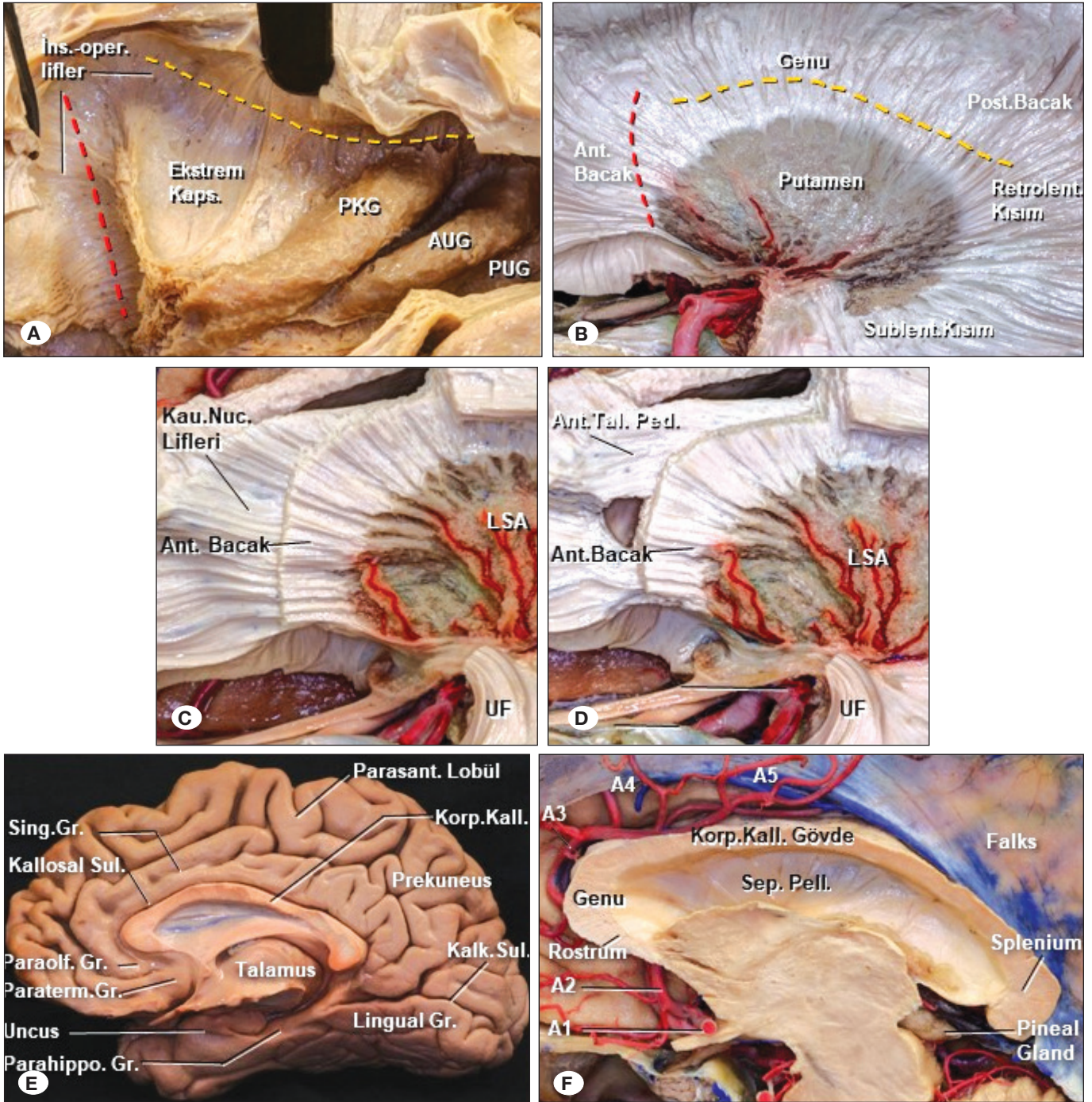
Anterior Limitan Sulkus ve Frontobazal Yüzey Kesisi

Frontal lobu serebrumun diğer bölümlerine bağlayan projeksiyon lifleri, anterior limitan sulkus ile frontal horn arasında bulunan ve anterior istmus olarak adlandırılan bir ak madde yapısı oluştururlar (Şekil 5A-D). Anterior limitan sulkus, superior limitan sulkus'un ön sınırı ile insulanın transvers girusu arasında yer alır.

Anterior limitan sulkus kesisi ile bütünlüğü bozulan en yüzeyel lifler ekstrem kapsülün en dış tabakasında seyreden insulooperküler liflerdir (Şekil 5A). Bu lifler anterior kısa girus ve insüler pol'ü inferior frontal ve orbital giruslara birleştirir. Hemen bir alt katmanda, temporal stem kesisi sırasında kesintiye uğratılan iki asosiyasyon lifi, uncinat ve inferior oksipitofrontal fasiküller yer alır. En derinde ise, frontal lobun asosiyasyon alanlarından köken aldıktan sonra internal kapsülün ön bacağına medial ve lateral tabakasında seyrederek, sırasıyla putamen ve kaudat nükleus'a uzanan lifler mevcuttur (28).

Anterior talamik lifler internal kapsülün bir parçası olarak gösterilmiştir (8,14). Ancak bizim çalışmamızda, anterior talamik liflerin, yer yer internal kapsülün medial katmanı ile karışsa da belirgin bir şekilde ayrı bir demet halinde anterior istmus'un superior sınırında önden arkaya doğru ilerlediği ve lateral ventrikülün gövdesinin lateral duvarında inferior yöne dönerek talamusa ulaştıkları tespit edilmiştir (Şekil 5C-D).

Anterior limitan sulkus'un en alt noktasına ulaşan kesi sayesinde frontal horn'un lateral duvarı açılmıştır. Ardından frontal horn'un tabanında mediale, interhemisferik fissüre doğru, yönlendirilen kesi orbital girusları, olfaktör trakt'ı ve girus rektus'u da içine almış olur. Anterior komissür'ün ön bacağı, primer olfaktör korteks'in yer aldığı unkus'un anterior kısmının çıkarılması esnasında kısmen diskonnekte edilmiştir. Anterior olfaktör nükleus frontobazal yüzeyin medial kısmının posteriorunda yer alır ve anterior komissürün ön bacağına



Şekil 5: Superior (sarı kesikli çizgi) ve anterior (kırmızı kesikli çizgi) limitan sulkus kesileri. **A)** Sol hemisfer insulasında ön ve orta kısa girusların çıkarılması ile ekstrem kapsül liflerinin en yüzeysel olan grubu, insulo-operküler lifler gösterilmiştir. Bu lifler insüler korteksi superior limitan sulkus altından geçerek frontopariteal operkulum ile, anterior limitan sulkus altından geçerek fronto-orbital operkulum ile birleştirir. **B)** İnternal kapsül bölümleri. **C, D)** Anterior talamik pedinkül; **E, F)** Sağ hemisferin medial yüzeyi. Korpus kallosum ve çevre kortikal ve arteriyel yapılar.

A1-5: anterior serebral arter bölümleri; **Ant.:** anterior; **AUG:** anterior uzun girus; **Gr.:** girus; **İns.-oper.:** insulo-operküler; **Kalk.k.:** kalkanın; **Kaps.:** kapsül; **Kau.Nuc.:** kaudat nükleus; **Korp.Kall.:** korpus kallosum; **LSA:** lentikülostriat arterler; **Parahippo.:** parahippokampal; **Paraolf.:** paraolfaktör; **Paraterm.:** paraterminal; **Parasant.:** parasantral; **Ped.:** pedinkül; **PKG:** posterior kısa girus; **Post.:** posterior; **PUG:** posterior uzun girus; **Retrolent.:** retrolentiküler; **Sep.Pell.:** septum pellucidum; **Sing.:** singulat; **Sublent.:** Sublentiküler; **Sul.:** sulkus; **Tal.:** talamik; **UF:** unsinat fasikül.

diskonekte olmamış geri kalan liflerini içerir (35). Frontobasal yüzeydeki insizyon interhemisferik fissüre eriştiğinde anterior komissür tamamen diskonekte edilmiş olur.

Intraventriküler Korpus Kallozotomi

Bir sonraki adım lateral ventrikül içinden önden arkaya doğru, anterior serebral arter ve falksın alt kenarı takip edilerek uygulanan korpus kallosotomidir. Kallosotomi kesisi frontal horn'un tabanı, anterior duvarı ve tavanı; lateral ventrikül gövdesinin tavanı; ve atrium medial duvarı boyunca ilerletilir.

Korpus kallozum beş bölümden oluşur: rostrum, genu, gövde, tapetum ve splenium (Şekil 5E, F) (11). Frontal horn'un anterior duvarını oluşturan forseps minör lifleri genu boyunca frontal loblar arasındaki iletişimi sağlamak amacıyla ilerler. Genu aşağıya doğru, frontal horn'ların tabanını oluşturan rostruma doğru uzanır. Genu, superiora doğru lateral ventriküllerin tavanını oluşturan korpus kallozum gövdesine uzanır. Korpus kallozum'un gövdesinin posterior kısmından geçiş yapan tapetum lifleri anterior ve inferiora doğru ilerleyerek atrium ve temporal hornların tavanı ve lateral duvarını örter. Lateral ventrikülün atriuma açıldığı ve talamusun en arka kısmına denk düşen düzeyde korpus kallozumun gövdesi splenium ile birleşir. Splenium'dan geçen forseps majör lifleri oksipital lobların medial yüzeylerini birleştirir.

Anterior serebral arter'in terminal kortikal dalının yukarı doğru yöneldiği nokta, splenium'un posterior kısmına erişiminde ve diskoneksiyonunda bir rehber nokta olarak önerilmiştir (19). Ancak, anterior serebral arterin rehber olarak kullanılması, bizim çalışmamızda 20 hemisferin onyedisinde korpus kallosotominin eksik kalmasına neden olmuştur. Tam bu seviyede, falks'ın serbest inferior kenarı splenium'un posterior kenarının yaklaşık 1 cm önünde aşağı doğru eğim yapar ve intraventriküler kallozotomi sahasında görünür olur. Falks daha sonra splenium etrafından dolaşarak, mesial temporal rezeksiyonunun posterior sınırında görülebilen tentorium serbest kenarına doğru devam eder. Lateral ventrikül çatısı ve atrium medial duvarının insizyonu aşamalarında rehber olarak falks'ın kullanılması splenium'un tam olarak kesilmesini mümkün kılacaktır.

Falks ve tentorium'un serbest kenarları takip edilerek birleştirilen kesi, atrium'un medial duvarında iki belirgin yapıyı kat eder (Şekil 5F). Üsteki çıkıntı forseps majör lifleri tarafından oluşturulur; alttaki yapı ise oksipital lobun medial yüzeyindeki kalkarın sulkus'un en derin kısmının ventriküle doğru oluşturduğu bir çıkıntı olan kalkar avis'tir. İnsizyon atrium'un medial duvarının inferior sınırına ulaştığında, hipokampus rezeksiyonunun posterior sınırına ulaşılarak hemisferotomi tamamlanmış olur.

TARTIŞMA

Hemisferotomi, geniş hemisferik hasarın yol açtığı dirençli epilepsilerde başarı bir tedavi sağlamasına rağmen, bazı olgularda başarısız olmaktadır (1,2,13,22,30,31,39). Eksik kesiler sıklıkla frontal lob ve korpus kallozum diskoneksiyon aşamalarında görülmektedir (15,20-22,25,26,36).

Frontal lobun horizontal lifleri iki aşamada kesilir. İlk aşama, anterior limitan sulkus'un derininde yer alan anterior istmus'un

ventriküle kadar kesilmesidir. İkinci aşama ise, frontal horn tabanında interhemisferik fissüre doğru ilerletilen kesi ile sağlanır. Genişlemiş ventriküller, frontobazal diskoneksiyon esnasında insizyonun anteriorda kalmasına ve dolayısıyla kesinin posteriorunda ayrılmamış frontal lob dokusunun kalmasına yol açabilmektedir (36). Bu aşamalarda M1 ve A1 arterlerinin anterior sınırlarının takip edilmesi, frontal lobda tam diskoneksiyon sağlar.

Bu çalışmanın önemli bir bulgusu, anterior serebral arter'in terminal kortikal dalının dönüş yerinin kallozotominin posterior sınırının belirlenmesinde güvenilir bir rehber nokta olmadığına gösterilmesidir. Spleniumun arka sınırının belirlenmesinde falksın serbest inferior kenarı önerilmiş olsa da, olguların bir kısmında bu yapı anterior serebral arterin terminal kortikal dalının yukarı dönüş yaptığı yerde görüş alanına girmeyebilir. Bu olgularda, preoperatiff radyolojik incelemelerle splenium ile krus forniks arasındaki ilişkiyi belirlemek, splenium'un posterior sınırını saptamada faydalı olabilir.

Son hemisferotomi çalışmaları insuler korteksin de çıkarılmasını destekleyici yöndedir (1,2,22,30,31). İnsula sadece operküler alanlarla bağlantı içerisinde değildir; aynı zamanda insula'dan kaynaklanıp sıklıkla talamusun dorsal nükleusların sonlanan lifler de mevcuttur (35).

SONUÇ

Bu çalışmada, hemisferotominin cerrahi aşamalarında bütünlüğü bozulan akmadde lifleri tariflenmiştir. Eksik diskoneksiyonun önde gelen bir sebebi olarak bildirilmesi nedeniyle intraventriküler kallozotomiye özellikle değinilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Binder DK, Schramm J: Transylvian functional hemispherectomy. Childs Nerv Syst 22(8):960-966, 2006
2. Burgel U, Amunts K, Hoemke L, Mohlberg H, Gilsbach JM, Zilles K: White matter fiber tracts of the human brain: Three-dimensional mapping at microscopic resolution, topography and intersubject variability. Neuroimage 29(4):1092-1105, 2006
3. Campero A, Troccoli G, Martins C, Fernandez-Miranda JC, Yasuda A, Rhoton AL Jr: Microsurgical approaches to the medial temporal region: An anatomical study. Neurosurgery 59(4 Suppl 2):279-307, 2006
4. Choi C, Rubino PA, Fernandez-Miranda JC, Abe H, Rhoton AL Jr: Meyer's loop and the optic radiations in the transylvian approach to the mediobasal temporal lobe. Neurosurgery 59(4 Suppl 2):228-235, 2006
5. Cook SW, Nguyen ST, Hu B, Yudovin S, Shields WD, Vinters HV, Van de Wiele BM, Harrison RE, Mathern GW: Cerebral hemispherectomy in pediatric patients with epilepsy: Comparison of three techniques by pathological substrate in 115 patients. J Neurosurg 100 Suppl Pediatrics 2:125-141, 2004
6. de Almeida AN, Marino R Jr, Marie SK, Aguiar PH, Teixeira MJ: Factors of morbidity in hemispherectomies: Surgical technique x pathology. Brain Dev 28(4):215-222, 2006

7. Delalande O, Bulteau C, Dellatolas G, Fohlen M, Jalin C, Buret V, Viguier D, Dorfmueller G, Jambaqué I: Vertical parasagittal hemispherotomy: Surgical procedures and clinical long-term outcomes in a population of 83 children. *Neurosurgery* 60(2 Suppl 1):19-32, 2007
8. Di Virgilio G, Clarke S, Pizzolato G, Schaffner T: Cortical regions contributing to the anterior commissure in man. *Exp Brain Res* 124(1):1-7, 1999
9. Duvernoy HM: The Human Hippocampus, üçüncü baskı. New York, NY: Springer-Verlag, 2005
10. Ebeling U, von Cramon D: Topography of the uncinate fascicle and adjacent temporal fiber tracts. *Acta Neurochir (Wien)* 115(3-4):143-148, 1992
11. Fernandez-Miranda JC, de Oliveira E, Rubino PA, Wen HT, Rhoton AL Jr. Microvascular anatomy of the medial temporal region: Part 1: Its application to arteriovenous malformation surgery. *Neurosurgery* 67(Suppl Operative 3): 237-276, 2010
12. Fernandez-Miranda JC, Rhoton AL Jr, Alvarez-Linera J, Kakizawa Y, Choi C, de Oliveira EP: Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain. *Neurosurgery* 62(6 Suppl 3):989-1026, 2008
13. Fernandez-Miranda JC, Rhoton AL Jr, Kakizawa Y, Choi C, Alvarez-Linera J: The claustrum and its projection system in the human brain: A microsurgical and tractographic anatomical study. *J Neurosurg* 108(4):764-774, 2008
14. González-Martínez JA, Gupta A, Kotagal P, Lachhwani D, Wyllie E, Lüders HO, Bingaman WE: Hemispherectomy for catastrophic epilepsy in infants. *Epilepsia* 46(9):1518-1525, 2005
15. Kemp JM, Powell TP: The cortico-striate projection in the monkey. *Brain* 93(3):525-546, 1970
16. Kestle J, Connolly M, Cochrane D: Pediatric peri-insular hemispherotomy. *Pediatr Neurosurg* 32(1):44-47, 2000
17. Klingler J, Gloor P: The connections of the amygdala and of the anterior temporal cortex in the human brain. *J Comp Neurol* 115:333-369, 1960
18. Krynauw RA: Infantile hemiplegia treated by removing one cerebral hemisphere. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 13(4):243-267, 1950
19. Kucukyuruk B, Richardson RM, Wen HT, Fernandez-Miranda JC, Rhoton AL Jr: Microsurgical anatomy of the temporal lobe and its implications on temporal lobe epilepsy surgery. *Epilepsy Res Treat* 2012:1-17, 2012
20. Mittal S, Farmer JP, Rosenblatt B, Andermann F, Montes JL, Villemure JG: Intractable epilepsy after a functional hemispherectomy: Important lessons from an unusual case. Case report. *J Neurosurg* 94(3):510-514, 2001
21. Morino M, Shimizu H, Ohata K, Tanaka K, Hara M: Anatomical analysis of different hemispherotomy procedures based on dissection of cadaveric brains. *J Neurosurg* 97(2):423-431, 2002
22. Nieuwenhuys R, Voogd J, van Huijzen C: The Human Nervous System, dördüncü baskı. Berlin: Springer-Verlag, 2007
23. Parent A, Hazrati LN. Functional anatomy of the basal ganglia. I: The corticobasal ganglia thalamo-cortical loop. *Brain Res Brain Res Rev* 20(1):91-127, 1995
24. Peuskens D, van Loon J, Van Calenbergh F, van den Bergh R, Goffin J, Plets C: Anatomy of the anterior temporal lobe and the frontotemporal region demonstrated by fiber dissection. *Neurosurgery* 55(5):1174-1184, 2004
25. Rasmussen T: Hemispherectomy for seizures revisited. *Can J Neurol Sci* 10(2):71-78, 1983
26. Rasmussen T: Postoperative superficial hemosiderosis of the brain, its diagnosis, treatment and prevention. *Trans Am Neurol Assoc* 98:133-137, 1973
27. Rhoton AL Jr: The cerebrum. *Neurosurgery* 51 Suppl 4:1-51, 2002
28. Rhoton AL Jr: The supratentorial arteries. *Neurosurgery* 51 Suppl 4:53- 120, 2002
29. Rubino PA, Rhoton AL Jr, Tong X, Oliveira E: Three-dimensional relationships of the optic radiation. *Neurosurgery* 57(Suppl 4):219-227, 2005
30. Saur D, Kreher BW, Schnell S, Kümmerer D, Kellmeyer P, Vry MS, Umarova R, Musso M, Glauche V, Abel S, Huber W, Rijntjes M, Hennig J, Weiller C: Ventral and dorsal pathways for language. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105(46):18035-18040, 2008
31. Schramm J, Behrens E, Entzian W: Hemispherical deafferentation: An alternative to functional hemispherectomy. *Neurosurgery* 36(3):509-515, 1995
32. Schramm J, Kral T, Clusmann H: Transylvian keyhole functional hemispherectomy. *Neurosurgery* 49(4):891-900, 2001
33. Shimizu H, Maehara T: Modification of peri-insular hemispherotomy and surgical results. *Neurosurgery* 47(2):367-372, 2000
34. Standring S, Crossman AR, Turlough FitzGerald MJ, Collins P: Neuroanatomy. In: Standring S (ed), *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*, otuzdokuzuncu baskı. New York, NY: Elsevier Churchill Livingstone, 2005
35. Tanriover N, Rhoton AL Jr, Kawashima M, Ulm AJ, Yasuda A: Microsurgical anatomy of the insula and the sylvian fissure. *J Neurosurg* 100(5):891-922, 2004
36. Ture U, Yasargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O: Fiber dissection technique: Lateral aspect of the brain. *Neurosurgery* 47(2):417-426; discussion 426-417, 2000
37. Villemure JG, Mascott CR: Peri-insular hemispherotomy: Surgical principles and anatomy. *Neurosurgery* 37(5):975-981, 1995
38. Vining EP, Freeman JM, Pillas DJ, Uematsu S, Carson BS, Brandt J, Boatman D, Pulsifer MB, Zuckerman A: Why would you remove half a brain? The outcome of 58 children after hemispherectomy-the Johns Hopkins experience: 1968 to 1996. *Pediatrics* 100(2 pt 1):163-171, 1997
39. Wen HT, Rhoton AL Jr, de Oliveira E, Cardoso AC, Tedeschi H, Baccanelli M, Marino R Jr: Microsurgical anatomy of the temporal lobe: Part 1: Mesial temporal lobe anatomy and its vascular relationships as applied to amygdalohippocampotomy. *Neurosurgery* 45(3):549-591, 1999
40. Wen HT, Rhoton AL Jr, de Oliveira E, Castro LH, Figueiredo EG, Teixeira MJ: Microsurgical anatomy of the temporal lobe: Part 2-sylvian fissure region and its clinical application. *Neurosurgery* 65 Suppl 6:1-35, 2009