T.C.
Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi
Nöroşirurji Anabilim Dalı

BROADMAN 5. ALANININ AKMADDE YOLLARININ MİMARİSİ ANATOMİK VE TRAKTOGRAFİK ÇALIŞMA

Tohid VAHEDKHAJEHPASHA

Uzmanlık Tezi

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hakan Hadi KADIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat KARADAĞ

ERZURUM-2024

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ TEZ SINAVI TUTANAĞI

I. UZMANLIK ÖĞRENCİSİ ve TEZİ İLE İLGİLİ BİLGİLER	
Adı, Soyadı : Tohid VAHEDKHAJEHPASHA	**Sınav tarihi:** 10/ 09 / 2024
Anabilim Dalı : Beyin ve Sinir Cerrahisi ABD	
Tez Danışmanı ve AtanmaTarihi: Prof. Dr. Hakan Hadi KADIOĞLU/21.05.2024	
Tezin Konusu ve Başlığı : ''Brodmann 5Alanının Ak Madde Yollarının Mimarisi:Ak Madde Diseksiyonu,Anatomik ve Traktografi Eşliğinde 3 Boyutlu İncelenmesi Çalışması. **Belirlenme Tarihi:21.05.2024**	
Tezin Niteliği : ☒ Tıpta Uzmanlık Tezi ☐ Klinik Çalışmalar ( ) Prospektif ( ) Retrospektif ( ) Kesitsel ☐ Laboratuvar Çalışmaları (X) Invitro (Cansız) Çalışmaları ( ) Hayvan Çalışmaları	
Tez Sınavının Nasıl Yapıldığı: ☒ Yüz yüze katılım sağlanarak ☐ Online (Jürinin teşkil edilmesinde kurum dışından belirlenecek olan jüri üyesi, aynı il sınırları içerisinde bulunmadığından, tez sınavı dijital ortamda yapılmıştır.)	

II. KARAR

Tıpta ve Diş Hekimliğinde Uzmanlık Eğitimi Yönetmeliğinin 19. maddesi gereğince yapılan tez savunma sınavının tamamlanması sonucunda adı geçenin tezinin, jüri üyelerince "Tıpta Uzmanlık Tezi" olarak;

☒ Kabulüne

1.Tez Sınavı ☐ Reddine (Eksikliklerin tamamlanması ve gerekli düzeltmelerin yapılması için uzmanlık öğrencisine, TUEY'nin 19. Maddesinin 6. fıkrası gereğince altı aylık ek bir süre verilmesine)

2.Tez Sınavı ☐ Reddine (TUEY'nin 19. Maddesinin 7. fıkrası gereğince, uzmanlık öğrencisinin uzmanlık öğrenciliği ile ilişiğinin kesilmesine)

☒ Oy birliği ☐ Oy çokluğu ile karar verilmiştir.

III. AÇIKLAMALAR

Lütfen, tezin reddi durumunda gerekçeli açıklamalarınızı buraya yazınız

IV. JÜRİ ÜYELERİ

	Unvanı Adı Soyadı	Uzmanlık Dalı	Kurum Bilgisi	İmza
Jüri Başkanı	Prof Dr. Hakan Hadi KADIOĞLU	Beyin ve Sinir Cerrahisi ABD	Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi	
Jüri Üyesi	Doç Dr.Mete ZEYNAL	Beyin ve Sinir Cerrahisi ABD	Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi	
Jüri Üyesi	Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Kürşat KARADAĞ	Beyin ve Sinir Cerrahisi ABD	Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi	

İÇİNDEKİLER

TABLOLAR DİZİNİ **2**

ŞEKİLER DİZİNİ **3**

KISATMALAR DİZİNİ **5**

TEŞEKKÜR **6**

ÖZET **7**

ABSTRACT **9**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **11**

2. GENEL BİLGİLER **14**

2.1. TEMEL BİLGİLER 14
2.2. SEREBRAL ANATOMİ 15
2.2.1. Beyin Yüzey Anatomisi *16*
2.2.2. Brodman Alanlarının Tarihçesi *20*
2.2.3. Brodman Alanları *23*
2.2.4. Sitoarkitektonik Harita *27*
2.3. PARİETAL LOBUN NÖROFİZYOLOJİSİ VE NÖROLOJİSİNİN TARİHÇESİ 27
2.4. AK MADDE BAĞLANTILARI 28
2.4.1. Bağlantısal Nöroanatomi *28*
2.4.2. Süperior Parietal Lobülün Tanımlanması *32*
2.4.3. Superior Parietal Lobülün Ana Bağlantıları *32*
2.5. SEREBRAL ANATOMİ ÇALIŞMALARININ TARİHÇESİ 41
2.6. NÖRORADYOLOJİNİN TARİHÇESİ 43
2.7. RADYOLOJİK ANATOMİ 46
2.8. SEREBRAL FİKSASYONDA KULLANILAN YÖNTEMLER VE ÇÖZELTİLER 48
2.8.1. Perfüzyon Fiksasyonuna Yaklaşım *49*

3. GEREÇ **51**

4. YÖNTEM **52**

5. BULGULAR **54**

5.1. LATERALDEN MEDİALE DOĞRU KADEMELİ DİSEKSİYON BULGULARI 54
5.3. RADYOLOJİK BULGULAR 65

6. TARTIŞMA **67**

7. SONUÇ **72**

KAYNAKLAR **73**

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Beyindeki ak liflerin yön ve derinliğe göre sınıflandırılması……...18

Tablo 2. Beyindeki ak liflerde hasara bağlı uluşan defisit……...…….…19

Tablo 3. Farklı fiksasyon yöntemlerinin tarihsel gelişimi ……36

Tablo 4. Perfüzyon protokolü ve Klingler tekniğine göre numune hazırlama için farklı adımların karşılaştırılması……..…...37

ŞEKİLER DİZİNİ

Şekil 1. Beynin yüzeysel(a), kesitsel(b) ve bağlantısal oryantasyonunu tanımlamak için yaygın olarak kullanılan terimler…….……7

Şekil 2. Sol yarımkürenin medial yüzeyinin ana giruslarını (g.) ve sulkuslarını (s.) gösteren beynin 3 boyutlu rekonstrüksiyonu……...…...…8

Şekil 3. Beynin 3 boyutlu rekonstrüksiyonu 8

Şekil 4. Sol serebral hemisferin dorsolateral (A) ve medial (B) yüzeyinin lobar bölünmesi…. ……..…….9

Şekil 5. 1- Brodman'ın monografisi ve haritasının günümüz nörogörüntüleme çalışmalarına etkisi…….....10

Şekil 6. Serebral korteksin 3 boyutlu yüzey modelinde Bromdan alan sınırlarının görünümü……...11

Şekil 7. İnsan beyninin sol yarımküresinin dorsal görünümü……...12

Şekil 8. IPS'nin farklı çalışmalarla mimari parselasyonu……..13

Şekil 9. SPL alanlarının duyusal özellikleri ve kortikokortikal bağlantıları…….14

Şekil 10. İnsan beyninin Asosiasyon, komissural ve projeksiyon yollarının difüzyon tensör traktografi rekonstrüksiyonu görüntüsü…….16

Şekil 11. AC'nin küçük ön (ACa) ve büyük arka (ACp) bacakları ortaya çıkarılmış ve nucleus accumbens, globus pallidus, kaudat nükleus ile ilişkileri…….17

Şekil 12. Beynin ana projeksiyon yollarının difüzyon tensör traktografi rekonstrüksiyonu.18

Şekil 13. Üst parietal lobun (SPL) yüzeysel anatomisi ve sınırları……...20

Şekil 14. Parietal lobda bulunan kısa ilişki lifleri (“U lifleri”)……..21

Şekil 15. SLF üç bölümleri……22

Şekil 16. STG (MLF) AG (sarı) ve STG (MLF) SPL (mavi) gösteren MLF traktografisi...23

Şekil 17. ILF liflerinin SPL ile ilişkisi……..24

Şekil 18. Üst parietal lobülden kaynaklanan IFOF'un ak cevher anatomisi……..25

Şekil 19. A= VOF'un çekirdeği boyunca aksiyal kesit. 26

Şekil 20. Üst parietal lobülden (SPL) kaynaklanan SLF, MdLF ve VOF'nin ak madde anatomisi……26

Şekil 21. Üst parietal lobülden kaynaklandığını gösteren singulumun ak cevher anatomisi27

Şekil 22. Johann Christian Reil'in insan beyninin aşağıdan görünen kaba diseksiyonunun tasviri…….30

Şekil 23. İntrakraniyal lezyonların teşhisinde radyografinin önemi…….31

Şekil 24. İlk difüzyon traktografik görüntüleme olgusu……...33

Şekil 25. Difüzyon elipsoidleri (tensörler)……34

Şekil 26. 58 yaşında glioblastomlu kadın……..34

Şekil 27. dekortikasıyon/diseksıyon boyunca kullanılan spatula ve mikroskop (caerl zeiss) görüntüsü……39

Şekil 28. Ciltten kortekse kadar diseksiyon aşamaları……41

Şekil 29. Dura mater çıkarıldıktan sonra serebrumun kortikal vasküler yapılar ile birlikteki görünümü……...42

Şekil 30. Araknoid membran ve kortikal vasküler yapılar uzaklaştırıldıktan sonraki görünümü……...……43

Şekil 31. Gri maddenin dış tabakasını kaldırdıktan sonraki görünüm……..44

Şekil 32. Sağ serebral hemisfein dekortikasıyon sonrası U- liflerin görünümü……...45

Şekil 33. SLF, "U" liflerin çıkarılmasıyla açığa çıkarıldı……46

Şekil 34. İnsular yüzey anatomisi ve superior longitudinal fasikülüsün operkulum çıktıktan sonraki görünümü…….....46

Şekil 35. Ayrıntılı olarak insular yüzey anatomisi……47

Şekil 36. İnsula'nın gri maddesi çıkarıldıktan sonra ekstrem kapsül liflerinin görünümü…48

Şekil 37. Ekstrem kapsülün lifleri dikkatli bir şekilde çıkarıldıktan sonra eksternal kapsül, klastrum, unsinat ve oksipitofrontal fasiküllerle birlikte görünümü……..48

Şekil 38. Superior longitüdinal fasikülü kaldırdıktan sonraki görünüm……...49

Şekil 39. Slf ve ekstrem kapsül kaldırıldıktan sonra BA5 den lateral pontine kadar uzanan lifler görünümü……...50

Şekil 40. Klostrum ile eksternal kapsülün çıkarılması sonrası periferde internal kapsül ve ortada putamen görünümü……..50

Şekil 41. Globus pallidus'un gri maddesi görünümü……51

Şekil 42. Lentiform nükleus çıkarıldıktan sonraki görünümü……..52

Şekil 43. İnternal kapsulun sublentiküler kısmı diseke edildikten sonra meyers loopu ve geniklokalkarin traktın görünümü……..52

Şekil 44. Temporal pole ve beraberinde unsinat fasikül kaldırdıktan sonraki görünüm…...53

Şekil 44. Parieto potin yolun mr traktografisi……...…54

Şekil 45. BA5 bölgesinden lateral pons ve ventral pons bölgelerine giden lif yolları MR traktografi ile görüntüsü……54

KISATMALAR DİZİNİ

AF : Arkuat Fasikül
AG : Angular Girus
AK : Anterior komissür
AKM : Ak Madde Diseksıyonu
APK : Anteriyor Parietal Korteks
BA5 : Brodman Alan 5
DSİ : Difüzyon Spektrum Görüntüleme
DTİ : Difüzyon Tensör Görüntüleme
DWİ : Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme
Ext-K : Ekstrem kapsül
FDA : Gıda ve İlaç Dairesi
FLAİR : Sıvı Zayıflatılmış İnversiyon Geri Kazanımı
Gd : Gadolinyum
İFOF : İnferior Fronto-Oksipital Fasikül
İLF : inferior longitudinal fasikül
İPK : İnferior Paryetal Korteks
İPL : İnferior Paryetal Lobül
KK : Korpus Kallozum
LGN : Lateral Genikülat Nükleus
MLF : Orta Longitudinal Fasikül
MRG : Manyetik Rezonans Görüntüleme
MSS : Merkezi Sinir Sistemi
NMR : Nükleer Manyetik Rezonans
PK : Paryetal Kortex
PPK : Posterior Paryetal Korteks
SLF : Superior Longitudinal Fasikül
SPK : Superior Paryeal Korteks
SPL : Superior Paryetal Lobül
SSS : Santral Sinir Sistemi
STG : Superiyor Temporal Girus
TP : Temporal Pole
VOF : Vertikal Oksipital Fasikül

TEŞEKKÜR

Tez hocam ve Anabilim Dalı Başkanımız Prof. Dr. Hakan Hadi KADIOĞLU'na, eğitimim ve tez çalışmam boyunca gösterdiği ilgi, destek ve rehberlik için teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sürecinde emeği geçen, bilgi ve deneyimlerini paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat KARADAĞ'a, özellikle tez çalışması sürecinde yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Mehmet Hakan ŞAHİN ve çalışmada kullanılan traktografi görüntülerinin elde edilmesinde yardımcı olan Radyoloji ABD Öğretim üyesi Doç. Dr. Ahmet YALÇIN'a, ayrıca klinik eğitimime emeklerinden dolayı anabilim dalımızın diğer öğretim üyeleri teşekkür ederim.

Son olarak öğrenciliğimin ve asistanlığımın her aşamasında bana desteklerini esirgemeyen annem ve babam başta olmak üzere aileme, sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Dr. Tohid VAHEDKHAJEHPASHA

ÖZET

Broadman 5. Alanının Akmadde Yollarının Mimarisi: Anatomik ve Traktografik Çalışma

Amaç: Superior parietal korteks (SPK) parietal lobun bir parçası olduğu göz önüne alındığında, bu alana yapılacak ameliyatlar cerrahın bölgenin hem morfolojik hem de fonksiyonel bilgiye sahip olmasını gerektirmektedir. Yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve intraoperatif haritalama gibi ileri görüntüleme tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte beyindeki ak madde liflerinin anatomisine olan ilgi artmıştır**.** Bu çalışmada daha önceki çalışmalarda yapılmayan BA5 alanı ile pons arasındaki subkortikal ak madde bağlarının mikrocerrahi ve üç boyutlu anatomisinin lif diseksiyonu tekniği ile incelenmesi amaçlandı.

Gereç ve Yöntem: Çalışma Erzurum Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi beyin ve sinir cerrahi Anatomi Laboratuvarında gerçekleştirildi. Bu çalışmada anatomik diseksiyonu MR görüntüleri ile ilişkilendirerek ilgili ak cevher traktını ayrıntılı olarak belirledik. Çalışma anatomik ve radyolojik olmak üzere iki aşamalı yapıldı. İlk aşamada anatomik diseksiyon lateralden mediale doğru yapıldı. Kafa spesmeni MRG kullanılarak kesit aralığı 1 mm olacak şekilde üç düzlemde görüntülendi ve hazırlığa uygun olduğu görüldü. Klingler tekniği kullanılarak spesmen hazır olduktan sonra serebral hemisferin yüzeydeki majör sulkus ve girusların incelenmesiyle kıdemeli olarak ak madde diseksiyona başlandı. Kafa derisi, kemik ve dura mater cerrahi üsluba uygun sırayla kaldırıldı. Ak madde lif diseksiyonu cerrahi mikroskop ve mikrocerrahi seti kullanılarak lateralden mediale doğru yapıldı. Her aşama sırası ile fotoğraflandı. Çalışmanın ikinci aşamasında, beyin lezyonu olmayan 10 gönüllüden (5 erkek ve 5 kadın) BA5 alanından lateral pontin nükleusa seyreden ak madde liflerinin yönelimini incelemek için DTI-MRI görüntüleri alındı.

Bulgular: MR görüntüleri ve anatomik diseksiyonları ilişkilendirerek ilgili ak cevher yolunu kesin olarak lokalize ettik. Yapılan traktografide**,** BA5'i pontin çekirdeğine bağlayan subkortikal demeti gösterdik**;** bu, ölüm sonrası beyin spesmenin anatomisi ile iyi bir şekilde ilişkilidir**.** Çalışmada ak madde diseksiyon sonucu internal kapsülün

retrolentiküler kısmının komşuluğunda yer alan ve parietal loba ait olan BA5 alanından lateral pontin nükleuslarda biten ak madde yolu traktografi ile doğrulanarak ve literatür ile körele şekilde ilk kez gösterildi. Ayrıca, ortalama DTI`dan elde edilen bölge haritasının, denekler arası değişkenliğe rağmen bireysel beyinlerden trakt çıkarmak için başarılı bir şekilde kullanılabileceğini gösterdik.

Sonuç: Fiber diseksiyon tekniği, karmaşık ve zaman alıcı olmasına rağmen, intrinsik beyin anatomisi ve mimarisi hakkında üç boyutlu bilgi sunar. Böylece hem mikronörocerrahinin kalitesini hem de hastanın bakım standardını artırır. Bu yolların topografik çalışmaları, beyin tümörlerinin ak madde invazyon paternlerinin anlaşılmasında yardımcı olur ve bu nedenle preoperatif planlama ve cerrahi yaklaşımlar için önemlidir. Çalışmamızda ilk kez anatomik diseksiyon kullanılarak parieto pontin (BA5- lateral pons) ak madde yolu tanımlandı.

Anahtar Kelimeler: Ak Madde Yolları, Fiber Diseksiyonu, Broadmann 5, lateral pontin nükleus.

ABSTRACT

Broadman 5 Alanın Akmadde Yollarının Mimarisi: Anatomik ve Traktografik Çalışma

Title: Architecture of white matter fibers system related to broadmans 5 area which terminates in the lateral pontine region: Anatomical and Tractographic Study.

Objective: Considering that the superior parietal cortex (SPC) is a part of the parietal lobe, neurosurgeons must have both morphological and functional knowledge to perform surgery on this region. With the advent of advanced imaging techniques such as high-resolution imaging and intraoperative mapping, interest in the anatomy of white matter fibers in the brain has increased. In this study, we aimed to investigate the microsurgical and three-dimensional anatomy of the subcortical white matter connections between the BA5 area and the pons using fiber dissection technique.

Materials and Methods: The study was carried out in the Anatomy Laboratory of Erzurum Atatürk University Faculty of Medicine. The study was carried out in two stages: anatomical and radiological stage. In the first stage, anatomical dissection was performed. The head specimen was imaged in three planes using MRI with a slice interval of 1 mm and was found to be suitable for preparation. The scalp, bone, and dura mater were removed in the order appropriate to surgical style. White matter fiber dissection was performed from lateral to medial using a surgical microscope and microsurgery set. Each stage was photographed in order. In the second phase of the study, DTI-MRI images were obtained from 10 volunteers (5 males and 5 females) without brain lesions to examine the orientation of white matter fibers traveling from the BA5 area to the lateral pontine nucleus. The obtained DTI images were evaluated together with the cadaver specimen.

Results: After the specimen was prepared using the Klingler technique, white matter dissection was start gradually by examining the major sulci and gyri on the surface of the cerebral hemisphere. In this study, the white matter pathway ending in

the lateral pontine nuclei from the BA5 area of the parietal lobe, located adjacent to the retrolenticular part of the internal capsule, was shown via microsurgical dissection technique for the first time.

Conclusion: The fiber dissection technique, although complex and time-consuming, provides three-dimensional information about intrinsic brain anatomy and architecture. This improves both the quality of microneurosurgery and the standard of care for the patient. Topographic studies of these tracts help in understanding the white matter invasion patterns of brain tumors and are therefore important for preoperative planning and surgical approaches. In our study, the parieto pontine (BA5- lateral pons) white matter pathway was described for the first time using anatomical dissection.

Keywords: White Matter Pathways, Fiber Dissection, Broadmann 5 area, lateral pontine nucleus

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Beyin tümörü cerrahisinin temel zorluklarından biri, fonksiyonel kaybı en aza indirmek ve yaşam kalitesini korumak için sağlıklı çevre dokuyu korurken mümkün olduğunca fazla tümörü çıkarmak (maksimal güvenli rezeksiyon) ilkesini takip etmektir. Bu hedefe ulaşmak için, ilgili kortekslerin bütünlüğünün yanı sıra sağlam peritümöral ak madde demetlerinin korunması çok önemlidir. Bu nedenle, kortikal ve subkortikal yapıların anatomik ve işlevsel bilgisini geliştirme çabası bu hedefle uyumludur (1, 2).

Posterior parietal korteks (PPK), temporal ve prefrontal kortekslerle birlikte insan serebral korteksinin en önemli üç assosiasyon alanından biridir. PPK iki farklı bölgeden oluşur: superior (SPK) ve inferior parietal korteks (İPK) (1). Brodman'ın sitoarkitektonik haritasına göre de SPK, Brodman alanı (BA 5) ve BA 7 olarak iki ana alandan ibarettir. Brodman, daha sonra BA 7'yi anterior (BA 7a) ve posterior (BA 7b) olarak ikiye ayırdı (2). SPK "kortikal asosiasyon bölgesi" olarak adlandırılır. Çünkü ne tam duyusal ne de tam motor alandır; ancak somatosensoriyel, işitsel, görsel, motor, singulat ve prefrontal kortekslerden gelen girdileri ve subkortikal alanlardan proprioseptif ve vestibüler sinyalleri birleştirir. SPKdaki BA 5, primer motor (BA 4), primer somatosensör (alan BA3, BA2, BA1), singulat ve superior parietal asosiasyon korteksleri (BA 7) arasında merkezi bir anatomik konuma sahiptir. BA 5, BA 2, BA 7 ve singulat alan arasında bazı nörokimyasal farklılıklar tespit edilse de bu alanların reseptör benzerliği tespit edilmiştir. Buna karşılık, BA 5'in reseptör dağılım paterni, primer motor ve somatosensoriyel alanlarda bulunandan belirgin bir şekilde farklıdır (3). İPK, insan beyninin en az anlaşılan bölgelerinden biridir. İnsan gelişiminin geç dönemlerinde olgunlaşan İPK, insan olmayan primatlara kıyasla büyük ölçüde gelişmiştir (4). İPK, supramarjinal girus (SMG) ve angular girus (AG) olmak üzere iki kısma ayrılır (5); mekânsal süreçler veya eylemin görsel rehberliğinin yanı sıra (eylem için vizyon) yeni öğelerin tespitinde ve zaman içinde dikkatin sürdürülmesinde veya kontrol edilmesinde rol oynar (6). BA5'teki nöronların fonksiyonel özelliklerini incelemek için tek üniteli elektrofizyolojik kayıt teknikleri kullanan çalışmalar hem yerleşim hem de nöronal özellikler açısından oldukça değişkendir. Bu nedenle, BA 5'in fonksiyonlarına ilişkin sonuçların ve yorumların da aynı şekilde değişmesi

şaşırtıcı değildir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarla, BA5 bölgesindeki nöronların programlamada rol oynadığı gösterilmiştir (7). Nöro-görüntülemedeki ilerlemeler yapısal bağlantı ve ağ işlevi arasındaki ilişkiyi göstermenin yanı sıra beyin operasyonları için temel oluşturmaktadır.

Yakın zamanda yapılan araştırmalar, SPK'nın işlevsel olarak çeşitlilik gösteren bir bölge olduğunu ortaya koymuştur. Bu gelişmelere rağmen SPK'nın fonksiyonu ve subkortikal bağlantıları ve özelliklerin temelini oluşturan anatomik ilişkilere ilişkin bilgiler hâlâ kesinlik kazanmamıştır. Bu durum mevcut gelişmelerin kliniğe uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Nöroşirurji pratiğinde fevkalade yararlı olan intraoperatif görsel-motor ve görsel-uzaysal haritalamanın konuşma ve motor haritalamaya kıyasla yeterince gelişmemiş olması subkortikal anatominin daha iyi bilinmesi ve anlaşılmasını gerektirmektedir. (8) Difüzyon görüntüleme ve fonksiyonel bağlantı çalışmalarının ortaya çıkmasıyla, yapısal ve fonksiyonel organizasyon hakkında daha fazla bilgi elde edilebilmektedir (9). Son yirmi yılda, DTI traktografisindeki hızlı gelişmeler, canlı insan beyninin subkortikal anatomisinin görselleştirilmesini mümkün kılmıştır. Fakat DTI traktografisindeki bu önemli ilerlemeye rağmen, subkortikal yolların kesin yörüngesi ve kortikal bağlantıları tam olarak belirlenememiştir. (10)

Kortekse yansıyan terminal liflerin izole edilmesini ve izlenmesini sağladığından ötürü korteks koruyucu lif diseksiyonu, bu yolların anatomisini aydınlatmaya yardımcı olabilir. (10) Ak madde diseksiyonu (AMD), sinirbilimde beynin farklı bölgelerini birbirine bağlayan miyelinli akson demetlerini izole etmek ve incelemek için kullanılır. Aksonal yolları anlamak, beyin fonksiyonu, nöronal iletişim ve altta yatan nöral mekanizmalar hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. AMD nöroşirürjikal yaklaşımlar sırasında kritik ak cevher yollarının tanımlanmasında, korunmasında, aynı zamanda iyatrojenik olumsuz sonuçları en aza indirme ve nörolojik işlevselliği korumada önemli rol oynamaktadır.

Tedavi amaçlı cerrahi yaklaşımları yapmadan önce kadavra örneklerinde yapılan AMD, yaklaşımın gerçekleştirilmesi için benzersiz bir öğrenim ve eğitim fırsatı sunması açısından büyük önem taşımaktadır. Kadavra üzerinde yapılan beyin

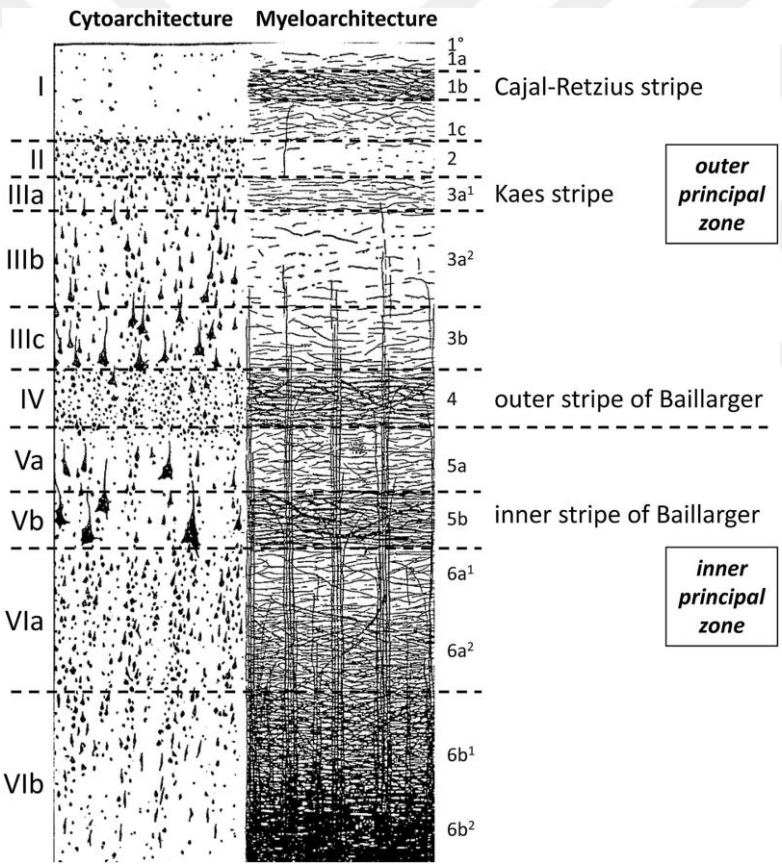
diseksiyonları, beynin ak madde yollarını araştırmak ve incelemek için etkili bir yöntem olarak bilinirken, bu süreç uygun rehberlik ve eğitim olmadan karmaşık ve zorlayıcı olabilir (11).

Literatür incelendiğinde SPK'da yer alan subkortikal bağlantıların 3 boyutlu mimarisinde ak cevher analizinin yetersiz olduğu ve daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu çalışmada, daha önce literatürde gösterilmemiş olan kortiko (BA5) pontin ile ilişkili subkortikal ak made bağlarının mikrocerrahi anatomisini, lif disseksiyon tekniği kullanarak incelenmesi planlandı. Ayrıca bu çalışmada gros anatomik diseksiyon ile difüzyon spektrum görüntüleme (DSI) tabanlı fiber traktografi kullanarak parietopontin traktın seyiri doğrulandı. Daha modern tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanmasına rağmen, beyin ak cevherindeki liflerin ilişkileri, seyri ve bağlantıları hakkındaki bilgimizin gelişmesine ihtiyaç vardır. Çalışmamızda BA5i lateral potine bağlayan ana ak madde trakt ilişkileri hakkında yeterince bilgi elde edilmesi ve daha sonra cerrahi sırasında topografik hakimiyetin sağlanması ve mikrocerrahide uygulanabilir yöntem elde edilmesi planladı.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Temel Bilgiler

Serebral korteks, serebral hemisferlerin en dış yüzeyini kaplayan nöron gövdeleri ve yüzeye paralel uzanan aksonların oluşturduğu ince bir gri madde şeridir. Beyin korteksini yüzeyine dik bir düzlem boyunca kestikten sonra, çok katmanlı mimarisini gözlemlemek mümkündür. Beyin korteksinin katmanlaşma düzeni beyin boyunca değişir (korteksin çoğu altı katmanlıdır) ve bu bölgesel varyasyona göre farklı bölgelere ayrılmıştır. (12) (Şekil-1)



Şekil 1. Sito ve miyelomimaride kortikal katmanlamanın genelleştirilmiş şeması. **(86)**
Romen rakamları sitoarkitektonik katmanları, Arap rakamları miyeloarsitektonik katmanları göstermektedir.

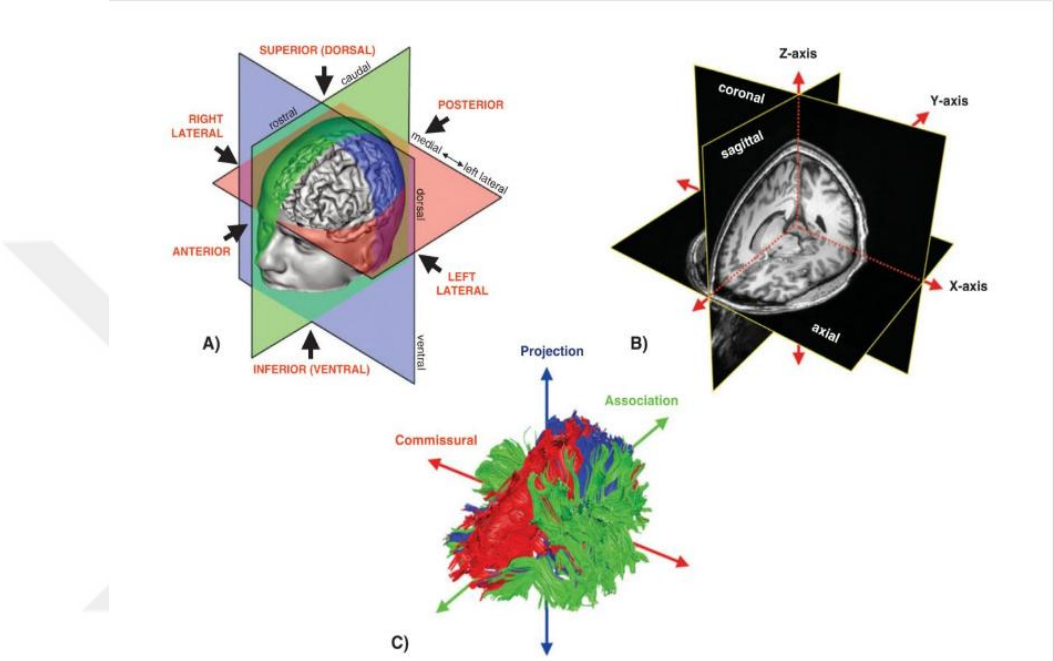
Serebrumun ak maddesi, korteksin altında yer alır ve fasiküller veya lif yolları halinde organize olan yoğun şekilde yerleştirilmiş aksonlardan oluşur. Bu yollar hemisferler, beyin sapı ve omurilik içinde karmaşık bir 3D mimari oluşturur. Parankimal beyin lezyonlarının cerrahi tedavisinde cerrahi karar verme ve stratejik planlama için ak cevher yollarının mimari anatomisi hakkında ayrıntılı bilgi sahibi olmak çok önemlidir. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), su moleküllerinin alan gradyanı yönünde difüzyonuna duyarlı hale getirilebilir. Bu ilkelere dayanarak, difüzyon tensör görüntüleme (DTI) traktografisi, ak cevher lif yönünü haritalayabilir ve ak cevher mimarisini *in vivo* olarak incelemek için eşsiz bir fırsat sağlar. (10)

2.2. Serebral Anatomi

Son on yılda MRG teknolojisinin ortaya çıkması ve yapısal ve fonksiyonel görüntüleme tekniklerinin gelişmesi, anatominin değerini doğrulamak için ümit vericidir. Beyinin anlaşılması için nörogörüntülemenin çok önemli bir araç olduğuna şüphe yoktur. Çağdaş nörobilimde merkezi sinir sisteminin anatomisi, farklı bölgeler arasındaki bağlantıların anatomisi haline gelmiştir. Bağlantı modelini ve nöronların nasıl iletişim kurduğunu anlamak muhtemelen sinirbilimdeki bir sonraki sınırdır. (12) İnsan beyni, belirli fonksiyonlara aracılık eden farklı bölgelere sahip bir organdır, beyin bölgelerinin hücresel bileşenleri benzer olabilse de yerel ve uzun yol bağlantıları farklıdır. Hemen hemen tüm bölgeler yapısal ve işlevsel olarak olgunluğa kadar esnektir. Serebral korteks frontal, temporal, parietal ve oksipital şeklinde adlandırılan farklı bölgelere ayrılır. Subkortikal yapılar (bazal gangliyonlar, talamus, hypotalamus) korteks ile genellikle topografik olarak etkileşime girer. İnsan beyninin nasıl çalıştığına dair tam bir anlayış olmasa bile, iletişimi kolaylaştırmak için bölgesel sınıflandırma sistemleri ortaya çıkmıştır. En iyi bilinen sınıflandırmalardan biri, hücresel morfolojiye dayalı bir sistem olan Brodman'ın Alan sınıflandırmasıdır. (13)

2.2.1. Beyin Yüzey Anatomisi

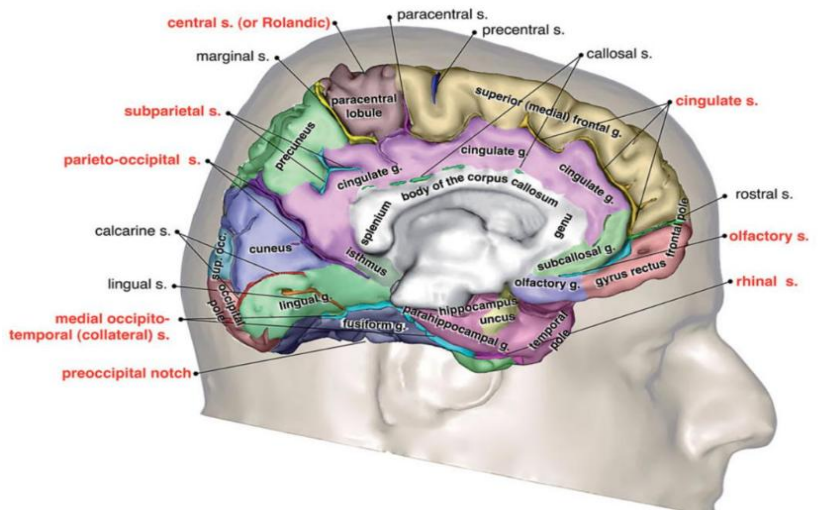
Beynin yüzeyi yandan (lateral görünüm), ortadan (medial görünüm), önden (anterior veya frontal görünüm) ve arkadan (posterior veya oksipital görünüm) görülebilir. (Şekil 2)



Şekil 2. Beynin yüzeysel (a), kesitsel (b) ve bağlantısal oryantasyonunu tanımlamak için yaygın olarak kullanılan terimler. (12)

17. yüzyılda Mısırlılar, kafa travmalarından etkilenen bireylerin tedavisi yoluyla, kafatası kemiklerindeki kırıkların biçimini beyin yaralanmalarıyla ilişkilendirmeye başlamıştır. Bu travmaların incelenmesi sayesinde, Edwin Smith'in Papirüs'ünde bildirildiği gibi, bu organın ilk cerrahi tedavilerini ve anatomik kayıtlarını geliştirebildiler. Luigi Rolando ilk kez beynin kıvrımlarında bir düzen olduğunu tespit etti ve En önemli anatomik keşifleri arasında, serebral korteks nöroanatomisinin tarihini derinden etkileyen merkezi girus ve merkezi sulkusu vurgulayabiliriz. Dolayısıyla nöroanatomi bulgularını klinik ve cerrahi pratikle birleştirmek için, nöroşirurjide mikrocerrahi tekniklerin geliştirilmesinde Mahmut Gazi Yaşargil'in (1925) bıraktığı mirası vurgulamalıyız. Bu çalışmalar beyin

cerrahlarının mikrocerrahi uygulama biçimini önemli ölçüde değiştirdi. (14) Anatomik çalışmalar, teknolojik ilerlemeler rağmen önemini korumaktadır. Beynin lobları genellikle sulkal bölümlere göre tanımlanır. Bununla birlikte, beynin süperolateral ve inferior yönlerinde temporal ve oksipital loblar arasındaki sınırı tanımlayacak belirgin bir sulkus veya işaret yoktur. Daha önce yapılan birçok anatomik çalışma, serebral hemisferlerinin sulkal paterninin önemli ölçüde değişebileceğini göstermiştir. (15) (Şekil 3) Ventral yüzeyin girusları baskın olarak uzunlamasına bir yönelime sahiptir. Ventral yüzeyin en ön kısmı frontal orbital ve olfaktor girus tarafından işgal edilmiştir. (12) (Şekil 4)

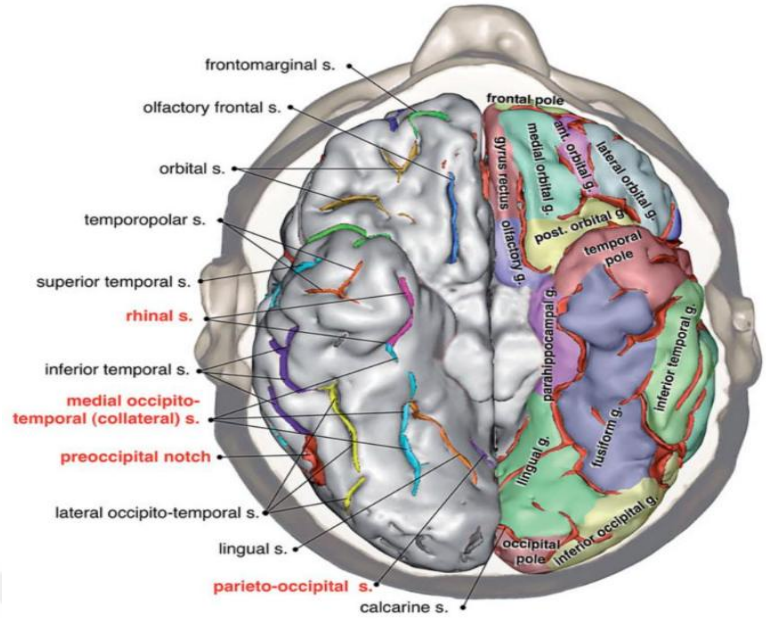


Şekil 3. Sol yarımkürenin medial yüzeyinin ana giruslarını ve sulkuslarını gösteren beynin 3 boyutlu rekonstrüksiyonu. (12)

İnterlober sulkuslar kırmızı, İntralobar sulkuslar siyah renkte yazılmıştır.

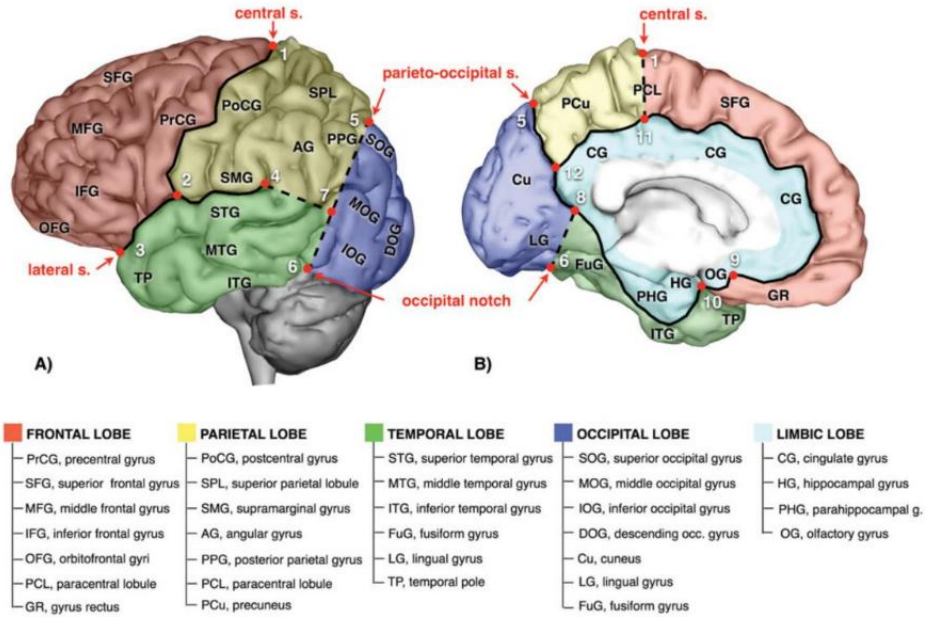
Medial yüzeyin girus ve sulkusları, korpus kallozumun midsagital kısmı etrafında konsantrik olarak dağılmıştır. Kallozal sulkus, sulkusların en içte olanı olup, korpus kallozumu singulat girustan ayırır. (12)

Serebral hemisferler fissürler ve sulkuslara göre 5 farklı loba ayrılmıştır, bunlar frontal, temporal, parietal, oksipital ve limbik loblardır. (Şekil 5)



Şekil 4. Beynin 3 boyutlu rekonstrüksiyonu.

Sol ve sağ hemişferlerin ventral yüzeyinin ana girusları ve sulkusları görülmektedir. (12) *İnterlober sulkuslar kırmızı, intralober sulkuslar siyah renkle yazılmıştır.*



Şekil 5. Sol serebral hemisferin dorsolateral (A) ve medial (B) yüzeyinin lobar bölünmesi. *Düz çizgi geleneksel olarak İnterlobar sulkusları temsil eder. Kesikli çizgiler, suulkus tarafından yapılmayan sınırları tamamlayan keyfi ayrım çizgileridir*. (12)

Frontal lob insan beyninin en önde bulunan ve en büyük lobudur. Frontal lob, santral sulkusun önünde ve silvian fissürün üstünde yer alır (16). Frontal lobun lateral yüzeyi üç sulkus tarafından (superior frontal, inferior frontal ve precentral) precentral, superior, orta ve inferior giruslara ayrılır. Frontal lobun inferior yüzeyi genellikle orbital lob olarak adlandırılır (17).

Parietal lob, motor, duyusal, dil, görsel-mekansal ve görsel işlevlerle ilgili ak madde yollarının kesiştiği noktadır. Parietal lob gliomaları nedeniyle ameliyat edilen geniş bir hasta grubu çalışmasında, karakteristik parietal lob sendromları (ihmal sendromları; görsel-uzaysal işlev bozukluğu; Gerstman sendromu – agrafi, akalkuli, parmak agnozisi) uzun vadede nadiren gözlemlenmiştir. Supramarjinal girus (SMG) ve angular girus (AG) tümörleri, kalıcı postoperatif dil ve görme bozukluklarıyla yüksek oranda ilişkilidir. Tümör lokalizasyonu, işlemin riskini öngörmek ve intraoperatif haritalamanın türünü ve cerrahi yaklaşımı seçmek açısından önemlidir (18). Parietal lob, santral sulkusun arkasında yer alır ve 4 bölgeye ayrılır: önde postsantral girus, arkada superior ve inferior parietal lobüller ve medialde precuneus. Postcentral girus, santral sulkusun hemen arkasında yer alır ve ona paralel uzanır. Post santral girus, arkada postsantral sulkus ile sınırlanmıştır. Üst ve alt parietal lobüller, postcentral sulkusun arkasında yer alır ve intraparietal sulkus tarafından bölünür. Prekuneus, postcentral sulkusun posteriorunda yer alır ve sagital görüntülerde hemisferin medial yüzeyinde kolayca tanımlanabilir. Precuneus, parietal lobun üst kısmı boyunca üst parietal lobül ile bitişiktir. Parieto-oksipital sulkus, precuneus'un arkasındadır ve parietal lobu oksipital lobdan ayırır. Beynin lateral yüzeyinde, Sylvian fissürün arka kısmı ters U şeklinde üst tarafa doğru açı yapıp ve supramarginal girusu oluşturur. Angular girus genellikle supramarjinal girusun hemen arkasında yer alır. Supramarginal ve angular giruslar inferior parietal lobülünü oluşturur. İnferior parietal lobül, intraparietal sulkus ile superior parietal lobülden ayrılır (16).

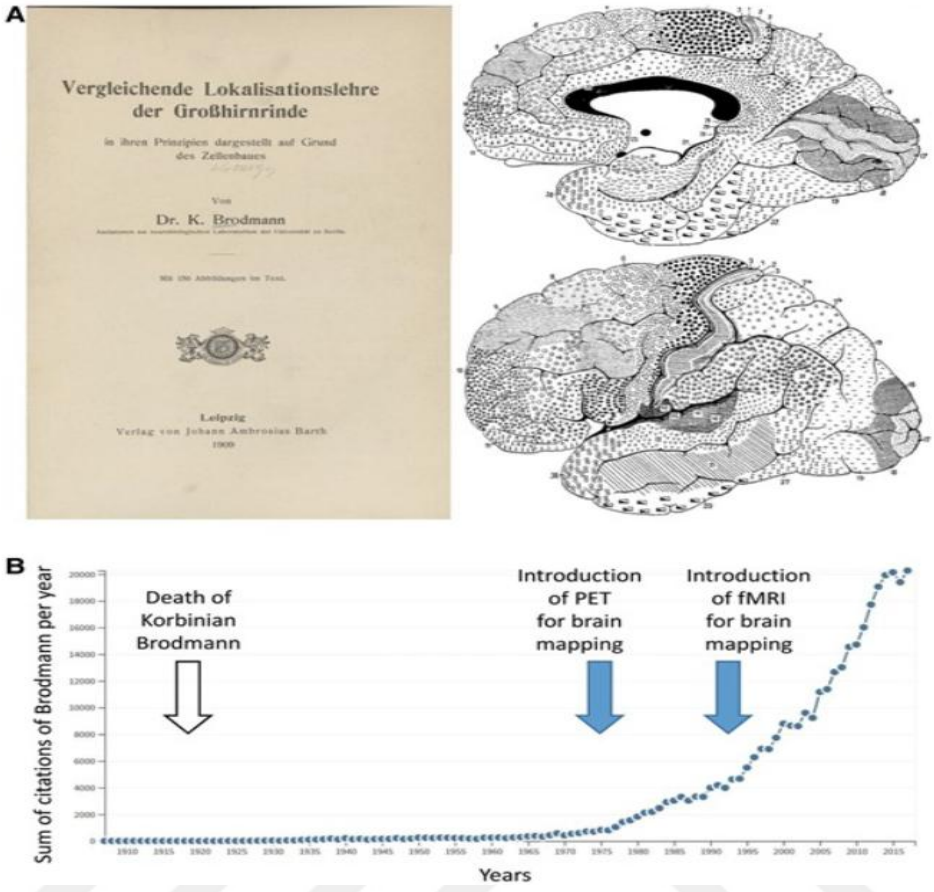
Temporal loba neokorteks adı verilir. Esas olarak kafatası tabanına yakın olan orta kranial fossada yerleşmiştir. Oksipital lobun önünde, frontal lobun arkasındadır (19) (20). Temporal korteks, altı katlı izokorteksten allokortekse kadar çok sayıda farklı alanı kapsar. Bu alanlar işitsel, görsel ve dil işlemenin yanı sıra duygu ve hafızayı da destekler. Primer işitsel korteks, ontogenezin erken dönemlerinde gelişen Heschl

giruslarında bulunur. (21) Temporal pol, temporal lobun ön kenarında, orta kranial fossanın en rostral kısmında, Silvian fissürünün altında yer alır. Limen insula, Silvian fissürünün ön ve arka segmentlerinin birleştiği noktada yer alır ve insular korteksin amigdala ve üst temporal girusla birleştiği noktayı belirler (16).

Oksipital lob, serebral hemisferlerin dört lobunun en küçüğüdür (22), görsel ve uzaysal algıda önemli bir rol oynar (23). Lobun rostral sınırı serebral hemisferlerin medial kısmındaki parieto-oksipital sulkus tarafından oluşturulur. Lateral sınırı, parieto-oksipital sulkus ve preoksipital çentiği birleştiren hayali bir çizgi oluşturur. Lateral yüzey boyunca lateral oksipital sulkus transvers olarak uzanır ve oksipital lobu üst ve alt girus olmak üzere iki alana ayırır. Medial olarak, kalkarin sulkus lobu cuneus ve lingual girus olarak ikiye böler. Primer görsel korteks, kalkarin sulkusun üst ve alt kenarları boyunca uzanır. Lateral genikülat nükleuse (LGN) gelen görsel lifler bu alanda sonlanır (24). Oksipital lob medial ve lateral olmak üzere iki bölgeye ayrılır. Lateral oksipital lob, medial tarafta cuneusa ulaşana kadar üstte devam eder. (23)

2.2.2. Brodman Alanlarının Tarihçesi

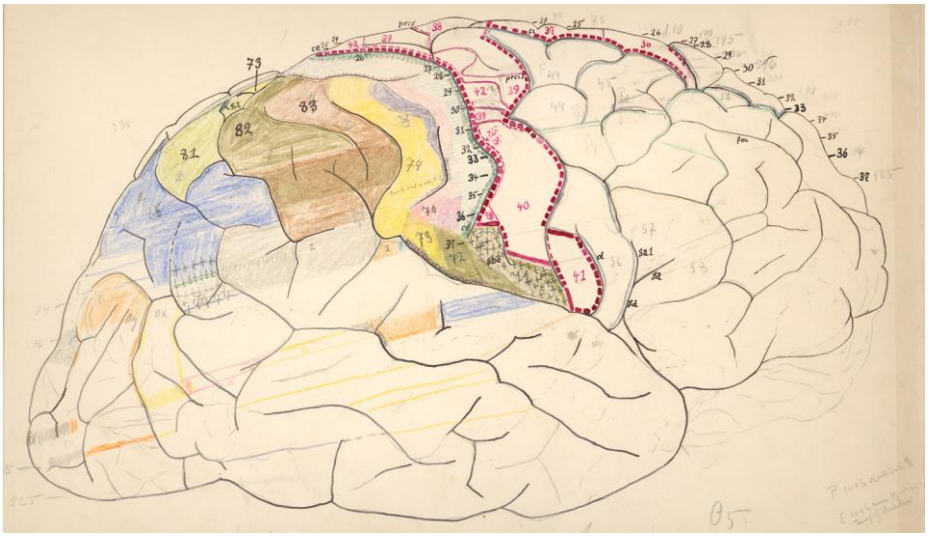
Korbinian Brodmann (17 Kasım 1868- 22 Ağustos 1918) güney Almanya'da Hohenzollern-Sigmaringen Prensliği'nin bir parçası olan Liggersdorf adlı küçük bir köyde doğdu. 1889-1890 yılları arasında Münih'te tıp okudu. Aslında nöro psikiyatr olan Brodmann 1909 yılında, Berlin'deki Oskar ve Cécilie Vogt laboratuvarlarında gerçekleştirdiği deneyleri içeren bir monografi yayınladı. Serebral korteksi haritalaması ve sito-mimari özelliklerine dayalı olarak beyin korteksinde, kendi adıyla anılan 52 farklı bölgeyi tanımlamasıyla tanındı. Brodman'ın hücre mimari ve lokalizasyon alanındaki çalışmalarının ortaya çıktığı dönem 1901-1910 yılları arasıdır.



Şekil 6. **Brodman'ın monografisi ve haritasının günümüz nörogörüntüleme çalışmalarına etkisi.**

A) *Brodmann'ın monografisinin kapağı (1909) başlık sayfası ve tüm insan serebral korteksinin haritasının son hali (Brodmann, 1910).*
B) *Brodmann'ın çalışmalarının 2017 yılına kadar aldığı atıfların gelişimi* **(25)**.

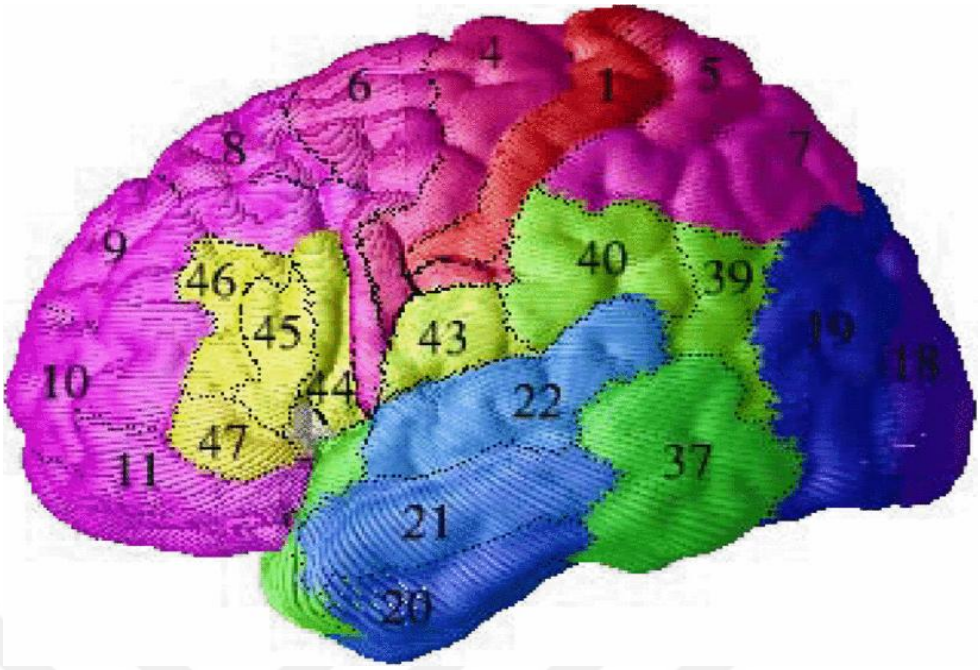
Modern nörobilim için bir dönüm noktası oluşturan Brodman'ın monografisi, beyin korteksinin fonksiyonlarının bulunmasına giden yolu açmıştır. Brodman, Vogt ve arkadaşları tarafından bulunan hücre mimarisi ile Wernicke ve Broca tarafından yayınlanan fonksiyonel bilgileri birleştirdi. Brodman beynin gri maddesinde yaptığı gözlemler sonucunda, hücre katmanlarının sayısı, hücre morfolojisi, dendritik bağlantıların dağılımı ve nöron tiplerini göz önüne alarak, kortikal alanları 11 bölgeye ait 43 kortikal alanı içeren numaralara ayırmıştır (26). Bu ayrım bugün de sinirbilimde kullanılmaktadır (27).



Şekil 7. Oskar Vogt'un elle çizilmiş miyeloarşitektonik haritası.
Vogt'ların araştırma amaçlarından biri, miyelo- ve sitoarşitektonik çalışmalarda tanımlanan beyin alanlarının fizyolojisini anlamak ve beyin organizasyonunun anatomik yönlerini nörobiyolojik süreçler ve aynı zamanda zihinsel süreçler açısından işlevleriyle ilişkilendirmekti **(28)**.

İnsan serebral korteksinin tamamının sitoarkitektonik parsellenmesi üzerine yaptığı yayınlar Brodman'ı anatomik beyin haritalama alanının kurucularından biri yapmıştır. Haritalarının farklı versiyonlarını kaynak gösteren yayınların fonksiyonel MR kullanılarak sayısı önemli ölçüde artmıştır. Zamanlar kanıtlanmamış olsa da her kortikal alanın daha büyük bir ağ içinde belirli bir fonksiyonu yerine getirdiğine ikna olmuştu. Kortikal alanların bölgesel dağılımına dayalı beyin haritalaması, bir atlasın oluşturulmasının ötesinde değerli bir kavramdır. Mimari ve işlevsel verileri karşılaştırmaya yönelik bu girişimin geçmişi Cecile ile Oskar Vogt'a kadar eskiye uzanır (Şekil 6 ve 7). Hastalarda ve maymunlarda elektrofizyolojik haritalama yaptılar ve arkitektonik olarak tanımlanmış alanın fonksiyonel rolünü anlamak için her iki türde bağımsız olarak elde edilen arkitektonik ve fonksiyonel sonuçları karşılaştırdılar (29).

Günümüzde, Brodman'ın haritaları insan serebral korteksini 48 kortikal alan olarak göstermektedir (25). (Şekil 8) Brodman, harita yapmanın yanı sıra hastalıkların, davranışların ve insan beyninin normal işleyişinin anlaşılmasına da yardımcı olmuştur (27). Beyin biçimini ve kıvrımını araştırmaya yönelik tüm çabalara rağmen, karmaşık morfolojisinin altında yatan mekanizmalar konusunda hâlâ belirsizlikler ve anlaşmazlıklar bulunmaktadır (30).

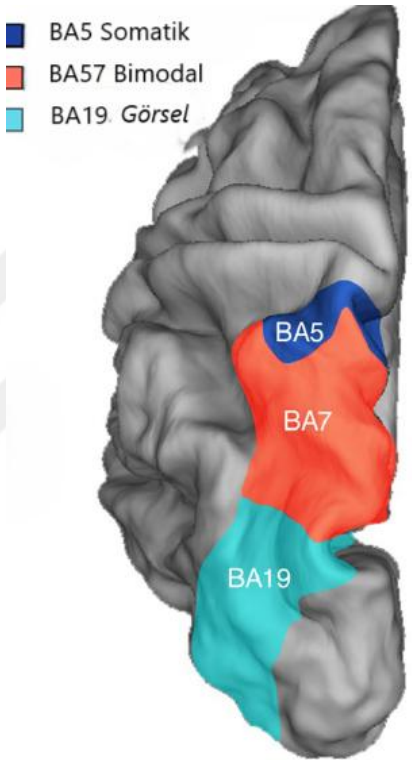


Şekil 8. Serebral korteksin 3 boyutlu yüzey modelinde Bromdan alan sınırlarının görünümü. (31)

2.2.3. Brodman Alanları

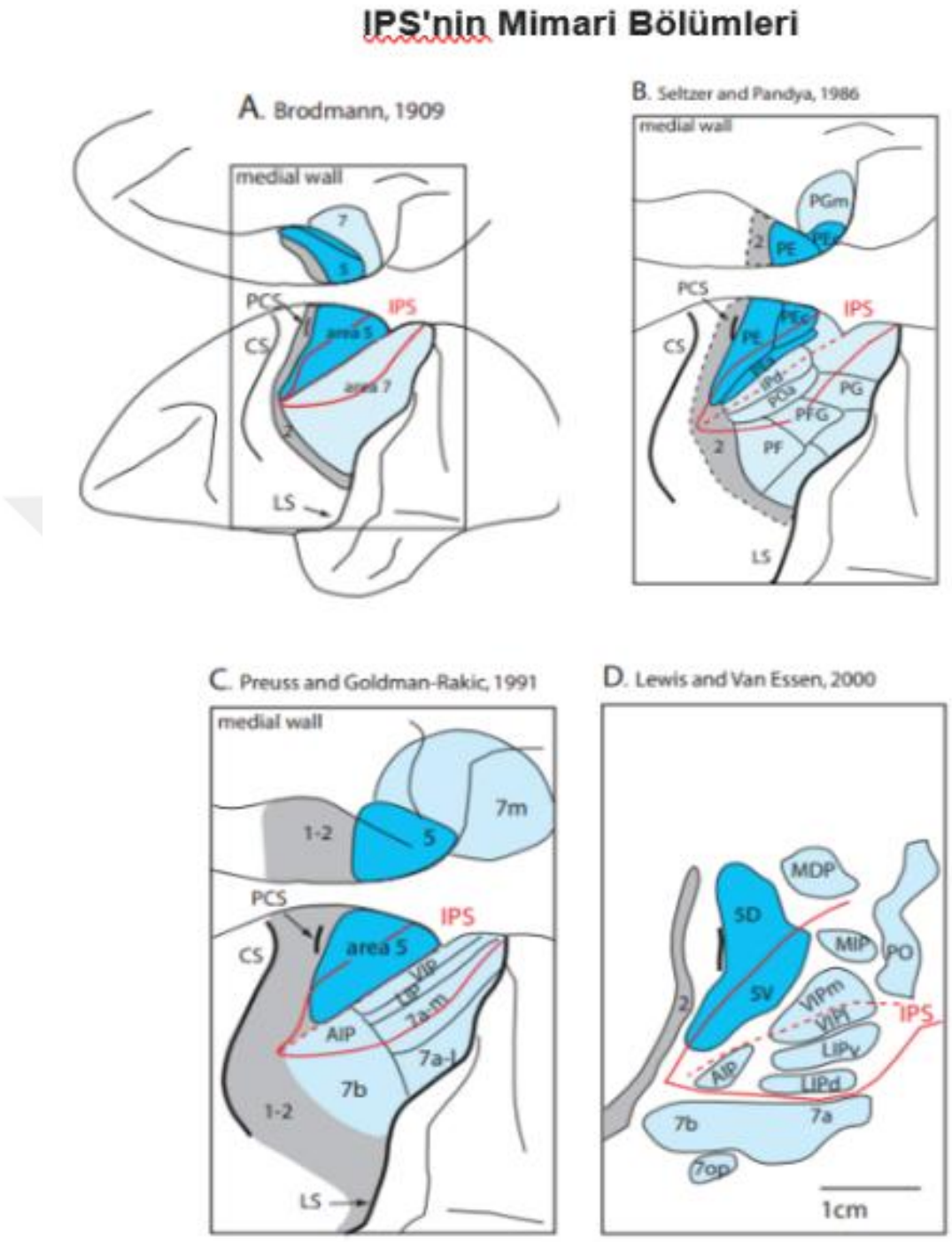
Beyin morfolojisi, kortikal alanlarla ilişkili işlevsel faktörlerin sonucudur (32). Beynin kıvrımlı bir yapıya sahip olmasının nedeni, evrim sürecinde edinilen ani hücre büyümesine uyum sağlamasıdır. (14) Tarihsel olarak, Brodman'ın BA5 statüsü ve nasıl alt bölümlere ayrılması gerektiği konusunda büyük tartışmalar yaşanmıştır. Brodman'ın 5. alanı geleneksel olarak intraparietal sulkusun (IPS) rostral kıyısını ve postcentral girusun arka kısımlarını içerir. Brodman'ın haritasında, 5. alan rostral olarak somatosensoriyel alan 2 ve posterior olarak alan 7 ile sınırlanmıştır. Medial olarak 5. alan medial duvara doğru sarılır ve singulat sulkusu sınırlar. Bir süre sonra arkitektonik şemalar da bu bölgeyi BA5 konumunda tanımladı, ancak bu bölgeyi parietal alan olarak adlandırdı. Bu geniş bölgeyi daha da tanımlamak için hem geleneksel hem de daha modern histolojik teknikleri kullanan çok sayıda mimari çalışma yapılmıştır (Şekil 9 ve 10). BA5, çoğunlukla omuz, üst ekstremite ve parmaklar üzerinde alıcı alanlara sahip nöronlar içerir; vücudun diğer bölümlerinin belirgin bir temsili yoktur.

Bu bölgedeki nöronlar için, alıcı alanlar genellikle üst ekstremitede birden fazla eklem veya birden fazla parmak içerir. Daha yakın tarihli çalışmalar, BA5 bölgesi nöronlarının hareket koordinasyonunda rol oynadığını göstermektedir (7).



Şekil 9. İnsan beyninin sol yarımküresinin dorsal görünümü.

BA 5'in yerini ve kapsamı gösterilmektedir. (33)

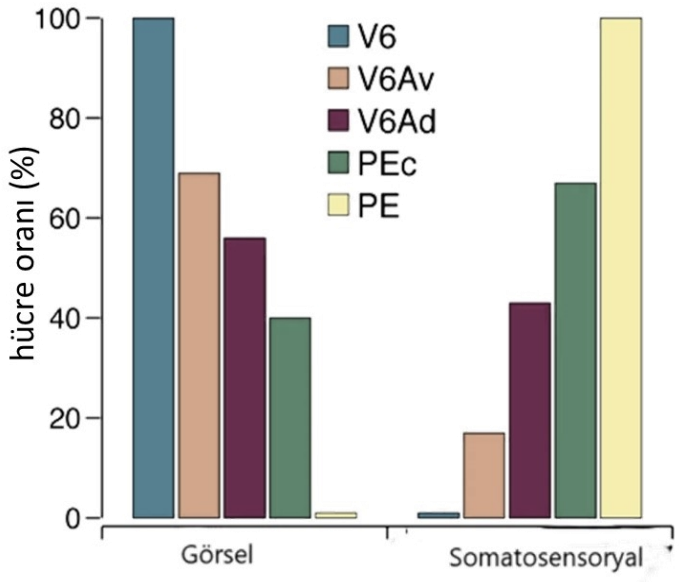


Şekil 10. IPS'nin farklı çalışmalarla mimari parselasyonu. *İlk şema Brodman tarafından önerildi* (A) *ve farklı araştırmacılar tarafından farklı terminolojiye sahip sonraki şemalar önerildi* (B-D).

PEa Üst parietal lobül alanı (ön kısım). PEC: Üst parietal lobül alanı (kaudal kısım). 5D: *parietal alanın dorsal alt bölümü.* 5V: *Posterior parietal alanın ventral alt bölümü* (7).

Bir nesneye ulaşmak ve onu kavramak için, onun uzaysal konumunu lokalize etmek ve görsel özelliklerini (biçim, boyut, yönelim) tanımak, kolu doğru yönde hareket ettirmek ve eli nesnenin özelliklerine göre şekillendirmede SPLnin önemli rolü vardır. Superior parietal lobül primatlarda büyük ölçüde genişlemiştir ve arama davranışını yönlendirmede yararlı olan bilişsel ve algısal yeteneklerde görev alır. Günümüzde görsel ve somatik girdilerin SPL'de etkileşime girerek ulaşma ve yakalama davranışının yönlendirilmesini sağladığı bilinmektedir (Şekil 11).

SPL'de posteriorda görsel girdinin baskın olduğu kortikal alanlar ve ön tarafta somatosensoriyel girdinin baskın olduğu alanlar vardır. Primer görsel korteksten gelen görsel bilgi, posterior parietal kortekse ulaşan ve uzayda nesne konumlandırmasıyla ilgili olan dorsal bir akış (dorsal görsel akış) ve inferior temporal kortekse ulaşan ve nesne tanımayla ilgili olan ventral bir akış (burada ventral görsel akış) adlı iki yolu izleyerek ekstrastriat görsel alanlara ulaşır. Daha önce, dorsal akıştaki görsel bilginin yalnızca parietal lobun alt kısmına (IPL) ulaştığı düşünülüyordu, ancak daha sonra görsel bilginin SPL'ye de ulaştığı saptandı. Bunun sonucunda SPLnin el ve ayakların çevredeki nesnelerle etkileşiminden ve hareketin kontrolünden sorumlu olduğu kanıtına varıldı. (33)



Şekil 11. SPL alanlarının duyusal özellikleri ve kortikokortikal bağlantıları. (33)
V6: *vizüel korteks 6(BA 19)*, V6Av: *anterior vizüel korteks 6(ventral kısımı)*

2.2.4. Sitoarkitektonik Harita

Nöronal hücre gövdelerinin uzaysal dağılım düzenine sito mimarisi denir ve miyelinli sinir liflerinin miyelo mimarisini temsil eder. İnsan serebral korteksinin çoğu bölgesi altı katmanlı bir mimariye (izokorteks) sahiptir; ancak yetişkin beyinlerde açıkça tanınabilir bir IV. katman göstermeyen motor korteks dikkate değer bir istisnadır. İzokortikal olmayan (yani allokortikal) bölgeler, izokorteksten daha fazla (örneğin entorinal korteks) veya daha az (örneğin hipokampüs) katmana sahiptir.

Beyinin yapısal haritalamasına öncülük eden Brodman hücre mimarisine ek olarak kortikal alanları tanımlamak için fonksiyonel ve patolojik kriterleri de göz önünde bulundurdu (29).

2.3. Parietal Lobun Nörofizyolojisi ve Nörolojisinin Tarihçesi

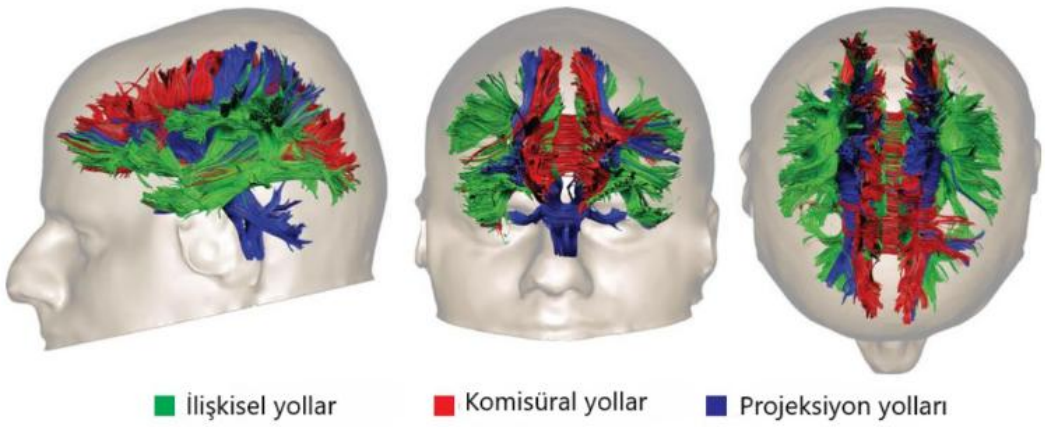
Parietal lobun işlevine ilişkin bilginin gelişimi ve değişimine bakıldığında; Motor ve somatosensoriyel işlevler başlangıçta frontoparietal bölgede lokalize edilmişti. Yirminci yüzyılın başında motor korteks posterior frontal lob ile sınırlıydı. Somatosensoriyel işlevlerin parietal loba ayrı olarak ilişkilendirilmesi başlangıçta anatomik değerlendirmelere dayanmakla birlikte, çoğunlukla uyanık hastalarda elektrik stimülasyonu ile ortaya çıkan lokalize bedensel duyumlara dayanmaktaydı.

Parietal lob, ön ve arka korteks (APK) (PPK) olarak ikiye ayrılır. PPK, özellikle primatlarda gelişmiştir; üst ve alt parietal lobülü içerir. PPK'nin başlangıçta somatosensoriyel bilgi işleme için daha yüksek dereceli bir bölge olduğu düşünülüyordu, ancak kısa sürede daha büyük ve daha karmaşık olduğu kanıtlandı. İnsanlarda PPK hasarı ağrı asimbolisi, duyusal kayıp, uzaysal ihmal, optik ataksi, eksremite apraksisi, aleksi ve agrafi gibi çeşitli nöropsikolojik bozukluklara yol açar. PPKnın duyusal girdiler, çoklu duyusal ve sensorimotor entegrasyon, mekansal dikkat, niyet ve dış mekân ile vücudun birleşik temsili gibi üst düzey işlevlerde rol oynadığı düşünülmektedir (34).

2.4. Ak Madde Bağlantıları

2.4.1. Bağlantısal Nöroanatomi

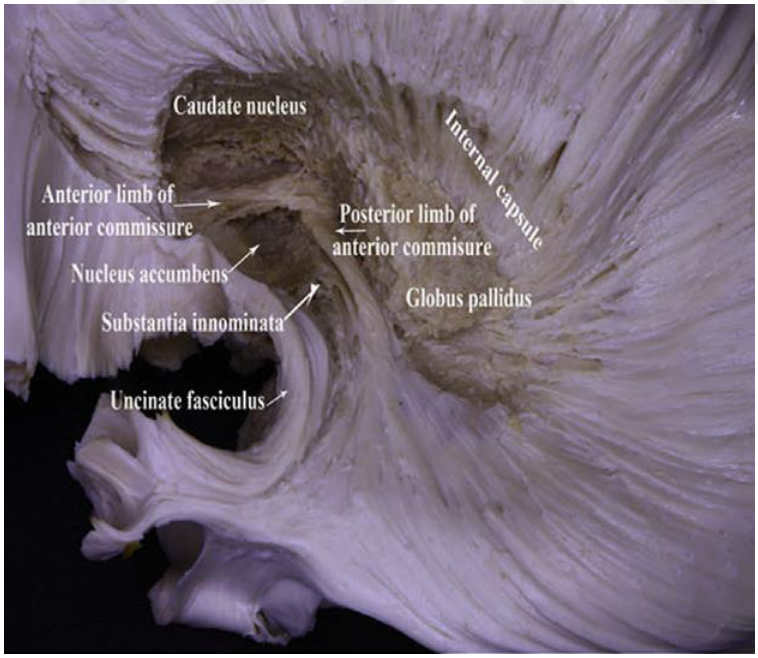
Yüksek çözünürlüklü traktografi ve intraoperatif haritalama gibi ileri görüntüleme yöntemlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte beynin ak liflerinin anatomisine olan ilgi artmıştır. Mimari olarak, beynin ak lifleri 4 yatay ve 1 dikey katmandan oluşmaktadır. (35). Beynin çeşitli kısımları ve omurilik, projeksiyon, asosiasyon ve komissüral lifler aracılığıyla çapraz iletişim kurar. Korteks, lateral ventriküller ve derin çekirdekler arasında beynin uzak bölgelerini birbirine bağlayan bir lif kütlesi bulunur. Serebral liflerin çoğunun hem kökenleri hem de sonlanmaları korteks içinde olup, ya aynı hemisferdedir (assosiyasyon lifleri) ya da karşı hemisferde (kommissural lifler). Diğer lifler korteksi subkortikal bölgelere bağlar (projeksiyon lifleri). Beyin hemisferlerinde yer almasına rağmen korteksi bağlamayan, sadece subkortikal yapıları bağlayan bazı lifler vardır (örneğin, iki amigdalayı birbirine bağlayan ön komissürün lifleri). Lifler farklı çaptaki demetleri oluşturmak üzere bir araya gelir ve birkaç demet fasikül adı verilen daha büyük trakt oluşturur. Ak madde fasikülleri asosiasyon, komissural ve projeksiyon yolları olarak sınıflandırılır, ancak bazı yollar birden fazla lif tipi içerebilir (örneğin, unsinat fasikül hem asosiasyon hem de projeksiyon liflerini içerir) (Şekil 12).



Şekil 12. İnsan beyninin Asosiasyon, komissural ve projeksiyon yollarının difüzyon tensör traktografy rekonstrüksiyonu görüntüsü. (12)

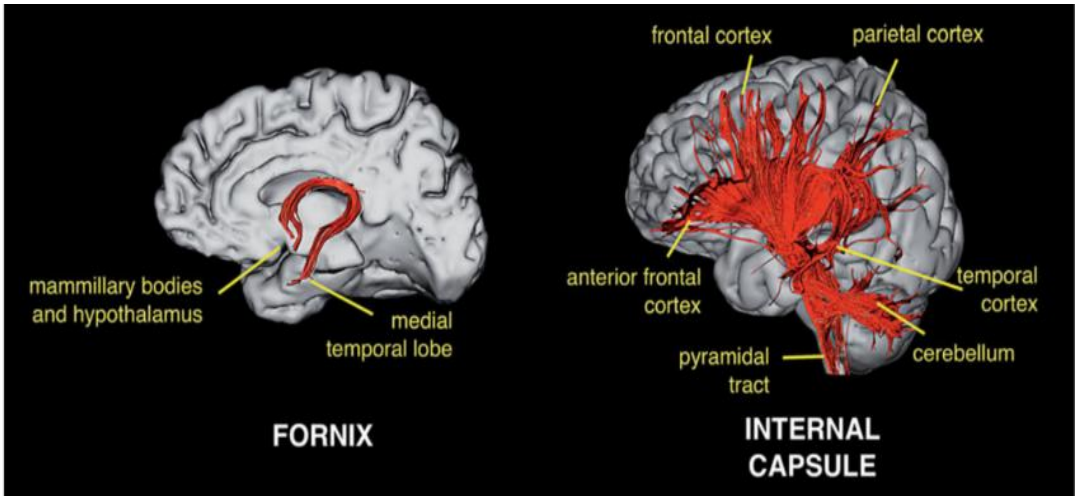
Asosiasyon yolları aynı yarıküredeki kortikal bölgeleri birbirine bağlar ve ön-arka (veya arka-ön) yöne sahiptir. Ana Asosiasyon yolları arkuat fasikül, singulum, unsinat, İnferior longitudinal fasikül ve inferior fronto oksipital fasiküldür (12).

Kommissural lifler, ikili entegrasyon, vücut koordinasyonu ve hemisferler arasındaki karmaşık bilişsel bilgi akışı için gereklidir. Ana komissural lifler korpus kallosum (KK), anterior komissür (AK), hipokampal komissür, habenular komissür, supraoptik komissür ve posterior komissürdür (PK). Komissural lifler, bağladıkları beyin yapılarına göre sınıflandırılır. KK, AK ve hipokampal komissür telensefalik komissürlerdir, habenular komissür, supraoptik komissür ve PK diensefalik komissürlerdir. AK embriyolojik olarak 7-8 haftalık gebelikte üçüncü ventrikülün ön duvarında bulunan lamina terminalis'te gelişir. İnsanlarda AK, putamen, globus pallidus ve forniks sütunlarının rostralinde ve lateral ventrikülün temporal boynuzunun üst-ön tarafında yer alır. AK iki kısımdan oluşur: anterior ve daha büyük posterior kısım (36) (Şekil 13).



Şekil 13. Anterior komissürn küçük ön ve büyük arka bacakları ortaya görünümü.

Nucleus accumbens, globus pallidus, kaudat nükleus ile ilişkileri gösterilmiştir. (36)



Şekil 14. Beynin ana projeksiyon yollarının difüzyon tensör traktografi rekonstrüksiyonu.

Korpus kallozumun sol lateral görünümü. Forniksin sol medial görünümü. (12)

Projeksiyon lifleri korteksi, derin serebral çekirdekler, beyin sapı çekirdekleri ve omurilik gibi subkortikal yapılara bağlar. Beyin hemisferlerinden çıkan projeksiyon lifleri subkortikal çekirdeklerden (esas olarak talamus) kaynaklanır ve kortekste sonlanırken inen projeksiyon lifleri zıt yönelime sahiptir. Projeksiyon liflerinin çoğu korona radiata, iç kapsül, serebral pedinküller ve beyin sapından geçer. Forniks, medial temporal lobu (yani hipokampüsü) septal çekirdeklere, mamiller cisimlere ve hipotalamusa bağlayan bir projeksiyon yoludur.

Tablo 1. Beyindeki ak liflerin yön ve derinliğe göre sınıflandırılması. (35)

Lif demetlerinin sınıflandırılması	Lif içeriği
Yüzeyel grup (birleşme lifleri-yatay)	Kısa ilişkili lifler veya kavisli lifler
Orta grup (birleşme lifleri-yatay)	SLF, MLF, İLF, AF, UF, İFOF
Derin grup (birleşme lifler-yatay)	Forniks, terminal stria, medüller stria, medial ve lateral uzanlamasına stria
Merkezi grup (komissural lifler-yatay)	Kopuş kallozum, ön komissür, arka komissür, hipokampal komissüre
Projeksiyon lifleri (dikey katman)	İç kapsül ve talamik radyasonlar

Forniks, limbik sisteme aittir ve hafıza fonksiyonlarında rol oynar. İnternal kapsül ve korona radiata, esas olarak talamustan çıkan lifler ve frontoparietal korteksten subkortikal çekirdeklere (bazal ganglionlar, beyin sapı çekirdekleri ve omurilik) doğru inen lifler içerir. Bu kompleks projeksiyon sistemi duyusal bilgileri kortekse iletir ve hareketi kontrol eder (Şekil 14) (12).

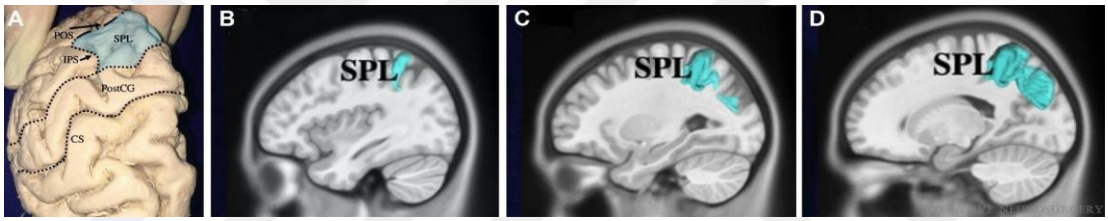
Tablo 2. Beyindeki ak liflerde hasara bağlı uluşan defisit. (35)

Lif demeti	**Hasar Nedeniyle Oluşan defisit**
Üstün uzunlamasına fasikül	Baskın olmayan yarım küre: ihmal sendromları, Görsel-mekansal dikkatsizlik, motor aktivitenin başlatılmasında zorluk; baskın yarım küre: artikülasıyon bozuklukları
Kavisli fasikülüs	İletim afazisi, transkortikal motor afazi
Singulum	Davranışsal ve duygusal bozukluklar
Alt fronto-oksipital fasikülüs	Anlamsal parafazi
Uncinate fasikül	Davranışsal ve duygusal bozukluklar
Optik radyasyonlar	Görme alanı eksiklikleri
Orta uzunlamasına fasikülüs	Bilinen bir açık yok
Alt uzunlamasına fasikül	Tek taraflı hasar hiçbir defisite neden olmaz; çift taraflı hasar prosopagnoziye neden olur
Korpus kallozum	Ön bağlantı kopukluğu: sol tek taraflı motor apraksi, çapraz optik ataksi, sol el agrafisi, sağ tek taraflı Yapısal apraksi, yabancı el sendromu; arka bağlantı Kopukluğu: sol görsel anomi, sol hemialeksi, Sol işitsel anomi, sol dokunsal anomi, sağ koku anomisi
Ön komissür	Davranışsal ve duygusal bozukluklar
Hipokampal komissür	Hafıza bozuklukları
İç kapsül	Kontralateral motor ve duyusal eksiklikler
Korona radiyata	Karşı taraftaki motor ve duyusal eksikliklerin farklı dereceleri
Forniks	Hafıza bozuklukları

Traktografi ile desteklenen ak madde yollarının diseksiyon bilgisi, ameliyat öncesi planlamada ve ameliyat sırasında beyin cerrahları için çok değerli bir destek olacaktır. Beyindeki ak madde liflerin, lif demetlerinin yönüne ve derinliğine göre sınıflandırılması hem yeni başlayan hem de tecrübeli beyin cerrahlarına, beynin ak liflerinin soyut anatomisinin anlaşılmasında ve nörolojik defisitlerin önlenmesinde yardımcı olmaktadır. (Tablo 1 ve 2)

2.4.2. Süperior Parietal Lobülün Tanımlanması

Ak madde trakt analizinde SPL, postcentral girus ön sınır, parieto-oksipital sulkus arka sınır, SPL ve IPL arasındaki intraparietal sulkus alt sınır ve precuneus ile paracentral lobül medial sınır oluşturarak tek bir bölgeye ayrılır (8) (Şekil15).



Şekil 15. Üst parietal lobun (SPL) yüzeysel anatomisi ve sınırları.

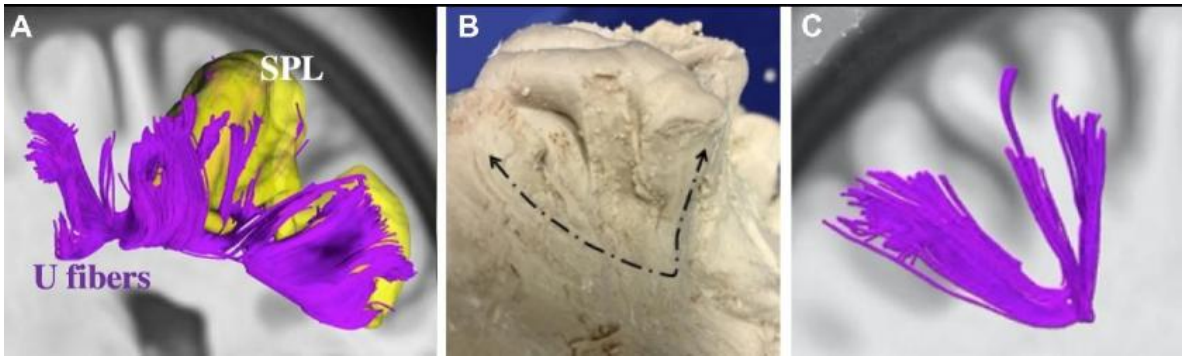
A: *Ön sınır, postsantral girusun (PostSG) arka sınırı tarafından oluşturulur*. **B-D:** *SPL'nin mediale doğru tanımlanması.* (8)

2.4.3. Superior Parietal Lobülün Ana Bağlantıları

SPL ile diğer kortikal alanlar arasındaki temel bağlantılar, birden fazla bağlantı yolunu içermektedir. Hem traktografide hem de anatomik diseksiyonda tespit edildiği gibi SPL kısa asosiasyon ak cevher demetleri ve çok sayıda uzun lif aracılığıyla farklı kortikal bölgelere yapısal olarak bağlıdır. (superior longitudinal fasciculus (SLF), inferior fronto-occipital fasciculus (IFOF), middle longitudinal fasciculus (MLF), inferior longitudinal fasciculus (ILF), extreme kapsule (Ext-k), vertical occipital fasciculus (VOF) ve cingulum) (8).

2.4.3.1. U- Lifler

Beyninin ak maddesindeki kortiko-kortikal liflerin büyük çoğunluğu kısa mesafelidir ve komşu kortikal alanları birbirine bağlar. Kısa Asosiasyon lifleri olarak görev yapan U lifleri, serebral korteksin komşu alanları arasındaki bağlantıları temsil eder ve serebral korteksin hemen derinlerindeki ak maddede yer alırlar. U-liflerinin sinir sisteminin önemli üst düzey bilişsel işlevlerine aracılık ettiği düşünülmektedir. Birçok çalışmalar U liflerinin nörolojik (multipl skleroz) ve psikiyatrik (şizofreni) hastalıklarda rol oynadığını öne sürmektedir (37). Birçok nörolojik hastalıkta demiyelinizasyon görülürken, subkortikal U lifleri korunur. U-liflerinin korunması travma veya serebral enfarktüslerden sonra da gözlemlenebilirken, daha derin ak madde ve bazen de yardımcı serebral korteks daha ciddi şekilde etkilenir. Kronik tekrarlayan ödemde arkuat zonun korunmasında rol oynayan mekanizma tam olarak bilinmemektedir (38). SPL içerisinde U lifleri korteks yüzeyinin hemen altında gözlenmektedir. SPL'nin kendi içindeki bağlantılara ek olarak, kortikal SPL'den kaynaklanan U lifleri, orta frontal girus, precentral girus ve inferior temporal girus gibi bölgelerle olan bağlantılar aracılığıyla parietal, frontal, temporal ve oksipital loblar dahil olmak üzere diğer kortikal alanlara da projeksiyon yapar (8) (Şekil 16).

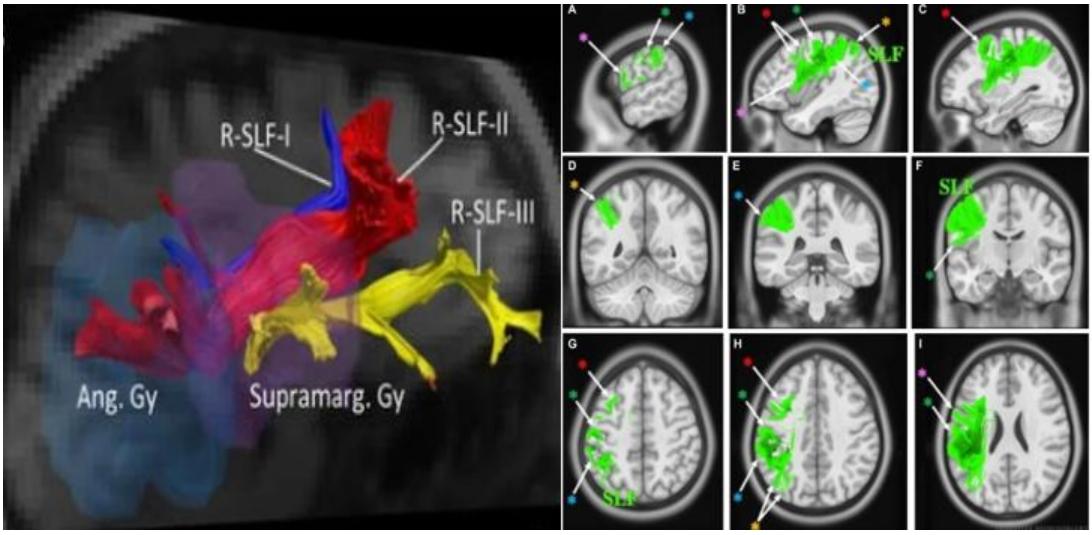


Şekil 16. Parietal lobda bulunan kısa ilişki lifleri ("U lifleri").

A. *belirgin U şeklinde morfoloji gösterilmiştir.* B *İzole U-lif demeti gross diseksiyonda gösterilmiştir*. C: *traktografik karşılığı.* (8)

2.4.3.2. Superior Longitudinal Fasikül

Bağlantısal anatominin öncüleri olan Reil ve Autenrieth, 19. yüzyılın başında ölüm sonrası beyin diseksiyonlarını kullanarak SLF'yi tanımlamışlardır. Bu ilk tanımlama Autenrieth'in çağdaşı olan Burdach tarafından daha da geliştirilmiş ve 1895 yılında Dejerine tarafından takip edilmiştir. Bu yazarlar, posterior temporal lobu frontal loba bağlayan peri-Sylvian Arch şeklinde bir lif yolu olduğunu açıklamışlardır. Bu demete şekli nedeniyle arkuat fasikül (AF) adını vermişler ve eşanlamlı olarak "superior longitudinal fasikül" terimini kullanmışlardır. Superior longitudinal fasciculus (SLF) beyindeki en büyük asosiasyon lif demeti sistemi olarak kabul edilir (39). SLF, temporoparietal bağlantı noktası ve parietal lobu frontal loba bağlayan önemli bir asosiasyon lif sistemidir ve dil işlevinde önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. SLF ayrıca motor davranış ve çalışma belleğinin düzenlenmesinde, somatosensoriyel bilginin aktarılmasında ve kortiko-serebellar sisteme katkıda bulunur. Basitçe söylemek gerekirse, hemisferdeki perisilvian alanları (frontal, temporal ve parietal) birbirine bağlar. Bu nedenle, intrinsik bir beyin tümörü için operasıyonunda bu lif demeti en çok etkilenenlerden biri olması muhtemeldir. (39) Petrides ve Pandya (1984) frontoparietal bağlantı sistemini tanımlamak için superior longitudinal fasciculus (SLF) terimini kullanmış ve üç ayrı segment tanımlamıştır. SLF'nin en dorsal bileşeni SLF-I, ikinci dalı SLF-II ve en ventral dalı SLF-III'tür. SLF-I superior parietal lobülü ve prekuneusu (BA 5 ve 7) superior frontal girus (BA 8, 9 and 32) ve anterior singulat alanları (BA 24) ile bağlar. (Şekil11) SLF-II anterior intraparietal sulkus ve angular girustan (BA 39) köken alır ve superior ve middle frontal girusun (BA 6, 8, 9) posterior bölgelerinde sonlanır. SLF-III, intraparietal sulkusu ve inferior parietal lobülü inferior frontal girusa bağlar (BA 44, 45, 47) (40). SLF, frontal loba doğru 90 derecelik bir açıyla öne kıvrılmadan önce parietal lobun altına doğru uzanır ve diğer parietal bölgelere lateral ve aşağı doğru bükülür (Şekil17).

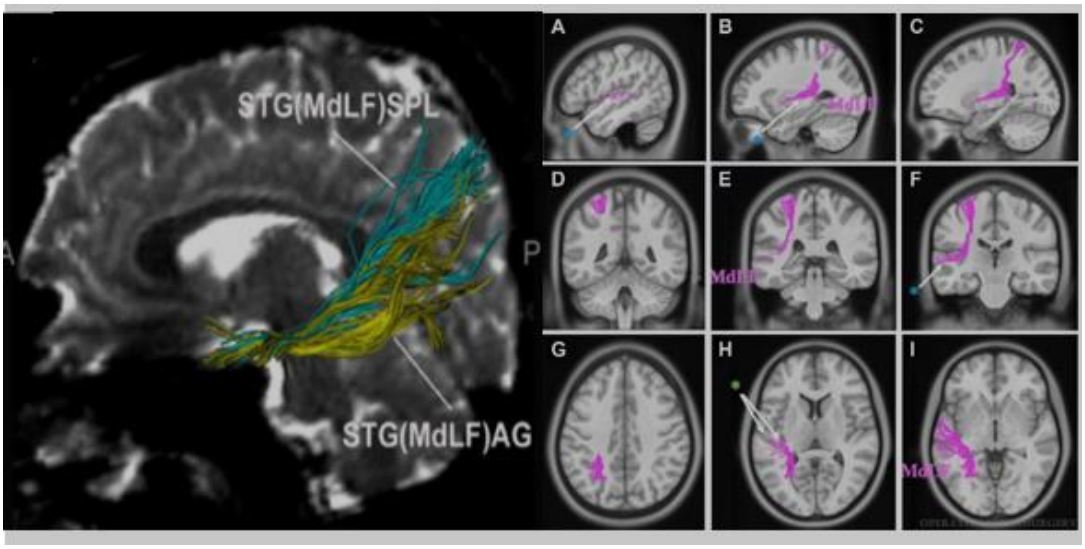


Şekil 17. SLF üç alt bölümleri gösterilmiştir.

SLF-I (mavi), -II (kırmızı) ve -III (sarı). SLF lifleri SPL'yi diğer birçok kortikal bölgeye bağlarken gösterilmiştir. (Orta frontal girus (kırmızı yıldız), inferior parietal lobül (turuncu yıldız), precentral girus (pembe) (8)

2.4.3.3. Middle Longitudinal Fasikül

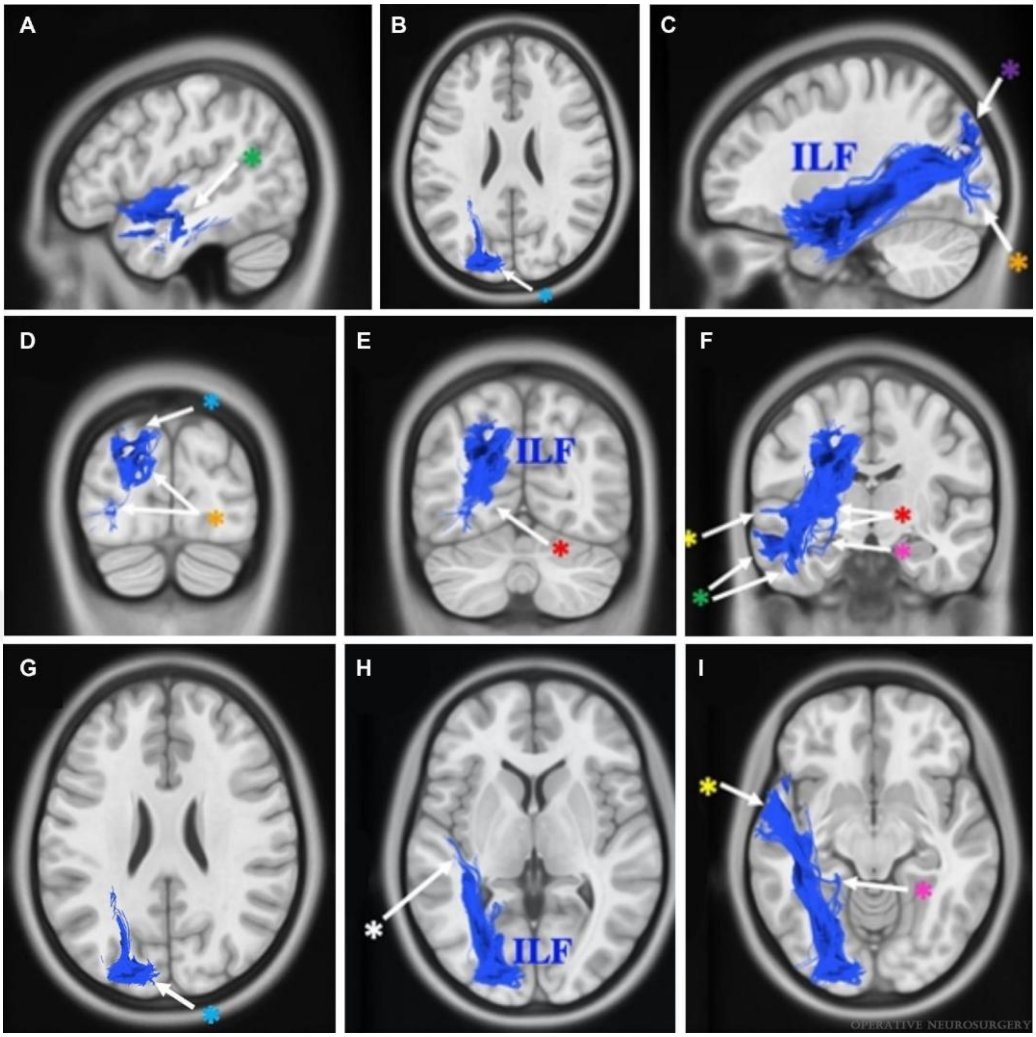
İnsanlarda, middle longitudinal fasikül ilk olarak Makris (1999) tarafından yapılan histolojik gözlemlerle tanımlanmıştır (41). Middle longitudinal fascicle (MLF), superior temporal girusu (STG) parietal ve oksipital loba bağlayan uzun, asosiasyon bir ak madde yoludur. Lif diseksiyonu çalışmaları, MdLFün parietal sonlanmalarının yalnızca SPL bulunduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, insanlarda yapılan DTI çalışmaları, kortikal sonlanmaların IPL seviyesinde de olduğunu göstermiştir. MdLF anterior sonlanmaları STG ve temporal pole (TP) seviyesindedir, Ayrıca, MLF'nin posterior terminasyon noktaları parietal lobla sınırlı değildir, çünkü bunlar aynı zamanda ekstrastriate oksipital kortekse de yönelmektedir (42). MLF lifleri SPL'nin lateralinden çıkar ve lifleri parietal lobdan temporal lobun ak maddesine doğru inferior ve oblik olarak seyreder. SLF ve MdLF SPL'nin ön kenarından çıkarken, MLF ak cevhere girdikten sonra SLF'nin altından geçer (Şekil 18).



Şekil 18. STG(MLF)AG (sarı) ve STG(MLF)SPL (mavi) gösteren MLF traktografisi
MLF lifleri SPL'yi superior temporal girusa (mavi yıldız) ve Heschl girusuna (yeşil yıldız) bağlarken gösterilmiştir. (8)

2.4.3.4. İnferior Longitudinal Fasikül

İnferior longitudinal fasikulus lif demeti oksipital lobu temporal lobun anterior kısmına bağlar ve optik radyasyon liflerinin üzerinde lateral ve inferior olarak uzanır. Bununla birlikte, ILF'e ek olarak, oksipital korteksi anterior kortexe bağlayan ve inferior fronto-oksipital fasikulus (IFOF) olarak bilinen ikinci bir ana lif demeti vardır ve bu demet medialde ve optik yolların üzerinde bulunur ve üzerinde uzanır ve yollarının bir kısmı boyunca ILF ile birleşir (43). Post-mortem beyinlerin ak cevher diseksiyonuna dayanan birkaç çalışma tarafından sağlanan genel anatomik doğrulamaya rağmen, ILF lif ayrımının ayrıntılı bir tanımına ilişkin bir fikir birliği yoktur. ILF'nin klasik tanımında üç ya da dört farklı oksipital daldan bahsedilir. Bunlar oksipital lobun dorso-lateral yüzeyindeki ekstrastriat kortikal bölgelerde, kuneusun dorso-medialinde ve posterior lingual girus ve fusiform girusun ventral yüzeyinden ortaya çıkar. ILF'nin asıl gövdesi fusiform, lingual ve dorsolateral oksipital dallardan oluşur (44). ILF, SPL'nin posterior bölgesinden köken alır ve SPL'ü temporal oksipital ve limbik loblara bağlayan ana ilişki liflerinden biridir (şekil 19).



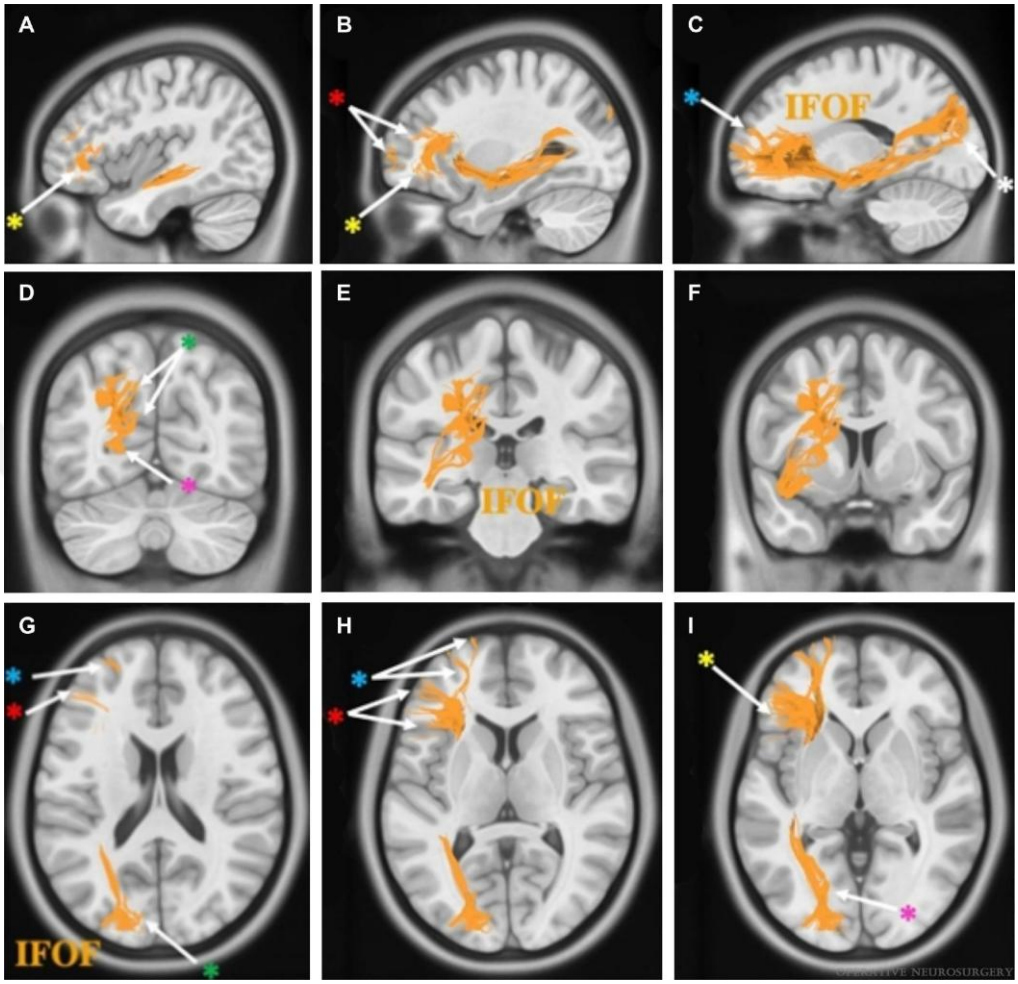
Şekil 19. İLF kortikal bağlantıları.

ILF liflerinin SPL, cuneus (mavi yıldız), orta ve alt temporal girus (yeşil yıldız), üst temporal girus (sarı yıldız), Heschl girusu (ak yıldız) ve lateral oksipital korteks (turuncu yıldız) dahil olmak üzere birden fazla kortikal bölgeye bağladığı gösterilmektedir. (8)

2.4.3.5. İnferior Fronto-occipital Fasikül

İnferior fronto-oksipital fasikül (IFOF), oksipital ve parietal loblardan köken alan ve inferior frontal lobda (orbitofrontal korteks) sonlanan büyük bir ak cevher yoludur. Bu ak madde yolu, uncinate fasciculus ile, ekstrem ve eksternal kapsüller yoluyla infero-lateral insulaya paralel seyreder. Bu fasikülün işlevleri tam olarak anlaşılamamıştır: Rolü öncelikle anlamsal dil kullanımı ile ilgili olduğu görülmektedir ve aynı zamanda hedefe yönelik davranışta önemli bir rol oynar. IFOF, insulanın lateralindeki karmaşık yol aracılığıyla parietal ve oksipital lobları frontal loba

bağlayan büyük ve karmaşık bir ak cevher yoludur (45). IFOF, SPL'nin posteriorundan çıkar ve SLF'nin altına doğru ilerler. (8) (Şekil 20).

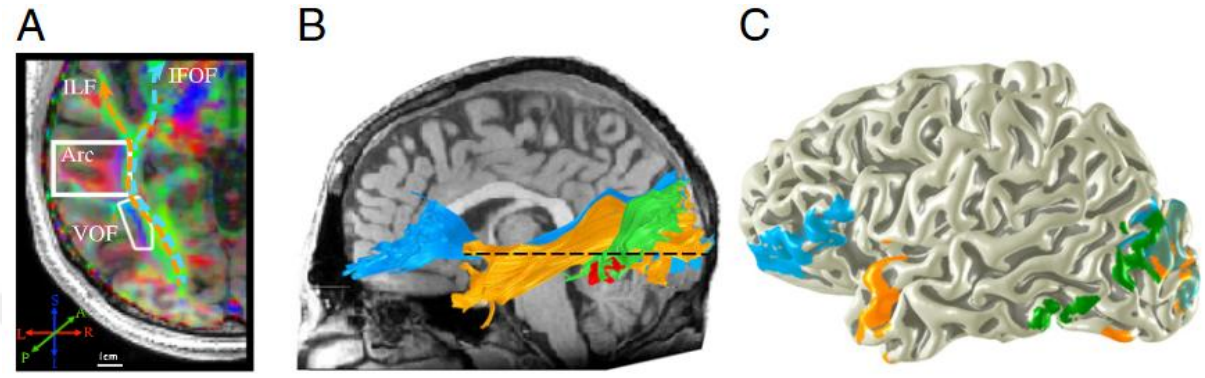


Şekil 20. Üst parietal lobülden kaynaklanan IFOF'un ak cevher anatomisi. (8)

2.4.3.6. Vertical Occipital Fasikül

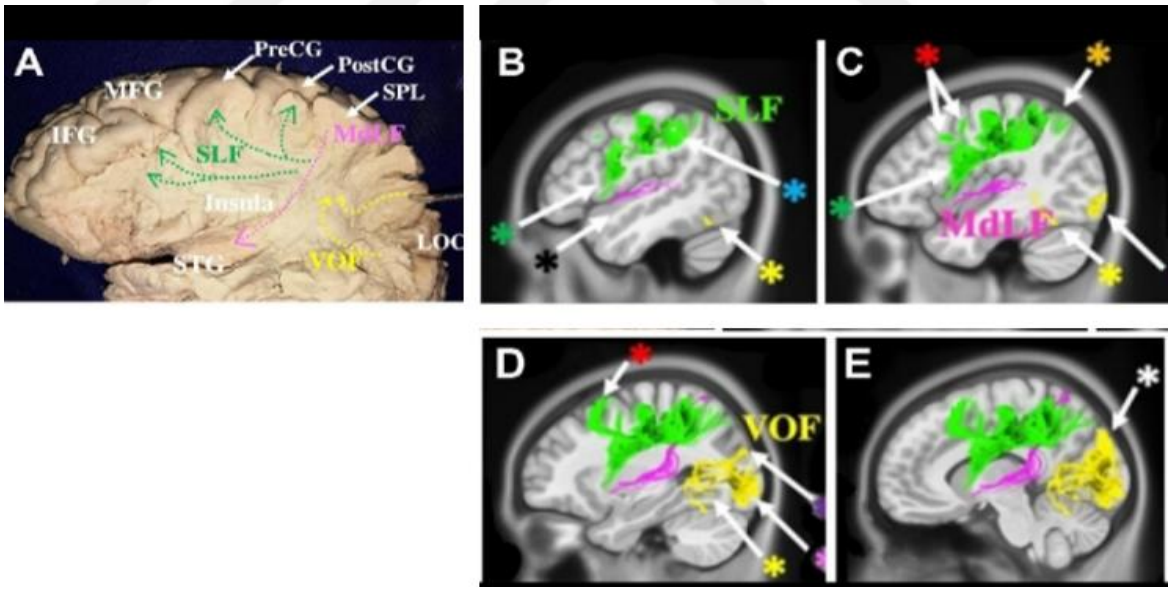
Vertikal oksipital fasikülün (VOF) tarihi, Wernicke (1881) tarafından maymunda ve Obersteiner (1888) tarafından insanda ilk kez keşfedilmesiyle başlamıştır.VOF oksipital, parietal ve temporal korteksin dorsal ve ventral bölgelerini birbirine bağlayan tek ana lif demetidir (46). VOF, inferior parietal lobül ve superior oksipital lobun bazı kısımlarından inferolateral oksipital kortekse doğru oblik olarak seyreden kısa bir ak cevher yoludur. VOF, superior longitudinal fasikülün arkuat bölümünün arkasında ve inferior longitudinal fasikülün lateralinde dikey olarak

uzanır. (47). VOF tarafından taşınan sinyaller görsel ve bilişsel işlevlerde önemli bir rol oynamaktadır (46). Vof, inferior temporal girus ve fusiform girus, kuneus ve lateral oksipital lob dahil olmak üzere üst parietal lobül bağlantılarında rol oynar. (8) (Şekil 21 ve 22).



Şekil 21. Canlı insan beynindeki VOF bağlantıları.

A: VOF'un çekirdeği boyunca aksiyal kesit.
B: VOF (yeşil) ve komşuluğundaki ILF (turuncu) ve IFOF (mavi) gösterilmiştir. C: Kortikal yüzeye yansıtılan VOFun sonlanma noktaları. (46)

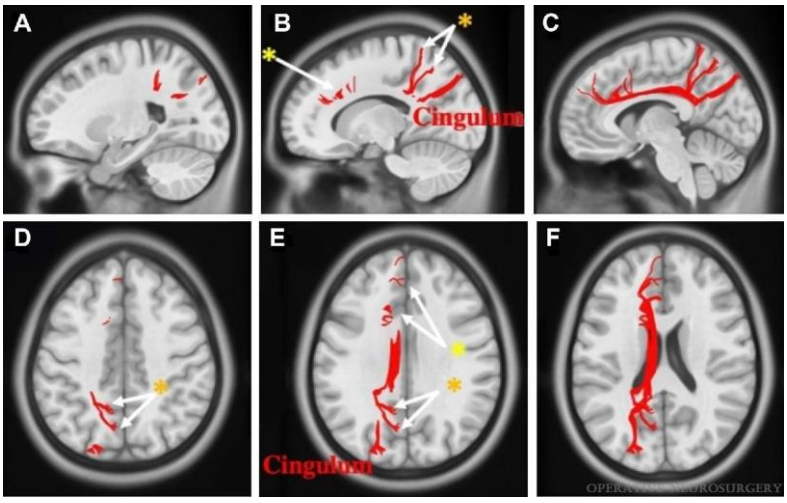


Şekil 22. Üst parietal lobülden (SPL) kaynaklanan SLF, MdLF ve VOF'nin ak madde anatomisi. (8)

A: *SLF, MdLF ve VOF dahil olmak üzere beyaz cevher liflerinin brüt anatomi diseksiyonu. B-E: Lateralden mediale doğru sagital kesitlerde görülen SLF, MdLF ve VOF projeksiyonları gösterilmiştir. SPL'yi diğer birçok kortikal bölgeye bağlayan VOF görülmektedir. Alt temporal girus (sarı yıldız), lateral oksipital korteks (pembe yıldız), alt parietal lobül (mor yıldız), kuneus (beyaz yıldız), orta frontal girus (kırmızı yıldız), alt parietal lobül (turuncu yıldız), presantral girus (yeşil yıldız), supramarjinal girus (mavi yıldız) ve üst temporal girus (siyah yıldız).*

2.4.3.7. Singulum

On dokuzuncu yüzyılda Paul Broca, korpus kallozumun etrafındaki kıvrım halkası için "büyük limbik lob" terimini önerdi ve kallozal, hipokampal ve olfaktör loblara ayırdı. Şu anda limbik sistem olarak tanınan yapıları gruplandırmaya yönelik ilk girişimdi. Bu sistem beyin dokusunun iki tarafında yer alır. Periferik olan limbik girusa karşılık gelir ve subkallozal, singulat ve parahipokampal girusları içerir. İç dongu, hipokampüs ve embriyolojik kalıntılarından oluşan intralimbik giruslara karşılık gelir. Singulum Papez'in 1937'de tanımladığı devrenin merkezi yapılarından biriydi (48). Singulum demeti beyindeki en belirgin lif yollarından biridir ve orbital frontal kortekslerden korpus kallozumun dorsal yüzeyi boyunca, ardından temporal lobdan temporal pole doğru neredeyse tam bir halka oluşturur. Singulumun limbik lob ile komşuluğu, aralarındaki yakın ilişkiye işaret etmektedir. Bu kortikal ilişki, liflerin sürekli olarak singuluma katılıp ayrıldığını fark eden Beevor (1891) tarafından açıklanmıştır. Daha sonra cingulum'un limbik sistemin temel bir parçası olduğu görüldü (49). Singulum, SPL'nin posterior yüzeyinden çıkar ve korpus kallozumun üzerinde uzunlamasına ilerlemeden önce subkortikal ak maddeye girer. Singulum, SPL'ü diğer kortikal bölgelerle bağlantısında rol oynayan asosiasyon liflerinden biridir (parietal lobun precuneus'u ve limbik lobun singulat girusu) (8) (şekil 23).



Şekil 23. Üst parietal lobülden kaynaklandığını gösteren singulumun ak cevher anatomisi. (8)

2.4.3.8. İnsular Kortex

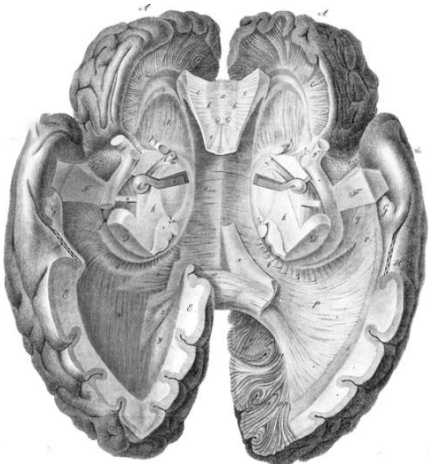
Beynin insula veya beşinci lobu, frontal, temporal ve parietal operküllerin altında bulunur. İnsula ya da "Reil Adası", temporal pol, kaudal orbitofrontal korteks, singulat ve parahipokampal girus ile birlikte mezokortikal bir yapıdır ve Limbik bölgeyi(archikorteks) neokortekse bağlar. Üç boyutlu olarak, insulanın şekli ters çevrilmiş bir piramidi andırır. Piramidin tepesi, topografik olarak inferior frontal girusun pars triangularis'inin altında bulunan ön silvian noktasındadır. İnsular korteks kısa ve uzun insular giruslardan oluşur. Santral insular sulkus, önde bulunan ön, orta ve arka kısa insular girusları, arkada yer alan ön ve arka uzun insular giruslardan ayırır (35).

2.5. Serebral Anatomi Çalışmalarının Tarihçesi

Anatomi tıbbın en eski disiplinlerinden biridir. İnsan vücudunun yapısı ve işleyişine ilişkin bilgiler yüzyıllar boyunca yavaş yavaş kazanılmıştır. Beyinle ilgili bilginin kökeni antik çağlara dayanmaktadır (50) (51). Günümüzde beynin hücre organizasyonunun karmaşıklığı nedeniyle anatomik ve fonksiyonel bir dağılıma sahip olduğu bilinmektedir. Bu bölünme, en dış kısmı kaplayan ve gri maddeyi oluşturan oldukça yoğun nöronların korteks organizasyonundan kaynaklanır. Ayrıca son araştırmalara göre serebral korteks yedi loba bölünmüştür: frontal, santral, parietal, oksipital, adacık, temporal ve limbik. Beynin kıvrımlı bir konformasyon sergilemesinin nedeni, evrim sırasında edinilen yoğun hücre büyümesine uyum sağlamasından kaynaklanmaktadır. Beyin hakkındaki bilginin detaylandırılmasındaki bu davranış ilk olarak Mısır tıbbi papirüslerinde bulunmuştur. M.Ö. 17. yüzyılda Mısırlılar, kafa travmalarından etkilenen bireylerin tedavisi yoluyla, kafatası kemiklerindeki kırıkların modelini beyin yaralanmalarıyla ilişkilendirmeye başladılar. Bu travmaların incelenmesi sayesinde, Edwin Smith'in Papyrus'unda bildirildiği gibi, bu organın ilk cerrahi tedavilerini ve anatomik kayıtlarını geliştirebildiler. Ayrıca bu eski uygarlık, dura mater, sinir dokusu kıvrımları ve beyin sıvıları gibi nöroanatomi ile ilgili yapıları tanımlayabilmiştir (14) (52) (53).

1600'lü yılların ortalarında, Hollandalı anatomist Frederik Ruysch (1638-1731), sinabardan elde edilen cıva sülfür bazlı bir karışımı damarlara ve atardamarlara enjekte ederek yumuşak dokuyu korumak için bir yöntemi gerçekleştirdi. Gall, alkolle sabitlenmiş insan beyinlerini inceleyerek başlıca kraniyal sinirlerin kökenlerini, komissürlerin önemini ve piramidal sistemin seyrini ve dekussasyonunu keşfetmiştir (54) (55) (56).

İnsan vücudunun ilk kadavra diseksiyonunun MÖ dördüncü yüzyılın sonlarında İskenderiyeli Herophilos (yaklaşık MÖ 335-280) tarafından gerçekleştirildiği iddia edilmektedir (57) (58). Herophilus sinirleri tendonlardan ve kan damarlarından, motor sinirleri duyu sinirlerinden, kranial sinirleri spinal sinirlerden ve serebrumu serebellumdan ayırmıştır (54). Galen hayvanlarda korpus kallozum ve forniksi tanımlarken beynin ak ve gri maddeleri antik çağda birbirinden ayırt edilmiyordu. Erken dönem Rönesans anatomistleri ventriküler sisteme beyin parankiminden daha fazla önem vermişlerdir. De Humani Corporis Fabrica'nın (1543) yedinci kitabında Andreas Vesalius (1514–1564) ilk kez daha yumuşak ve sarımsı beyni, altındaki daha sert ve daha ak derin maddeden ayırdı. Beynin ak maddesinin gros diseksiyon yöntemi, 1586 yılında Arcangelo Piccolhomini (1526-1605) tarafından geliştirilmiş ve serebral korteks için “cerebrum” ve ak madde için “medulla” terimleri ortaya konmuştur.



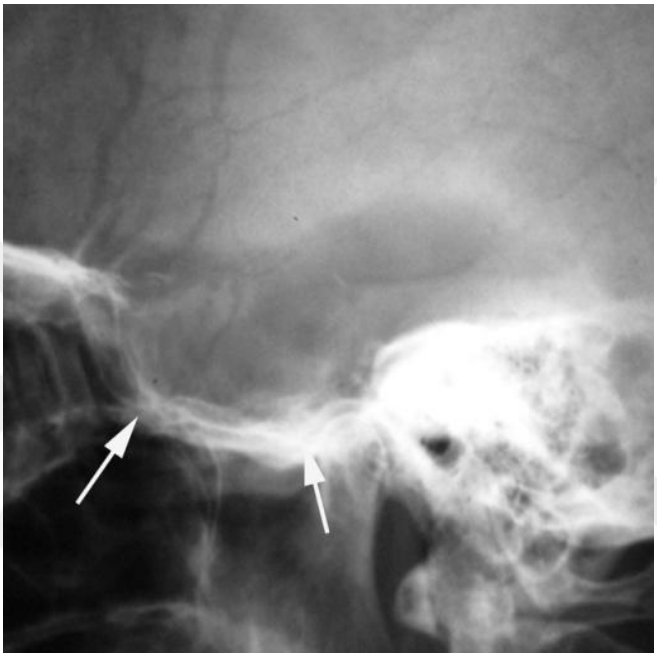
Şekil 24. Johann Christian Reil'in insan beyninin aşağıdan görünen kaba diseksiyonunun tasviri. (59)

Kavramsal ilerlemeler, 1664 yılında Marcello Malpighi'nin (1628-1694) ak cevherin "liflerden" oluştuğunu göstermek için ilkel bir mikroskop kullanması ile kolaylaştırılmıştır. 1809 yılında Johann Christian Reil (1759-1813), taze ve fikse edilmemiş doku kullanmanın, birçok orijinal yapı ve ilişkinin kaybolduğu fark etti. Beyni potas veya amonyak eklenmiş alkolde beklettikten sonra, serebral hemisferlerin ak maddesini inceledi ve "corona radiata" terimini ortaya koydu. kallozal ve asosiyasyon sistemler Vicq d'Azyr tarafından önerilmişti ve Gall ve Spurzheim, asosiyasyon sisteminin aksine projeksiyon sistemlerinin varlığını öne sürmüştür (59) (Şekil 24). 1930'larda, özellikle Cajal'ın çalışmalarından sonra, ak madde yolları nöroşirürji için önem kazanmaya başladı. Klingler, 1934 yılında Basel Üniversitesi'nde Eugen Ludwig yönetiminde, beyin dokusunu dondurma tekniğine dayanan ve ak madde yollarını belirgin bir şekilde ortaya çıkaran yeni bir diseksiyon yöntemi geliştirdi. Klingler'in çalışması, difüzyon tensör görüntülemeden fiber haritalama protokollerinin sonuçlarını gerçek anatomik kanıtlara bağlamak için uygulanabilir olduğu için yeniden ilgi görmüştür. Klingler 3 boyutlu anatomik ilişkileri vurgulamış ve çalışmaları mezial temporal, limbik, insular ve talamik liflerin tanımlanmasının temelini sağlamıştır (60).

2.6. Nöroradyolojinin Tarihçesi

8 Kasım 1895'te daha önce bilinmeyen bir radyasyon türü olan X-ışınları Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedildi. Bu teknolojinin olağanüstü keşfi, sağlık bilimleri tarihinde, vücut kesilmeden içindeki yapıların görünür olmasını sağlamıştır (61). Merkezi sinir sisteminin (MSS) görüntüleme çabaları, Roentgen'in x-ışınlarını keşfetmesinden kısa bir süre sonra kafatası radyografileriyle başladı. 20. yüzyılın başlarında, ventrikülografi ve pnömoensefalografinin tanıtılmasıyla beynin kontrast çalışmaları, kontrast için hava kullanılarak geliştirilmiştir. Yaklaşık elli yıl sonra, görüntülemedeki bir sonraki büyük gelişmeler, BT ve ardından MR görüntülemenin tanıtılmasıyla ortaya çıktı. Bu keşifler nöroradyoloji alanını ilerletmiş ve daha kolay, daha hızlı tanı ve tedavi yoluyla hastaların yaşamlarını iyileştirmiştir. 1912 yılında Avusturya'da Arthur Schuller tarafından Radiology of Diseases of the Head ("Kafa Hastalıkları Radyolojisi")

yayımlanmıştır. Bu, kafatası radyografisine en önemli katkılardan biri olarak kabul edilir. Bunun için Schuller, nöroradyolojinin babası olarak kabul edilir ve "nöroradyoloji" terimini icat eden kişidir. Beyin cerrahı Dandy, meslektaşı George J. Heuer ile birlikte, 1916'da 100 beyin tümörü vakasındaki radyografik bulguların bir incelemesini yayınladı ve hastaların %45'inde x-ışınlarında anormallikler buldu (62) (63) (Şekil 25).



Şekil 25. İntrakraniyal lezyonların teşhisinde radyografinin önemi.

Sol taraflı baş ağrısı, sağ görme alanı defekti ve hemiparezi ile başvuran 36 yaşındaki kadın hastada çekilen lateral kafatası grafisinde sella ve sfenoid sinüslerde belirgin genişleme ve harabiyet görülüyor (oklar). (62).

Tıbbi görüntüleme alanındaki en ünlü isimlerden biri, ilk BT teknolojisini yaratan mühendis Godfrey N. Hounsfield'dir. 1971 yılında İngiltere'nin Londra kentinde bir beyin tarayıcısı kuruldu ve kısa bir süre sonra ABD'de Mayo Kliniği'ne yerleştirildi. Bu dönemdeki bir diğer önemli olay da miyelografiyi daha güvenli ve rutin hale getiren izo-ozmolar iyotlu kontrast madde metrizamidin piyasaya sürülmesiydi. Kısa bir süre sonra, beyin omurilik sıvısı kaçaklarının kolayca teşhis edilmesini sağlayan BT sisternografiye kadar kullanımı yaygınlaştırıldı. 1975 yılında ilk tüm vücut BT üniteleri tanıtıldı. 1982 yılında Graeb ve arkadaşları, tümör tedavisinden sonra nüksü simüle eden BT değişikliklerini tanımlamıştır. Bu, modern

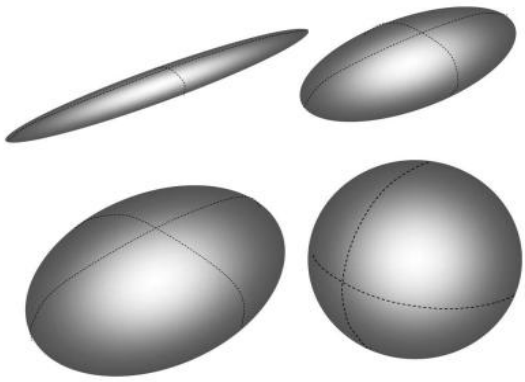
beyin tümörü görüntülemesinde yaygın olarak görülen bir fenomenin en eski tanımlarından biridir: psödoprogression (64). MR görüntülemenin temeli olan nükleer manyetik rezonans (NMR), 1946 yılında geliştirilmiş ve ilk olarak analitik kimyada kullanılmıştır. Canlı insanların ilk görüntüleri 1977'de yayınlandı ve beyin görüntüleme ile ilgili araştırmalar 1980'de yayınlanmaya başladı. Bu teknik, 1980'lerin başına kadar NMR görüntüleme olarak anılmaya devam etti ve halkın "nükleer" terimiyle ilgili korkularını gidermek için MR görüntüleme olarak değiştirildi. Büyük görüntüleme ekipmanı üreticileri 1980'lerin ortalarında 1.5T mıknatısları piyasaya sürerek bu alana girdiler. Gadolinyum kontrast maddeleri ilk olarak 1980'lerin başında, 1988'de gadolinyumun FDA onayı ile önerildi. Nöroradyolojide bu gelişmeler BTA ve BT perfüzyonunun geliştirilmesinde uygulanmıştır. 1990'larda hızlı spin-eko ve gradyan-eko sekansları gibi daha hızlı MR görüntüleme teknikleri kullanılmaya başlandı (62). Sinir ve sinir yollarının dokuya özgü görüntülenmesine yönelik bir grup manyetik rezonans sekans stratejisinin 1991 ve 1992 yıllarında keşfedilmesi, sinir ve sinir yollarını içeren çok çeşitli patolojik durumların doğrudan görüntülenebildiği yeni bir tanı dünyasının kapılarını açtı; bu teknikler periferik sinirler için manyetik rezonans nörografi (MRN) ve santral sinir sistemi için difüzyon tensör görüntüleme (DTI) veya traktografi (SSS) terimleri altında gruplandırılır. DTI, diğer manyetik rezonans tabanlı görüntüleme tekniklerine göre SSSnin patolojik durumları için daha yüksek hassasiyet sağlar. Traktografinin tümör rezeksiyonu planlamasında kullanımı artık resmi olarak değerlendirilmekte olup ve ölüm riskinde istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme göstermektedir (65) (Şekil 26).



Şekil 26. İlk difüzyon traktografik görüntüleme olgusu. (65)

2.7. Radyolojik Anatomi

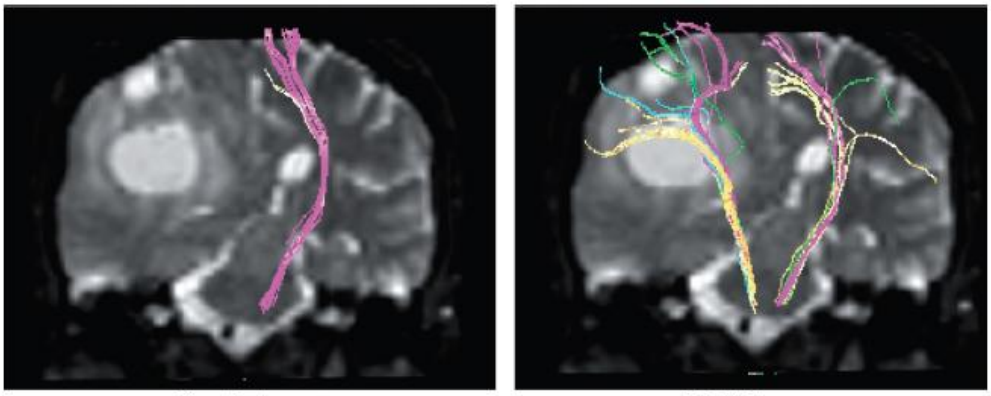
Nörolojik anatomiye hâkim olduktan sonra, nöroradyografi öğreniminde bir sonraki adım, yaygın olarak kullanılan terimlerin tanımlarına aşina olmaktır. Nörolojik görüntüleme, intrakraniyal yapıları karanlık bir kıvamdan aydınlığa çıkarmıştır (66). Görüntüleme kullanarak nöroanatomi çalışması, beynimizin nasıl çalıştığına, genler ve çevre tarafından nasıl şekillendirildiğine ve gelişim, yaşlanma ve hastalıklarla nasıl değiştiğine dair önemli bilgiler sağlar. Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) çekimleri, görüntü işleme ve veri modelleme alanlarındaki gelişmeler bu ilerlemelerin anahtarı olmuştur. 1970'lerin sonu ve 80'lerin başında MRI'ın ortaya çıkması, nöroanatomi çalışmasında devrim yarattı çünkü ilk kez beyin bölmelerini ayırt etmek için yeterli kontrastla in vivo olarak araştırılabildi. MRG, elektromanyetik (radyo frekansı) dalgaların uygulanmasından sonra hidrojen atomlarından yayılan radyo frekansı sinyallerini ölçer ve uzamsal olarak değişen manyetik gradyanlar kullanarak sinyali lokalize eder (67) (68). Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), hastalarda makroskobik ak cevher anormalliklerini tespit etmede yüksek duyarlılığa sahiptir. Hızlı spin-eko T2-ağırlıklı, sıvı zayıflatılmış inversiyon geri kazanımı (FLAIR) ve spin-eko T1-ağırlıklı (hem gadolinyum (Gd) kontrast madde uygulamalı hem de uygulamasız) klasik MR sekansları olarak ak madde anormalliklerinin teşhisi için önemli bilgiler sağlar (69).



Şekil 27. Difüzyon elipsoidleri (tensörler).

Yönelim olmadığında, fraksiyonel anizotropi (FA) sıfırdır (küresel), Çapraz lifler olduğunda elipsoid düzleşir, bu da "yassı" tensörlerle sonuçlanır (sol altta). (70)

Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DWI), yönden bağımsız olarak su hareketinin boyutunun belirlenmesini sağlar ve difüzyon tensör görüntüleme (DTI), beyin dokusu mimarisinin noninvaziv karakterizasyonunu sağlamak için difüzyon yönünü değerlendirir. Difüzyon-tensör görüntüleme (DTI) tabanlı traktografi, son on yılda nörogörüntüleme alanındaki en dikkat çekici gelişmelerden biridir. Bu yöntemi nöronal liflerin in vivo lokalizasyonunu sağlar (70). DWI şu anda çoğu beyin klinik protokolünde kullanılmaktadır ve beyin iskemisinin hızlı teşhisine izin verdiği için akut inmenin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır, Ayrıca beyin tümörleri ve kafa içi enfeksiyonların değerlendirilmesi için vazgeçilmezdir. DWI ve DTI su moleküllerinin hareketliliğini ölçer. DWI ile karşılaştırıldığında, DTI difüzyonun yönünü de tanımlar (su difüzyonu anizotropiktir). Su difüzyon tensörlerinin voksel tabanlı analizi, doku mikro yapısını yansıtan çeşitli kantitatif parametreler verir (71) (Şekil 27 ve 28).



Şekil 28. 58 yaşında glioblastomlu kadın. *Çevresinde vazojenik ödem bulunan büyük bir sağ parietal lob tümörü görülüyor. Lezyonel taraftaki (sağ hemisfer) piramidal liflerin tek tensörlü traktografi kullanılarak tasvir edilemediğine, ancak çoklu tensörlü traktografi kullanılarak iyi bir şekilde gösterildiğine dikkat edin* (70).

2.8. Serebral Fiksasyonda Kullanılan Yöntemler ve Çözeltiler

Ak madde diseksiyonu (AMD), sinir bilimlerinde beynin farklı bölgelerini birbirine bağlayan miyelinli akson demetlerini izole etmek ve incelemek için kullanılır. Ak madde diseksiyonu gerçekleştirme süreci, beynin vücuttan çıkarılmasını, fiksasyonunu (tipik olarak formalinde), dondurulmasını ve daha sonra gri maddenin uzaklaştırılmasına ve ak maddenin korunmasına olanak sağlamak için çözülmesini içerir.

Tablo 3. Farklı fiksasyon yöntemlerinin tarihsel gelişimi

Referanslar	Temel teknik özellikler	Yorumlar
Parker, 1896	%60 ethanol (85%)- %40 formalin (2%)	Beyin şişmesini azaltmak için optimize edilmiş protokol
Sainton, 1898	Sulandırılmamış formalin	Orbita veya burun yoluyla yerinde fiksasyonun ilk tanımı
Lagerlöf,1934	%10 Formalin- %90 fizyolojik solüsyon (1 .75%)	Beynin şişmesini azaltmak için optimize edilmiş protokol
Klingler, 1935	Immersion fixation in formalin, -10 ile -150 derece arasında donma	Fiber diseksiyon yaklaşımı için dönüm noktası yöntemi (2-3 aya kadar sürer)
Fahr, 1938	Sulandırılmamış formalin	Kulağa yakın bir yere açılan delik aracılığıyla "yerinde" tespit
Hasenjiger, 1938	Fizyolojik solüsyon- Sulandırılmamış formalin	İnternal karotid arter yoluyla fiksasyonun ilk tanımı
Ostertag, 1949	%20formalin and Carlsbad tuz solüsyonu (in situ fixation)-%10formalin and 7% Carlsbad tuz solüsyonu (post-fixation)	Burun boşlukları yoluyla "in situ" fiksasyon
Böttger, 1951	Fizyolojik solüsyon- Sulandırılmamış formalin	Ortak karotid arter yoluyla fiksasyonun ilk tanımı
Khadziselimowitch,1963	%10 formalin- %5 formalin- şeker solüsyon	Beynin şişmesini azaltmak için optimize edilmiş protokol
Bradbury,1978	%5 Champion Clot Disperser su içinde çözelti (ön enjeksiyon sıvısı) %50 ethylene glycol, 20% methanol, phenol, 20% formalin	İn sit" formalin sonrası fiksasyon, beyni diseksiyon için daha uygun hale getirir
Anderson, 2006	Formalin bazlı yöntem kullanılarak: - Dodge Metaflow (ön enjeksiyon sıvısı) Dodge MetasynlY (mumyalama sıvısı)	Işık mumyalama tekniğinin bir örneği
Latini, 2015	Formalin ile intrakarotis fiksasyonu, -10 ile-150c derece arasında donma	Klingler tekniğinin optimize edilmesi
Nsausti, 2023	Fizyolojik solüsyon in 0.1 M phosphate buffer, PH 7.4 + 50000 U heparin (kan tahliyesi adımı)	Bu yöntem, çok çeşitli alt seviye uygulamalarına izin verir
	4% paraformaldehyde solution in 0. 1 M phosphate buffer (Fiksasyon ve Post fiksasyon)	

Ak madde diseksiyonu, nörocerrahi yaklaşımları sırasında kritik ak cevher yollarını tespit etmede ve korumada önemli bir rol oynar ve iatrojenik sonuçları en aza indirir (72). Perfüzyon ve immersiyon fiksasyon yaklaşımları, şimdiye kadar fiksatiflerin kafatasının içine vermenin en yaygın yolları olup ve böylece kimyasalların beyin dokusuna yayılmasını sağlamıştır. (73). İnsanlarda beyin hastalıklarının patofizyolojisi hakkındaki anlayışımızın büyük bir kısmı ölüm sonrası insan beyin dokusu üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Bu nedenle insan beyin dokusunun korunmasında kullanılan yöntemlerin geliştirilmesi ve optimize edilmesine yönelik ciddi bir ihtiyaç bulunmaktadır. Fiksasyon için iki ana yöntem vardır: immersiyon ve perfüzyon yöntemi. İmmersiyon yöntemi beyni fiksatif içeren bir kimyasal banyoya konulmasını ve kimyasalların beyin dokusuna yayılmasının beklenmesini ifade eder ve perfüzyon fiksasyonu, damar sisteminin bir kısmının kanüle edilmesi ve ardından fiksatif içeren sıvının damarlardan geçirilmesi anlamına gelir. İnsan postmortem beyin dokusunda, yeterli miktarda formaldehitin bir beyin yarım küresinin en iç kısımlarına yayılması ve fiksasyona başlamasının 20 ila 46 gün alabileceği tahmin edilmektedir. Klingler'in ak cevher diseksiyon metodu, derin serebral anatomi çalışmalarında devrim yaratmıştır. Bu teknik ak cevher diseksiyonunu daha uygulanabilir ve yaygın olarak kullanılır hale getirmiş olsa da hala bazı içsel kısıtlamaları mevcuttur (Tablo 3) (74).

2.8.1. Perfüzyon Fiksasyonuna Yaklaşım

Klingler, klasik fiksasyon tekniklerinden ikisini (immersiyon ve dondurma) birleştirerek ölüm sonrası beyinlerin kalitesini artırmıştır. Ancak fare ve primat beyinleri üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar, küçük doku parçaları için örnekleri doğrudan fiksatif maddeye yerleştirmenin daha iyi sonuç vermesine rağmen sağlam beyin gibi daha büyük numuneler, fiksatifin dokunun tüm bölgelerine aynı oranda ulaşmaması nedeniyle immersiyon yoluyla fiksasyon açısından sorun teşkil etmektedir. (Tablo 4) Perfüzyon yaklaşımı için iki ana alt kategori bulunmaktadır. İn situ yaklaşımda beyin kafatası içindedir ve damarlara ya boyundan ya da göğüs kafesinden cerrahi kesi yapılarak ya da kafa ayrıldıktan sonra ulaşılır. Ex situ yaklaşım için perfüzyon fiksasyonunu gerçekleştirmeden önce beynin kafatasından çıkarılması gerekir ve damarlara ya tüm beyinde ya da izole edilmiş bir beyin hemisferinden erişilir (75).

Tablo 4. Perfüzyon protokolü ve Klingler tekniğine göre numune hazırlama için farklı adımların karşılaştırılması (76)**.**

Ölümden sonra numune hazırlama adımları	**Perfüzyon-fiksasyon yöntemi**	**Standart Klingler tekniği** **(**Ludwig & Klingler, 1956; Türe 2000; Agrawal, 2011**)**
1. adım	Soğuk odada saklama (12 st- 7 gün)	Beynin cerrahi çıkarılması (ölüm sonrası 12-24 st içinde)
2. adım	Perfüzyon-fiksasyon işlemi (20 dk)	Daldırma fiksasyonu (en az 60 gün)
3. adım	Beynin cerrahi olarak çıkarılması (perfüzyondan 48 saat sonra)	Damarların ve Pia Mater'in çıkarılması
4. adım	Formaline daldırma %10 (24 st)	Dondurma işlemi (6—10 gün)
5. adım	Pial ve damarların çıkarılması	Buz çözme işlemi (12 st)
6. adım	Dondurma işlemi (6— 10 gün)	AKM Diseksiyonu
7. adım	Buz çözme işlemi (12 stt)	
8. adım	Diseksiyonu	
Geceleyin	Formaline daldırma	Formaline daldırma
Ölümden AMD'ye kadar gereken süre	9-20 gün	67-71 gün

3. GEREÇ

Bu çalışma, Haziran 2024-Eylül 2024 tarihleri arasında Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Beyin ve Sinir Cerrahi Anabilim Dalı laboratuvarında gerçekleştirildi. Çalışmada, iki grup materyal kullanıldı.

İlk grup Amerika Doku Bankaları Birliği'nden temin edilen insan kadavra başından (2 erkek, 3 kadın) oluşuyordu. İkinci grup ise radyolojik inceleme yapılacak ve beyin lezyonu olmayan 5'i erkek, 5'i kadın 10 gönüllüden oluşturuldu.



Şekil 29. Dekortikasiyon/diseksiyon sırasında kullanılan cerrahi aletler, mikroskop (Carl-Zeiss) ve düzenekler.

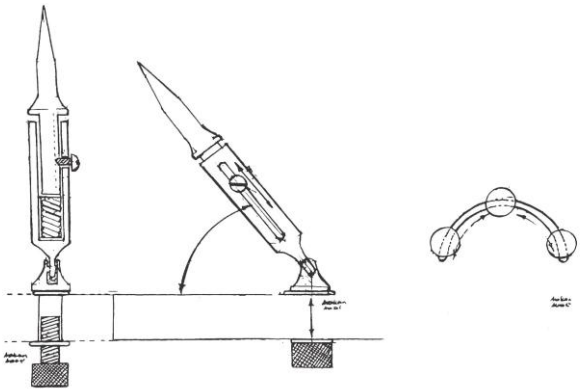
Her iki grup spesmeninin radyolojik incelemesinde 3T MR kullanıldı (Siemens® Magnetom Skyra, Almanya). Kadavra araştırmalarında konvansiyonel cerrahi aletler, kranyotom (Midas Rex® Legend; ABD) ve cerrahi mikroskop (Carl Zeiss® OPMI-1; Almanya, Oberkochen) kullanıldı. Diseksiyonun tüm aşamaları uygun aydınlatılmış ortamda (Ring Light M4 84 Watt ışık kaynağı) digital olarak (Canon® 200D, EF-S 18-55mm ve 100 mm lens) fotoğraflandı. (Şekil 29)

4. YÖNTEM

Bu çalışma iki grup üzerinden yapılacak biçimde tasarlandı; kadavra çalışma grubu ve radyolojik çalışma grubu.

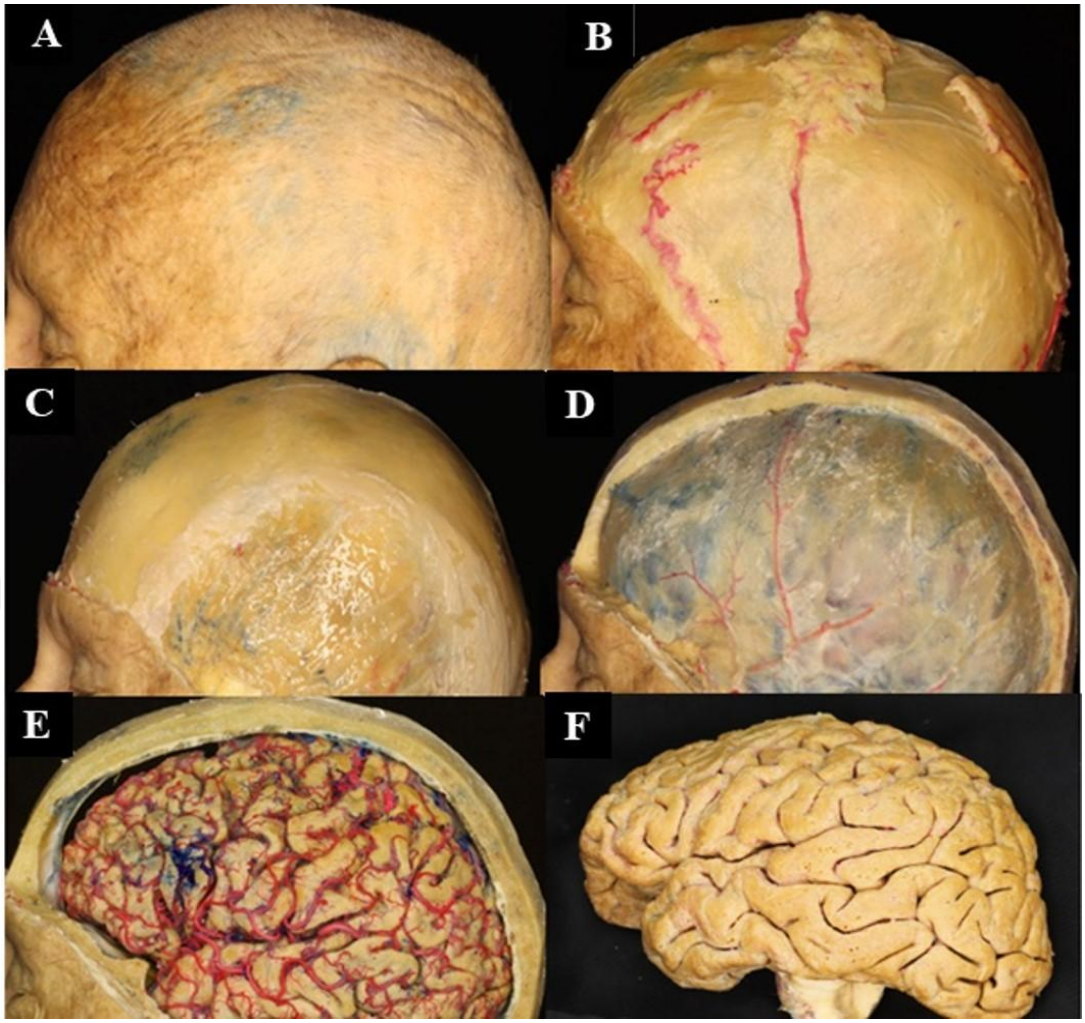
İlk grup çalışma, Amerika Doku Bankaları Birliği'nden temin edilen ölüm nedeni kafa travması olmayan ve ölüm sonrası ilk 12 saat içinde Klinger metoduna uygun %10 formalin fiksasyonu sonrası karotis arterden kırmızı ve juguler venden mavi silikon boya enjekte ederek hazırlanan kadavralar üzerinde yapıldı. Kafa kadavralarının MR ile 1 mm kesit aralığında, üç düzlemde görüntüleri alındı.

Klingler metoduna uygun hazırlanan ve ona uygun ortamda saklanan spesmenler diseksiyondan önce çeşme suyu altında yıkanarak çözüldü. Numuneler buzdolabında +4°C'de %70 alkol içerisinde saklandı. Formalin ile uygulananlardan farklı olan bu yöntemle numuneler, araştırmanın her aşamasında koruma altına alındı. Kadavra diseksiyonları Anabilim Dalımız ile Anatomi Anabilim Dalı Laboratuvarlarında yapıldı. Kafa spesmeni, tarafımızca tasarlanan aparat ile dikey pozisyonda ve anatomik pozisyona uygun olacak şekilde çalışma masasına sabitlendi**.** Tüm diseksiyon boyunca aynı pozisyon kullanıldı. (Şekil 30)



Şekil 30. Çalışma kullanılmak üzere tasarladığımız fikzatör

Kafa derisi, glabelladan eksternal protuberans oksipitalise kadar inferior temporal çizgilere uygun düşecek biçimde dairesel bir kesi ile "takke" şeklinde çıkarıldı. (Şekil 31-B) Kranyum, sagittal sütürün her iki yanında 1 cm'lik kemikli alan bırakılacak şekilde glabelladan protuberansiya oksipitalis eksternaya kadar osteotomla eksize edildi. (Şekil 31-D)



Şekil 31. Diseksiyonun ciltten kortekse kadar olan aşamaları

*Kadavra spesmeninde diseksiyon öncesi (***A***), Scalp uzaklaştırıldıktan sonra (***B***), Periost sıyrıldıktan (***C***) ve kemik flebi kaldırıldıktan sonraki (***D***)görünüm. Dura mater kaldırıldıktan sonra kortikal vasküler yapılar* **(E)***; Araknoid mater, arterler ve venler çıkarıldıktan sonraki görünüm* **(F)**.

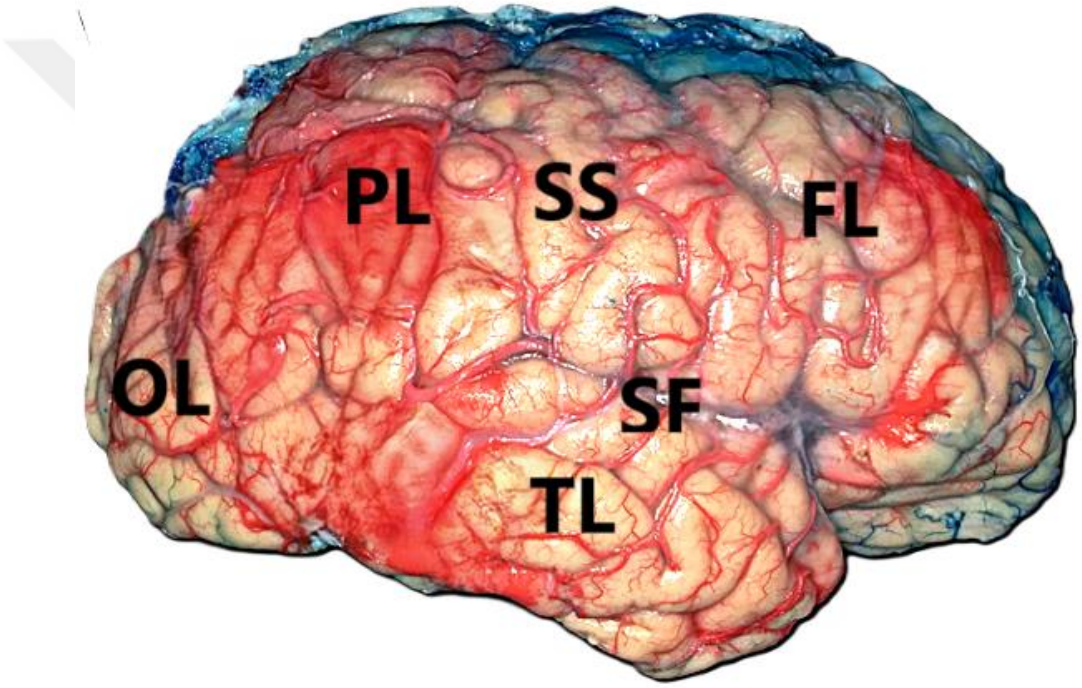
Dura mater, sagittal sinüs ve transvers sinüsler korunarak, hemisferin üstünden çıkarıldı. (Şekil 31-E) Hemisferler, korpus kallosumun rostral ve kaudal yönünde (sagital düzlemde) orta hattan yapılan bir kesi ile ayrıldı. Daha sonra mezensefalon ve superior kollikulusun altından tentoriyom ve falks korunarak (aksiyel düzlemde) yapılan kesiyle hemisferlerin beyin sapıyla bağlantısı kesildi. (Şekil 31-F)

Araknoid membran, arterial ve venöz yapılar mikroskop altında (4-20x) uzaklaştırıldı. Diseksiyon için örnekler Klinger yönteminde tarif edildiği gibi iki hafta boyunca -16°C'de donduruldu. Dondurulmuş spesmenler çözüldükten sonra lateralden mediale yönelik kortikal gri cevherin diseksiyonu yapıldı. Tüm aşamalar fotoğrafla tesbit edildi.

5. BULGULAR

5.1. Lateralden Mediale Doğru Kademeli Diseksiyon Bulguları

Spesmen Klingler tekniği uygun hazır edildikten sonra beynin yüzeyindeki beynin temel anatomik yapıları (araknoid matter, kortikal vasküler yapılar, beyin lobları) görüldü ve diseksiyona, hemisferin yüzeyindeki majör sulkusların ve girusların incelenmesiyle başlanıldı. (Şekil 32)



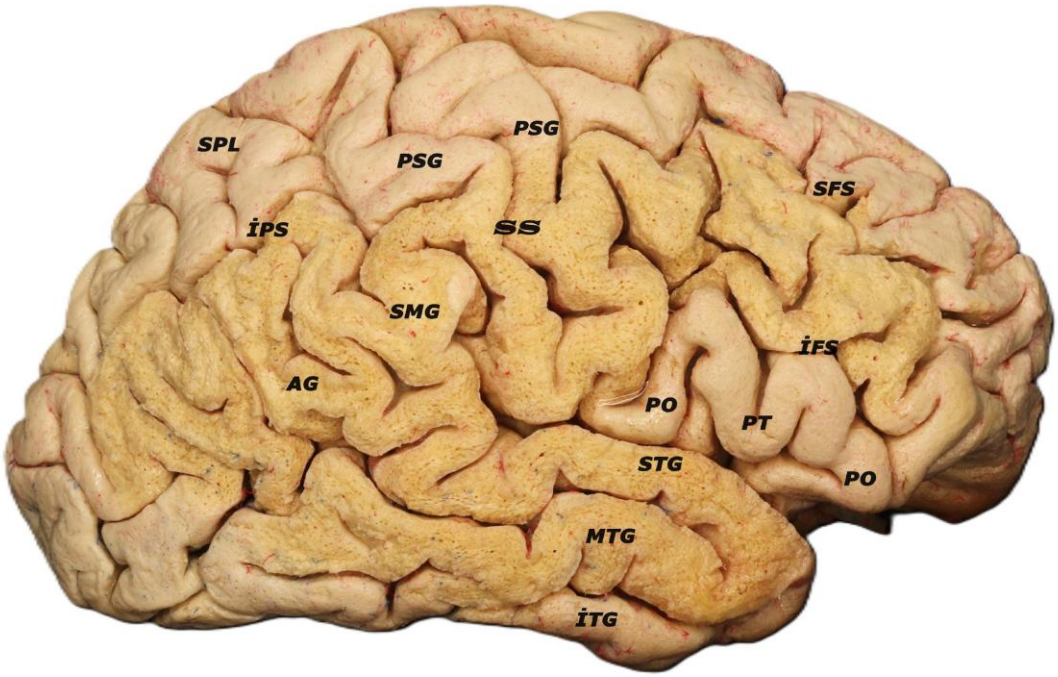
Şekil 32. Dura mater çıkarıldıktan sonra serebrumun kortikal vasküler yapılar ile birlikteki görünümü. **FL:** *Frontal lob*; **PL:** *Parietal lob*; **OL:** *Oksipital lob*; **TL:** *Temporal l*ob; **SS:** *Santral sulkus*; **SF:** *Sylvian fissür*

Sağ yarıkürenin lateral yüzeyindeki supratentoryal bölgenin araknoid membranları, arterleri, damarları ve kortikal dokusu ortaya çıkarıldı. Superior sagital sinüse drene olan, anterior frontal ven, posterior frontal ven, medial frontal ven, precentral ven, santral ven, postcentral ven, Trolard veni, anterior parietal ven ve posterior parietal ven görüldü. Sylvian fissürde Sylvian ven ile bağlantı kurarak temporal lobdan geçen anterior temporal ven, Labbe veni ve posterior temporal ven

izlendi. Ayrıca oksipital lobun lateral tarafında oksipital ven ve bunun transvers sinüse açılan terminal dalları ortaya çıkartıldı.

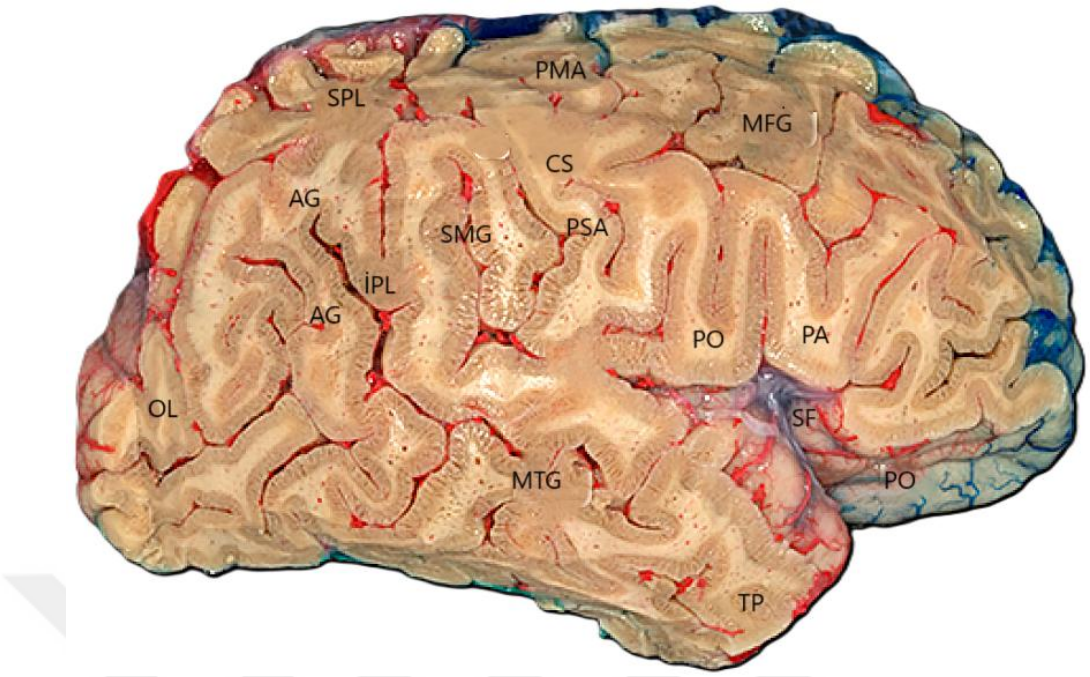
Lif diseksiyonu aşamalı bir şekilde gerçekleştirildi ve her aşamada 50 cm mesafeden ve 30 derece açı ile dijital fotoğraflar çekildi.

Anatomik diseksiyonun ilk aşaması, tüm araknoid membranın ve beyindeki damarların çıkarıtıldı ve korteksin temel girus ve sulkus yapıları görüldü. (Şekil 33)



Şekil 33. Araknoid membran ve kortikal vasküler yapılar uzaklaştırıldıktan sonraki görünümü.

BM5 (SPL): *Brodman5;* **PSG:** *Precentral Gyrus;* **PSG:** *Postcentral Gyrus*; **SS**: *Central Sulcus*; AG**:** *Angular Gyrus;* **SMG:** *Supramarjinal Gyrus;* **STG:** *Superior Temporal Gyrus;* **MTG:** *Medial Temporal Gyrus*; **İTG**: *Inferior Temporal Gyrus*



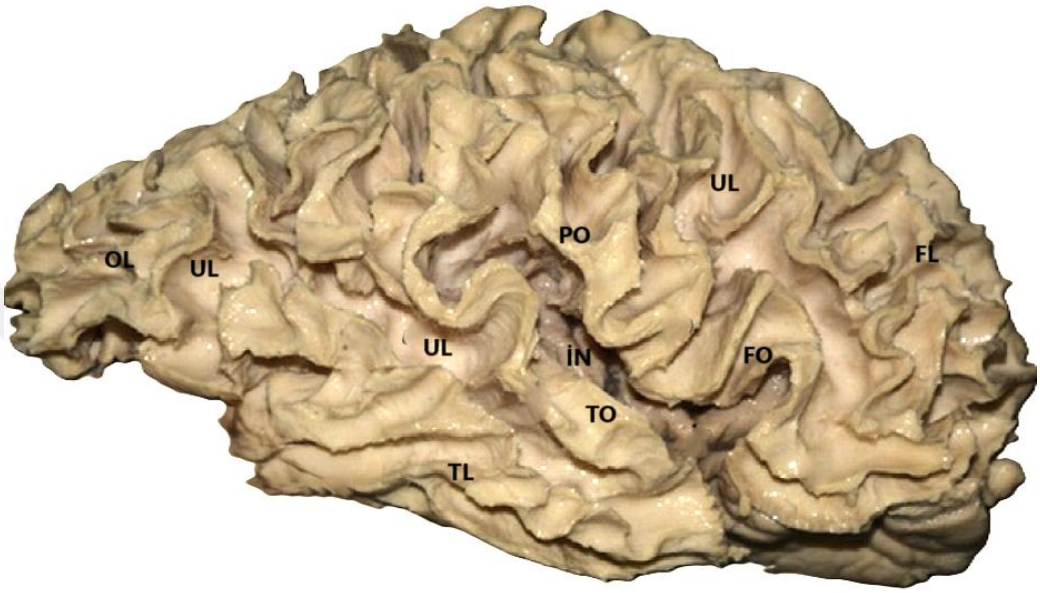
Şekil 34. Gri maddenin dış tabakasının kaldırılmasından sonraki görünüm.

CS: *santral sulkus*; **SPL:** *Superior Parietal Lobül*; **MFG**: *Middle Frontal Gyrus*; **İPL**: *İnferior Parietal Lobül*; **PO**: *Pars Orbitalis (anterior)*; **SF:** *Sylvian Fissur*; **SPL:** *Superior Parietal Lobül*. **MTG:** *Middle Temporal Girus*; **PMA:** *Primer Motor Alan*; **PSA:** *Primer Somatik Duyu Alanı*; **OL:** *Oksipital Lob*; **TP:** *Temporal Pol*; **PO:** *Pars Opekülaris (posterior);* **SMG:** *Supramarjinal Girus*; **AG:** *Angular Girus;* **SF:** Silvian fissür

Ana anatomik yapılar (sulkus, girus, beyin lobları**)** görüldükten sonra 11 numara bistüri kullanarak serebral korteksin dış tabakası kaldırıldı. Resimde (Şekil 34) serebral korteksin dış tabakasını kaldırdıktan sonra gri ve ak madde arasındaki ayrım gösterilmiştir.

Daha sonra, subkortikal U liflerinin diseksiyonuna başlandı. Kısa mesafeli asosiyasyon lifleri olarak görev yapan U-lifleri, serebral korteksin komşu alanları arasındaki bağlantıları temsil eder ve serebral korteksin hemen derinindeki ak maddede bulunur. Serebral sulkusların derinliğindeki korteksi çıkarmak için mikrodisektör kullanıldı. Üst temporal sulkusun derinliğinden başlayarak serebral yüzey gri maddesi çıkarıldı ve diseksiyon kademeli olarak tüm lateral yüzeye doğru genişletildi. İnsular yüzey anatomisini korumak için operkulumun gri maddesi dikkatlice kaldırıldı. Bu, diseksiyonun önemli bir adımıdır çünkü Girusların gövdelerini iskeletleştirerek ak maddeyi kesmek için alan sağlar. "U" lifleri (yani,

bitişik serebral giruslar arasındaki bağlayıcı lifler) bu adımın sonunda gösterildi. (Şekil 35) İki tür ak lif gözlendi: kısa bağlayıcı lifler (U şeklinde lifler) ve komşu girusları birbirine bağlayan uzun bağlayıcı lifler elde edildi. Kısa lifler girusun ak maddesinin yüzeyinde bulunurken, uzun lifler girusun ak maddesinin derinlerinde bulunur.

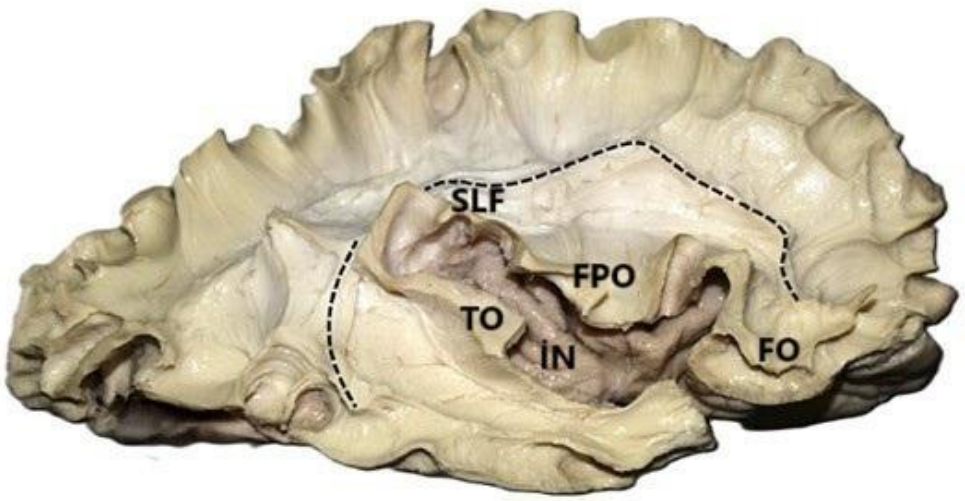


Şekil 35. Dekortikasyon sonrası sağ serebral hemisferin U- lifleri gösterilmiştir.

Operkulumun gri maddesinin çıkarılması İnsular yüzey anatomisinin korunması açısından özel dikkat gerektirir.

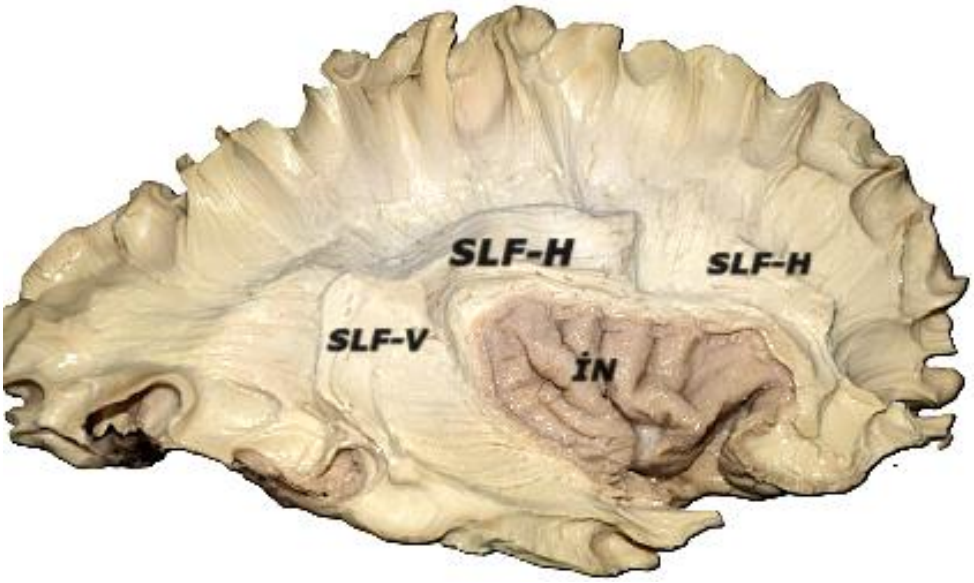
UL: *U-Lifler*; **PO:** *Parietal Operkulum*; **İN:** *İnsula*; **TO:** *Temporal Operkulum*; **FO:** *Frontal Operkulum*; **OL:** *Oksipital Lob*; **TL:** *Temporal Lob*; **FL:** *Frontal Lob*

Aksonların kesilmesinden kaçınılarak, keskin diseksiyon yerine künt diseksiyon kullanıldı. Temporal lobdan başlayarak temporal lob ile paryetal lob arasındaki U lifler kademeli gözlendi. SLF'nin dikey kısmı tanımlandı. Buradan sonra U liflerinin lateral sulkusun üstünden frontal loba doğru devam ettiği saptandı. Bunun sonucunda SLF'nin yatay kısmı açık biçimde görüldü. SLF2 ve SLF3'ün arkuat fasikülün yatay kısmı ile ilişkili olduğu izlendi. SLF 2'nin angular girustan köken aldığı ve middle frontal girus seviyesinde prefrontal kortekse ve lateral frontopolar kortekse kadar uzandığı gözlendi. SLF 3'ün, SLF 2'ye göre daha altta ve lateralde bulunduğu ve supramarjinal girustan inferior frontal girusun opercular parçasına kadar uzandığı belirlendi.



Şekil 36. Süperior Longitudinal Fasikül ("U" lifler ortamdan uzaklaştırıldıktan sonra).
FPO: *frontoparietal operkulum*; **İN**: *insula***; SLF**: *superior longitüdinal fasikülüs*; **TO:** *temporal* operkulum.**FO***: frontoparietal operclum Siyah noktalı çizgi slf ın konfigürasyonunu göstermektedir.*

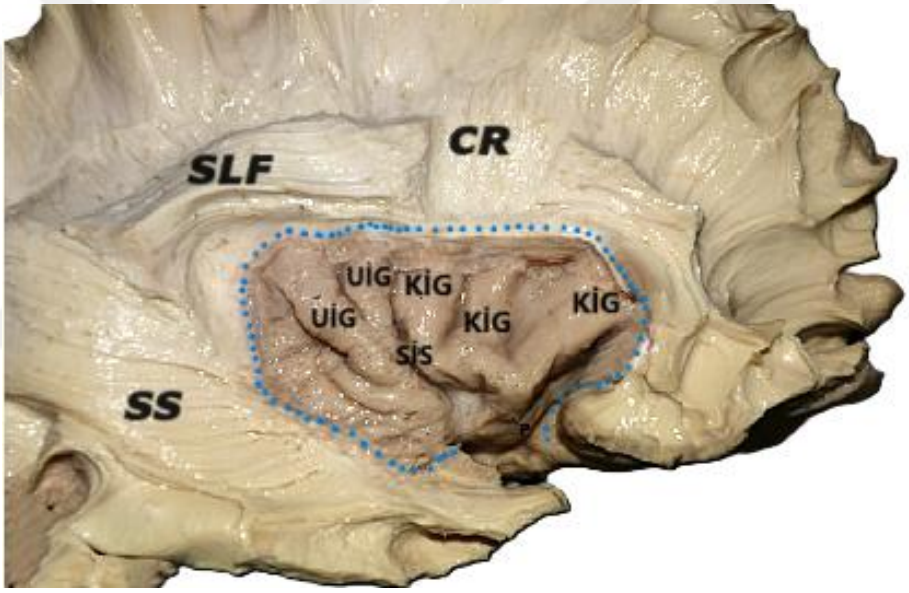
Operkulumun ak maddesi temporal kısımdan itibaren eksize edildiğinde kısa ve uzun girusları, limen, pol ve apeksi ile insula açık biçimde görüldü. (Şekil 36, 37)



Şekil 37. İnsula yüzeyinin ve superior longitudinal fasikülüsün operkulum çıkarıldıktan sonraki görünümü.

İN: *İnsula.* **SLF-H:** *Superior longitudinal fasciculus'un horizontal segmenti*. **SLF-V:** *Superior Longitudinal fasciculus'un vertikal segmenti*.

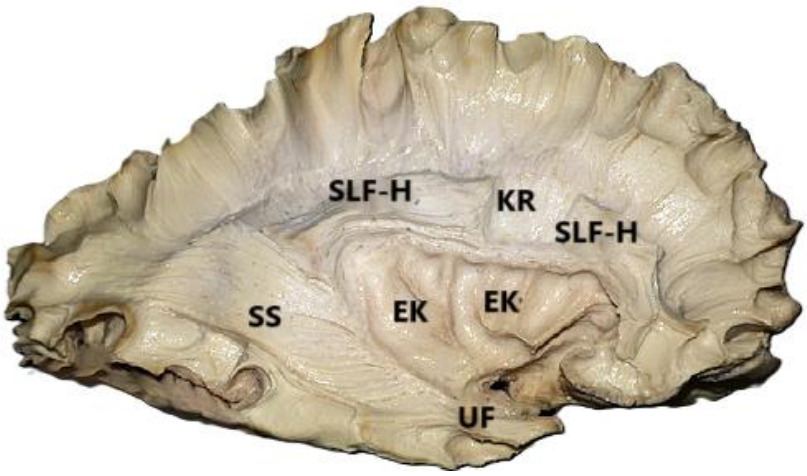
Superior longitudinal fasikülün vertikal kısmının çıkarılması sonucu arka temporal ve oksipital bölgelerde bulunan sagital stratum adı verilen bir grup yatay lifin ortaya çıkarıldı. (Şekil 38) Bu kompakt demet (sagital stratum), oksipitofrontal fasikülüs, anterior komissür, inferior longitudinal fasikül, middle longitudinal fasikül, optik radyasyonlar ve internal kapsülün retrolentiküler kısmının liflerini içerir. SLF'nin horizontal kısmının çıkarılması ile korona radiata lifleri ortaya çıktı. Diseksiyon sırasında, korona radiata ve sagittal stratum aralarında belirgin bir sınır noktası olmaksızın devamlılık içinde olduğu da gözlendi. (Şekil 38)



Şekil 38. Ayrıntılı olarak insular yüzey anatomisi.

Superior longitüdinal fasikülün vertikal kısmı kaldırılmış ve sagittal stratumun tamamı ortaya çıkarılmıştır. İnsula ve operkulum arasındaki sınırı belirleyen periinsular sulkus, mavi noktalarla işaretlenmiştir.

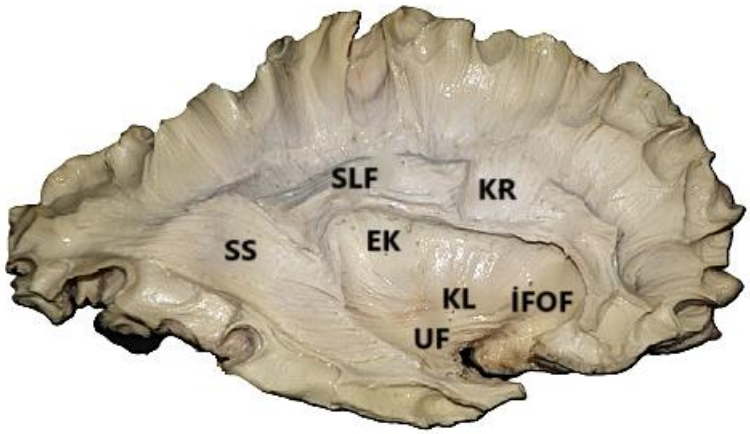
SLF: *Superior Longitudinal Fasikül.* **CR:** *Corona Radiata.* **SS:** *Sagital Striatum.* **SİS:** *Santral İnsular Sulkus;* **UİG:** *Uzun İnsular Girus;* **KİG:** Kısa İnsular Girus.



Şekil 39. İnsula'nın gri maddesi çıkarıldıktan sonra ekstrem kapsül liflerinin görünümü. Limen insula seviyesindeki unsinat fasikülün yüzeysel tabakasına gösterilmiştir.

SLF-H: *superior longitudinal fascicul (yatay).* **KR**: *Corona radiata*. **SS**: *sagital striatum.* **EK:** *ekstrem kapsül*. **UF**: *unsinat fasikül*.

Diseksiyonun bir sonraki adımında, insulanın gri maddesi, extrem kapsülün tamamı görünene kadar soyuldu. Limen insula'nın gri maddesinin çıkarılması, bu seviyedeki ekstrem kapsülün bir parçası olan unsinat fasikülüsün yüzeysel tabakasının küçük bir kısmının görüntülenmesini sağladı. (Şekil 39)



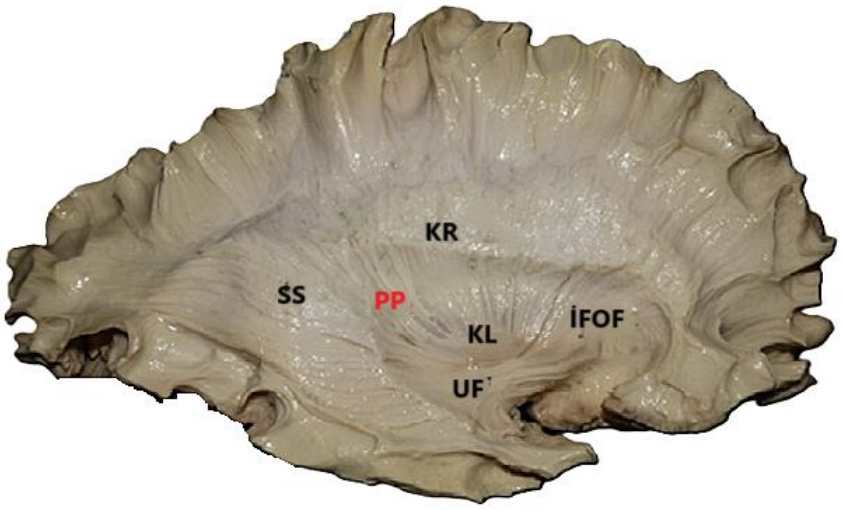
Şekil 40. Ekstrem kapsülün lifleri dikkatli bir şekilde çıkarıldıktan sonra eksternal kapsül, klastrum, unsinat ve oksipitofrontal fasiküllerle birlikte görünümü

SLF: *superior longitudinal fascicul*. **KR**: *Corona radiata*. **SS**: *sagital striatum*. **EK***: eksternal kapsül*. **UF**: *unsinat fasikül*. **Kl**: *klostrom*. ***İFOF****: inferior fronto-oksipital fasikül.*

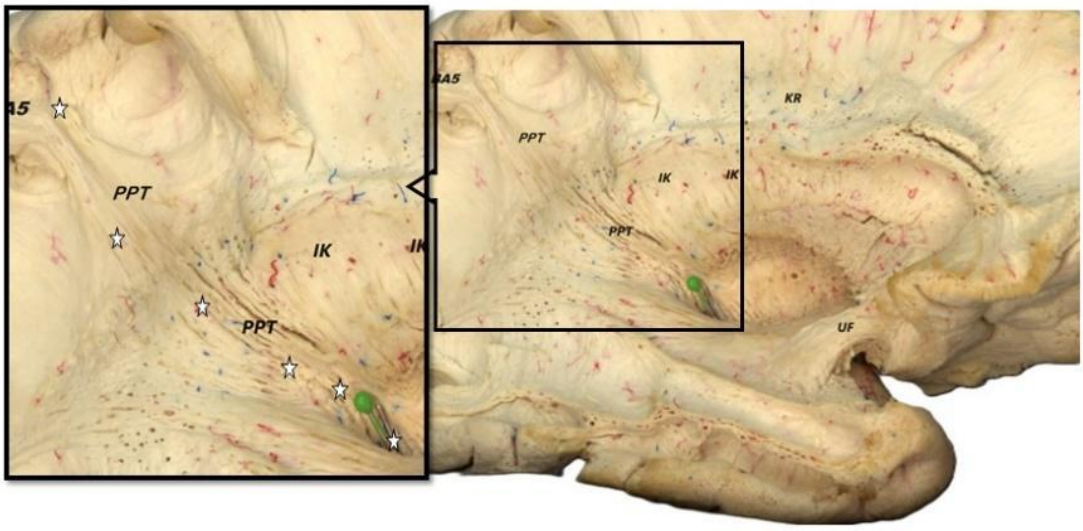
Daha sonra ekstrem kapsülün lifleri dikkatli bir şekilde çıkarıldı ve eksternal kapsulun ventral kısmı ortaya çıktı. İnsular apeks seviyesinde klostrum belirgin hale gelirken limen insula seviyesinde inferior oksipitofrontal (İFOF) ve unsinat fasiküller tasvir edilmiştir. (Şekil 40)

İFOF frontal lobdan başlar, insular bölgenin yüzeyinden medialde klastrum ve inferiorunda unsinat fasikülün üzerinden geçerek posteriorda limen insulayı geçtikten sonra inferior longitudinal fasikülün medialinde sagittal struatum liflerine katılarak oksipital loba uzanır.

Diseksiyonun bir sonraki aşamasında superior longitudinal fasikülüsün tamamı çıkarıldı ve ayrıntılı olarak eksternal kapsül, klostrum ve parieto pontin lifler (kısmi olarak) ortaya konuldu. (Şekil 41, 42)



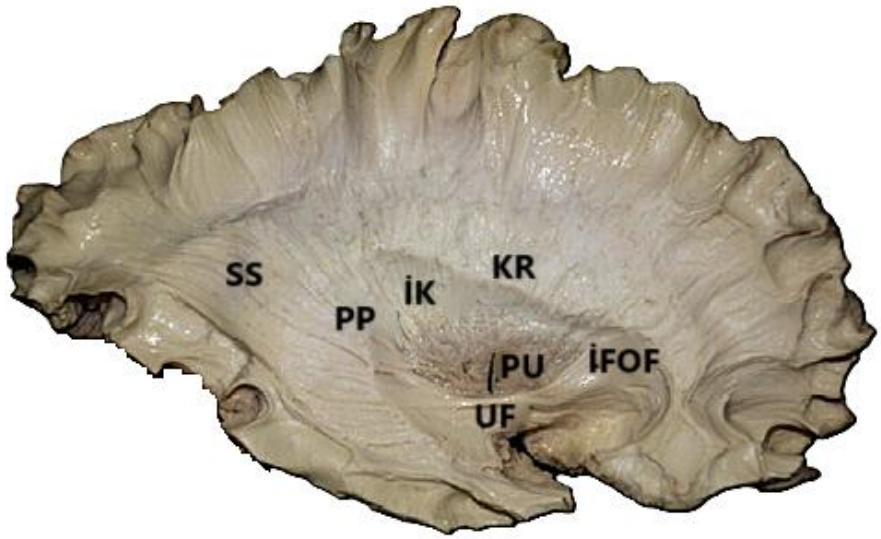
Şekil 41. Superior longitüdinal fasikülü kaldırdıktan sonraki görünüm.
KR: *Corona radiata*. **SS**: sagital striatum. **UF**: *unsinat fasikül.* ***PP****; Parietopontin tarktus.* ***İFOF****: inferior fronto-oksipital fasikül.* **Kl**: *klostrom*



Şekil 42. Slf ve ekstrem kapsül kaldırıldıktan sonra BA5 den lateral pontine kadar uzanan lifler görünümü

UF: *Unsinat Fasikül*; **IK***: İnternal Kapsül*; **PPT:** *Parieto Pontin Trakt* (yıldız ile gösterilmiştir); **BA5:** *Broadmann 5 Alanı*; **KR***: Korona Radiata*. Yeşil başlı iğne*: parieto pontin traktın unsinat fasikül seviyesinden geçtiğini göstermektedir.*

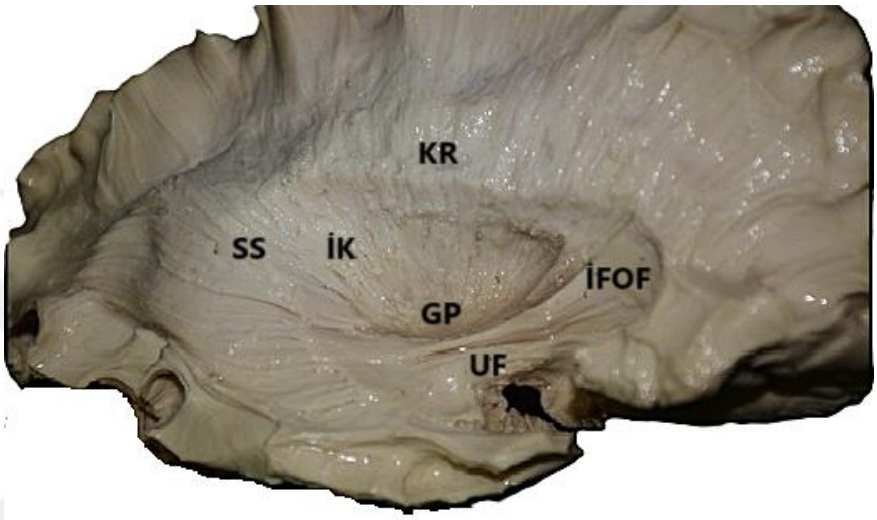
Diseksiyonun diğer aşamasında eksternal kapsül ve klostrum birlikte çıkarıldı ve internal kapsülün periferal kısmı, santralde ise putamen ortaya konuldu. (Şekil 43)



Şekil 43. Klostrum ile eksternal kapsülün çıkarılması sonrası periferde internal kapsül ve ortada putamen görünümü

SS: *sagital striatum*; **PP**: *Parietopontin lif*; **İFOF**: *iferior fronto-oksipital fasikül*; **UF**: *unsinat fasikül*; **KR**: *korona radiata;* **İK**: *internal kapsül.*

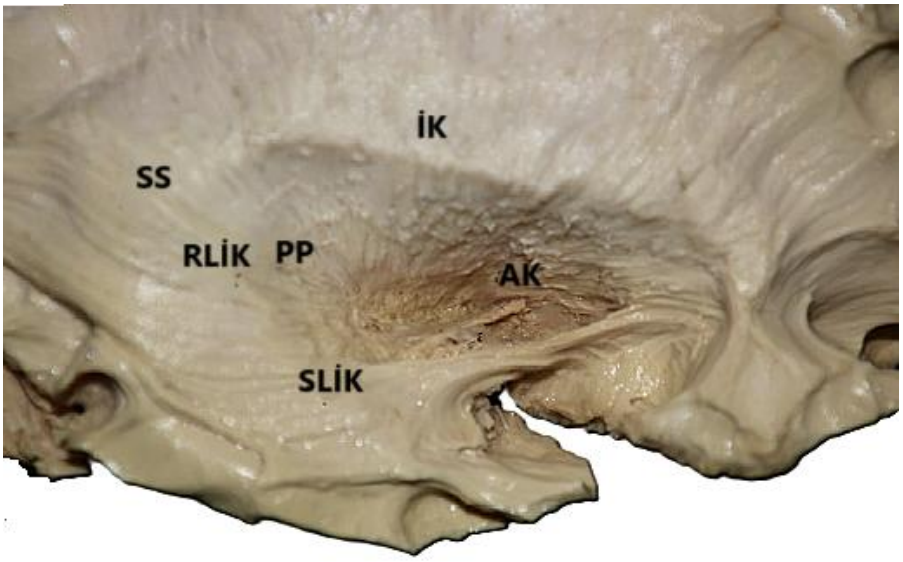
iseksiyonun sonraki aşamasında süngerimsi bir kıvama sahip olan putamen diseke edildi ve globus pallidus'un sert yapısı ortaya konuldu. Bu aşamada lentiform nükleus tamamen açığaçıkarıldı, korona radiatanın internal kapsül ile devamlılığı görüldü. (Şekil 44)



Şekil 44. Globus pallidus'un gri maddesi görünümü.

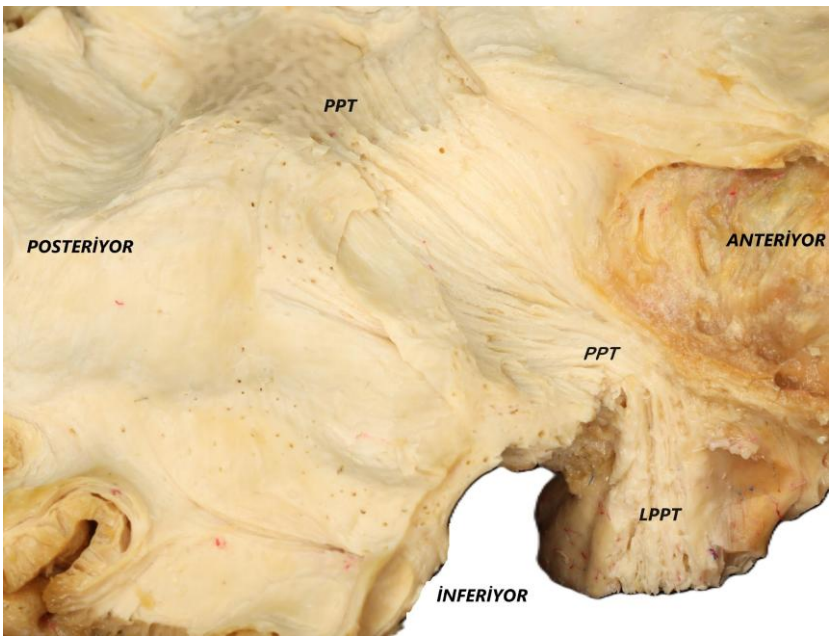
Bu seviyede korona radiatanın internal kapsül ile devamlılığının gösterilmiştir.
SS: *sagital striatum;* **İFOF**: *iferior fronto-oksipital fasikül;* **UF**: *unsinat fasikül;* **KR**: *korona radiata;* **İk**: *internal kapsül*; **GP**: *globus pallidus*

Globus pallidusun geniş diseksiyonu sonrası internal kapsülün tüm kısımları görüldü. Lentiform nükleus çıkarıldıktan sonra ise internal kapsül daha ayrıntılı biçimde izlendi, superior parietal bölgeden (BD5) lateral pontin bölgeye uzanan lifler görüldü. (Şekil 45) Temporal pole ile birlikte UF alındıktan sonra ponsun lateraline giden parietopontin lifler gösterildi. (Şekil 46)



Şekil 45. Lentiform nükleus çıkarıldıktan sonraki görünümü. Sagittal stratum ile internal kapsülün retrolentiküler ve sublentiküler kısımlarını gösterilmiştir.

SS*: sagital striatuml*; **KR**: *Corona radiata;* **İK**: *internal kapsül;* **RLİK**: *internal kapsülün retrolentiküler kısmı;* **SLİK**: *internal kapsülün sublentiküler kısmı*; **PP**: *Parietopontin lifler*. **AK***: anterior komissure*

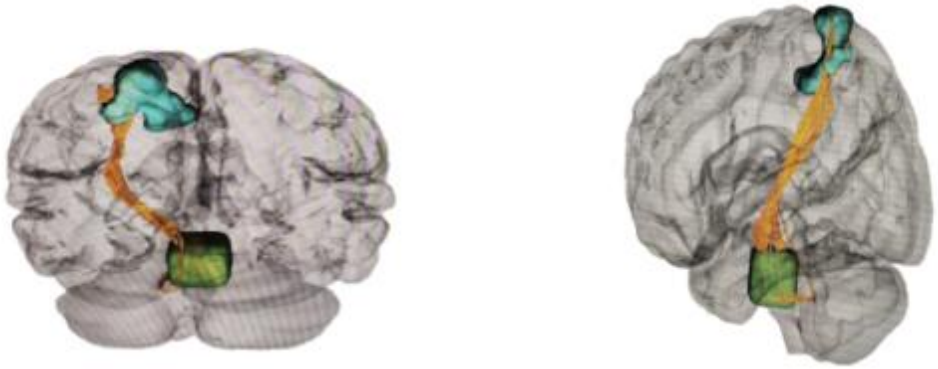


Şekil 46. Temporal pole ve beraberinde unsinat fasikül kaldırdıktan sonraki görünüm. Lateral pontine doğru inan parietopontin lifler gösterilmiştir.

PPT: *parietopontin trakt;* **LPPT**: *lateral parietopontin trakt.*

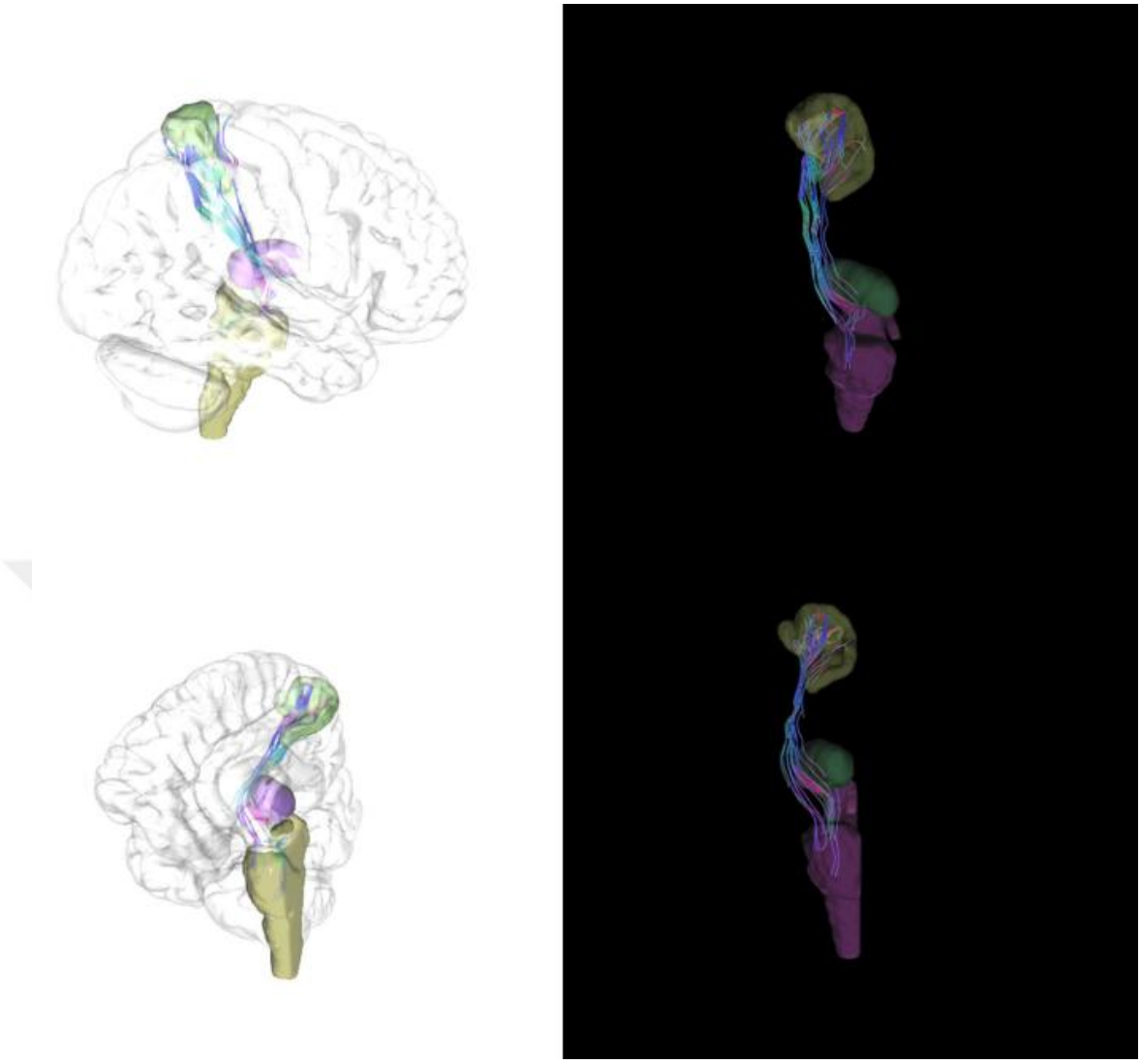
5.3. Radyolojik Bulgular

DTI, beyin ve omurilikteki aksonal yolların üç boyutlu olarak yeniden yapılandırılmasına imkân sağlar ve farklı yönlere uzanan ak cevher yollarını ayırt etmek için renkli haritalar kullanılır.



Şekil 45. Parieto pontin yolun MR traktografisi

Yapılan traktografik görüntülemelerde superior parietal lobülden (BA5) lateral ve ventral pontin bölgesine uzanan lifller gösterildi**.** Serebral hemisferin parietal lobuna ait olan ve superior parietal lobda yer alan Broadman 5 alanından kaynaklanan liflerin SLFnin inferiorundan geçtiği ve korona radiataya eşlik etikten sonra internal kapsülün retrolentiküler kısmının anteriyorundan geçerek mesensefalonuna ulaştığı gösterildi. Mezensefalonun krus cerebri kısmından geçtiği ve son olarak ponsun lateral ve ventral kısmındaki pontin çekirdeklerde sonlandığı gösterildi. (Şekil 45-46)



Şekil 46. BA5 bölgesinden lateral pons ve ventral pons bölgelerine giden lif yolları mr traktografi ile görüntüsü

6. TARTIŞMA

Nöroanatomi biliminin kökenleri Antik Mısır'a kadar uzanmakta olup, Thomas Willis'in beyin ve sinirler üzerine yaptığı öncü çalışmalarla günümüze taşınmıştır. Beyin uzun zamandır bilincin ve düşüncenin merkezi olarak görülüyordu. Broca, Wernicke ve Lichtheim'ın çalışmalarıyla özetlendiği gibi, algı ve bireysel beyin alanları arasında doğrudan bir bağlantı 19. yüzyılda ortaya çıkmıştır. Ramon y Cajal, von Economo, Brodmann ve diğerleri tarafından beynin farklı bölgelerindeki hücre tiplerinin yapısı üzerine yapılan ayrıntılı çalışmalar, merkezi sinir sisteminin anatomisine ilişkin mevcut yaklaşımımızın temelini oluşturmuştur. (66)

1930'lu yıllarda, özellikle Cajal'ın çalışmalarından sonra, beyaz cevher yolları nöroşirurji açısından önem kazanmaya başladı. Serebral beyaz cevher antik çağlarda tüm duyuların, hareketlerin ve aklın merkezi olarak kabul edilirdi. Bu nedenle, beyaz cevherin anatomik, fonksiyonel ve klinik öneminin bilinmesi, nörolojik ve nöropsikiyatrik hastalıkların anlaşılması açısından önemlidir. 17. yüzyılda beyaz cevherin amorf bir kütle olmadığı, aksine belirgin liflerden oluştuğu ortaya çıktı. 19. yüzyılda araştırmacıların makroskobik diseksiyon metodolojisi, belirgin lif demetlerinin tanımlanmasına yol açtı (ilişkilendirme, projeksiyon, komissüral). (58) Kortiko bulbar yolların deneysel dejenerasyonu makak maymunlar ile çalışan Metler ile başlamıştır. Ağırlıklı olarak parietal lobun Broadman 5 alanı ile ilgili traktuslara yoğunlaştığı çalışmasında Metler büyük bir kısmı pontin çekirdeklerde sonlanan orta projeksiyon yolunu tanımlamıştır. (81) Bu yolların görüntülenebilmesi ancak MR teknolojisindeki gelişmeler sonucunda mümkün olmuştur. Günümüzde lif yolları düzlemde 1 mm kesit aralıklı MR incelemesi ile görüntülenebilmektedir. (58)

Traktografi atlaslarında BA5'i pontin çekirdeklerine bağlayan subkortikal demeti postmortem beyin örneklerinde gösterdik. Ayrıca, ortalama DTI'dan elde edilen bölge haritasının, denekler arası değişkenliğe rağmen bireysel beyinlerden traktı saptamada başarılı bir şekilde kullanılabileceğini gözlemledik. Ak maddedeki lif yollarının diseksiyonu, beynin üç boyutlu özelliklerinin gerçek anlamda değerlendirilmesini sağlayan ilk teknikti. Beynin anatomik organizasyonunu göstermek için beynin ak madde yollarının soyulmasını içerir. Bu teknik histolojik

kesitlerin kullanımından daha eskidir. Beynin ak maddesi incelenirken, anatomik özelliklerin mevcut tanımlarının yetersiz olduğu görülmüştür (77) (78). Ak madde insan beyninde karmaşık bir 3D mimari oluşturur. Formalin ile sabitlenmiş beyin spesmenlerin 2D kesitlerinde ak madde çoğunlukla homojen bir şekilde beyaz göründüğünden, bireysel fasiküllerin başlangıçtan sonlanmaya kadar tüm kısımlarını göstermek imkansızdır. Bu gizli üç boyutlu ak madde yapısını ancak lif diseksiyonu ile ortaya çıkarmak mümkündür (79).

Yapılan deneyler, bir bireyin kendi vücudunun bir bölümünü lokalize etmesi istendiğinde SPL'nin sürekli olarak aktive olduğunu göstermektedir. Primatlardaki elektrofizyolojik verilerle uyuşan bu bulgu kompleks postür görünümlerinin oluşturulması için ekstremite pozisyonlarını entegre eder. Dorsal premotor kortekse yoğun bir projeksiyonla, harekete yönelik parieto frontal ağa katılır. SPL'nin ekstremite hareketlerinin konumsal yönlerini vücut merkezli bir koordinat sistemiyle kodladığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, primatlarda elde edilen veriler, insanlarda görülen baskın hemisferin tutarlı etkisini kolayca açıklayamamaktadır. Bütün olarak ele alındığında bu veriler, insanlarda sol SPL'nin vücudun mekansal konfigürasyonunu işleyerek frontal premotor korteklere eylemleri gerçekleştirmek için uygun bilgiyi sağladığını göstermektedir (80). Superior parietal lobül, parietal lobun postero-medial kısmını kaplar ve algı olarak üst düzey bilişsel işlevler amacıyla farklı bilgi kaynaklarının (görsel, motor ve somatosensoriyel beyin bölgelerinden) entegrasyonunda önemli bir rol oynar (81). SPL'nin arka kısmı esas olarak gerçek hareket algılama ve uzamsal navigasyon için uygun görsel hareketin analizine adanmışken, ön kısımlar daha çok görsel sinyallerin analizi ve çevre ile ekstremite etkileşiminin (ulaşma-kavrama hareketleri, tırmanma, lokomosyon) planlanması ve yürütülmesi ile ilgilidir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, insan SPL'sinin kaudal kısmının farklı anatomik yapı ve işlevsel özelliklere sahip çeşitli alanlar içerdiğini göstermiştir. SPL üzerinde yapılan insan araştırmaları, on yıllık hayvan araştırmalarıyla bu beyin bölgesinde karakterize edilen anatomik verilerle uyuşmamaktadır (82). BA5 alanı uyarıldığında hareket veya inhibisyon yapmadığı gibi topikal lokalizasyonda da rol oynamaz, fakat BA5'in uyarılması fonksiyonel bağlantılarından dolayı Broadman 1, 2, 4 ve 7 alanlarını uyarabilir (83). SPL'yi çevreleyen geçiş yollarının tam olarak anlaşılması, cerrahların ilgili ak cevher yollarını

koruyarak nörolojik defisit ihtimalinin en aza indirildiği bir cerrahi düzlem oluşturmasına yardım eder. Örneğin, SLF'nin (II) angular girus içindeki posterolateral parietal korteksten kaynaklandığını ve dorsolateral prefrontal kortekste sonlanmadan önce SPL'nin lateralinden intraparietal sulkusa doğru ilerlediği gösterilmiştir. İntraparietal sulkusa ilişkin bu anatomik bilgi ameliyat sonrası görsel-uzamsal defisitleri azaltmak amacıyla SLF (II) yolunu koruyan güvenli bir cerrahi koridor oluşturmada kullanılabilir. (8).

Son yüzyılda, ak madde yollarını görselleştirmek için bir dizi histolojik teknik ve yöntem (örneğin, miyelin boyama, radyoaktif olarak işaretlenmiş proteinler, horseradish peroksidaz, floresan boyalar) geliştirilmiştir. Ancak bu mikroskobik yöntemler korelatif anatomik, MR görüntüleme ve klinik çalışmalar için uygun değildir. Ak maddenin DTI-MRG'si, in vivo olarak lokal lif yönelimini ölçmek için kullanılır ve yollar, en büyük su difüzyonunun lokal yönlerii izlenerek belirlenir. Bununla birlikte bazı ak madde yollarının cerrahi ve kesitsel MR anatomileri hâlâ iyi bilinmemektedir. Histolojik çalışmaların sağladığı değerli ve kesin bilgilere rağmen, traktların diseke edilmiş anatomisinin görselleştirilmesine ihtiyaç vardır. Traktların bulundukları bölgelerdeki çeşitli yapıların bağlantılarına ilişkin topografik bilgi sağladıklarından diseksiyonlar çok değerlidir. (84). Son yirmi yılda DTI traktografisinin hızlı gelişimi, canlı insan beynindeki subkortikal anatominin görselleştirilmesine izin vermiştir. Buna ek olarak, subkortikal yapıların intraoperatif haritalanması, her bir traktın fonksiyonel rolünün incelenmesine de olanak sağlamıştır.

Ancak son yirmi yılda ak madde anatomisini analiz eden çok sayıda rapora rağmen, ana lif demetlerinin tam 3D geometrisi ve kortikal sonlanmaları yeterince tanımlanmamıştır. Bu anlamda, DTI traktografisi de demetlerin kortikal sonlanmasını tam olarak tanımlayamamaktadır (10). Beyin içindeki aksonların yönü difüzyon MRG (DMRG) aracılığıyla noninvaziv olarak izlenebilir. Bu teknik, ak maddenin anatomisini ve farklı kortikal bölgeler arasındaki bağlantıların incelenmesine olanak sağlar. DMRG bulgularına dayanarak potansiyel yeni yolların tanımlanması anatomik diseksiyon ile de doğrulanabilmiştir (85). Yine DSI tabanlı lif traktografisi kullanılarak kortikal SPL ve ana ak cevher yolu ilişkilerinin bilgisi (SLF, MLF, İLF, İFOF, VOF) anatomik diseksiyon ile doğrulanmış ve yayınlanmıştır (8).

Ak madde diseksiyonunun sadece anatomik çalışmalar için değil, aynı zamanda derin yerleşimli intraaksiyel lezyonlara nöroşirürjikal yaklaşımları simüle etmek için de yararlı olduğu gösterilmiştir. Günümüzde en yaygın anatomik ak cevher diseksiyon teknikleri, Klingler (1935) tarafından tanımlanan ilk tekniğin modifikasyonlarıdır (85). Beynin iç yapılarını göstermek için yapılan ak madde lif diseksiyonu, beynin üç boyutlu özelliklerinin gerçek anlamda değerlendirilmesini sağlayan ilk teknikti. Histolojik kesitlerin kullanımından daha eski olan bu teknik, anatomik organizasyonunu göstermek için beynin ak madde yollarının soyulmasını içerir. Klingler'in koruma tekniği, beyin dokusunu hazırladığı ve diseksiyonu kolaylaştırdığı için lif diseksiyonu yapma sürecinde önemli bir adımdır. Klingler'in tekniğindeki dondurma ve çözme işlemi, sinir lifleri arasında buz kristallerinin oluşmasına ve beynin ak maddesinin kompakt yapısının gevşemesine izin vermektedir. Formalin solüsyonu miyelinli sinir liflerine çok az nüfuz eder ve lifler arasında kalır. Formalin çözeltisi donarken genişlediğinde, sinir liflerini ayırır ve insan beynindeki ak madde demetlerinin diseksiyonunu kolaylaştırır. Lif diseksiyonu insan beyninin 3 boyutlu özelliklerinin görselleştirilmesine olanak tanısa da pratikte bazı sınırlamaları vardır. İlk olarak, lif demetlerinin ana yönü diseksiyonda yakından takip edilmezse, lifler kolayca kırılır ve numunenin yüzeyine yapay bir görünüm verir. Fiber diseksiyonunda en büyük zorluğu oluşturan bir başka önemli nokta da kaçınılmaz ve her yerde bulunan fiber geçişleriyle ilgilidir. Lif geçişleri ak madde organizasyonunun ayrılmaz bir özelliği olduğundan, bunlarla başa çıkmak için en iyi strateji, bunları olabildiğince açık bir şekilde göstermektir. Belki de görsel olarak en hoş sonuçlar, bir traktın anatomik seyri boyunca büyük bölümlerinin manuel olarak bölünmesi ve kesilmesiyle elde edilir (79). Beyin cerrahisi pratiğinde beynin ak maddesini oluşturan ak madde yollarının anatomisini ve bu yolların nasıl korunacağını bilmek önemlidir. Ak cevher yollarının anatomisi ve fonksiyonu ameliyat öncesi ve sonrası dönemdeki nörolojik defisitlerin açıklanmasında önemlidir (77).

Ak cevher anatomisini öğrenmek için kullanılan diğer tekniklerin hiçbiri, lif demetlerinin 3 boyutlu ilişkilerinin gerçek anlamda değerlendirilmesini sağlayan lif diseksiyon laboratuvar eğitiminin yerini tutamaz. (10). Konuya ilişkin literatürün değerlendirmesi serebral korteksi subkortikal bölgeye bağlayan projeksiyon liflerinin mikrocerrahi anatomisinin fiber yapısını anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç

olduğu görülmektedir. (78)

Serebral korteksin Broadman alanlarının beyin sapı ile olan ak madde bağlantılarının mikrocerrahi anatomisi çalışılmamıştır. Bu Çalışmada serebral korteksin SPL bölgesine ait olan BA5 alanının subkortikal projeksiyon liflerinin diğer çalışmalardan farklı olark lateral pontin bölgede sonlandığı gösterilmiştir.

Brodman'ın sayısal sistemi beynin kortikal bölgelerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır ve son zamanlarda traktografi farklı bölgeleri birbirine bağlayan ak maddenin bir atlasını oluşturmak için kullanılmıştır (78). BA5 alanı ile ilgili ak madde traktuslarına bakıldığında büyük bir kısmının pontin nükleuslarda ve diğer kısmı ise piramidal bölgeyi geçtikten sonra spinal trigeminal nükleusta sonlandığı görülmüştür. Diğer parietopontin lifler uzun bir yol izleyerek substantia nigra (SN), olivary nükleus ve tegmentumda sonlanmaktadır. (83)

Önceki çalışmalar serebral ak madde ve lif yolu anatomisi hakkındaki görüşlerimiz geliştirmiş olsa da bu çalışma, spesifik Broadman alanı (BA5) ile subkortikal bölge arasındaki bağlantıya odaklanan ilk anatomik çalışmadır. BA5 ile pons arasındaki bağlantı, bu bağlantının proprioseptif duyuda önemli rol aldığı hipotezini doğurmaktadır. Bu bağlantının beyin fonksiyonları nasıl etkilediği açısından ek araştırmalar gerekmektedir. Bu nedenle, fiber diseksiyon tekniği kullanılarak yapılan ayrıntılı çalışmalar, bilgimizi artıracak ve mikrocerrahi tekniklerini geliştirecek birçok ilginç bulguyu ortaya çıkarma potansiyeline sahiptir. Subkortikal projeksiyonel lif sistemlerinden birini göstermeye yönelik katkımız, anlayışımızı geliştirebilir ve yapıların karmaşık anatomik özelliklerinin yanlış yorumlanmasını önleyebilir.

Gliomalar hem subkortikal hem de kortikal yapıları etkiledikleri için beyin gliomlarının cerrahi tedavisinde ak cevher yollarının anatomisinin bilinmesi çok önemlidir. Gliomaların yayılması ak maddedeki lifler boyunca olur. Beyin ak cevheri lif diseksiyonunun yeniden gündeme getirilmesi ve özellikle intrinsik beyin tümörleri, arteriyovenöz malformasyonlar veya epilepsi hastalarının tedavisine hazırlık olarak nöroşirürji eğitimine dahil edilmesi düşünülmelidir (77).

7. SONUÇ

Ak madde yollarının diseksiyonu, detaylı nöroanatomik bilgi elde etmek için çok değerli bir yöntemdir. Fiber diseksiyonu, modern nörogörüntüleme, traktografi teknikleri ve fonksiyonel çalışmalarla birlikte beynin kompleks intrinsik mimarisi hakkındaki bilgi ve anlayışımızı zenginleştirebilir. Ayrıca cerrahi yaklaşımların iyileştirilmesine ve hatta yeni yaklaşımların uygulanmasına katkıda bulunur.

SPL, dil işleme, yazma, çalışma belleği, dikkat ve görsel-uzaysal ve görsel-motor entegrasyon dahil olmak üzere çeşitli görevlerde rol oynayan önemli bir bölgedir ve bu işlevlerle ilgili olan serebral ağlar, kompleks ak madde yollarını içerir. Çalışmamızda BA5 alanından lateral ponsa uzanan liflerin gösterilmesi, bu bağlantıların fonksiyonel açıdan daha detaylı incelenmesi gerektiğini göstermektedir. Bildiğimiz kadarıyla bu bağlantı yolu ilk kez anatomik diseksiyon kullanılarak tarafımızca tanımlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Janelle F, Iorio-Morin C, D'amour S, Fortin D. Superior longitudinal fasciculus: a review of the anatomical descriptions with functional correlates. Frontiers in Neurology. 2022; pmid794618

2. De Benedictis A, Duffau H. Brain hodotopy: from esoteric concept to practical surgical applications. Neurosurgery. 2011; 68(6):1709-1723.

3. Whitlock JR. Posterior parietal cortex. Current biology. 2017; 27(14):691-695.

4. Scheperjans F, Hermann K, Eickhoff SB, Amunts K, Schleicher A, Zilles K. Observer-independent cytoarchitectonic mapping of the human superior parietal cortex. Cerebral Cortex. 2008; 18(4):846-867.

5. Scheperjans F, Grefkes C, Palomero-Gallagher N, Schleicher A, Zilles K. Subdivisions of human parietal area 5 revealed by quantitative receptor autoradiography: a parietal region between motor, somatosensory, and cingulate cortical areas. Neuroimage. 2005; 25(3): 975-992.

6. Igelström KM, Graziano MS. The inferior parietal lobule and temporoparietal junction: a network perspective. Neuropsychologia. 2017 Oct 1 and 105:70-83.
Igelström KM, Graziano MS. The inferior parietal lobule and temporoparietal junction: a network perspective. Neuropsychologia. 2017; 105:70-83.

7. Sack AT. Parietal cortex and spatial cognition. Behavioural brain research. 2009; 202(2):153-161.

8. Husain M, Nachev P. Space and the parietal cortex. Trends in cognitive sciences. 2007;11(1):30-36.

9. Seelke AM, Padberg JJ, Disbrow E, Purnell SM, Recanzone G, Krubitzer L. Topographic maps within Brodmann's area 5 of macaque monkeys. Cerebral Cortex. 2012; 22(8):1834-1850.

10. Lin YH, Dadario NB, Hormovas J, Young IM, Briggs RG, MacKenzie AE, Palejwala AH, Fonseka RD, Kim SJ, Tanglay O, Fletcher LR. Anatomy and white matter connections of the superior parietal lobule. Operative Neurosurgery. 2021; 21(3): 199-214.

11. Caspers S, Zilles K. Microarchitecture and connectivity of the parietal lobe. Handbook of clinical neurology. 2018; 151:53-72.

12. Martino J, De Witt Hamer PC, Vergani F, Brogna C, de Lucas EM, Vázquez-Barquero A, García-Porrero JA, Duffau H. Cortex-sparing fiber dissection: an improved method for the study of white matter anatomy in the human brain. Journal of anatomy. 2011;219(4): 531-541
13. Oliveira AS, Fernandes JV, Figueiredo VL, Leonel LC, Bauman MM, Link MJ, Peris-Celda M. 3D Models as a Source for Neuroanatomy Education: A Stepwise White Matter Dissection Using 3D Images and Photogrammetry Scans. Brain Topography. 2024; 1-4.
14. Catani M, De Schotten MT. Atlas of human brain connections. Oxford University Press. 2012; 4-11
15. Tamminga CA. The human brain. American Journal of Psychiatry. 2004;161(7): p1169.
16. Gökalp E, Comert A, Gurses ME, Salman N, Terzi M, Zaimoglu M, Tubbs S, Bozkurt M. Defining the Temporal and Occipital Lobes: Cadaveric Study with Application to Neurosurgery of the Inferior Brain. World Neurosurgery. 2024; 183:540-548.
17. Vachha BA, Massoud TF, Huang SY. Anatomy of the Cerebral Cortex, Lobes, and Cerebellum. Neuroimaging Clin. N. Am. 2022;32: 463-473.
18. Bradley RJ, Harris RA, Jenner P, Engel Jr J, Schwartzkroin PA, Moshé SL, Lowenstein DH. Brain Plasticity and Epilepsy: A Tribute to Frank Morrell. Academic Press; 2000; 29-30
19. Dziedzic TA, Bala A, Marchel A. Cortical and subcortical anatomy of the parietal lobe from the neurosurgical perspective. Frontiers in Neurology. 2021; 12:727055.
20. Patel A, Biso GMNR, Fowler JB. Neuroanatomy, Temporal Lobe. [Updated 2023 Jul 24]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519512/
21. Baker CM, Burks JD, Briggs RG, Conner AK, Glenn CA, Sali G, McCoy TM, Battiste JD, O'Donoghue DL, Sughrue ME. A connectomic atlas of the human cerebrum—Chapter 1: Introduction, methods, and significance. Operative Neurosurgery. 2018;15: 1-9.

22. Zachlod D, Kedo O, Amunts K. Anatomy of the temporal lobe: From macro to micro. Handbook of Clinical Neurology. 2022; 187:17-51.
23.Rehman A, Al Khalili Y. Neuroanatomy, Occipital Lobe. [Updated 2023 Jul 24]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan- Available from: https://b151d261525caba499e7105a46a9e7576082513d.vetisonline.com/books/NBK544320/
24. Palejwala AH, O'Connor KP, Pelargos P, Briggs RG, Milton CK, Conner AK, Milligan TM, O'Donoghue DL, Glenn CA, Sughrue ME. Anatomy and white matter connections of the lateral occipital cortex. Surgical and Radiologic Anatomy. 2020; 42:315-328.
25. Leon Nehmad OD. The end in sight: A look at the occipital lobe. Clinical Eye and Vision Care. 1998;10(3):125-133.
26. Amunts K. Brodmann Areas. Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science. 2021:821-824.
27. Damiani D, Nascimento AM, Pereira LK. Cortical brain functions–The Brodmann legacy in the 21st Century. Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia: Brazilian Neurosurgery. 2020; 39(04):261-270.
28. Amunts K, Zilles K. Architectonic mapping of the human brain beyond Brodmann. Neuron. 2015; 88(6):1086-1107.
29. Zilles K. Brodmann: a pioneer of human brain mapping—his impact on concepts of cortical organization. Brain. 2018;141(11):3262-3278.
30. Amunts K, Schleicher A, Zilles K. Cytoarchitecture of the cerebral cortex—more than localization. Neuroimage. 2007; 37(4):1061-1065.
31. Bruner E. A network approach to the topological organization of the Brodmann map. The Anatomical Record. 2022 and 305(12):3504-3515.
32. Gamberini M, Passarelli L, Filippini M, Fattori P, Galletti C. Vision for action: thalamic and cortical inputs to the macaque superior parietal lobule. Brain Structure and Function. 2021; 226(9):2951-2966.
33. Berlucchi G, Vallar G. The history of the neurophysiology and neurology of the parietal lobe. Handbook of clinical neurology. 2018; 151:3-30.

34. Shah A, Goel A, Jhawar SS, Patil A, Rangnekar R, Goel A. Neural circuitry: architecture and function—a fiber dissection study. World Neurosurgery. 2019; 125:620-638.

35. Çavdar S, Aydın AE, Algın O, Aydın S. The complex structure of the anterior white commissure of the human brain: Fiber dissection and tractography study. World Neurosurgery. 2021; 147:111-117.

36. Yoshino M, Saito K, Kawasaki K, Horiike T, Shinmyo Y, Kawasaki H. The origin and development of subcortical U-fibers in gyrencephalic ferrets. Molecular Brain. 2020; 13:1-9.

37. Cervos-Navarro J, Lafuente JV, Gutierrez E, Kannuki S. Subcortical U-fibers layer preservation in brain edema. InBrain Edema IX: Proceedings of the Ninth International Symposium Tokyo, 1993 1994; 151-154.

38. Wang X, Pathak S, Stefaneanu L, Yeh FC, Li S, Fernandez-Miranda JC. Subcomponents and connectivity of the superior longitudinal fasciculus in the human brain. Brain Structure and Function. 2016; 221:2075-2092.

39. Makris N, Preti MG, Wassermann D, Rathi Y, Papadimitriou GM, Yergatian C, Dickerson BC, Shenton ME, Kubicki M. Human middle longitudinal fascicle: segregation and behavioral-clinical implications of two distinct fiber connections linking temporal pole and superior temporal gyrus with the angular gyrus or superior parietal lobule using multi-tensor tractography. Brain imaging and behavior. 2013; 7:335-352.

40. Latini F, Trevisi G, Fahlström M, Jemstedt M, Alberius Munkhammar Å, Zetterling M, Hesselager G, Ryttlefors M. New insights into the anatomy, connectivity and clinical implications of the middle longitudinal fasciculus. Frontiers in neuroanatomy. 2021;14:610324.

41. Ashtari M. Anatomy and functional role of the inferior longitudinal fasciculus: a search that has just begun. Developmental Medicine & Child Neurology. 2012; 54(1):6-7

42. Latini F, Mårtensson J, Larsson EM, Fredrikson M, Åhs F, Hjortberg M, Aldskogius H, Ryttlefors M. Segmentation of the inferior longitudinal fasciculus in the human brain: A white matter dissection and diffusion tensor tractography study. Brain research. 2017; 102-115.

43. Conner AK, Briggs RG, Sali G, Rahimi M, Baker CM, Burks JD, Glenn CA, Battiste JD, Sughrue ME. A connectomic atlas of the human cerebrum—chapter 13: tractographic description of the inferior fronto-occipital fasciculus. Operative Neurosurgery. 2018; 436-443
44. Yeatman JD, Weiner KS, Pestilli F, Rokem A, Mezer A, Wandell BA. The vertical occipital fasciculus: a century of controversy resolved by in vivo measurements. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014; 111(48):5214-5223.
45. Briggs RG, Conner AK, Sali G, Rahimi M, Baker CM, Burks JD, Glenn CA, Battiste JD, Sughrue ME. A Connectomic Atlas of the Human Cerebrum—Chapter 16: Tractographic Description of the Vertical Occipital Fasciculus. Operative Neurosurgery. 2018;15: 456-461
46. Maldonado IL, de Matos VP, Cuesta TA, Herbet G, Destrieux C. The human cingulum: from the limbic tract to the connectionist paradigm. Neuropsychologia. 2020;144:107487.
47. Bubb EJ, Metzler-Baddeley C, Aggleton JP. The cingulum bundle: Anatomy, function, and dysfunction. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2018; 92:104-127.
48. Wysiadecki G, Clarke E, Polguj M, Haładaj R, Żytkowski A, Topol M. Klingler's method of brain dissection: review of the technique including its usefulness in practical neuroanatomy teaching, neurosurgery and neuroimaging. Folia morphologica. 2019; 78(3):445-466
49. Gross CG. Brain, vision, memory: Tales in the history of neuroscience. MIT Press 1999; 5-20
50. Junior LS, Lemos NB, De Lima LF, Dias AJ, Neto OD, De Lira CC, Diniz AM, Rabelo NN, Barroso LK, Valença MM, de Azevedo Filho HR. The anatomy of the brain–learned over the centuries. Surgical Neurology International. 2021; 12:319
51. Ribas GC. The cerebral sulci and gyri. Neurosurgical focus. 2010; 28(2):E2.
52. Kamp MA, Tahsim-Oglou Y, Steiger HJ, Hänggi D. Traumatic brain injuries in the ancient Egypt: insights from the Edwin Smith Papyrus. Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery. 2012; 73(04):230-237.

53. Carlos AF, Poloni TE, Medici V, Chikhladze M, Guaita A, Ceroni M. From brain collections to modern brain banks: A historical perspective. Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions. 2019; 5:52-60.
54. Boer L, Radziun AB, Oostra RJ. Frederik Ruysch (1638–1731): Historical perspective and contemporary analysis of his teratological legacy. American Journal of Medical Genetics Part A. 2017; 173(1):16-41.
55.Simpson D. Phrenology and the neurosciences: contributions of FJ Gall and JG Spurzheim. ANZ journal of surgery. 2005; 75(6):475-482.
56. Kobayashi S, Matsushima T, Sakai T, Matsushima K, Bertalanffy H, Rutka JT. Evolution of microneurosurgical anatomy with special reference to the history of anatomy, surgical anatomy, and microsurgery: historical overview. Neurosurgical Review. 2022; 1-9
57. Aboud E, Al-Mefty O, Yaşargil MG. New laboratory model for neurosurgical training that simulates live surgery. Journal of neurosurgery. 2002; 97(6):1367-1372.
58. Schmahmann JD, Pandya DN. Cerebral white matter—historical evolution of facts and notions concerning the organization of the fiber pathways of the brain. Journal of the History of the Neurosciences. 2007; 16(3):237-267.
59. Agrawal A, Kapfhammer JP, Kress A, Wichers H, Deep A, Feindel W, Sonntag VK, Spetzler RF, Preul MC. Josef Klingler's models of white matter tracts: influences on neuroanatomy, neurosurgery, and neuroimaging. Neurosurgery. 2011; 69(2):238-254.
60. Panchbhai AS. Wilhelm Conrad Röntgen and the discovery of X-rays: Revisited after centennial. Journal of Indian academy of oral medicine and radiology. 2015;27(1):90-95.
61. Hoeffner EG, Mukherji SK, Srinivasan A, Quint DJ. Neuroradiology back to the future: brain imaging. American Journal of Neuroradiology. 2012; 33(1):5-11.
62. Dandy WE. Ventriculography following the injection of air into the cerebral ventricles. The American Journal of Roentgenology. 1919; 6:26-36.
63. Nov, Castillo M. History and evolution of brain tumor imaging: insights through radiology. Radiology. 2014; 273(2S):111-25.
64. Filler A. Magnetic resonance neurography and diffusion tensor imaging: origins, history, and clinical impact of the first 50 000 cases with an assessment of efficacy

and utility in a prospective 5000-patient study group. Neurosurgery. 2009; 65(4):29-43.

65. Yeager S. Neuroradiology of the Brain. Critical Care Nursing Clinics. 2016 Mar 1;28(1):37-66.

66. Lerch JP, Van Der Kouwe AJ, Raznahan A, Paus T, Johansen-Berg H, Miller KL, Smith SM, Fischl B, Sotiropoulos SN. Studying neuroanatomy using MRI. Nature neuroscience. 2017; 20(3):314-326.

67. Deoni SC, Peters TM, Rutt BK. High-resolution T1 and T2 mapping of the brain in a clinically acceptable time with DESPOT1 and DESPOT2. Magnetic Resonance in Medicine: An Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine. 2005;53: 237-241.

68. Filippi M, Rocca MA, Bastianello S, Comi G, Gallo P, Gallucci M, Ghezzi A, Marrosu MG, Minonzio G, Pantano P, Pozzilli C. Guidelines from The Italian Neurological and Neuroradiological Societies for the use of magnetic resonance imaging in daily life clinical practice of multiple sclerosis patients. Neurological sciences. 2013; 34:2085-2093.

69. Yamada K, Sakai K, Akazawa K, Yuen S, Nishimura T. MR tractography: a review of its clinical applications. Magnetic resonance in medical sciences. 2009; 8(4):165-174.

70. Viallon M, Cuvinciuc V, Delattre B, Merlini L, Barnaure-Nachbar I, Toso-Patel S, Becker M, Lovblad KO, Haller S. State-of-the-art MRI techniques in neuroradiology: principles, pitfalls, and clinical applications. Neuroradiology. 2015; 57:441-467.

71. Oliveira AS, Fernandes JV, Figueiredo VL, Leonel LC, Bauman MM, Link MJ, Peris-Celda M. 3D Models as a Source for Neuroanatomy Education: A Stepwise White Matter Dissection Using 3D Images and Photogrammetry Scans. Brain Topography. 2024; 16:1-4.

72. Nardi L, Schmeisser MJ, Schumann S. Fixation and staining methods for macroscopical investigation of the brain. Frontiers in Neuroanatomy. 2023; 17:1200196.

73. Latini F, Hjortberg M, Aldskogius H, Ryttlefors M. The use of a cerebral perfusion and immersion–fixation process for subsequent white matter dissection. Journal of neuroscience methods. 2015; 253:161-169.
74. McFadden WC, Walsh H, Richter F, Soudant C, Bryce CH, Hof PR, Fowkes M, Crary JF, McKenzie AT. Perfusion fixation in brain banking: a systematic review. Acta neuropathologica communications. 2019; 7:1-26.
75. Türe U, Yaşargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. Neurosurgery. 2000; 47(2):417-427.
76. Lawes IN, Barrick TR, Murugam V, Spierings N, Evans DR, Song M, Clark CA. Atlas-based segmentation of white matter tracts of the human brain using diffusion tensor tractography and comparison with classical dissection. Neuroimage. 2008;39(1):62-79.
77. Arnts H, Kleinnijenhuis M, Kooloos JG, Schepens-Franke AN, van Cappellen van Walsum AM. Combining fiber dissection, plastination, and tractography for neuroanatomical education: Revealing the cerebellar nuclei and their white matter connections. Anatomical sciences education. 2014; 47-55.
78. Felician O, Romaiguère P, Anton JL, Nazarian B, Roth M, Poncet M, Roll JP. The role of human left superior parietal lobule in body part localization. Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society; 749-751.
79. Passarelli L, Gamberini M, Fattori P. The superior parietal lobule of primates: a sensory-motor hub for interaction with the environment. Journal of integrative neuroscience. 2021; 20(1):157-171.
80. Sulpizio V, Fattori P, Pitzalis S, Galletti C. Functional organization of the caudal part of the human superior parietal lobule. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2023;105357.
81. Krieg WJ. Connections of the cerebral cortex. II. The macaque. E. The postcentral gyrus. Journal of Comparative Neurology. 1954;101(1):101-165.
82. Kier EL, Staib LH, Davis LM, Bronen RA. Anatomic dissection tractography: a new method for precise MR localization of white matter tracts. American journal of neuroradiology. 2004;25(5):670-676.

83. Dziedzic TA, Balasa A, Jeżewski MP, Michałowski Ł, Marchel A. White matter dissection with the Klingler technique: a literature review. Brain Structure and Function. 2021; 226:13-47.
84. Rasser PE, Johnston PJ, Ward PB, Thompson PM. A deformable Brodmann area atlas. In2004 2nd IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: Nano to Macro (IEEE Cat No. 04EX821) 2004; 400-403.
85 Bruner E. A network approach to the topological organization of the Brodmann map. The Anatomical Record. 2022; 305(12):3504-3515
86 **(**Palomero-Gallagher N, Zilles K. Cortical layers: Cyto-, myelo-, receptor- and synaptic architecture in human cortical areas. Neuroimage. 2019 Aug 15; 197:716-741. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.08.035. Epub 2017 Aug 12. PMID: 28811255**).**