



**SAğLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ BAŞAKŞEHİR ÇAM VE
SAKURA ŞEHİR SAğLIK UYGULAMA VE ARAŞTIRMA
MERKEZİ**

BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ KLİNİğİ

**BEYİN AK MADDE YOLLARI VE BAZAL ÇEKİRDEKLERİN
MİKROCERRAHİ ANATOMİSİNİN 3D MODELLENMESİ,
ARTTIRILMIŞ VE SANAL GERÇEKLİKLE GÖSTERİMİ**

Dr. Muhammed Bayındır

(Tıpta Uzmanlık Tezi)

İstanbul/2025



**SAğLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ BAŞAKŞEHİR ÇAM VE
SAKURA ŞEHİR SAğLIK UYGULAMA VE ARAŞTIRMA
MERKEZİ**

BEYİN VE SİNİR CERRAHİSİ KLİNİğİ

**BEYİN AK MADDE YOLLARI VE BAZAL ÇEKİRDEKLERİN
MİKROCERRAHİ ANATOMİSİNİN 3D MODELLENMESİ,
ARTTIRILMIŞ VE SANAL GERÇEKLİKLE GÖSTERİMİ**

Dr. Muhammed Bayındır

Tez DanıŐmanı: Prof. Dr. Necmettin Tanrıöver

Prof.Dr. Bekir Tuğcu

(TIPTA UZMANLIK TEZİ)

İstanbul/2025

I. TEŞEKKÜR

Beyin ve sinir cerrahisi uzmanlık eğitimim süresince, bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, mesleki ve etik değerleriyle örnek aldığım tüm hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle, eğitimim boyunca desteğini her zaman hissettiğim, bilgi ve tecrübeleriyle gelişimime en büyük katkıyı sağlayan, hekimlik ahlakı ve etik değerler konusunda bana rehberlik eden, özverisiyle ilham kaynağım olan kliniğimiz eğitim sorumlusu saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Bekir TUĞCU'ya,

Tez çalışmalarım sürecinde bilimsel merakımı destekleyen, laboratuvarını bana açarak araştırmalarımın her aşamasında yol gösteren, bilimsel bakış açımı geliştirmeme katkı sağlayan ve akademik kimliğiyle bana örnek olan Tez Danışmanım Prof. Dr. Necmettin TANRIÖVER'e,

Mesleki vizyonumu genişleten, etik değerleriyle yol gösteren, kafa tabanı cerrahisi nosyonumun oluşmasına katkı sunan Prof. Dr. Ömür GÜNALDI'ya, nörovasküler cerrahi alanındaki rehberliği ve desteği için Doç. Dr. Lütfi Şinasi POSTALCI'ya, nöroonkolojik cerrahi alanındaki bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Doç. Dr. Osman TANRIVERDİ'ye, spinal cerrahi alanındaki rehberliğiyle gelişimime büyük katkı sağlayan, desteğini her zaman hissettiğim Doç. Dr. İlhan YILMAZ'a,

Pediyatrik nöroşirürji alanında bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren, uzmanlık eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen Op. Dr. Fikret BAŞKAN'a, her zaman samimiyetini ve ağabeyliğini hissettiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve ömür boyu minnettar kalacağım Op. Dr. Fırat DEMİR'e, fonksiyonel nöroşirürji alanında bilgi ve deneyimlerini paylaşarak yolumu aydınlatan Op. Dr. Ozan HAŞİMOĞLU'na,

Nöroonkolojik cerrahi alanındaki rehberliği, cesaretlendiren tutumu ve gelişimime gösterdiği sonsuz sabır için Op. Dr. Fahir ŞENCAN'a, spinal cerrahi alanında bilgi ve deneyimleriyle beni destekleyen, gelişimime büyük katkı sunan Op. Dr. Aydın Talat

BAYDAR'a, endoskopik kafa tabanı cerrahisi alanında yönlendirmeleri ve deneyimlerini paylaşmaktan çekinmeyen Op. Dr. Buru ERKAN'a,

Bakırköy ruh ve sinir hastalıkları hastanesinde başlayan uzmanlık eğitimim boyunca arkalarından yürüdüğüm ve destekleri için minnettar olduğum kıdemlilerim Op. Dr. Ebubekir AKPINAR, Op. Dr. Ozan BARUT, Op. Dr. Yusuf KILIÇ ve Op. Dr. Şeyma YAVUZ'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca omuz omuza çalıştığım, birlikte çalışmaktan onur duyduğum, desteğini hep yanımda hissettiğim tüm asistan arkadaşlarıma,

Beyin ve sinir cerrahisi kliniğinde büyük bir ailenin parçası gibi hissetmemi sağlayan, özellikle ameliyathane sorumlu hemşiremiz Selda ŞANLI başta olmak üzere servis, yoğun bakım ve ameliyathane ekibindeki tüm çalışma arkadaşlarıma,

Ve en önemlisi, eğitim sürecim boyunca büyük fedakârlık gösteren, beni bugünlere getiren, her zaman koşulsuz yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi, saygılarımı ve sevgilerimi sunarım.

II.İÇİNDEKİLER

I. TEŞEKKÜR	i
II. İÇİNDEKİLER	iii
III. ÖZET	iv
IV. ABSTRACT	vi
V. KISALTMALAR	xiii
VI. ŞEKİLLER LİSTESİ	x
VII. RESİMLER LİSTESİ	xii
VIII. ÜÇ BOYUTLU MODELLER LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. BEYİN AK MADDE YOLLARI VE BAZAL ÇEKİRDEKLERİN MİKROCERRAHİ ANATOMİSİ	6
2.1.1. Serebrum'un Mikrocerrahi Anatomisi	6
2.1.1.A Perisylvian Ak madde Yolları.....	7
2.1.1.B İnfrasylvian Bölge Akmadde Yolları.....	12
2.1.1.C Sylvian Fissürü.....	13
2.1.2. Santral Cevher Mikrocerrahi Anatomisi	14
2.2. Fotogrametri ve Üç Boyutlu Modelleme.....	37
2.3. Arttırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik.....	40
3. GEREÇ VE YÖNTEM	41
4. BULGULAR	42
4.1. Serebrum'un Lateralden Mediale Doğru Kademeli Diseksiyonu ve 3D modelleri.....	42
4.2. Serebrum'un Medialden Laterale Doğru Kademeli Diseksiyonu ve 3D modelleri.....	66
5. TARTIŞMA	74
6. SONUÇ.....	76
7. KAYNAKLAR.....	77

III. ÖZET

Amaç: Nöroşirurji pratiğinde mikrocerrahi prosedürler yüksek hassasiyet gerektirir ve serebrum, serebellum, beyin sapı ve derin çekirdeklerin ak madde yolları ile ilişkilerinin üç boyutlu (3B) anlaşılması nöroşirürjinin temelidir. Geleneksel cerrahi eğitim yöntemleri atlaslar ve kadavra diseksiyon fotoğraflarını içerse de genellikle 2B görüntülerle sınırlıdır. 3B modelleme ve artırılmış / sanal gerçeklik (AR/VR) uygulamaları, mikrocerrahi nöroanatominin anlaşılmasını ve cerrahi mekansal tanımayı geliştirebilir. Bu çalışmadaki amacımız lif diseksiyon verileri eşliğinde 3D modelleme, AR ve VR teknolojilerini kullanarak serebrum, serebellum, beyin sapı ve derin çekirdeklerin mikrocerrahi anatomisini detaylı bir şekilde araştırmaktır.

Gereç ve Yöntem: Mikro-endonöroşirurji ve Nöroanatomî laboratuvarında altı adet postmortem spesimende lif diseksiyonu tekniği uygulandı. Uygulanan lif diseksiyonlarının her aşaması akıllı telefon tabanlı fotogrametri tekniği ile model olarak kaydedildi. Fotogrametri sonrasında, 3B modeller '3B düzenleme yazılımları' kullanılarak geliştirildi ve AR ile görüntülendi. Ek olarak, modeller başa takılan bir görüntüleme cihazı kullanılarak VR ortamında incelendi.

Bulgular: Lif diseksiyonları sonrası oluşturulan 3B modeller web tabanlı platformlarda ve AR/VR ortamlarında yüksek çözünürlükte görüntülendi. Oluşturulan modellerin farklı düzlemlerde serbestçe kaydırılabilir, döndürülebilir ve her yöne hareket ettirilebilir olduğu gözlemlendi. Ayrıca modeller AR/VR platformlarında çeşitli açılardan erişilebilir hale getirildi. Cerrahi eğitiminde kullanılmak üzere nöral yapılar işaretlenerek derin intraserebral, intraserebellar ve beyin sapı yapılarının birbirleri ile 3B ilişkisi ortaya kondu.

Sonuçlar: Akıllı telefon tabanlı fotogrametri, düşük maliyetli ve taşınabilir bir 3B modelleme yöntemi olarak nöroşirurji eğitiminde yeni bir standart oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu çalışma kadavra diseksiyonlarından elde edilen verilerin AR/VR platformlarında dijitalleştirilebileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, cerrahi sırasında hedeflenen yol ve ulaşılabilecek bölgeye yönelik 3B görüntülerin çalışılması nöroşirurji pratiğinde cerrahlara uygulanacak yaklaşım için bir yol haritası çizecektir. Tarif edilen modeller beyin cerrahları tarafından dijital platformlarda

önemli nöroanatomik yapıların cerrahi sırasında mekansal tanınmasını geliştiren güçlü bir eğitim aracı olarak kolayca kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: 3B modelleme, ak madde, arttırılmış gerçeklik, beyin sapı, hipokampüs, lif diseksiyonu, mikrocerrahi anatomi, nöroşirurji, serebrum, serebellum, sanal gerçeklik,

E-posta: muhammedbayindir63@gmail.com



IV. ABSTRACT

Objective: Microsurgical procedures in neurosurgical practice require high precision, and a three-dimensional (3D) understanding of the relationships between the white matter tracts of the cerebrum, cerebellum, brainstem, and deep nuclei is fundamental to neurosurgery. Traditional surgical training methods, including neuroanatomy atlases and cadaveric dissection photographs, are generally limited to two-dimensional (2D) images. 3D modeling and augmented/virtual reality (AR/VR) applications enhance the comprehension of microsurgical neuroanatomy and improve spatial orientation. This study aims to investigate the microsurgical anatomy of the cerebrum, cerebellum, brainstem, and deep nuclei in detail by integrating 3D modeling, AR, and VR technologies with fiber dissection data.

Materials and Methods: The fiber dissection technique was applied to six postmortem specimens in the Micro-Endoneurosurgery and Neuroanatomy Laboratory. Each stage of the dissections was recorded using smartphone-based photogrammetry. The 3D models were processed with 3D editing software and visualized in AR. Additionally, they were examined in a VR environment using a head-mounted display.

Results: The 3D models generated from fiber dissections were visualized in high resolution on web-based platforms and AR/VR environments. These models were freely movable, rotatable, and accessible from multiple perspectives. Neural structures were labeled to elucidate the 3D relationships of deep intraserebral, intracerebellar, and brainstem structures for surgical training.

Conclusions: Smartphone-based photogrammetry is a low-cost, portable 3D modeling method with the potential to set a new standard in neurosurgical education. This study demonstrates that cadaveric dissection data can be digitized for AR/VR platforms. Preoperative study of 3D images of surgical targets using 3D modeling and AR/VR platforms may provide a roadmap for neurosurgical procedures. The described models offer neurosurgeons an effective digital educational tool for enhancing spatial recognition of neuroanatomical structures.

Keywords: 3D modeling, white matter, augmented reality, brainstem, hippocampus, fiber dissection, microsurgical anatomy, neurosurgery, cerebrum, cerebellum, virtual reality.

E-mail: muhammedbayindir63@gmail.com



V. KISALTMALAR

AF Dorsal : Arkuat fasikül dorsal kısmı
AF Ventral: Arkuat fasikül ventral kısmı
AİP: Anterior insular point,
AKG: Anterior kısa girus,
Ant. Komm. : Anterior Kommissür,
Ant. Lim. Sulk. : Anterior limitan sulkus,
AR : Artırılmış gerçeklik
arkuat fasikül (AF)
AUG: Anterior Uzun girus,
DBS: Derin beyin stimilasyonu
FAT: Frontal aslant traktus
FLP: Frontal limen point,
For. Monro: Foramen Monro,
İFOF: İnfierior fronto-oksipital fasikül,
İLF: İnfierior Longitudinal Fasikül,
İnf. Lim. Sulk. : İnfierior limitan sulkus,
İTG: İnfierior temporal girus,
Kaps. İnt: Kapsula interna,
MdLF : Orta Longitudinal Fasikül
MKG: Orta kısa girus,
MTG: Orta temporal girus,
Pariato-oksipital Sulk. :Pariato-oksipital sulkus
Pars ope. : Pars operkularis,
Pars orb. : Pars orbitalis
Pars Tri. : Pars triangularis,
PİP: Posterior insular point,
PKG: Posterior kısa girus,
PUG: Posterior uzun girus,
SLF I : Superior longitudinal fasikül 1
SLF II: Superior longitudinal fasikül 2
SLF III: Superior longitudinal fasikül 3

SLF: Superior Longitudinal Fasikül
SMA : Supleter Motor Alan
STG: Süperior temporal girus,
Sup. Lim. Sulk. : Superior limitan sulkus
Supramarj. : Supramarjinal Girus,
TLP: Temporal Limen Point,
UF: Unsinat fasikül
VR : Sanal gerçeklik



VI. ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1 :** Beynin lateral görünümü (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System).....5
- Şekil 2:** Kleist'e göre serebral korteksteki işlevlerin lokalizasyonu (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System).....6
- Şekil 3:**Dilin anlama ve konuşma ile ilgili Wernicke-Broca modeli veya klasik model (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System).....9
- Şekil 4 :** İnsula, Frontal ve Temporal operkulum çıkarılmış (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System).....15
- Şekil 5 :** Klastrum ve korteks arasındaki lif bağlantıları kırmızıyla diyagramatik olarak gösterilmiştir. (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System).....18
- Şekil 6:** Ekstrapiramidal sistemin bazı çekirdekleri ve lif demetleri lateral görünümü (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System)....21
- Şekil 7:** Talamik pedinküllerin ve internal kapsülün lateral görünümü. (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System).....26
- Şekil 8:** Hippokampus ve ilişkili nöral yapılar. Hippokampusun içinden görülen dentat girus.(Hippokampus şeffaf olarak gösterilmiş) (Duvernoy H., Cattin F., Risold P. “The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization, and Serial Sections with MRI”)28
- Şekil 9:** A) Hipokampus iç yapısının genel görünümü B) Şeffaf hipokampus içinde dentat girus. (Duvernoy H., Cattin F., Risold P. “The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization, and Serial Sections with MRI”)29

Şekil 10: Hipokampus iç yapısının genel görünümü. Hipokampal gövde koronal kesitinin çizimi ve yüksek tesla MRG ile görünümü (Duvernoy H., Cattin F., Risold P. “The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization, and Serial Sections with MRI”).....31

Şekil 11: Sağ yarımküredeki korpus kallozum ve anatomik segmentlerine ayrılışı. (Küçükyürük B, et al. Evaluation of Ideal Extent of Corpus Callosotomy Based on the Location of Intracallosal Motor Fibers World Neurosurg. 2020 Dec;144:e568-e575).....35

Şekil 12: Cerrahi nöroanatomide laboratuvarında serebrumun akıllı telefon tabanlı fotogrametri tekniği ile 3d modellenmesi süreci. (OpenAI. DALL·E. 2025. <https://openai.com/dall-e>)39

VII. RESİMLER LİSTESİ

Resim 1 : Beynin lateralden mediale dekortikasyon aşamaları ve U liflerinin görünümü	42
Resim 2 : Superior longitudinal fasikül ve Arkuat fasikül.....	44
Resim 3 : Frontal Aslant Traktus görünümü	45
Resim 4 : MdLF ve İLF görünümü	47
Resim 5 : Santral Cevher	49
Resim 6 : Lentiform Nükleus ve İnternal Kapsül	53
Resim 7 : Talamik radyasyon	58
Resim 8 : Atrium.	61
Resim 9 : Hipokampus	64
Resim 10 : Serebrum Medial Yüzeyi	68
Resim 11 : AR uygulamaları	71
Resim 12 : VR uygulamaları	72
Resim 13 : Sanal Labaratuar ortamında VR deneyimi.....	73

VIII. ÜÇ BOYUTLU MODELLER LİSTESİ

3B model 1 : Superior longitudinal fasikül ve Arkuat fasikül.....	44
3B model 2 : Frontal Aslant Traktus.....	46
3B model 3 : MdLF ve İLF.....	47
3B model 4 : Klaustrokortikal Lifler.....	50
3B model 5 : Ventral eksternal kapsül (Unsinat fasikül ve İfof).....	51
3B model 6 : Putamen.....	51
3B model 7 : Medial yüzey anatomisinin Santral Cevher ve çevresindeki izdüşümü	55
3B model 8 : Globus Pallidus ve Lentikülostriat arterler.....	56
3B model 9 : Anterior Komissür.....	56
3B model 10 : İnternal Kapsül..	57
3B model 11 : Meyer Döngüsü.....	59
3B model 12 : Talamik Radyasyon.....	60
3B model 13 : Atrium ve Koroid pleksus.....	60
3B model 14 : Alveus.....	66
3B model 15 : Dentat Girus.....	66
3B model 16 : SLF1 ve Singulum.....	70
3B model 17 : Dorsal kallozal radyasyon.....	70

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Beyin cerrahisi, merkezi sinir sisteminin karmaşık anatomisini derinlemesine anlamayı ve incelemeyi gerektirir. Beyin, mikrocerrahi prosedürlerde yüksek hassasiyet ve titizlik isteyen bir organ olduğundan, serebrum ve bazal çekirdeklerin detaylı kavranması nöroşirürjinin merkezindedir. Serebrum ve bazal çekirdeklerin anatomisi üzerine yapılan çalışmalar, nöroşirürjinin gelişimiyle doğrudan ilişkilidir.

Ak madde yolları ve bazal çekirdeklerin cerrahi anatomisi, beynin motor fonksiyonları, duysal entegrasyon ve bilinçle ilgili bölgelerinin anlaşılması açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle bazal gangliyonların yer aldığı alanlar, Parkinson hastalığı, Huntington hastalığı ve distoni gibi hareket bozukluklarında ana hedef bölgeler olarak öne çıkmaktadır.(1) Globus pallidus, putamen ve subtalamik nukleus gibi bazal çekirdek yapılarının diseksiyonu, derin beyin stimülasyonu (DBS) gibi nöroşirürjik prosedürlerde vazgeçilmezdir.(2) Bu yapıların üç boyutlu görselleştirilmesi, anatomik anlayışı geliştirmenin yanı sıra cerrahi yaklaşımı daha güvenli hale getirir.

Geleneksel nöroanatomik eğitim yöntemleri arasında atlaslar ve kadavra diseksiyonları bulunur. Mikrocerrahi nöroanatomide, detaylı kadavra diseksiyonları genellikle altın standart olarak kabul edilir. Ancak, kadvraları bulmak ve muhafaza etmekte yaşanan zorluklar ve yalnızca kadvralar üzerinde pratik yapmanın pahalı ve zahmetli olması gibi sınırlamalar vardır. Lif diseksiyonu, beynin iç yapısının üç boyutlu (3D) anatomik organizasyonunu gösteren bir tekniktir.(3, 4) Geleneksel literatür genellikle iki boyutlu (2D) ve etkileşimsiz 3D görüntüler içerir.(5) Bu nedenle, nöroşirürjiyenlerin beyin lezyonlarının konumunu, çevresindeki yapılarla ilişkisini ve güvenli koridorları zihinsel olarak hayal edebilmek için görsel bir çeviriye ihtiyaçları vardır.(6)

Gelişen teknoloji, nöroşirürji eğitiminde devrim niteliğinde yenilikler sunmaktadır. Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) uygulamaları için 3D modelleme, anatomik yapıların daha gerçekçi ve etkileşimli bir şekilde tasvir edilmesini sağlar.(6) Bu teknoloji, beyin ve bazal çekirdeklerin anatomisinin sanal

ortamlarda detaylı bir şekilde incelenmesine olanak tanır. Stereoskopik kafa monteli ekranlar ve kafa hareket izleme sensörleri, öğrenme sürecinde çoklu duyuların etkileşimini artırarak mekânsal tanımayı geliştirir.(6)

Bu çalışmanın amacı, 3D modelleme, AR ve VR teknolojilerini kullanarak beyin ve bazal çekirdeklerin mikrocerrahi anatomisini detaylı bir şekilde sunmaktır. Bu yenilikçi yaklaşım, cerrahların anatomik yapıların topografik yerleşimlerini daha iyi anlamalarına ve cerrahi planlamalarını daha hassas bir şekilde yapmalarına olanak tanıyacaktır. Örneğin, AR ve VR teknolojileri, cerrahlara sanal ortamda beyin yapıları ile etkileşime geçme imkânı sağlayarak, operasyon öncesi simülasyonlarda riskli bölgeleri belirlemelerine yardımcı olabilir.

Teknolojinin sunduğu bu olanaklar, genç cerrahların operasyon öncesi pratik yapmalarına ve riskli bölgeleri belirleyerek daha güvenli müdahaleler gerçekleştirmelerine yardımcı olacaktır. Ayrıca, AR ve VR teknolojilerinin kullanımı, cerrahi eğitimde interaktif ve gerçek zamanlı simülasyonları mümkün kılarak, hasta güvenliğini artırma ve eğitim süreçlerinde büyük bir ilerleme sağlar. Bu yaklaşım, sadece eğitimde değil, aynı zamanda klinik uygulamalarda da önemli bir dönüşüm yaratacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Beyin ak madde'sine dair ilk gözlemler, Galen ve Vesalius gibi anatomistler tarafından yapılmıştır. Vesalius, ak madde'nin anatomik olarak gri madde'den farklı olduğunu ilk kez tanımlayan kişidir. 17. yüzyılda, Malpighi ve Steno gibi bilim insanları, ak madde'nin liflerden oluştuğunu ve bu liflerin beyin çeşitli bölgelerini birbirine bağladığını göstererek ak madde'nin organizasyonunu anlamada önemli adımlar atmışlardır.(7)

19. yüzyılda, Franz Joseph Gall ve Johann Spurzheim, beyindeki ak madde'nin işlevini incelemek için kaba diseksiyon tekniklerini kullanmışlardır. Gall ve Spurzheim, ak madde'nin yalnızca iletişim için değil, aynı zamanda beyindeki işlevsel spesifikasyonları belirleyen kritik bağlantıları sağladığını ortaya koymuşlardır. Bu dönemde, ak madde'nin işlevsel devrelerin merkezi bir bileşeni olduğu kabul edilmiştir. (7)

20. yüzyılın başlarında, Ludwig-Klingler, ak madde liflerini daha net diseksiyon edebilmek için beyin fiksasyon yöntemini geliştirmiştir. Bu teknik ak madde anatomisi konusundaki anlayışı derinleştirmiştir. (7-9)

19. ve 20. yüzyıllarda, Paul Flechsig ve Joseph Jules Dejerine gibi nörologlar, ak madde'nin hasarının klinik sonuçlarını inceleyerek, ak madde'nin motor, duyu ve bilişsel işlevler üzerindeki etkilerini belgelediler. Bu bulgular, ak madde hasarının nörolojik semptomlara yol açtığını gösterdi ve bu da ak madde yollarının nöroşirürjiyenler için ne denli kritik olduğunu ortaya koydu.(7)

Serebral hemisferler dıştan içe doğru korteks adı verilen yüzeysel gri madde tabakası, ak madde lifleri, bazal ganglionlar ve talamus gibi derin gri madde yapıları ve ventriküler sistemden meydana gelirler.(10, 11) Subkortikal ak madde yapıları 3 grup miyelinli lif topluluğundan oluşurlar. Bunlar asosiyasyon lifleri, projeksiyon lifleri ve komisüral lifler olarak sınıflandırılabilir.(10)

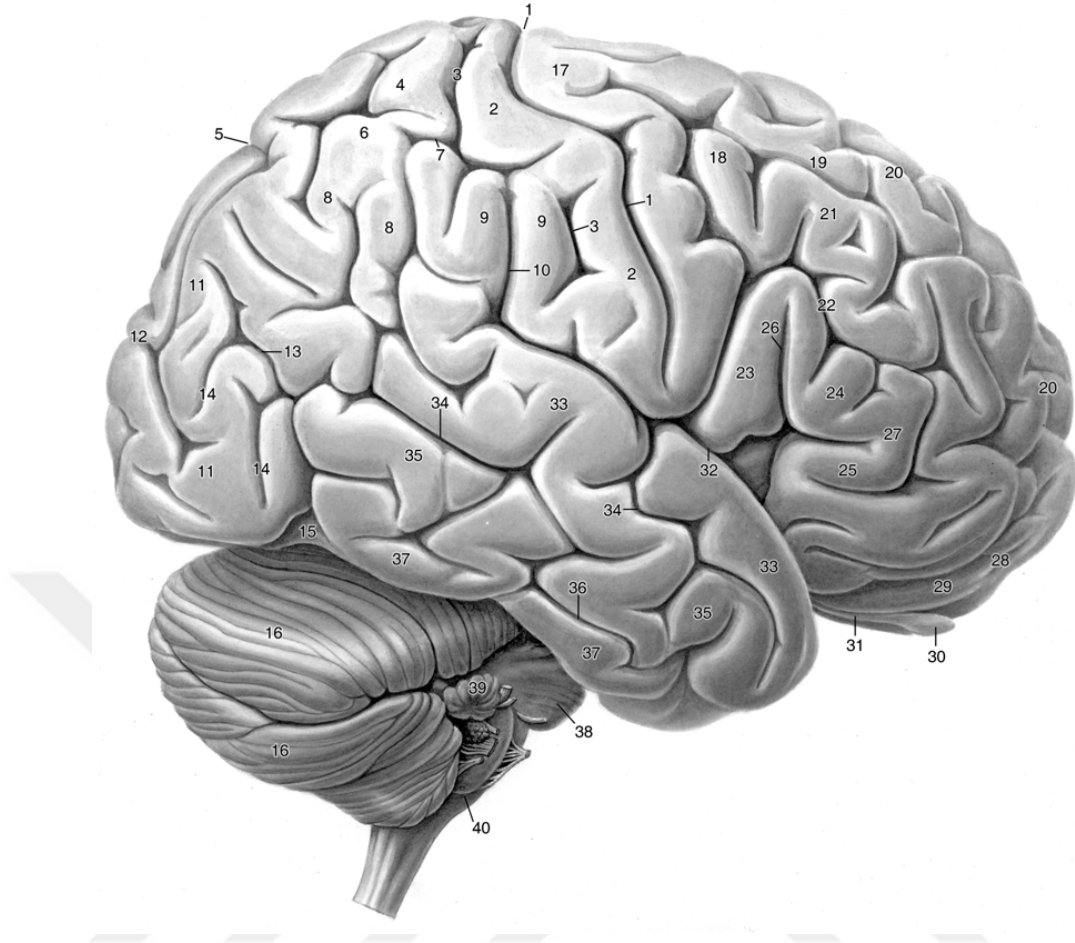
Asosiyasyon lifleri, kısa ve uzun asosiyasyon lifleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kısa asosiyasyon lifleri "U" lifleri veya intergirallik lifler olarak da bilinir ve aynı

hemisfer üzerinde bitişik giruslar arasında yer alırlar. “U” lifleri korteksin hemen derininde ortaya çıkan en yüzeyel ak madde lifleridir. Uzun asosiyasyon lifleri, aynı hemisfer üzerinde birbirinden uzak giruslar arasında yerleşim gösteren liflerdir, “U” liflerinin derininde yer alırlar. Frontal ve temporal lobları birbirine bağlayan uncinat fasikül, serebral hemisferin medial yüzeyi boyunca uzanan ve singulat girusun eğrisini takip ederek bu girusun derinindeki ak maddenin büyük bir kısmını oluşturan singulum lifleri ve frontal lobdan arkaya pariyetal loba doğru bir yay oluşturan süperior longitudinal fasikül bu tip liflere örnek olarak verilebilir.(10-13)

Komisural lifler orta hatta, karşılıklı olarak hemisferleri birbirlerine bağlayan liflerdir. En büyüğü korpus kallozumdur. Daha küçük bir demet olan anterior komissur de bu yapılar arasında yer alır. Forniks, hipokampal formasyondan çıkan ana efferent yoldur. Hem komissural hem de projeksiyon liflerini içerir.(10-13)

Projeksiyon lifleri hemisferlerin korteksi ile derin nükleuslar ve spinal kord arasında seyreden ak madde lifleridir.(10-13) Lentiform nükleusun seviyesinin üzerinde bu projeksiyon lifleri, korona radiata olarak adlandırılan bir ışınal model içinde yer alır. Korona radiata, daha kompakt bir yapıya sahip olan internal kapsül ile kaudal yönde birleşir ve bu kapsülün lifleri serebral pedünkülü oluşturur. Internal kapsül, lateralde lentiform nükleus, medialde ise kaudat nükleus ve talamus tarafından sınırlanan kalın bir ak madde kütesidir.(10-13)

Santral cevher, hemisferin derin bölgelerinde yer alan dört büyük gri madde kütesinin bulunduğu bölgedir. Bu yapılar şunlardır: kaudat nükleus, putamen, globus pallidus ve talamus. Putamen ve globus pallidus, koronal kesitlerde birlikte bir merceğe şekline sahiptir ve bu yapılar bir araya gelerek lentiform nükleus olarak adlandırılır. Talamus, diğer nükleer kütlelerden internal kapsül tarafından ayrılır. Kaudat nükleus, lentiform nükleus ve amigdala, birlikte bazal ganglionlar olarak adlandırılır. Amigdala, santral cevher dışında, medial temporal lobda yer alır.(10)



Şekil 1 : Beynin lateral görünümü (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System)

- 1 : Santral sulkus
- 2 : Postsantral girus
- 3 : Postsantral sulkus
- 4 : Süperior parietal lobül
- 5 : Parieto-okspital sulkus
- 6 : Inferior parietal lobül
- 7 : İntraparietal sulkus
- 8. : Angular girus
- 9 : Supramarjinal girus
- 10: Lateral sulkus, posterior rami
- 11: Okspital girus
- 12: Lunat sulkus
- 13: Anterior okspital sulkus
- 14: Okspital çentik
- 15: Preokspital çentik
- 16: Serebellar hemisfer
- 17: Presantral girus
- 18: Presantral sulkus
- 19: Süperior frontal sulkus
- 20: Superior frontal girus

- 21 :Orta frontal girus
- 22 : Inferior frontal girus
- 23 : Operkular part, inferior frontal girus
- 24 :Triangular part, inferior frontal girus
- 25 : Orbital part, inferior frontal girus
- 26 :Lateral sulkus, ascending rami
- 27 :Lateral sulkus, anterior rami
- 28 :Orbital sulkus
- 29 :Orbital girus
- 30 :Olfaktör bulb
- 31 :Olfaktör trakt
- 32 :Lateral sulkus
- 33 :Superior temporal girus
- 34 :Superior temporal girus
- 35 :Orta temporal girus
- 36 :Inferior temporal sulkus
- 37 :Inferior temporal girus
- 38 :Pons
- 39 :Flokkulus
- 40 :Medulla oblongata

2.1.1.A Perisylvian Ak madde Yolları

Superior Longitudinal Fasikül ve Arkuat Fasikül

En yüzeyel uzun assosiasyon lifleri superior longitudinal fasikül (SLF) ve arkuat fasikül (AF)'dür. SLF, frontoparietal bağlantı liflerinden, AF ise frontotemporal bağlantı liflerinden oluşur. (12, 14)

SLF'nin 3 parçası vardır: SLF I, II ve III. SLF I, superior frontal girus içinde; SLF II, orta frontal girus içinde; SLF III ise inferior frontal girus içinde bulunur. Lateral yüzeyden başlayıp mediale doğru ilerledikçe, SLF bileşenleri ters sırada görülür: İlk olarak SLF III, sonra SLF II ve son olarak SLF I gelir.(12, 14)

SLF I, vücudun gövde ve uzuvlarının uzaysal farkındalığı ile ilişkili superior parietal lobu, motor davranışın üst düzey kontrolünde rol oynayan premotor alan ve SMA (Supplementary Motor Area) ile bağlar. Aynı zamanda, varsayılan mod ağıyla (default mode network) ilişkilidir. Beynin varsayılan mod ağı, beyin dinlenirken (ancak uyanıkken) aktif hale gelen ve dikkat, bellek geri çağırma ve kendini yansıtma gibi içsel görevlere odaklandığında etkinleşen bir bölgedir. SLF I, singulum ile yakın bir anatomik ilişki gösterir. Singulat girus üzerindeki lifler boyunca ilerler ve motor aktivitenin başlatılması ile üst düzeyde hareket kontrolü sağlayabilir.(12, 14)

SLF II, beynin prefrontal korteksi ile posterior parietal lobu arasında uzanır. Bu nedenle dikkatin uzaysal odaklanması ile ilişkili olabilir. Oksipital lobdan frontal loba kadar uzanan bir bağlantı sağlar ve dikkat dağılımı, mekansal hafıza ve görsel algı gibi işlevlerle ilişkilidir. Sağ hemisferde baskın olan SLF II'ye verilen hasarlar, ihmal (neglect) sendromu gibi mekansal çalışma belleği bozukluklarına yol açabilir. Ayrıca görsel uyaranlara verilen tepkiyi de etkileyebilir.(12, 14)

SLF III, frontoparietal operkulumda supramarginal girus ile pars operkularis arasında yer alır. Sol hemisferde fonolojik çalışma belleği ve dil işleme, sağ hemisferde ise görsel-uzamsal dikkat, müzik işleme ve prosodi (konuşma ritmi ve vurgu) ile ilgilidir. Sol SLF III hasarı, konuşma bozukluklarına (dizartri ve anartri) yol açabilirken, sağ SLF III hasarı görsel-uzamsal dikkat ve müzik algısını etkileyebilir. (12, 14)

Bir diğer yüzeyel uzun assosiasyon lif yolu olan arkuat fasikül (AF), motor (Broca alanı) ve duyu (Wernicke alanı) dil merkezlerini birbirine bağlar. Yağmurlu ve

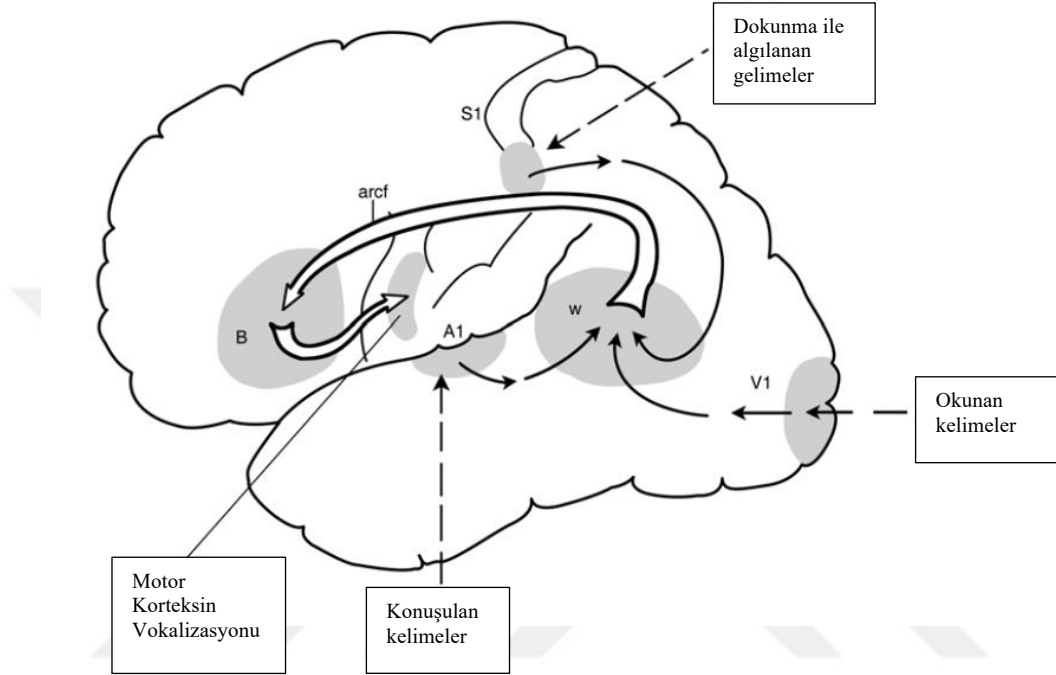
ark (14) çalışmasında arkuat fasikül (AF), ventral ve dorsal segmentler olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Ventral AF superior temporal girusun orta ve arka kısımlarında ve orta temporal girusun orta kısmında başlamış, supramarginal girusun altından geçerek inferior frontal bölgeye ulaşmıştır. Dorsal AF ise orta ve inferior temporal girusun arka kısmında başlamış, angular girusun altından geçerek daha dorsal bölgelere ulaşmıştır. Her iki segment de frontal lobda sonlanmıştır. AF'nin bu ventral ve dorsal segmentlerinin superior longitudinal fasikül (SLF) ile olan anatomik ve fonksiyonel ilişkisi incelenmiş olup Ventral AF, SLF III ile birlikte ventralde, dorsal AF ise SLF II ile birlikte dorsalde ilerlemiştir. Önceki çalışmalara benzer şekilde, ventral AF fonolojik işlemlere, dorsal AF ise sözel-semantiğe aracılık eden yol olarak tanımlanmıştır. (12, 14-16)

Dil işlemeye ilişkin geleneksel model, Broca, Geschwind ve Wernicke alanlarını içerir. Broca alanı sol inferior frontal girusta, Geschwind bölgesi inferior parietal lobülde, Wernicke alanı ise posterior temporal bölgede yer alır.(17, 18) Ancak, son yıllarda DTI (difüzyon tensör görüntüleme) ve fonksiyonel çalışmalarla bu alanların genişletilmiş tanımları yapılmıştır.(19) Genişletilmiş Broca alanı, klasik pars triangularis ve operkularis'in yanı sıra orta frontal ve presantral girusları da içerir. Lezyon çalışmaları, kortikal stimülasyon ve nörogörüntüleme çalışmaları, inferior frontal kortekste fonolojik (kelimeleri oluşturan temel sesler), sentaktik (cümlelerin kurulduğu ilkeler ve süreçler) ve semantik (kelimelerin anlamları ve kavramlar) işlemeyle ilişkili ayrı dil fonksiyon alt sistemlerini önermiştir. Fonolojik işleme, pars triangularis ve pars opercularis sınırında; semantik işleme ise pars orbitalis ve dorsolateral prefrontal kortekste gerçekleşir.(14, 20-28)

AF (arkuat fasikül), bu dil işleme bölgeleriyle bağlantılıdır ve ventral ve dorsal AF olmak üzere iki ana segmentten oluşur. Ventral AF, fonolojik işlemeyle ilişkili olup pars operkularis, pars triangularis ve ventral premotor kortekste sonlanır. Dorsal AF ise semantik işleme ile bağlantılı olup orta ve inferior temporal giruslarda başlar ve pars operkularis ile orta frontal girusun posterior kısmında sonlanır. Bu segmentler, dilin fonolojik, sentaktik ve semantik bileşenlerinin işlenmesinde önemli rol oynar.(14)

Pars operkularis ve özellikle ventral premotor korteks, anartri ve/veya disartri oluşumuyla ilişkilidir. Ventral AF'nin frontal uzantısı olan pars triangularis ise dilin

fonolojik işlenmesiyle ilişkilendirilmiştir. Düşük dereceli gliomalı hastalarda plastisitesi olmayan ventral premotor korteks, özel dikkat gerektirir çünkü hem AF segmentleri hem de SLF III bu bölgeye ulaşır. Ventral premotor korteksin stimülasyonu, perisylvian subkortikal lif ağıyla olan zengin bağlantıları nedeniyle sürekli olarak anatri ile sonuçlanır. (21, 22, 24, 26, 27, 29-33)



Şekil 3: Dilin anlama ve konuşma ile ilgili Wernicke-Broca modeli veya klasik model. İşitme, görme ve taktıl (dokunma) uyarı ile algılanan kelimeler; Wernicke alanında anlamlandırılır. Broca Alanı ve bitişiğindeki motor kortekste ulaşır. (A1= Adituar korteks, B= Broca Alanı, S1= Somatosensoriyal alan, V= Vizüel korteks, W= Wernicke Alanı) (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: **The Human Central Nervous System**)

Wernicke alanı da genişletilmiş bir tanıma sahiptir ve superior ile orta temporal girusların posterior kısmı ve inferior parietal lobülü kapsar. (19, 34, 35) Fonksiyonel çalışmalar, superior temporal girusun posterior kısmının fonolojik işleme, orta temporal girusun ise leksikal/semantik işleme dahil olduğunu, ancak prosodinun yalnızca sağ yarıkürede işlendiğini öne sürer.(16, 36-42)

Geschwind bölgesi ise supramarginal ve angular giruslardan oluşur. Bazı yeni kortikal stimülasyon çalışmaları, pars angularisin leksikal-semantik işleme dahil

olduğunu, supramarginal girusun ise fonetik çalışma belleği ile daha fazla ilişkili olduğunu destekler. Ayrıca, supramarginal girusun konuşmanın artikülasyonu ve fonolojik işleme, angular girusun ise dil algısı, hece ayrımı ve tanımlaması ile ilgili olduğu öne sürülmüştür.(16, 43, 44)

Son çalışmalar, AF'nin iki segmentinin farklı dil işleme süreçlerinde kritik rol oynadığını göstermiştir. Ventral segment fonolojik işlemeyle, dorsal segment ise leksikal ve semantik işlemeyle ilişkilidir. Frontoparietal operkulumun derin kısmının (ventral AF) stimülasyonunun fonolojik paraphasia ile, yüzeysel kısmının stimülasyonunun (SLF III'ün bulunduğu yer) ise disartri veya anartri ile sonuçlandığını göstermiştir. Bu bulgular, ventral ve dorsal AF ayrımımızı ve frontoparietal operkulumdaki AF ventral segmenti ile SLF III arasındaki fonksiyonel farklılıklara dayalı ilişkiyi de destekler.(15, 16, 45, 46)

Frontal Aslant Traktus ve Frontostriatal traktus

Nörogörüntüleme ve klinik çalışmalardaki ilerlemeler, daha önce sessiz lob olarak bilinen frontal lobun bilişsel, davranışsal, öğrenme ve konuşma işleme gibi işlevlerde önemli bir rol oynadığını göstermiştir.(47) SMA kompleksi, superior frontal girusun posterior kısmında konumlanmıştır. Sınırları inferomedialde singulat sulkus, posteriorunda presantral sulkus ve inferolateralde superior frontal sulkustur.(48, 49) SMA kompleksi pre-SMA ve SMA proper olmak üzere iki bölümden oluşur. Pre-SMA ile SMA proper arasındaki ayrım, farklı işlevlere ve kortikal-subkortikal bağlantılara dayanır.(50)

SMA kompleksi içinde pre-SMA ve SMA proper arasındaki anatomik sınır, anterior komissür düzeyinden geçen ve anterior ile posterior komissürler arasındaki çizgiye dikey bir hayali çizgi olarak kabul edilir. (48, 51) SMA proper, bitişindeki motor kortekse benzer şekilde daha somatotopik olarak organize olurken, pre-SMA'nın bir somatosensoryal organizasyonu vardır.(48, 52) Fonksiyonel çalışmalara dayanarak, SMA proper'ın kontrol ve hareketin üretilmesiyle ilişkili olduğu, pre-SMA'nın ise daha çok bilişsel, motor olmayan görevlerle ilişkili olduğu görülmektedir.(53) Bu, SMA proper'ın kortikospinal traktus ile birincil motor kortekse ve omuriliğe doğrudan bağlı olmasıyla, pre-SMA'nın ise böyle bir bağlantısının

bulunmamasıyla tahmin edilebilir. (54-56) Pre-SMA'nın hareketin planlanması ve hazırlanması ile ilişkili olduğu öne sürülmüş olup dil üretimi, hareketin tanınması ve düşünme, hafıza depolama, görsel ve motor ilişkilerin kurulması, öğrenme, zaman algısı, eylem niyeti, çatışma çözümü ve eylemler arasındaki geçiş gibi üst düzey işlevlere sahiptir.(37, 57-65)

SMA kompleksinin uyarılması, rezeksiyonu veya hasarı motor hareket ve konuşma üzerine negatif motor yanıt oluşturur ve SMA sendromu olarak bilinen akinetik mutizm gibi motor hareket ve konuşma üretiminin tamamen baskılanmasından, spontan motor ve konuşma çıktısının azalmasına kadar değişen başlatma bozuklukları ile karakterizedir. Çoğunlukla kortikal plastisite ve kontralateral SMA kompleksi nedeniyle geçicidir.(53, 57)

Son zamanlarda, nörogörüntüleme ve postmortem lif diseksiyonu teknikleri kullanılarak SMA kompleksine ait birkaç lif traktusu literatürde tanımlanmıştır. Bunlar Frontal aslant traktus (FAT), Frontostriatal traktus(FST) ve kısa asosiyasyon lifleridir.(53, 57)

FAT, SMA kompleksi ile Broca(Pars opercularis) alanı arasında yer alan bir bağlantı yolu olup, SMA'nın konuşma üretimindeki işlevsel rolü ile ilişkilidir.(48) İlk kez Ford ve arkadaşları tarafından SMA ile Broca alanı arasındaki yapısal bağlantı gösterilmiştir.(66) Daha sonraki fiber diseksiyon ve DTI (Diffüzyon Tensör Görüntüleme) çalışmaları, FAT'in Broca alanı ile superior frontal girus arasında bir yol oluşturduğunu ortaya koymuştur.(67) Catani ve arkadaşları, primer progresif afazili hastalarda FAT'in pre-SMA, anterior SMA proper ve anterior singulat korteks ile Broca alanı arasındaki lifleri içerdiğini ve bu bağlantının sözel akıcılıkla ilişkili olduğunu öne sürmüştür.(68) Bu lif traktusunun özellikle konuşma başlatma zorlukları ve akıcılık bozukluklarıyla bağlantılı olduğu belirlenmiştir.(37) Duffau ve arkadaşları, Frontal glioma olan ve hem FAT hem de FST etkilenen hastalarda, bilateral FST'lerin motor kontrolünde yer aldığını, sol FAT ve yalnızca sol FST'nin ise konuşma kontrolünde rol oynadığını bulmuşlardır. Ayrıca, pre-SMA'nın stimülasyonuna bağlı olarak negatif motor korteks yanıtının, sol pars operkularis ve kaudat nükleus ile FAT ve FST bağlantılarından kaynaklandığını belirtmişlerdir.(69)

FST, pre-SMA ile striatum (kaudat nükleus ve putamen) arasında bir bağlantı olarak tanımlanmıştır.(48) Duffau ve arkadaşları, FST'nin (subkallosal fasikül) pre-

SMA'yı kaudat nükleusun anterior kısmına bağladığını belirtmiştir.(69, 70) Ancak, insanlarda yapılan DTI çalışmaları, FST'nin hem kaudat hem de putamen ile bağlantılı olduğunu göstermiştir. Pre-SMA'dan çıkan FST liflerinin kaudat nükleusun anterior kısmında ve putamenin anterior ile orta kısımlarında sonlandığı, SMA proper ve motor korteksten çıkan liflerin ise putamenin orta ve posterior kısımlarında sonlandığı gözlemlenmiştir.(52) Aynı çalışmada, FST liflerinin internal kapsülün bir parçası olduğu öne sürülmüş ancak daha fazla DTI değerlendirmesi, pre-SMA'dan çıkan FST liflerinin internal kapsülün lateralinde ilerleyerek putamenin lateral yüzeyinde sonlandığını göstermiştir. İnsan dışı primatlarda kortikoputaminal traktus olarak adlandırılan ve putamen ile bağlantılı olan liflerin, FST'nin bir parçası olduğu öne sürülmüştür.(71) Başka bir çalışmada ,FST liflerinin putamenin hem lateral hem de medial yüzeylerinde sonlandığı gösterilmiş olup kortikoputaminal liflerin FST'nin bir parçası olduğu ve klaustrokortikal liflerle birlikte dorsal eksternal kapsülü oluşturduğunu desteklenmektedir.(48)

2.1.1.B İnfrasylvian Bölge Akmadde Yolları

Orta Longitudinal Fasikül ve İnfierior Longitudinal Fasikül

İnfrasilviyan bölgede bulunan başlıca uzun asosiyel lifler, orta longitudinal fasikül (MdLF) ve inferior longitudinal fasikül (ILF) olarak tanımlanır. MdLF, superior temporal girus içinde bulunur ve temporal kutuptan başlayarak inferior parietal lobüle, özellikle angular girusa kadar uzanır. Arkuat fasikül'ün medialinden geçer.(12) Bu lif demeti, ilk olarak Seltzer ve Pandya tarafından makak maymununda otoradyografi yöntemiyle keşfedilmiş, daha sonra insan beyinde difüzyon tensor görüntüleme (DTI) ile gösterilmiştir.(72, 73) MdLF, posterior insular nokta (superior ve inferior limitan sulkuların birleşme noktası) ve anterior transvers temporal (Heschl's) girusun posteromedial ucunda anterior ve posterior kısımlara ayrılabilir. Anterior kısım inferior frontookipital fasikülüs (IFOF) üzerinde yüzeysel olarak ilerlerken, posterior kısım IFOF ile iç içe geçer.(12) MdLF, superior temporal girusun derinliklerinden çıkarak, posteriora angular girusa doğru uzanır ve işitsel (auditar) radyasyon'la yakın bir ilişki gösterir.(74) MdLF'nin işlevi belirsizdir, ancak bazı araştırmalar dil ve dikkat ile ilişkili olabileceğini öne sürerken, rezeksiyon ve elektrostimülasyon çalışmaları dil işlevinde belirgin bir bozukluk göstermemiştir.(75)

ILF, temporal polden başlayarak dorsolateral oksipital kortekse uzanır, kalkarin kortekse ulaşmaz ve sadece extrastriat alanlar ile sınırlı kalır. Preokspital çentik seviyesinde, 45° açıyla yukarı doğru bükülerek dorsolateral oksipital kortekse dağılır. ILF'nin intraoperatif stimülasyonu herhangi bir dil bozukluğuna neden olmamasına rağmen, fusiform (okspitotemporal) girus ve temporal pol gibi semantik ve sentaks işlemede rol oynayan alanlardaki bağlantıları nedeniyle dolaylı bir semantik dil yolu olarak önerilmiştir.(27) Inferior temporal girusun ve altındaki ILF'nin, dominant hemisferde bile rezeksiyonu, büyük bir defisite yol açmaz.(12)

2.1.1.C Sylvian Fissürü

Sylvian fissürü, Serebral yarımkürenin lateral yüzeyinde yer alan en belirgin yapıdır. Orta serebral arter (MCA) ve dallarının geçişine olanak tanır. Sylvian Fissür'ün, yüzeyel kısmı bir gövde ve birkaç dal (ramus) içerir. Gövde, medialde anterior klinoid çıkıntından başlar ve sfenoid ridge'in arkasında lateral olarak uzanır. Anterior horizontal, anterior ascending ve posterior rami'ye bölünerek konveksitede sonlanır. Posterior ramus, sylvian fissürünün en uzun dalıdır ve supramarginal girusta sonlanır. Anterior horizontal ramus, pars orbitalis ve triangularis'i ayırır; anterior ascending ramus, pars triangularis ve operkularis'i ayırır.(10, 76) Anterior horizontal ve ascending rami'yi açmak, insulanın üst anterior kısmına erişim sağlar; posterior ramus ve bitişik gövdeyi açmak ise insulanın geri kalan kısmına erişim sağlar. Ek bir ramus, frontoorbital ramus, 43 kadavral hemisferin 27'sinde bulunmuştur. Bu ramus, pars orbitalis'i posterior orbital girus'tan ayırır.(76)

Sylvian fissürünün derin kısmı, sfenoidal ve operculoinsular bölümlere ayrılır. Sfenoidal bölüm, sfenoid ridge'in arkasındaki limen alanının proksimalindedir. Operculoinsular bölüm, sylvian fissürünün yüzeysel rami'lerinin derininde yer alır. Operculoinsular bölüm, operküler ve insular olmak üzere iki dar yarıktan oluşur. Operküler yarık, yukarıda frontoparietal operkulümün karşıt dudakları ile aşağıda temporal operkulüm arasında yer alır. İnsular yarık ise, insula ile operkula'nın medial yüzeyi arasındadır ve iki kolu vardır. İnsular yarığın üst kolu, insula ile frontoparietal operkulümün medial yüzeyi arasında yer alırken; alt kolu, insula ile temporal operkulümün medial yüzeyi arasında yer alır.(10, 76)

2.1.2. Santral Cevher Mikrocerrahi Anatomisi

Santral Cevher

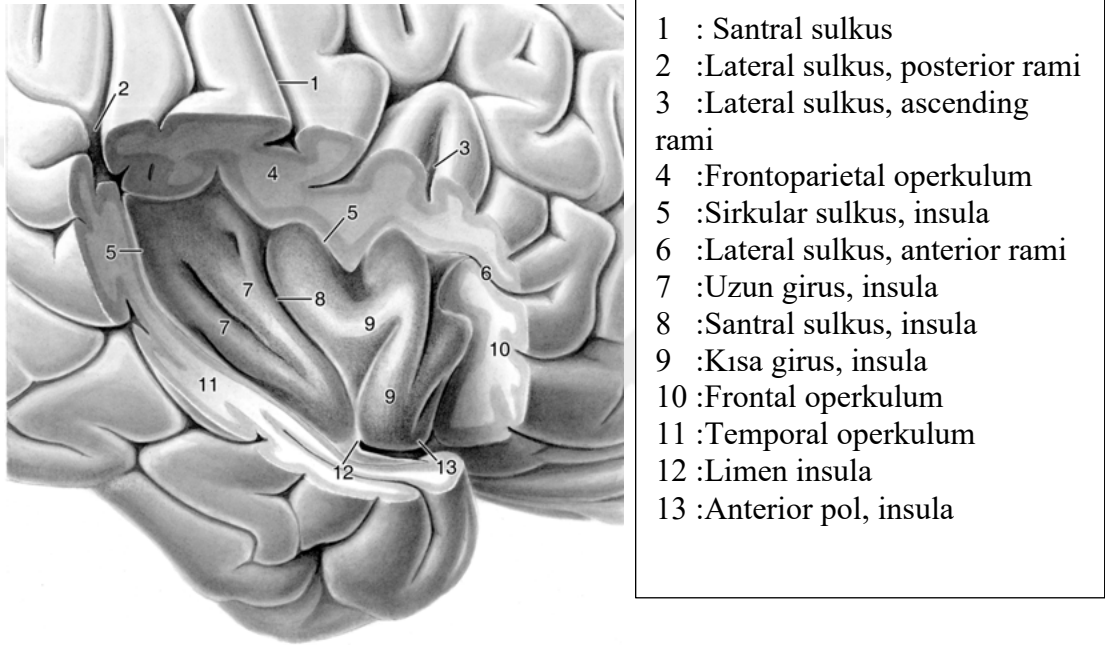
Santral cevher, supratentoriyal kompartmanın morfolojik olarak merkezinde yer alır. Dıştan içe doğru, insular korteksi, ekstrem kapsülü, klaustrumu, eksternal kapsülü, putameni, globus pallidus, internal kapsülü, kaudat çekirdeği, stria terminalisi, septal bölgeyi ve talamusu içerir. Ayrıca anterior komissürün medial kısmını ve anterior perforan madde (APS) üzerinde ve arkasında yer alan yapıları da içerir. APS üzerinde ve hemen arkasında yer alan ve ventral striatuma karşılık gelen bölgede akkumbens nükleusu, Meynert'in basal çekirdeği, ventral amigdala-fugal yollar, ve substantia innominata bulunur.(10)

İnsular korteks, üç anterior yerleşimli kısa girus ve iki posterior yerleşimli uzun girustan oluşur; bunlar santral insular sulkus ile ayrılmıştır. İki anterior sulkus, üç kısa girusu ayırır ve tek bir uzun sulkus, iki uzun girusu ayırır. İnsulanın sulkusları ve girusları, anteroinferior bölgeden posterior ve superior yönünde uzanan bir radyal desen oluşturur. Santral insular sulkus, insular sulkusların en derini olup, tüm hemisferlerde mevcuttur. Ayrıca, santral insular sulkus neredeyse hemisferin santral (rolandik) sulkus'u ile paralel seyrederek. Santral insular sulkus, insulayı kısa giruslardan oluşan daha büyük bir anterior kısma ve uzun giruslardan oluşan daha küçük bir posterior kısma ayırır.(76)

İnsular korteks sylvian fissürün operkuloinsular bölgesinin medial duvarını oluşturur. Frontal, parietal ve temporal operkulumlardan sirkular sulkus ile çevrelenmiş ve ayrılmıştır. Bu sulkus genellikle "limitan sulkus" olarak adlandırılır çünkü insulanın çevresini sarar. Sulkus üç kısımdan oluşur: anterior, superior ve inferior. Anterior sınırı "anterior limitan sulkus" olarak adlandırılır ve alt ucu süperior ve anterior'a doğru, frontal operkulümün pars orbitalis'inin derinliğine doğru yönelir. Superior sınır, ya da superior limitan sulcus, yatay bir şekilde yönelmiştir. İnsulanın anterosüperior kenarındaki anterior sınırlayıcı sulkus'un üst ucundan (anterior insular nokta) inferior sınırlayıcı sulkus'un posterior ucuna kadar (posterior insular nokta) frontoparietal operkulümün altında uzanır.(76)

İnsulanın alt kenarında temporal operkulümün altında inferior limitan sulkus yer alır. En uzun limitan sulkus superior, en kısa olanı ise anterior'dur.(76) Anterior

Limitan sulkus (ALS) ve Superior limitan sulkus (SLS) düz sulkuslardır, ancak İinferior limitan sulkus (İİLS) eğridir ve anterior ve posterior olmak üzere iki kısma ayrılabilir. İİLS'nin anterior kısmı daha yatay bir eğilim gösterirken, posterior kısmı daha dik bir eğilim gösterir.(77) İİLS'nin anterior ve posterior kısımları arasındaki geçiş noktasına yerleştirilen bir nokta, “posteroinferior insular noktası” olarak adlandırılır ve Heschl girusunun anterior kısmına medyaldır ve talamusun lateral genikülat cisminin (LGB) lateral projeksiyonuna karşılık gelir.(12)



Şekil 4 : İnsula, Frontal ve Temporal operkulum çıkarılmış (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System)

Santral cevher'in sınırları ilk olarak limitan sulkusların her birinden lateral ventriküle doğru çizilen üç düzlemlerle tanımlanmıştır; bu düzlemler anterior, superior ve posteroinferior sınırları belirler. Bu düzlemlerden her biri serebral isthmustan geçerek santral cevheri diğer serebral loblara bağlayan bağlantıları keser.(77) Santral cevher, serebral isthmus aracılığıyla hemisferin geri kalanına bağlanır. Isthmus, insulanın sirkular sulkusunun derininde bulunur. Isthmusun anterior kısmı, sirkular sulkus ile frontal boynuz arasında ince bir beyaz madde tabakasıyla ayrılır. Kesit

alındığında, frontal boynuzun lateral kenarı ile anterior limitan sulkus birbirine doğru projekte olur ve yalnızca isthmus tarafından ayrılır.(77)

Posterior isthmusta da durum aynıdır; sirkular sulkus ve atrium yalnızca ince bir beyaz madde tabakası olan isthmus tarafından ayrılır. Temporal lobu hemisferin geri kalanına bağlayan alt isthmus, aynı zamanda temporal lobun sapı (temporal stem) olarak da adlandırılır. Temporal stem, inferior limitan sulkus ile temporal boynuzun tavanı arasında yer alır. Güncel bir çalışmaya göre, temporal sap, superiora inferiora doğru 7 katmandan oluşmaktadır: Inferior frontooksipital fasikül (İFOF) ve Unsinat fasikül (UF), anterior komissür, optik radyasyon, işitsel radyasyon, sublentiküler internal kapsül, stria terminalis/kaudat nukleusun kuyruğu ve tapetum. Bu çalışmada yapılan diseksiyonlar, işitsel radyasyonların, temporal stem'in üçüncü ve dördüncü katmanlarında, sublentiküler internal kapsül ve optik radyasyon arasında dik bir şekilde geçtiğini göstermektedir.(74) Alt isthmusun alt kenarı boyunca hafifçe aşağıya doğru yönlendirilmiş bir kesiyle isthmus açılarak temporal boynuz açığa çıkarılabilir, ancak alt isthmusun orta kısmında yapılan kesi, lateral ve medial genikulat cisimlerinden ayrılan optik ve işitsel radyasyon liflerini keser. Yaşargil ve Wieser (78), amigdalo-hipokampektomi için, insulanın limenin hemen arkasındaki inferior limitan sulkus ve alt isthmustan 1 ila 2 cm'lik bir kesiyle amigdalaya ulaşmayı önermişlerdir.(10, 76, 77)

Isthmusun üst kısmı, superior limitan sulkus ile lateral ventrikülün gövdesini ayırır ve diğer bölgelere göre daha kalındır. Üst isthmus ayrıca internal kapsülü oluşturan lifleri de içerir. İsthmusun superior, posterior ve inferior kenarları boyunca doğrudan açmak, önemli motor, somatosensoryal, görsel ve işitsel yolların hasar görmesine yol açabilir. Isthmusun anterior kısmını açmak, orta ve posterior kısımlarını açmaktan daha az risk taşır.(77)

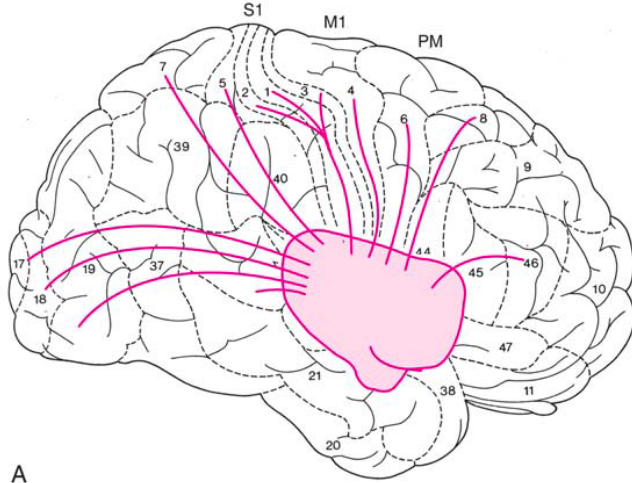
İnsular korteksin hemen medialinde ekstrem kapsül görülür. İnsular korteksin çıkarılması, ekstrem kapsülü ortaya çıkarır.(12) Ekstrem kapsülün, insular girusları birbirine bağlayan kısa asosiyasyon liflerinden (U-lifi) oluştuğu öne sürülmüştür.(79) Ekstrem kapsülün dilin sözdizimsel işlenmesinde ve ventral semantik fonksiyonlarında yer alabileceği öne sürülmüştür; bu fonksiyonlar genellikle bitişik IFOF ve unsinat fasiküle atfedilir.(80) Bir başka çalışmada ekstrem kapsül, afazi ile ilişkilendirilmiş olup, Broca ve Wernicke arasındaki ventral yol olarak

bildirilmiştir.(81, 82) Ekstrem kapsülün medialinde klastrum ve eksternal kapsül vardır. Klastrum, ekstrem kapsülün laterali ile eksternal kapsülün mediali arasında yer alan ince bir gri madde tabakasıdır.

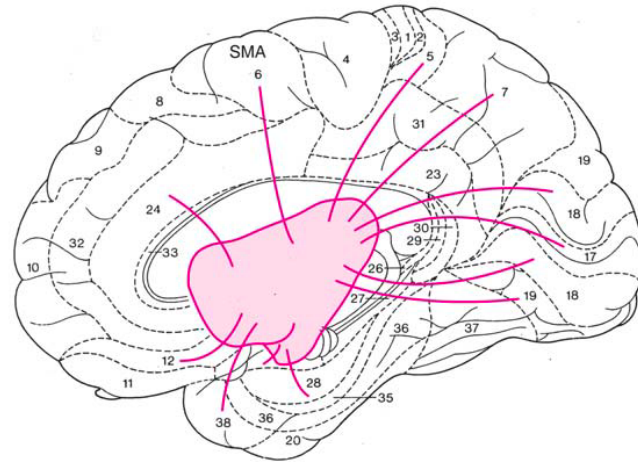
Hem eksternal kapsül hem de klastrum iki kısımdan oluşur: ventral ve dorsal.(83) Dorsal eksternal kapsül, klastrokortikal projeksiyon liflerinden oluşur ve bu lifler klastrumu, suplemer motor alan ile posterior parietal lob arasında kalan korteksle bağlar.(Şekil 5) Klastrokortikal sistem, görsel, somatosensöriyel ve motor bilgilerin entegrasyonunda yer alır.(83) Dorsal klastrum, ekstrem ve eksternal kapsüller arasında yer alır. Ventral eksternal kapsül ise yukarıda IFOF ve aşağıda UF (unkinat fasikül) tarafından oluşturulur. Ventral klastrum, ventral eksternal kapsüle serpiştirilmiş gri madde adalarından oluşur ve amigdala yönünde laterale doğru uzanır. Bir yüzyıldan fazla bir süre önce Déjérine ve Trolard, eksternal kapsülün klastrumdan gelen lifler içerdiğini belirtmişlerdi.(79, 84) Türe ve arkadaşları, dış kapsülün "çoğunlukla oksipitofrontal fasikülün derin liflerinden oluştuğunu" ve "putamenin her iki ucunda internal kapsülle birleştiğini" belirtmişlerdir.(13) Ancak daha sonraki çalışmalar oksipitofrontal ve unsinat fasiküllerin en derin lifleri de dahil olmak üzere eksternal ve ekstrem kapsüllerin ventral kısmını oluşturduğunu, klastrokortikal projeksiyon liflerinin ise eksternal kapsülün dorsal kısmını oluşturduğunu göstermektedir.(12, 77, 83)

Miranda ve arkadaşlarının DTİ çalışmasında, dorsal eksternal kapsülün (klastrokortikal lifler), superior frontal, precentral, postcentral, superior parietal ve parieto-oksipital bölgelerden gelen çok sayıda fiber demetinden oluştuğunu ve bu liflerin dorsal klastrum alanında birleştiğini belirtmişlerdir.(83) Dolayısıyla, dorsal eksternal kapsül esas olarak projeksiyon liflerden oluşmaktadır. Aynı çalışmada traktografi çalışmaları, dorsal klastrum ve eksternal kapsülde kortikal bölgelerin topografik bir organizasyonunu ortaya koymuştur; posterior kortikal alanlar dorsal klastrumun posterior kısmına, daha anterior kortikal alanlar ise anterior kısımda birleşmektedir. Morys ve arkadaşları, klastrumun histolojik incelemelerini yapmış olup klastrumun neokorteksle geniş bağlantılara sahip olduğunu ve bu bağlantıların topografik olarak organize olduğunu belirtmişlerdir.(85) Duffau ve arkadaşları, insular gliomaları olan vakalarda klastrumun tek taraflı rezeksiyonundan sonra kalıcı sensörimotor veya bilişsel bozuklukların olmadığını göstermiş olup, klastrumun

işlevsel rolünün tek taraflı lezyonlardan sonra telafi edilebileceğini ve klastrumun kritik bir merkez olmaktan ziyade bağlantısal bir yapı (büyük ölçekli bir ağın parçası) olarak işlev gördüğünü desteklemektedir.(86)



A



B

Şekil 5 : Klastrum ve korteks arasındaki lif bağlantıları kırmızıyla diyagramatik olarak gösterilmiştir.

A: Lateral Yüzey

B: Medial Yüzey

(M1: Birincil motor korteks,
S1: Birincil somatosensoryel korteks,

PM: Premotor korteks

SMA: Suplemer motor alan)

**(R. Nieuwenhuys J. Voogd
C. van Huijzen: The Human
Central Nervous System)**

Ventral eksternal kapsülü oluşturan lif demetlerinden İFOF, bir fronto-okipital bağlantı lifi yoludur. Orta ve inferior frontal girusları parietal ve okipital loblara bağlar. Frontal lobda, orta frontal girusun orta kısmına (dorsolateral prefrontal korteks), inferior frontal girusa (pars orbitalis ve pars triangularis) ulaşır. İFOF, korona radiata liflerinin lateralinde (yüzeysel), SLF II ve AF segmentlerinin frontal lobda medyalinde (derininde) yer alır.(12) İFOF'un anterior ve posterior terminasyonları tartışmalıdır. Sarubbo ve arkadaşlarının anatomik diseksiyon ve DTİ çalışmasında (87), İFOF'un frontal (anterior) terminasyonunun yüzeyel ve derin olmak üzere 2 bileşenin olduğunu

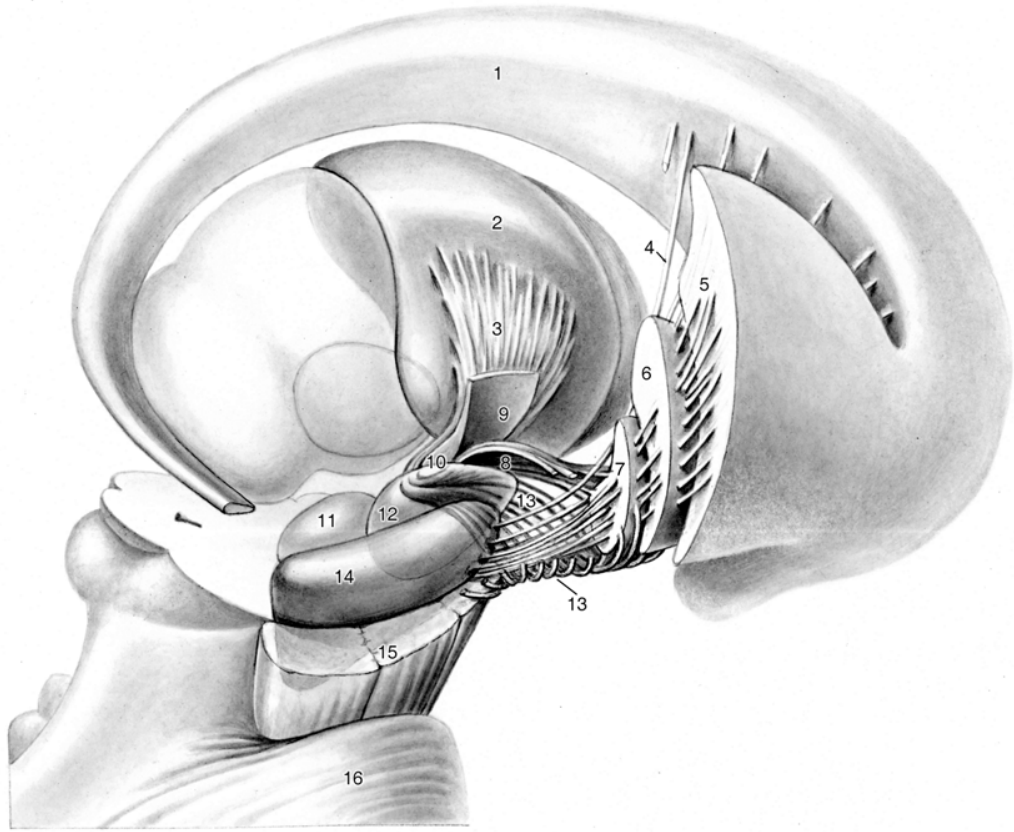
göstermiştir. Yüzeysel katman, ventral klastrumdan geçerek inferior frontal girusta (pars triangularis ve pars orbitalis) SLF terminasyonlarına bitişik sonlanır. Derin katman ise sonlanım yerlerine göre; Dorsolateral prefrontal korteks (inferior frontal girusun altından geçerek), Orta frontal girusun en ön kısmı ve lateral orbitofrontal korteks ve fronto-polar ve bazal orbitofrontal korteks olmak üzere üç farklı bileşene ayrılmıştır. Posterior terminasyonu açısından Martino ve arkadaşları (88),İFOF'u oksipital korteksi, temporobazal alanları ve superior parietal lobülü frontal lob ile birleştiren lif demeti olarak tanımlamıştır. Yağmurlu ve arkadaşları (12),İFOF'un parieto-okipital korteksteiki kortikal dağılımının üst sınırını, limen insula'nın orta noktası ile parieto-okipital sulkusun üst ucu arasındaki bir hattın altı olarak tanımlamış olup bu hattın ayrıca klastrokortikal liflerin posterior sınırı olduğunu göstermiştir. Yine aynı çalışmada İFOF, superior limitan sulkusun ön üçte birinin ve anterior sınırlayıcı sulkusun üst yarısının derininden geçtiği tanımlanmış olup unsinat fasikülün hemen üzerinde, limen insula seviyesinde daralıp, inferior limitan sulkusun orta üçte birinin derininden geçtiği tanımlanmıştır. Litaratür'de İFOF'un, sementik (anlamsal) işleme, görsel tanıma, çoklu duyuşal girdilerin entegrasyonu ve motor planlama, okuma ve yazma, ayrıca anlamlı konuşmanın anlaşılması ve üretilmesinde önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir.(12, 27, 87, 89, 90)

Unsinat fasikül (UF), bir frontotemporal asosiyasyon lifi yoludur. Temporal kutbu, dorsolateral kısmı aracılığıyla lateral orbitofrontal alanla, ventromedial kısmı aracılığıyla da medial orbitofrontal ve septal alanlarla bağlar. UF, anterior perforan maddenin hemen önünden geçer ve nucleus akkübens'in inferior ve medial taraflarını kaplayarak korpus kallozum'un genu'sunun altındaki bölgeye ulaşır.(12) Subgenual bölgede, ventral limbik yolun bir parçası olarak kabul edilen UF, dorsal limbik yolun bir parçası olarak kabul edilen singulum'un lifleriyle birleşir (Singulat pol).(91) Baydın ve arkadaşlarının çalışmasında (4), ayrıca UF'nin ventromedial kısmı ile singulum arasında unkusun anteromedial yüzeyinde yeni bir temporal bağlantı tanımlanmıştır. UF'nin ventromedial kısmı ile singulumun sadece frontal bölgede (singulat pol) değil, aynı zamanda temporal bölgede de kesişerek büyük bir devre oluşturduğu gösterilmiş ve bu temporal kesişime “unsinat kutup” adı verilmiştir. Nucleus accumbens'in orbitofrontal alanla olan bağlantısı, UF'un ventromedial dalı tarafından sağlanır. UF, anterior limitan sulkusun inferior yarısının ve inferior limitan

sulkusun en anterior kısmının derininden geçer ve kanca şeklini oluşturur. Litaratürde UF ile ilişkilendirilmiş anksiyete, şizofreni, psikopati, epilepsi ve frontotemporal demans gibi bazı nörolojik veya psikiatrik bozukluklar vardır. (92) Fakat fonksiyonel ve anatomik açıdan daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Eksternal kapsülün medialinde, lateralde putamen ve medialde globus pallidustan oluşan lentiform nükleus yer alır. İnsulanın korteksinin medialindeki dorsal striatal bölüm, putamen olarak bilinir. Putamen ve kaudat nükleus, internal kapsül tarafından ayrılır. Bu kapsül, beyin korteksi ile talamus ve merkezi sinir sisteminin tüm alt seviyeleri arasında bağlantı kuran büyük bir lif sistemidir. İnternal kapsül lifleri, hemisfere Korona radiata olarak yayılır. Striatum, içinden geçen internal kapsülün lif demetlerinin neden olduğu çizgili görünümünden adını almıştır. Globus pallidus, putamen ile internal kapsül arasında yer alır.(82)

Lentiform nükleus, internal kapsülün anterior bacağına geçen dağınık gri madde demetleriyle kaudat nükleusa bağlanır; bu yapılar gri maddeyi içeren transkapsüler köprüler (pontes grisei kaudatolentikülares) olarak da adlandırılır.(10) Ayrıca lentiform nükleus, putamenin fundus adı verilen uzantısıyla bazal ön beyne ve lentiform nükleusun alt uzantısıyla (lentiform nükleusun pedinkülü) amigdala'ya bağlanır.(12) Globus pallidus, yüksek miyelinli lif içeriği nedeniyle solgun görünümünden adını alır ve bu, Putamen'in koyu, neredeyse saydam görünümünden ayırt edilir. (82) Globus pallidus, hareket üzerinde öncelikle inhibe edici kontrol sağlar. Globus pallidus'a zarar verilmesi istemsiz titremelere neden olabilir, bu nedenle pallidotomi bazı hareket bozukluklarını tedavi etmek için kullanılır.(93)



Şekil 6: Ekstrapiramidal sistemin bazı çekirdekleri ve lif demetleri lateral görünümü (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System)

1 Kaudat nükleus
 2 Ventral lateral talamik nükleus
 3 Talamik fasikül
 4 Strionigral lifler
 5 Putamen
 6 Globus pallidus, external part
 7 Globus pallidus, internal part
 8 Lentiküler fasikül

9 Retiküler talamik nukleus
 10 Zona inserta
 11 Red nükleus
 12 Subtalamik nükleus
 13 Ansa lentikularis
 14 Substantia nigra
 15 Serebral pedinkül
 16 Pons

İki beyin hemisferi arasında bilgilerinin koordineli bir şekilde transferi, iki taraflı entegrasyon ve beden koordinasyonu için esastır.(94) Ana komisural lifler, Korpus kallozum (KK), anterior komissür (AK), hipokampal komissür (HiK), habenular komissür (HaK), supraoptik komissür (SoK) ve posterior komissür (PK) olarak sıralanabilir. Komisural lifler, bağladıkları beyin yapılarına göre kategorize

edilir. KK, AK ve HiK, telensefalik komisürlerdir; HaK, SoK ve PK ise diensefalik komisürlerdir.(95-97)

Anterior komissür, globus pallidus'un antero-inferior bölümünde, Gratiolet kanalı içerisinde, uncinat fasikül'ün arka kısmına yakın, lateral ventrikülün temporal boynuzunun süpero-anterior kısmında yer alır. Forniksin anterior kolonlarının önünden, bazal ön beyin üstünden ve internal kapsülün anterior bacağına medial ve ventral kısmının altından geçerek orta hattı çaprazlar. Optik kiyazma ve lamina terminalis'in üstünde yer alır. Üçüncü ventrikülün anterior duvarının bir kısmını oluşturur ve bisiklet gidonunu andırır. Her iki temporal bölge, özellikle amigdala, bu komissürün lifleri aracılığıyla birbirine bağlanır. (12, 98)

Anterior komissür anterior ve posterior bacak olmak üzere iki bölümden oluşur. Anterior bacak, her iki hemisferin koku alma sistemleri arasındaki bağlantıdan sorumludur (olfaktör komissür).(98) Ayrıca anterior bacak, medialde nucleus akübens ve lateralde substantia innominata arasında sınır oluşturur. Posterior bacak daha karmaşık bir anatomiye sahiptir. Temporal ve oksipital bölüm olmak üzere ikiye ayrılır. Anterior komissürün posterior bacağı Gratiolet kanalı içinde torsiyon geçirir, böylece superior lifleri temporal loblara, inferior lifleri ise oksipital loblara gider. (12, 98, 99)

Anterior komissür posterior bacağın anteriorunda ve inferiorunda, kortekse kolinerjik girdiyi sağlayan Meynert'in bazal nükleusu tarafından oluşturulan substantia innominata yer alır. Santral cevher yapılarını besleyen lentikülostriat arterler, anterior perforan maddeyi delerek anterior komissürün ön ve arka kenarlarının yanından geçer. Posterior bacak, inferior limitan sulkusun anterior üçte ikisinin derininden ve IFOF'un medialinden geçer. Temporal bölümün lifleri uncinat fasikülün hemen arkasından temporal kutba ve amigdalya doğru ilerler, oksipital bölümün lifleri posteriora doğru ilerleyerek sagittal stratum ile birleşir.(12, 98, 99)

Anterior komissür, insanlarda temporal loblar arasında görsel, işitsel, olfaktör ve gustatif bilginin interhemisferik aktarımında ilişkilendirilmiştir.(100) Korpus kallozum agenezili bireylerde interhemisferik görsel bilgilerin entegrasyonunu telafi edebileceği düşünülmektedir.(101) Ayrıca, epilepsi cerrahisinde önemli bir interhemisferik bağlantıdır. Temporal bölümünün, medial temporal loblar arasında

nöbet aktivitesinin hızlı yayılması için bir yol olduğu ve hemisferotomi veya fonksiyonel hemisferektomide kesilmesi gerektiği öne sürülmüştür.(102-104)

Anterior komissür bazı cerrahi yaklaşımlarda cerrahi saha içinde saklı kalır ve etraf nöral yapılar ile ilişkisinin akılda tutulması gereklidir. Mesial temporal bölge kaynaklı ilaca dirençli epilepsiler için kullanılan anterior temporal lobektomi sırasında temporal stem kesisi gereklidir. AK'ün temporal stem ile yakın ilişkisi akılda tutulmalı ve anterior temporal lobektomi cerrahisi sırasında bu liflerin minimum düzeyde hasar görmesini sağlamak için özel bir özen gösterilmelidir.(97) Anterior transkallozal ve interforniksel yaklaşım, 3. ventrikül tümörlerine ulaşmak için en sık kullanılan yaklaşımlardır. Bu nedenle, AK'ün 3. ventrikülün anterior boynu ve forniks ile yakın ilişkileri iyi bilinmelidir.(97) Ayrıca AK-PK (anterior komissür-posterior komissür) hattı, bazal ganglionlar ve diensefalon içindeki nöroanatomik hedeflerin lokalizasyonu ve stereotaktik atlaslarla ilişkilendirilmesi için önemli bir işaret noktasıdır.(100)

Anterior komissür posteroinferiorunda, amigdaldan çıkan ventral amigdalofugal yolak mevcuttur. Amigdala nükleer kompleksi, ventral yolu aracılığıyla bazal önbeyin, diensefalon ve beyin sapı çekirdekleri ile doğrudan bağlantılara sahiptir. Erkan ve arkadaşlarının çalışmasında ventral amigdalofugal yolak 5 segmente ayrılmıştır. Proksimalden distale doğru; Amigdala-substantia innominata bölümü, amigdala-septal bölümü (Broca'nın diagonal band'ı:DBB), amigdala-talamik bölümü, amigdala-hipotalamik bölümü ve amigdala-tegmental bölümüdür. Fonksiyonel açıdan ventral amigdalofugal yolağın amigdala-hipotalamik lifleri ve amigdala-tegmental lifleri ile ani beklenmedik ölüm (SUDEP) arasındaki ilişki vurgulanmıştır. (105)

Bazal ön beyin, anterior komissürün posterior krusunun anterior-inferiorunda yer alır. Bu bölge, substantia innominata, nükleus basalis ve akkübens, Broca'nın diyagonal bandı, medial septal çekirdekler ve amigdalanın kompleksinin stria terminalisin yatak çekirdeğine devamı olan genişletilmiş amigdala gibi yapıları içerir.(4, 106)

Substantia innominata anterior komissürün posterior bacağıın önünde, anterior komissürün anterior bacağı ve internal kapsülün anterior kolunun lateralinde ve anterior perforan maddenin üstünde yer alır. Putamenin fundusunu (anteroventral kısmını) oluşturan gri madde, anterior perforan maddenin üzerinde açık bir sınır olmaksızın substantia innominata ile birleşir. Substantia innominata, stria terminalisin

bed nükleusu ile superomedial yönde süreklilik gösterir ve inferolateral olarak amigdaloïd kompleksle birleşir. Nükleus accumbens ile substansia innominata ve septal çekirdeğin geri kalan kısımları arasında belirgin bir sınır yoktur. Ancak, anterior komissürün anterior bacağına bitişik internal kapsülün anterior kısmının inferior kenarının, Nükleus akkumbens ile substansia innominata arasındaki sınırı oluşturduğu düşünülmektedir. Substansia innominata, aynı zamanda stria terminalisin yatak çekirdeğine bağlanan amigdala uzantısını, yani genişlemiş amigdalayı ve nükleus akkumbens'in lateralinde, belirgin olmayan bir substansia innominata parçası olan Meynert'in bazal çekirdeğini içerir. (4, 12, 106)

Nucleus akkumbens, anterior komissürün anterior krusunun ve internal kapsülün anterior kolunun medialinde ve anterior komissür seviyesinin altında yer alır. Nükleus akkumbens kaudat çekirdeğinin başının altında yer almakta ve lateral, superior ve posterior yüzeyleri, sırasıyla substantia innominata, kaudat nükleus ve hipotalamusla belirgin bir sınır olmaksızın birleşir. (4, 12, 106)

Septal bölge, korpus kallozumun rostrumunun altında, anterior komissürün anterosuperiorunda, lamina terminalis ve stria terminalisin bed nükleusunun önünde ve subkallozal korteksin derininde yer alır. Dorsal olarak yerleşmiş medial septal çekirdek ve Broca'nın diagonal bandının dorsal uzantısını içeren medial septal kompleksten oluşur. Diagonal bandın ventral uzantısı, olfaktor tuberkülün kaudal kenarında, hemisferin ventral yüzeyi boyunca kaudolateral olarak uzanan diagonal bandın liflerine doğru ilerler. Medial septal kompleks, subikulum ve entorhinal korteks dahil olmak üzere hipokampusun tüm kısımlarıyla ve hipotalamusun tüm kısımlarıyla bağlantılıdır. Septohipokampal ve septohipotalamik bağlantıların topografik organizasyonu göz önüne alındığında, septal bölge lezyonlarının belirgin değişikliklere yol açabileceği ve bu değişikliklerin yeme, cinsel ve antagonistik davranışları etkileyebileceği düşünülmektedir. (4, 12, 106)

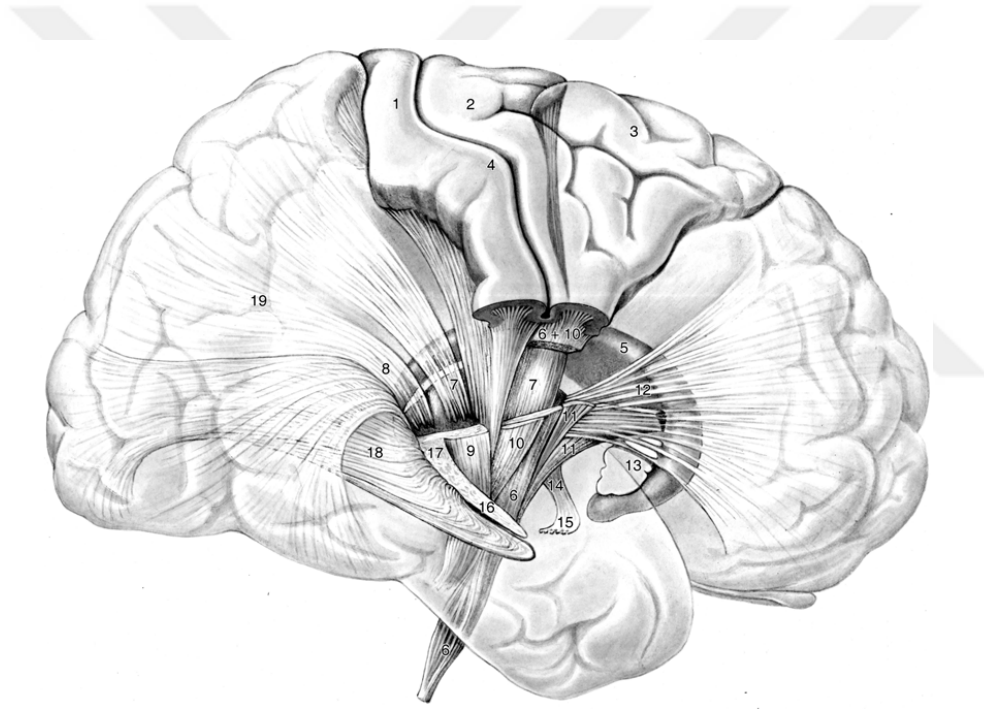
Internal kapsül, projeksiyon liflerinden oluşur ve lentiform çekirdeğin hemen medialinde yer alır. Lentiform nucleus seviyesinin üzerinde, superior limitan sulkus seviyesinde, bu projeksiyon lifleri korona radiata adı verilen radyal bir düzen içinde yer almaktadır. Internal kapsül, lentiform nükleus tarafından lateral olarak ve kaudat nükleus ile talamus tarafından medial olarak sınırlanan kalın bir ak madde kütesidir. Anterolateral ve posterolateral kenarları, aksiyal kesitlerde, sırasıyla lentiform

çekirdeğin anteromedial ve posteromedial kenarlarına bakan yaklaşık dik açılarla birleşir. Internal kapsül anterior bacak, posterior bacak, genu ve retrolentiküler ve sublentiküler kısımlar içermektedir.(10, 12)

İnternal kapsülün anterior bacağına bazal sınırı anterior komissür'ün anterior bacağına seviyesinde yer alır. Prefrontal ve anterior singulat bölgeye doğru hareket eder ve içinde kaudat nükleus ile lentiform nükleusun pedinkülü arasında seyreden gri madde köprüleri bulunur. Daha derininde S şeklinde projeksiyona sahip olan anterior talamik pedinkül bulunur. Genu kısmı foramen monro'nun hemen lateralinde olup presantral girusun alt üçte birini beyin sapındaki ilgili kraniyal çekirdeklere bağlayan kortikobulbar lifleri içerir. Yine daha derininde S projeksiyona sahip süperior talamik pedinkül bulunur. İnternal kapsülün posterior bacağı, lentiform nükleus ile talamus arasında yer alır. Posterior bacak, kortikospinal, kortikopontin, kortikotegmental lifler ile ilişkilidir. Retrolentiküler kısım lifleri oksipitale doğru yönelip sagittal stratum'a katılır. Posterior talamik pedinkülün lateralinde ve yüzeyindedir. Sublentiküler internal kapsül'ün temporal kutuptan (pol) uzanan iki farklı bileşeni olup bunlar temporopulvinar lifler (Arnold fasikülü) ve temporopontin liflerdir. (Türk fasikülü)(10, 12)

Talamus, lateral ventrikülün merkezinde, beyin sapının üst ucunda yer alır. İnsulanın posterior yarısının derininde konumlanmıştır. Anterior talamik tüberkül, anterior talamik nükleus üzerinde bulunan çıkıntıdır ve Monro deliğinin posterior kenarını oluşturur. Talamus, posterior olarak posterior komisür seviyesine ve inferior olarak hipotalamik sulkus seviyesine ulaşır. Üst kenarı, lateral ventrikülün tabanını oluşturur. Stria terminalis ve talamostriatal venler, talamus ile kaudat nükleus arasındaki dorsolateral bölgede yer alır ve sınır oluşturur. Lateral ventrikül, talamusun superior, inferior ve posterior yüzeylerini çevreler. Talamusun belirgin bir posterior kısmı olan pulvinarın posterolateral kısmı, atriyumun anterior duvarının lateral yarısını oluşturur; pulvinarın posteromedial kısmı fornixin kruzusu ile örtülüdür ve fornixin medialindeki kısım, kuadrigeminal sisternin anterior duvarının bir bölümünü oluşturur ve genikulat cisimler bölgesindeki inferolateral kısım, ambient sisternin tavanının bir bölümünü oluşturur. Talamusun medial kısmı, üçüncü ventrikülün lateral duvarının üst kısmını oluşturur.(10)

Kaudat nükleus, talamusun lateral kısmını çevreleyen yay şeklinde C biçiminde bir yapıdır. Büyük bir başa sahip olup kuyruk kısmına doğru incelir. Kaudat başı lateral ventrikülün frontal boynuzunun lateral duvarında bir çıkıntı oluşturur. İnce uzun kuyruk, atriyal duvarda aşağıya doğru ark yaparak pulvinarın lateral kenarı boyunca uzanır ve atriyumun lateral duvarının bir parçasını oluşturur. Kuyruk, temporal boynuzun çatısına ulaşır ve burada ileriye doğru ilerleyerek amigdala ile lentiform nükleusun alt kısmı arasındaki birleşim yerine karışır. Kaudat nükleus lateral ventrikül gövdesinde talamusun süperolateralinde, atriyumda talamusun posterolateralinde ve temporal boynuzda talamusun inferolateralinde bulunur.(10)



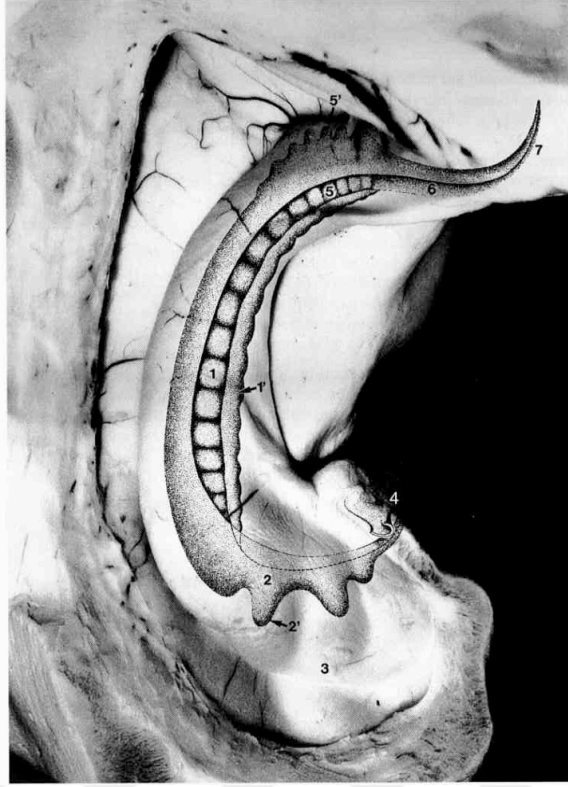
Şekil 7: Talamik pedinküllerin ve internal kapsülün lateral görünümü.

Kortikopontin ve kortikospinal liflerin proksimal kısmı, talamik pedinkülleri göstermek için çıkarılmıştır. Serebral kortekste ki piramidal yol vurgulanmıştır. (R. Nieuwenhuys J. Voogd C. van Huijzen: The Human Central Nervous System)

1 :Postsantral girus 2 :Presantral girus 3 :Frontal girus (Brodmann 6, 8) 4 :Santral sulkus 5 :Kaudat nükleus İnternal kapsül, posterior bacak: 6 :Piramidal trakt 7 :Süperior talamik pedinkül 8 :Posterior talamik pedinkül 9 :Parietopontine trakt 10:Kortikotegmental lifler	İnternal kapsul, anterior bacak: 11 :Frontopontin trakt 12 :Anterior talamik pedinkül 13 :Putamen 14 :İnferior talamik pedinkül 15 :Ansa pedunkularis 16 :Temporopontin lifler (internal kapsül, sublentiform part)	İnternal kapsul, anterior bacak: 11 :Frontopontin trakt 12 :Anterior talamik pedinkül 13 :Putamen 14 :İnferior talamik pedinkül 15 :Ansa pedunkularis 16 :Temporopontin lifler (internal kapsül, sublentiform part)	17 :Oksipitopontin lifler (internal kapsül, retrolentiform part) 18 :Optik radyasyon 19 :Sagittal stratum
--	---	--	---

2.1.3 Hippokampus ve Forniks

Lateral ventrikül temporal boynuzlarının inferomedialinde yerleşen, dentat girus ve Cornu Ammonis adında iç içe dürülmüş iki laminadan oluşan yapıya “*hippocampus*” ismini veren kişi 16. Yüzyılda yaşamış olan anatomist ve cerrah Julius Caesar Arantius’dur. Yukardan bakıldığında; kıvrımlı yapısı, baş ve kuyruğuyla deniz atını andırır. Baş, gövde ve kuyruk olmak üzere 3 kısımda değerlendirilir. Her kısmın intraventriküler ve ektraventriküler bölümleri vardır. En hacimli kısım olan intraventriküler hipokampal başın ayırt edici özelliği koroid pleksusdan yoksun olması ve kedi patisini andıran görünümüyle “*digitationes hippocampi*” yani hipokampal dijitalasyonlardır. Hepsi birden pes hippocampi olarak adlandırılır. Unkusun posterior kısmı, önde unkal (rostral) subikulumu arkada hipokampal başın ektraventriküler kısmını içerir. Fimbria unkusun en arkasına tutunur, burası intralimbik girus olarak adlandırılır. Posterior unkusun inferior ve medial yüzeyinde dentat girusa ait margo dentikularisin bant şeklinde devamı olan ve dışarıdan gözüken Giacomini Bandı vardır.



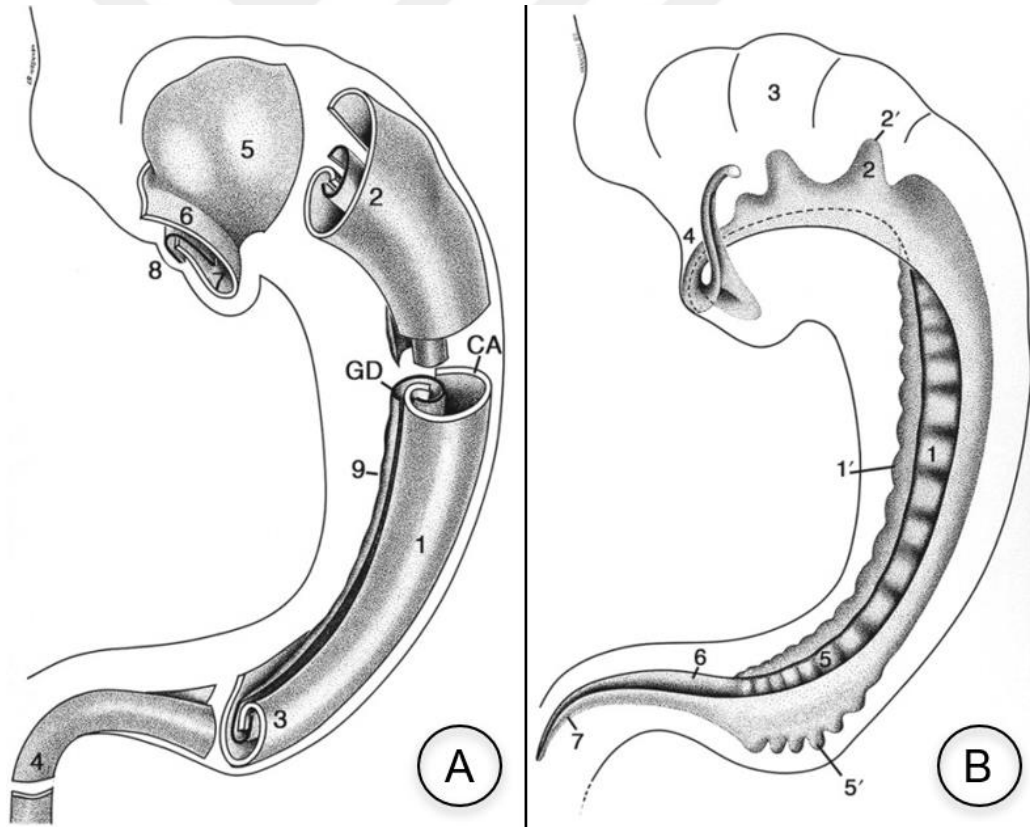
Şekil 8: Hippokampus ve ilişkili nöral yapılar. Hippokampusun içinden görülen dentat girus.(Hippokampus şeffaf olarak gösterilmiş) (Duvernoy H., Cattin F., Risold P. “The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization, and Serial Sections with MRI”)

1 :Hippokampal gövdedeki dentat Girus	4 : Giacomini Bandı
1' :Margo denticulatus	5 : Hippokampal kuyruktaki dentat girus
2 :Hippokampal baştaki dentat girus	5' : Dentat girus'un dijital uzantıları
2' :Dentat girus'un dijital uzantıları	6 : Fasciola cinerea
3 :Hippokampal dijitasyon	7 : Fasciola cinerea'nın terminal kısmı

Hippokampusün gövdesi medialde fimbria, lateralde kollateral eminens ile sınırlıdır, üzerini koroid pleksus örter. Fimbrianın bittiği ve koroidal fissürün başladığı inferior koroidal nokta, hipokampal başla gövde arasındaki sınırı ortaya koyar. Bu noktada anterior koroidal arter ve inferior ventriküler ven girerek kaudale doğru uzanır. Ventrikül içinde hipokampus kuyruğunun medialinde fimbria, lateralinde kollateral trigon vardır. Buradaki koroid pleksus belirgin hacimlidir ve koroid glomusu oluşturur. Kuyruk kaudale ilerlerken, kuyruğun lateralinden geriye sivrilerek uzanan

bir tümsek belirir, bu yapı kuşların mahmuzuna benzetildiği için kalkar avis olarak adlandırılmıştır. Kaudale doğru margo dentikulatusun dişleri küçülmeye başlar. Daha distalde margo dentikulatus fasciola cinereayı, Cornu Ammonis girus fasciolarisi oluşturur. CA1 yüzeyleşerek tümsekçikler oluşturur. Bunlar Andreas Retzius Girusları olarak adlandırılır. Girus fasciolaris spleniumu örter ve subsplenal girus adını alır. Bu yapı indusium griseum ile devam eder. Dentat girusun devamı fasciola cinerea ise hipokampal kuyruğun terminal kısmında yok olur. (82, 107, 108)

Hipokampusun dış yüzeyi ak madde içi ise çoğunlukla gri maddeden oluşur. Hipokampal formasyon genelde dentat girus, cornu Ammonis ve subikulum olmak üzere üç yapıyı ifade eder. Subikulum hipokampusun medialinde yer alır. Bazı yazarlar hipokampal formasyon ifadesini daha da genişleterek entorinal korteksi de dahil ederler. (82, 107, 108)



Şekil 9: A) Hipokampus iç yapısının genel görünümü. Cornu Ammonis (CA) ve dentat girus (GD) birbirinin içine dürülen U şekilli laminaları oluşturur.

1 :Hipokampal gövde	6 :Vertikal dijitalasyon
2 :Hipokampal baş	7 :Unkus medial yüzünde Cornu Ammonis ve Dentat girus.
3 :Hipokampal kuyruk	8 :Giacomini Bandı
4 :Kuyruk terminal kısmı	9 :Margo dentikulatus.
5 :Hipokampal dijitalasyon	

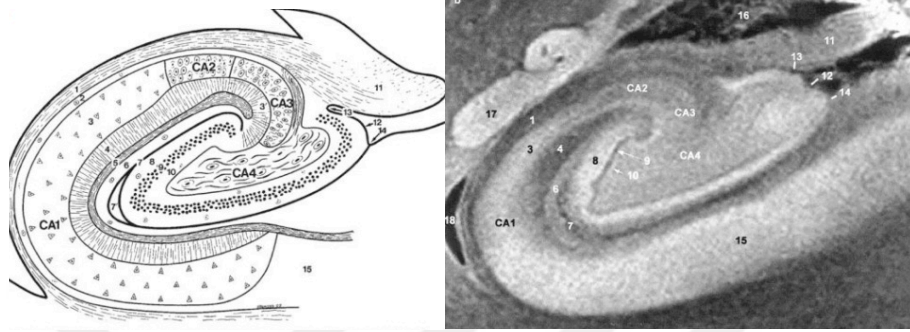
B) Şeffaf hipokampus içinde dentat girus.

1 :Gövdeye ait dentat girus.	4 :Giacomini Bandı
1' :Margo dentikulatus.	5 :Kuyrukta dentat girus.
2 :Hipokampal başta dentat girus.	5' :Dentat girusun dijital uzantıları
2' :Dentat girusun dijital uzantıları.	6 :Fasciola cinerea
3 :Hipokampal dijitalasyon.	7 :Fasciola cinerea terminal kısmı

(Duvernoy H., Cattin F., Risold P. “The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization, and Serial Sections with MRI”)

Cornu ammonis ve dentat girus U şeklindedir ve iç içe geçmiştir. Ventrikülden hipokampal sulkusa doğru, Cornu Ammonis alveus, stratum oriens, stratum pyramidale, stratum radiatum, stratum lakunozum ve stratum molekülare olmak üzere altı katmanda incelenebilir.(Özgündüz Y. Hipokampusun iç mimarisi ve komşuluklarının lif mikrodiseksiyonu ile üç boyutlu gösterilmesi [Tıpta Uzmanlık Tezi].Sağlık Bilimleri Üniversitesi;2022. <https://tez.yok.gov.tr/>) Alveus, hipokampus etrafını saran aksonlardan oluşur. Hipokampus ve subikulum eferent liflerini ayrıca medial septal nükleustan gelen aferent lifleri içerir. Bu lifler fimbriaya katılırlar. Stratum oriens, basket hücreleri olarak adlandırılan saçılmış sinir hücrelerinden oluşur. İncecik, zarımsı, sınırı belirsiz bir yapıdır. Stratum pyramidale, adını barındırdığı piramit şeklindeki tabanı alveusa bakan nöronlardan alır, bu nöronlar Cornu Ammonis'in esas yapıtaşdır. Stratum radiatum, piramidal nöronların apikal dendritlerince oluşturulmuştur. Bunların paralel tertibi çizgili, radial görüntü oluşturur. Stratum lakunozum ve molekülarede piramidal hücre dentritlerinin terminal

dallanmaları vardır. Stratum lakunozum piramidal katmana stratum molekülare dentat girusa bitişiktir. Histolojik farklardan yola çıkarak Cornu Ammonis CA1, CA2, CA2, CA3 ve CA4 olmak üzere dört alt kısımda değerlendirmiştir. CA1, distalde yer alır ve piramidal hücreler içeren subikular komplekse ait prosubikulomla devam eder. CA2, CA1 ve CA3 arasında yer alır.



Şekil 10: Hipokampus iç yapısının genel görünümü. Hipokampal gövde koronal kesitinin çizimi ve yüksek tesla MRG ile görünümü (Duvernoy H., Cattin F., Risold P. “The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization, and Serial Sections with MRI”)

<p>Cornu Ammonis:</p> <p>1 :alveus</p> <p>2 :stratum oriens</p> <p>3 :stratum piramidale</p> <p>3' :stratum lusidum</p> <p>4 :stratum radiatum</p> <p>5 :stratum lakunozum</p> <p>6 :stratum molekülare</p> <p>7 :kalıntı hipokampal sulkus</p>	<p>Dentat girus:</p> <p>8 :stratum molekülare</p> <p>9 :stratum granülozum</p> <p>10 :polimorfik katman</p> <p>11 :fimbria</p> <p>12 :margo dentikulatus</p> <p>13 :fimbriodentat sulkus</p> <p>14 :(superfisyal) hipokampal sulkus</p> <p>15 :subikulum</p> <p>16 :koroid pleksus</p> <p>17 :kaudat nükleus kuyruğu</p> <p>18 :lateral ventrikülün temporal boynuzu</p>
---	--

Cornu Ammonis’in, dentat girusun oluşuna girerken yaptığı dirsek, CA3’e denk gelir. Cornu Ammonis’in dentat girus oluşundaki ucu CA4 olarak adlandırılır. Dentat girus hipokampusün koronal kesitinde Cornu Ammonis’e göre görece dar açıklığı yukarı bakan oluk şeklinde bir laminadır. Oluşturduğu oluk yapısı CA4’ü sarmalar. Dentat girusa ait dar bir kısım olan Margo dentikulatus subikulomla çıplak gözle görülebilir. Margo dentikulatus insanda karakteristik olarak dişli yapıdadır ve primitif korteksin bittiği sınırı kabul edilir. Subikulum ile arasında superfisyal

hipokampal sulkus vardır. Fimbria ile arasındaki sulkus ise fimbriodentat sulkus olarak adlandırılır. Dentat girusun stratum molekulare, stratum granulozum, ve polimorfik katman olmak üzere üç katmanı vardır. Subikulum hipokampal formasyona aittir. Koronal ekseninde Cornu Ammonis'in proksimal bitişiği dentat girus, distalde devamı subikulumdur. Subikulum hücre mimari açısından proksimalden distale; prosubikulum, esas subikulum, presubikulum ve parasubikulum olmak üzere dört kısımda incelenebilir. Subikulum yüzeyde moleküler zon ortada kalın bir piramidal katman ve derinde polimorf tabaka olmak üzere üç katmanda değerlendirilir.(82, 107, 108)

Forniks, hipokampüsün ana efferent bağlantısı olup, hipokampüsün hemen dorsoline yerleşmiş olan intralimbik girustan çıkar. Forniksin fimbria kısmı hipokampüsten kaynaklanır ve splenium seviyesinde forniksin krus kısmına karışır. Forniksin krus kısmı talamusun etrafında döner ve forniksin gövdesini oluşturur. Forniksin gövdesi, lateral ventrikülde korpus kallozumun altında yer alır ve anteriora doğru ilerleyerek anterior komissür seviyesinde ayrılır. Posterior lifler, postkomissural forniks olarak adlandırılır ve hipotalamustan devam ederek mamiller cisimlerin posteromedial yüzeyinde sonlanır. Mamillotalamik trakt, mamiller cismin anterolateral yüzeyinden çıkar ve anterior talamik çekirdeklere ulaşır. Anterior lifler ise prekomissural forniks olarak adlandırılır ve septal nükleuslar'da ve nükleus akkumbens'de sonlanır.(4)

2.1.4. Serebrum'un Medial Yüzey Mikrocerrahi Anatomisi

Singulum

Singulum, limbik sistem içerisinde birden fazla bölgeye yayılan kritik bir ak madde yolu olup yalnızca duygular ve hafızayla değil, aynı zamanda davranışsal tepkilerle de ilişkilidir. Singulum, subkallozal alandan başlayarak, korpus kallozum'un rostrum ve genu bölgesinin etrafında bir yay oluşturarak retrosplenial alana doğru uzanır ve anteroinferior yönde parahipokampal girusa (PHG) doğru ilerler. Singulum demetinin dorsal ve ventral kısımlara ayrılması, anatomo-fonksiyonel açıdan hâlâ geçerlidir; çünkü dorsal bileşen, dorsomedial varsayılan mod ağı (DMN – default mode network) olarak bilinen medial frontal korteks ve prekuneus bölgesinde bulunan alanları bağımsız olarak birbirine bağlar. Ventral singulum ise retrosplenial ve posterior

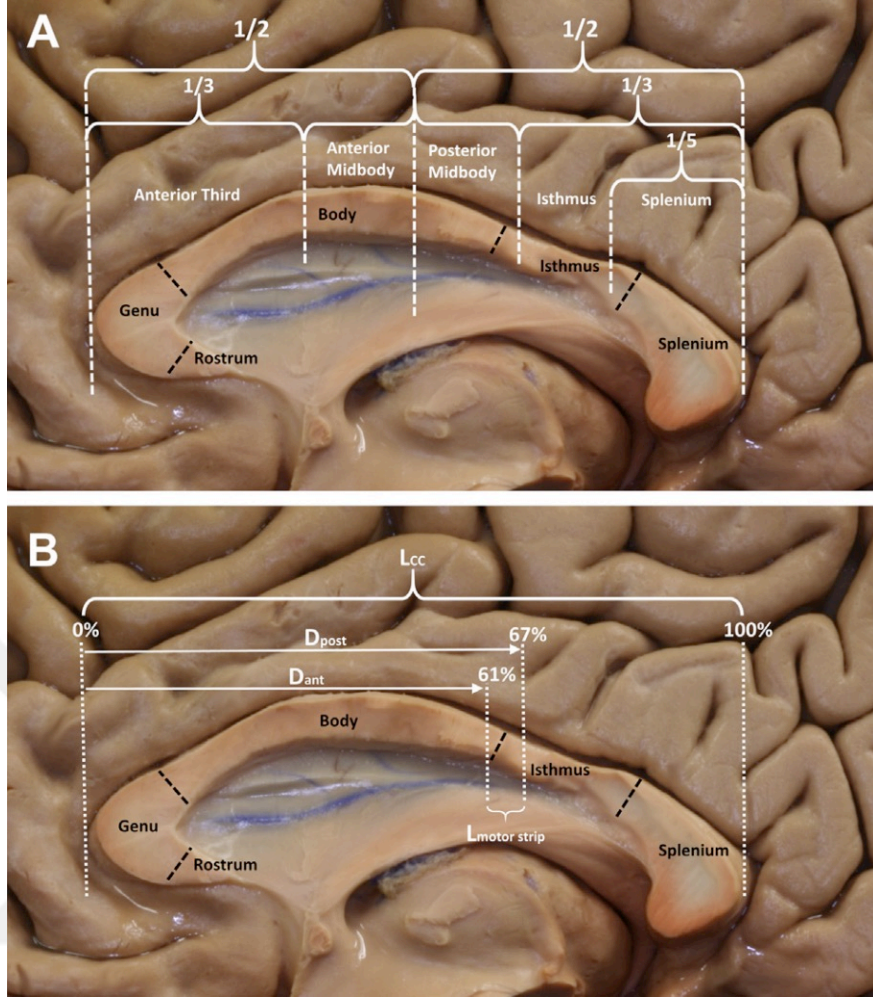
parahipokampal alanları önde unkal bölge ve amigdala ile bağlayarak mekânsal yönelim ve navigasyon hafızası için ayrılmış ağı oluşturur.(109)

Klasik nöroanatomik çalışmalar, singulumun uzun yolu boyunca izlediği seyrin ve yapısal özelliklerinin önemini vurgulamış ve singulat girusun istmusunun derininde, prekalkarin bölge seviyesinde demetin tipik olarak daralmasını belirtmiştir.(110) Retrosplenial singulum lifleri ile ilgili Dejerine'in eski tanımı, singulum demetinin dorsal ve ventral bileşenleri arasında bağlantısal bir geçiş bölgesi olan ve singulumun isthmik kısmını üçüncü bir bileşen olarak oluşturan bir yapıya karşılık gelebilir.(109) 1937'de Papez tarafından yapılan orijinal fonksiyonel tanımlamadan bu yana, singulum duyguları destekleyen devrenin bir bileşeni olarak kabul edilmekte ve klinisyenlerin büyük ilgisini çekmektedir(111). İnfrarostral septal alan, suprakallosal singulat girus, PHG ve prekuneus, MacLean'in işlevsel olarak entegre limbik sisteminin başlıca kortikal bileşenleri arasında yer alır ve bunların tümü işlevsel olarak singulat istmus ile bağlantılıdır.(4, 10, 112) Limbik sistem içerisindeki en kritik bağlantı noktalarından biri retrosplenial singulat isthmustur, çünkü bu bölge singulat girus ile serebral hemisferin geri kalanı arasındaki bağlantıyı sağlar.(109) Saygı ve arkadaşlarının çalışmasında, singulat isthmusun, derinlemesine yerleşmiş singulum liflerinin retrosplenial alan üzerinden PHG, prekuneus, kuneus ve medial suprakallosal kortekse ulaşmak için, demetinin dorsal ve ventral bileşenleri arasında, dar bir geçit olduğunu ortaya koyulmuştur. Bu bölge isthmik singulum olarak adlandırılmıştır. İstmik singulumun splenium ve superior talamik radyasyonlarla yakın bağlantıları, bu çalışmada ilk kez gösterilmiştir. İstmik singulumun parieto-okspital sulkus düzeyinde, prekuneus'un arka kısmının tabanı boyunca lateral hemisferik uzanımını da sergilemiştir. İstmik singulum, lateral hemisferin derinlerine kadar izlenebilir ve MdLF, IFOF ve klastrokortikal lifler olmak üzere üç farklı ak madde traktı ile yüzeyden derine doğru birleşebilir.(109)

Korpus Kallozum

Korpus kallozum, hemisferler arasında, interhemisferik fissürün tabanında ve lateral ventriküllerin tavanında yer alan en önemli ön beyin komissürlerinden biridir. Korpus kallozumun topografik segmentasyonu Witelson (1989) tarafından korpus kallozum 5 ayrı bölüme ayrılarak yapılmıştır; Rostrum, genu, gövde, isthmus ve

spleniumdur (113). Genu, frontal lobları birbirine bağlayan geniş bir lif yolu olan forceps minörü oluşturur; bu yapı, frontal boynuzun ön duvarını oluşturur, öne ve laterale doğru uzanır. Rostrum lateral ventrikül anterior boynuzunun tabanını oluşturan, lamina terminalis ile anterior kommisürün anteriorunda aşağı doğru devam eden korpus kallozumun ince konik kısmıdır. Frontal korteksin orbital kısımları rostrum aracılığıyla birbirine bağlanır. Kallozal gövde, lateral ventrikül gövdesinin çatısını oluşturarak serebral korteks boyunca transvers seyreder ve internal kapsül lifleriyle iç içe geçerek korona radiata liflerini oluşturur. İsthmus, korpus kallozumun posterior kısmında, kallozal gövde ile splenium arasında yer alır. Korpus kallozumun kalın, yuvarlak arka ucu olan splenium, pineal cismin dorsalinde ve atriumun medial duvarının üst kısmında bulunur. Splenium, oksipital lobları birbirine bağlayarak atrium ve oksipital boynuzun medial duvarının üst kısmında "bulb" olarak adlandırılan bir çıkıntı oluşturan büyük bir yol olan forceps majörü meydana getirir. Gövdenin posterior kısmında ve spleniumda başlayan bir başka lif yolu olan tapetum, atriumun, temporal ve oksipital boynuzların tavanını ve lateral duvarını oluşturmak üzere laterale ve inferiora doğru uzanır. Tapetum, optik radyasyon liflerini temporal boynuzdan ve atriumdan ayırır. Singulat girus, korpus kallozumu çevreler ve kallosal sulkus ile korpus kallozumdan ayrılır.(10)



Şekil 11: Sağ yarımküredeki korpus kallozum ve anatomik segmentlerine ayrılışı.

Witelson sınıflaması, korpus kallozumun topografik organizasyonuna yönelik en yaygın kullanılan segmentasyon olup, 5 dikey segment tanımlar.(A) Witelson sınıflamasına göre midsagittal korpus kallozumun topografyası, beş bölümden oluşur: ön üçte birlik kısım, ön orta gövde, arka orta gövde, isthmus ve splenium. (B) Küçükyürük ve arkadaşlarının çalışmasında rapor edilen ölçümleri gösteren görüntü. En anterior ve en posterior motor lifler takip edilerek işaretlenmiş ve genu ucuna olan mesafeleri ölçülmüştür. (LCC, korpus kallozumun toplam uzunluğunu gösterirken, Lmotor strip, motor lifler tarafından işgal edilen korpus kallozum segmentinin uzunluğunu göstermektedir. Dant, en anterior motor lifin genu ucuna olan mesafesini gösterir, Dpost ise en posterior motor lifin genu ucuna olan mesafesini gösterir. Body: KK gövde,)

(Küçükyürük B, et al. Evaluation of Ideal Extent of Corpus Callosotomy Based on the Location of Intracallosal Motor Fibers World Neurosurg. 2020

Dec;144:e568-e575)(114)

Kallozal radyasyonlar Shah ve arkadaşlarının çalışmasında (115) dorsal, ventral, anterior ve posterior olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Bu çalışmaya göre Dorsal kallozal radyasyonların, korpus kallozumun gövdesinden yayıldığı ve her iki yarımkürenin medial yüzeyine yatay olarak uzandığı görülmüş olup Ventral kallozal radyasyonların anterior ve posterior bileşenleri olduğu tespit edilmiştir. Anterior bileşen, genu bölgesinde, liflerin lateral ve inferior olarak geçtiği ve ardından posteriora dönerek kaudat başında sona erdiği bölgedir. Bu liflere ventral kallozal radyasyonların anterior bileşeni denilmiştir. Ventral kallozal radyasyonların posterior bileşeni, lateral ventrikülün gövde, atrium ve oksipital hornunun çatısını oluşturacak şekilde lateral olarak uzanmakta ve ardından inferiora doğru dönerek lateral ventrikülün temporal ve oksipital hornlarının en içteki tabakasını (tapetum) oluşturmaktadır. Anterior kallozal radyasyonlar, korpus kallozumun genu ve rostrumundan kaynaklanan liflerdir. Liflerin çoğu, medial orbitofrontal bölgeye girmek için öne doğru kıvrılır. Bu lifler, lateral ventrikülün frontal boynuzunun medial duvarını oluşturur ve daha çok forceps minor olarak bilinir. Korpus kallozumun spleniumundan kaynaklanan lifler, posteriora doğru kıvrılarak medial oksipital bölgeye girmektedir ve bunlara forceps major veya posterior kallozal radyasyonlar denir.(115)

Witelson sınıflandırması, korpus kallozumu topografik olarak, anterior üçte biri, anterior ve posterior orta kısım, posterior üçte biri ve posterior beşte biri olmak üzere 5 dikey segmentte böler. Shah ve arkadaşlarının çalışmasına göre, motor liflerin korpus kallozumun orta kısmının anterior bölümünde geçtiği düşünülmüş olup yakın zamanda Küçükyürük ve arkadaşları motor liflerin korpus kallozumun posterior orta kısmında ve isthmusundan geçtiğini bulmuşlardır. Epilepsi cerrahisi için kallosotomiye spleniumun anterior kenarına kadar genişletmeyi önermişlerdir.(114) Korpus kallozumun cerrahi kesim tekniği, Van Wagenen ve Herren tarafından, epilepsiyi kontrol altına almak için hemisferler arası impuls transferinin kesilmesi amacıyla ilk olarak önerilmiştir.(116) Bu teknik, korpus kallozumun transvers olarak uzanan liflerine dik olan median longitudinal bir kesiden oluşmaktaydı. Mazza ve arkadaşları

ise, ak madde lifleri ve mikrocerrahi anatomisine dayanarak, üçüncü ventrikül lezyonlarına erişmek için korpus kallozumda transvers bir kesim yapılmasını önermiştir.(117) Bu, longitudinal kallosotomi prosedürü ile karşılaştırıldığında daha iyi nöropsikolojik sonuçlar elde edilmiştir.

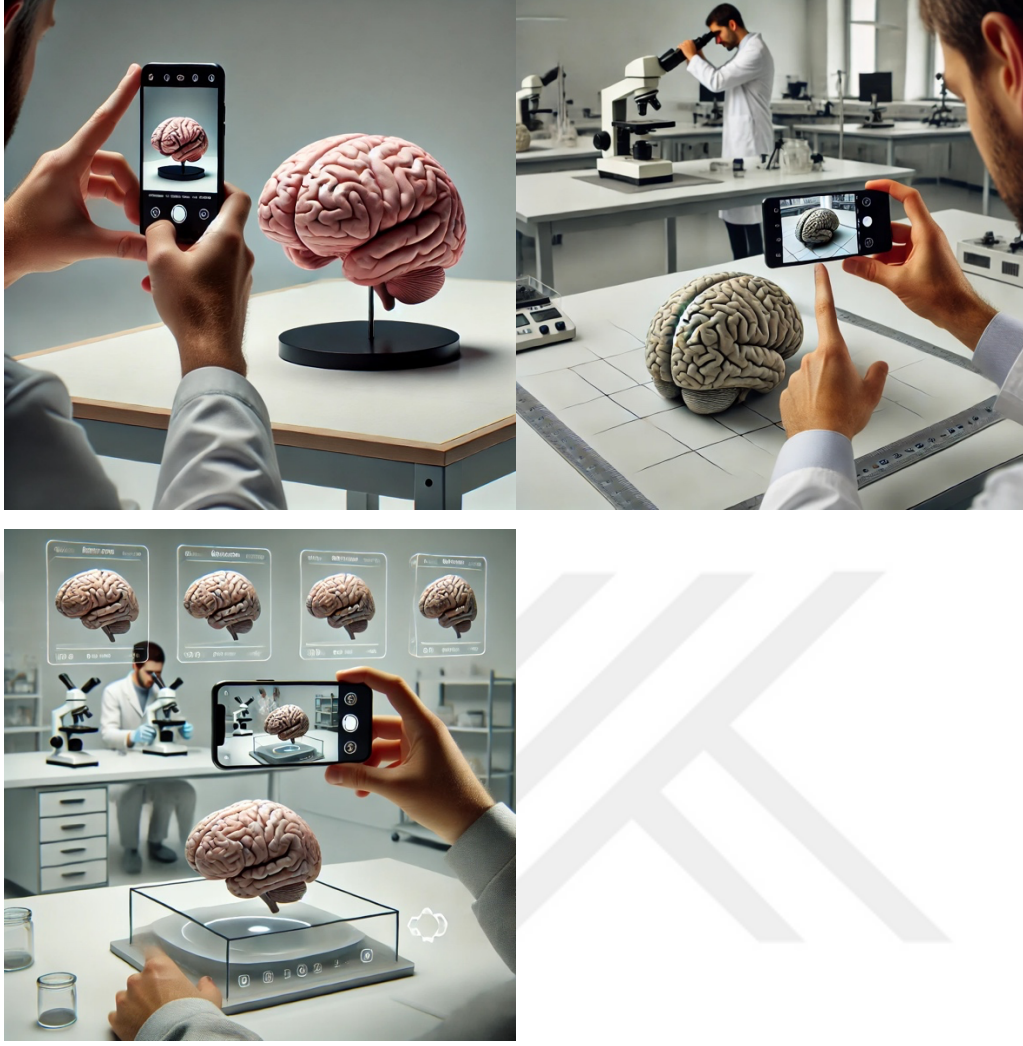
2.2. Fotogrametri ve Üç Boyutlu Modelleme

Bir nesnenin üç boyutlu (3B) modellenmesi, veri toplamayla başlayan ve görsel olarak etkileşimli bir 3 boyutlu sanal modelle sonlanan tamamlanmış bir süreç olarak görülebilir. Nesnelerin ve sahnelerin üç boyutlu modellenmesi, grafik, görsel ve fotogrametri alanlarında yoğun ve uzun süredir devam eden bir araştırma konusudur. Yüksek geometrik doğruluk, fotoğraf kalitesi ve tüm detayların modellenmesinin yanı sıra düşük maliyet, modelleme tekniğinin otomasyonu, taşınabilirliğinin bir arada olması önemlidir.(118) Fotogrametri, iki farklı bakış açısından en az iki fotoğrafın çekilmesi yoluyla görüntülenen bir sahnenin 3D koordinatlarının belirlenmesine dayanan köklü bir tekniktir. 2D görüntülerde bilinen referans noktaları arasındaki mesafe ve açıların ölçülmesi yoluyla türetilen 3D modeldeki noktaların 3D konumunu belirlemeyi içeren üçgenlemeye dayanır; bu açıdan 3D tarayıcılarla benzerdir. Bu yöntem, güvenilir ve son derece hassas ölçüm gerektiren birçok mühendislik görevi için hâlihazırda kullanılmaktadır.(119) Fotogrametrinin hem farklı değerlendiriciler arasında hem de aynı değerlendiricinin farklı zamanlarda uyguladığı durumlarda son derece güvenilir bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

Nöroanatomi diseksiyon dokümantasyonunun geleneksel yöntemi olan stereoskopik fotoğrafçılık binoküler paralaks ilkesine dayanır; bu prensip, insan gözlerinin belirli bir mesafeyle konumlanmış olması nedeniyle farklı görüntüler görmesidir. Bu yöntemeye dayalı fotoğraf çekim ilkeleri; arka plan hazırlığı, spesmen hazırlığı, kamera ve lens ayarları, tripod yerleştirilmesi, kaydırma çubuğu yerleştirilmesi, aydınlatma, kadraj düzeni, odak ayarı, flash ayarları, stereo çift oluşturma ve görüntülerin slaytlara doğru şekilde yerleştirilmesi gibi maddelere dayanır. Bu yöntemin zahmetli olduğu ve 3D dokümantasyon sürecinin tamamlanmasının zaman aldığı bir gerçektir. 3D fotoğraf çekme tekniğini ustalıkla

uygulayabilmek için çok fazla pratik yapmak gerekmektedir ve tam bir diseksiyon serisinin tamamlanması haftalar sürebilir.(5)

Günümüzdeki 3D tekniklerdeki ilerlemeler, kullanıcıların tüketici sınıfı kameralar, tek lensli refleks (SLR) kameralar, video kameralar veya hatta akıllı telefonlar gibi spesifik olmayan teknolojiler kullanarak doğru 3D modeller oluşturmaya imkân tanımaktadır. Bu yöntem, kameraya bağlı olarak çok düşük bir yatırımla gerçekleştirilebilir; büyük/orta/küçük/mini çerçeve kameralar, ultra yüksek/yüksek hızlı video kameralar gibi.(120) Akıllı telefon tabanlı fotogrametri, erişilebilirlik, taşınabilirlik ve yüksek çözünürlüklü görüntü yakalama gibi anahtar avantajlar sunar; bu avantajlar özellikle klinik ve araştırma ortamlarında, hareketlilik ve kullanım kolaylığının çok önemli olduğu durumlarda yararlıdır. Ek çalışmalar, akıllı telefon fotogrametrisinin geniş bir yelpazede uygulanabilirliğini ve etkinliğini desteklemektedir. Uzun bir süre boyunca, anatomik işaret noktalarının tanımlanması ve ayrıntılı morfometrik değerlendirmeler için hayati önem taşıyan yüksek kaliteli ve yüksek çözünürlüklü 3D modellerin elde edilmesi, genellikle sağlık profesyonellerinin erişiminin ötesinde kalan profesyonel kameralar ve özel yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilebiliyordu. Ancak, akıllı telefon teknolojisindeki hızlı gelişim ve akıllı telefonların ana kameralarının kalitesinin artmasıyla, yüksek çözünürlüklü ve yüksek kaliteli görüntüler elde etmek giderek yaygın hale gelmiştir. Bu da akıllı telefonlar kullanılarak 3D modeller oluşturulması olasılığını doğurmakta ve genel işlem maliyetlerinin düşürülmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır.(121)



Şekil 12: Cerrahi nöroanatomide laboratuvarında serebrumun akıllı telefon tabanlı fotogrametri tekniği ile 3d modellenmesi süreci. 3 boyutlu modelleme ve veri işleme, mobil cihazlarla 3D tarama yapılmasını sağlayan LIDAR destekli fotogrametri uygulamaları kullanılarak gerçekleştirilebilir. Fotoğrafların her açıdan çekilmesi, 360° görüş açısının tamamlanması için gereklidir ve detayların gösterilmesi için nesnenin yakın çekim fotoğrafları önemlidir. Fotoğraf sayısı ile oluşan 3 boyutlu modelin doku kalitesi arasında doğru orantı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, fotogrametri tekniği ile 3d modellemenin görselleştirilmesi amacıyla yapay zeka destekli bir görüntü oluşturma aracı olan DALL·E kullanılarak görseller üretilmiştir. (OpenAI. DALL·E. 2025. <https://openai.com/dall-e>)

2.3. Arttırılmış Gerçeklik ve Sanal Gerçeklik

Anatomi eğitiminde sınırlı eğitim süresi, artan maliyetlerle ilişkili olarak lisans eğitiminde azalan anatomi dersi süresi; kadavra teminindeki sınırlamalar, ve geleneksel otopsilere maruziyetin azalması, Tıp öğrencileri ve genç asistanlar arasında yetersiz anatomik bilgi düzeyine neden olabilir. Geleneksel anatomi öğrenimi, kadavra diseksiyonları, topografik anatomik modeller ve iki boyutlu atlaslar gibi unsurlara dayanır. İki boyutlu atlaslar, üç boyutlu alan hissinden yoksundur ve organizmalar arasındaki gerçek mekansal yapı ve ilişkiyi yansıtmak zordur. Otopsilere, esasen üç boyutlu olan tam görsel ve dokunsal bir anatomik öğrenme deneyimi sunar. Geleneksel kadavra örneklerinin ise kadavra temininde yetersizlik, antiseptik madde tahrişi ve bazen sinir ve kan damarlarının net bir bütünsel görünümünden yoksun olması gibi eksiklikleri bulunmaktadır.(122-125)

Stereoskopik görüş, dinamik keşif ve dokunsal geri bildirim gibi özellikler üç boyutlu anatomi için gereklidir. 3D görselleştirme teknolojileri sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve karma gerçeklik (MR) gibi teknolojileri içerir.

VR; bir bilgisayar tarafından oluşturulan ortamın yazılım ve donanım kullanılarak etkileşimli bir şekilde görselleştirilmesi sürecidir. Kullanıcının duyuları (görme, işitme ve hareket), yüksek çözünürlüklü, yüksek yenileme hızına sahip başa takılan ekranlar, stereo kulaklıklar ve hareket izleme sistemleri aracılığıyla gerçek dünyanın özelliklerini taklit eden sentetik bir ortamda tamamen içine alınır. (122-125)

AR; grafikler, ses ve diğer duyuusal iyileştirmeler gibi dijital unsurların gerçek zamanlı etkileşimle gerçek dünyanın video akışlarına üst üste bindirilmesi deneyimidir. Kamera ve ekran (örneğin akıllı telefon veya tablet) kullanılarak dijital modeller gerçek dünyaya eklenir. Kullanıcı, çevresindeki gerçek ve sanal unsurlarla etkileşime geçebilir. VR gerçek dünya ortamını sanal bir dünya ile değiştirirken, AR gerçek dünyayı tamamen örtmeden kullanıcı algısını artırır. (122-125)

MR; ise gerçek ve sanal dünyaların bir birleşimidir. MR, kullanıcının girdilerini ve çevresini birleştirerek fiziksel ve sanal nesnelerin aynı anda var olup gerçek zamanlı olarak etkileşim kurduğu bir ortam oluşturur. Bu teknolojinin bir örneği, bir başa takılan ekran üzerine bilgi veya 3D modellerin üst üste bindirilmesidir; ancak, MR başlıkları gerçek dünyayı gizlemez. (122-125)

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, Sağlık Bilimleri Üniversitesi Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi klinik araştırmalar etik kurulunun 24.07.2024 tarih ve 79 karar numaralı Etik ve uygunluk açısından onay kararı ile İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nöroşirurji Ana Bilim Dalı, Mikro-Endonöroşirurji ve Cerrahi Nöroanatomi Eğitim Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Ak madde diseksiyonu için 6 adet postmortem insan beyni Klingler metoduna uygun olacak şekilde, en az 1 ay %10 formalin solüsyonunda bekletildi. Sonrasında araknoid, pia mater ve vasküler yapılar operasyon mikroskobu altında uzaklaştırıldı ve en az 2 hafta boyunca buzdolabı buzlüğünde (-15°C) dondurulduktan sonra, 1 saat çeşme suyu altında çözdürüldü. Diseksiyonlar arası, spesimenler %10 formalin solüsyonu içinde buzdolabı buzlüğünde veya %70'lik alkol solüsyonunda bekletildi. Diseksiyonlar x4 ve x40 büyütmelede Zeiss OPMI Pico mikroskop (Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany) ve mikrocerrahi el aletleri (dişsiz penset, Rhoton dissektörü, metal spatula) kullanılarak yapıldı.

Hemisferlerde diseksiyonlar medialden laterale, lateralden mediale, süperiordan inferiora ve inferiordan süperiora doğru yapıldı. Beyin korteksi aspiratör ve dissektör yardımıyla dekortike edildi. Spesimenlerin yüzlerinde; kısa asosiyasyon lifleri olan U lifler kaldırılarak, hedeflenen uzun asosiyasyon liflerine ulaşıldı. Diseksiyonun safhaları Canon EOS 250D Dijital SLR fotoğraf makinesi, 100 mm'lik makro lens, ring flaş ve tripot ekipmanları kullanılarak fotoğraflandı. Her diseksiyon aşaması akıllı telefon tabanlı fotogrametri tekniği ile model olarak oluşturuldu.

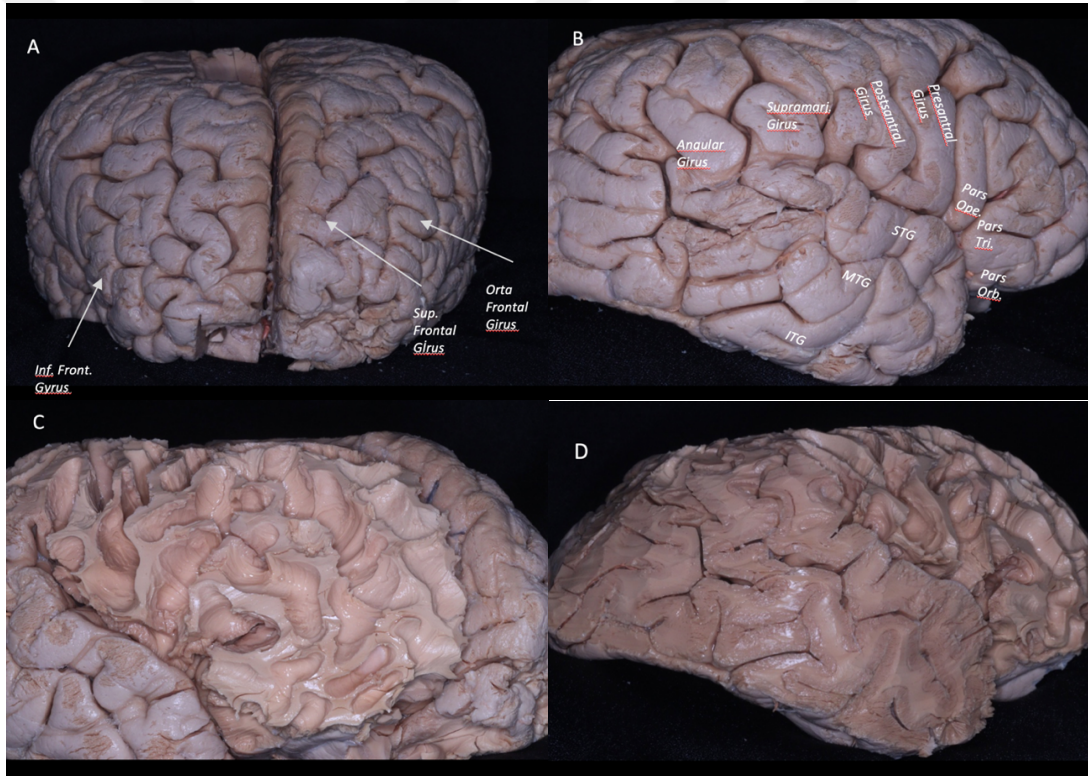
3 boyutlu modelleme ve veri işleme, mobil cihazlarla 3D tarama yapılmasını sağlayan LIDAR destekli fotogrametri uygulaması olan Polycam (Polycam 2020-2021, Polycam Inc.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2000 fotoğrafa kadar birleştirilebilir ve bir 3D model oluşturmak için en az 50 fotoğraf gereklidir. Fotoğrafların her açıdan çekilmesi, 360° görüş açısının tamamlanması için gereklidir ve detayların gösterilmesi için nesnenin yakın çekim fotoğrafları önemlidir. Fotoğraf sayısı ile oluşan 3 boyutlu modelin doku kalitesi arasında doğru orantı tespit edilmiştir.

3 boyutlu modeli dışa aktarmak için, 3 boyutlu hacimsel ağ verisi ve kaplanmış dokuyu korumak için. FBX formatını tercih edilebilir. Bu format, 3D modelin farklı

dijital 3B modelleme programları ve VR veya AR uygulamaları arasında kullanımını ve paylaşılmasını sağlar. Bu format dışında. OBJ, GLTF, .DAE ve .STL gibi formatlarla da model dışı aktarılıp çeşitli veri işleme süreçlerine dahil edilebilir. Bu çalışmada sunulan 3B modeller dışı aktarıldıktan sonra Sketchfab, Inc. kullanılarak anatomik işaretlemeler yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Serebrum'un Lateralden Mediale Doğru Kademeli Diseksiyonu ve 3D modelleri



Resim 1 : Beynin lateralden mediale dekortikasyon aşamaları ve U liflerinin görünümü **A**: Anterior görünüm; Superior, orta ve inferior frontal fasikül görünümü. **B**: Lateral görünüm; Sylvian fissür ve çevresindeki girusların görünümü. **C**: Dekortike edilmiş frontal lob görünümü **D**: Temporoparietal bölge dekortikasyon öncesi görünüm

Korteks aspiratör ve spatula yardımıyla dekortike edildi. Spesimenlerin lateral yüzlerinde kısa asosiyasyon lifleri (U lifleri) gösterildi (Resim 1C,D). Ardından U lifleri kaldırılarak uzun asosiyasyon liflerine ulaşıldı.

Superior Longitudinal Fasikül ve Arkuat Fasikül

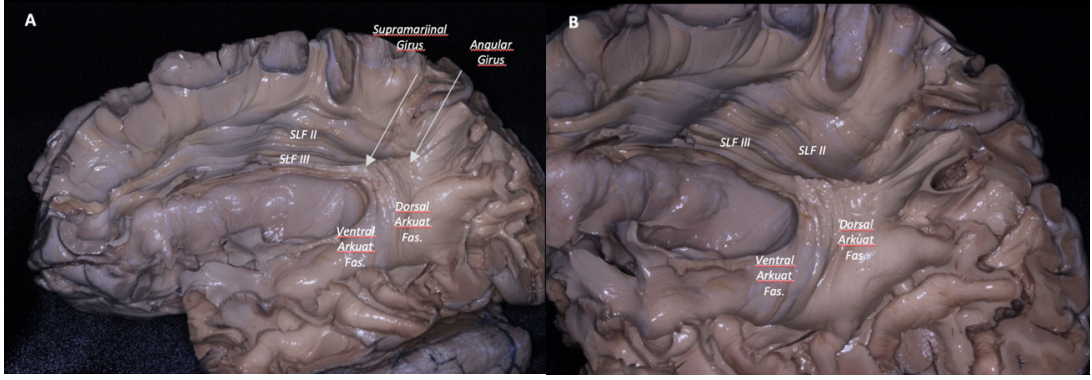
Lateralden mediale doğru U lifleri kaldırıldıktan sonra ve en yüzeysel uzun asosiyasyon liflerinden olan superior longitudinal fasikül (SLF) ve arkuat fasikül ortaya çıkarıldı.

Suprasilvian bölgede yer alan ana uzun asosiyasyon lif yolu SLF üç parçaya ayrılır: SLF I, II ve III. SLF I superior frontal girusta olup medial yüzey diseksiyonlarında gösterilecektir. SLF II orta frontal girusta, SLF III ise inferior frontal girusta yer almaktadır. Lateral yüzeyden mediale doğru ilerledikçe SLF bileşenleri ile ters sırada karşılaşıldı: önce ventral SLF III, sonra dorsal SLF II gösterildi. SLF II 'nin angular girustan orta frontal girusun orta kısmına uzandığı, SLF III'ün ise frontoparietal operkulum içinde ilerlediği ve supramarjinal girustan inferior frontal girusa (pars operkularis) uzandığı görüldü. (Resim 2A ve Resim 2B)

Broca ve Wernicke alanlarını bağlayan Arkuat fasikül lifleri inferior parietal lobülün supramarjinal ve angular girusları ile olan ilişkilerine göre dorsal ve ventral olmak üzere iki gruba ayrıldı.

Superior temporal girusun orta ve arka kısımları ile orta temporal girusun orta kısmından köken alıp supramarjinal girusun alt kısmının derininden ve frontoparietal operkulumdaki SLF III'ün medialinden geçerek inferior frontal girusa uzanan lifler ventral arkuat fasikül , orta temporal girusun ve inferior temporal girusun arka kısmından köken alıp angular girusun alt kısmının derininden ve ardından SLF II'nin ventralinde geçtikten sonra orta ve inferior frontal giruslara uzanan lifler ise dorsal arkuat fasikül olarak tanımlandı. (Resim 2A ve Resim 2B)

Ventral arkuat fasikül SLF III'ün medialinde seyrederken dorsal arkuat fasikülün SLF II'nin ventralinde seyrettiği görüldü. (Resim 2A ve Resim 2B)



Resim 2 : Superior longitudinal fasikül ve Arkuat fasikül. **A:** Arkuat fasikül lifleri inferior parietel lobülün supramarjinal ve angular girusları ile olan ilişkilerine göre dorsal ve ventral olmak üzere iki gruba ayrıldı. Ventral arkuat fasikül SLF III'ün medialinde seyrederken dorsal arkuat fasikülün SLF II'nin ventralinde seyrediyor. **B:** Aynı diseksiyon aşamasının daha yakından görünümü (SLF II: Superior longitudinal fasikül 2, SLF III: Superior longitudinal fasikül III)



3B model 1 : Superior longitudinal fasikül ve Arkuat fasikül

Video linki :

https://drive.google.com/file/d/1IEq-G8dZx4Z59H07Xaa0HQONLYp6RCdW1/view?usp=drive_link

3B model 1 :

1 :SLF2

2 :SLF3

3 :Ekstremler kapsül

4 :Arkuat fas. Ventral

5 :Arkuat fas. Dorsal

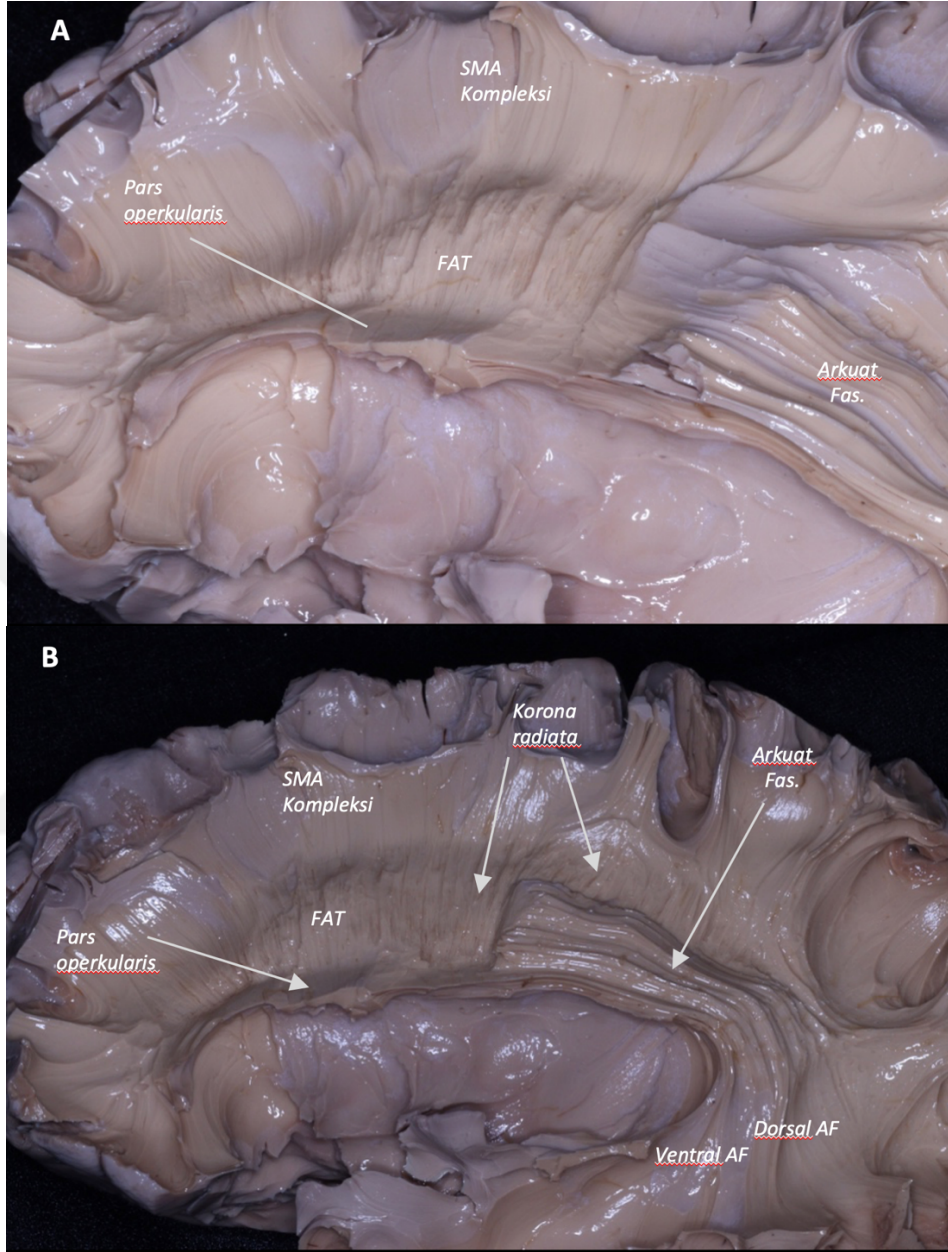
6 :Supramarjinal Girus

7 :Angular Girus



Diseksiyonun ilerleyen aşamasında suprasilvian lif demeti olan SLF 2 ve SLF 3 kaldırıldı. Arkuat fasikülün tamamı ortaya kondu.

Frontal Aslant Traktus, diseksiyonun ilerleyen aşamalarında SMA kompleksiyle inferior parietel girusun pars operkularisi arasında görüldü. SLF ve arkuat fasikül liflerinin daha medialinde, korona radiata liflerinin daha lateralinde seyretti.



Resim 3: Frontal Aslant Traktus görünümü. **A:** Superior frontal girusun posterior kısmında konumlanan SMA kompleksinin sınırları inferomedialde singulat sulkus, posteriorunda presantral sulkus ve inferolateralde superior frontal sulkustur. SMA kompleksi ile inferior frontal girusun pars operkularisi arasında bağlantı lifleri olan Frontal Aslant Trakt görünümü. **B:** FAT korona radiata'nın lateralinde SLF'in ve arkuat fasikülün medialindedir. (Ventral AF: Ventral arkuat fasikül, Dorsal AF: Dorsal arkuat fasikül, FAT: Frontal aslant traktus)



3B model 2 : Frontal Aslant Traktus

Video

Linki:https://drive.google.com/file/d/1wViMKUNyWVIMUvpdLDKwFHYTf9ySaPMW/view?usp=drive_link

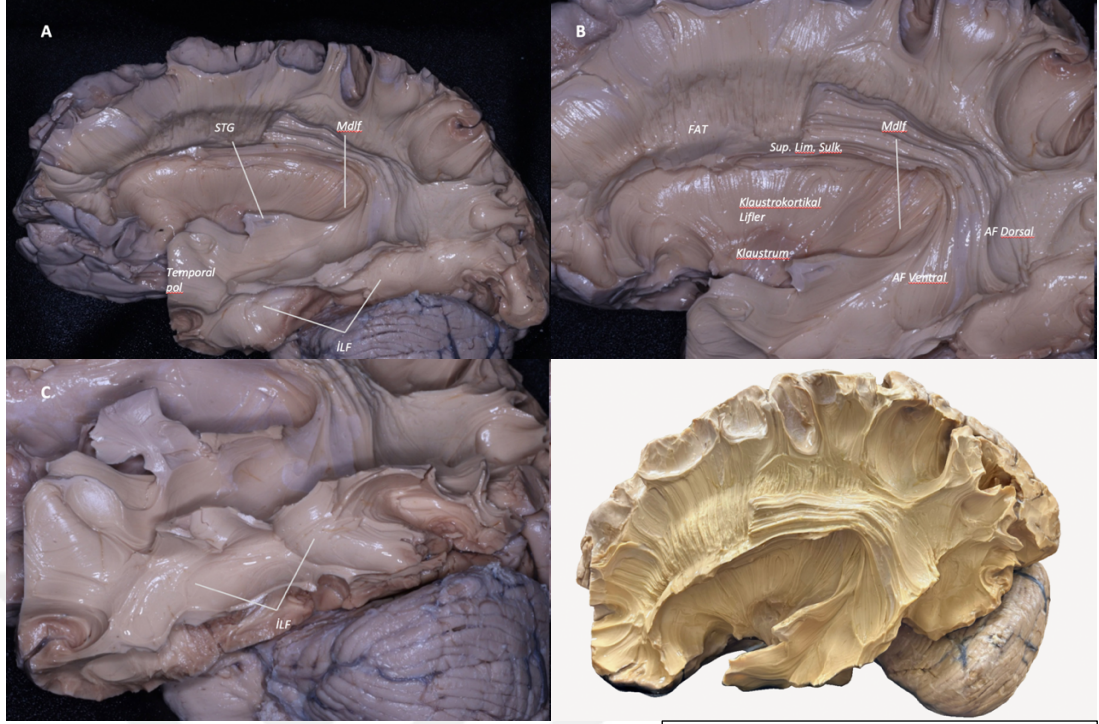
3B model 2 :

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1 :Pars operkularis(FAT) | 6 : Korona Radiata |
| 2 :Arkuat fas. | 7 :Supramarjinal Girus |
| 3 :Arkuat fas. Ventral | 8 :Angular Girus |
| 4 :Arkuat fas. Dorsal. | 9 :Ekstrem Kapsül |
| 5 :Temporal Pol | 10 :SMA kompleksi |



Orta Longitudinal Fasikül (MdLF) ve İnfierior Longitudinal Fasikül

İnfrasilvian bölgedeki U lifleri kaldırılınca temporal polden başlayıp superior temporal girus boyunca ilerleyen AF'nin derininden geçerek posteriora doğru seyreden inferior parietal lobulde (angular girus) sonlanan lif demeti MdLF olarak tanımlandı. MdLF'nin sagittal stratuma katıldığı görüldü. MdLF lifleri posterior insular point noktasına (superior ve inferior limitan sulkusların birleşim noktası ve Heschl girus'un posteromedial ucu) göre anterior ve posterior kısım olmak üzere ayrı ayrı tanımlandı. Anterior kısmı oluşturan liflerin ifof liflerinin yüzeyinde seyrederken posterior kısmı oluşturan liflerin ifof ile iç içe geçtiği görüldü. İnfierior temporal girusun derininde ise temporal polü dorsolateral oksipital kortekse bağlayan lifler tespit edildi ve inferior longitudinal fasikül (İLF) olarak tanımlandı.



Resim 4 : MdlF ve İLF görünümü **A:** Temporal polden başlayıp superior temporal girus boyunca ilerleyen AF'nin derininden geçerek posteriora doğru seyreden inferior parietal lobulde (angular girus) sonlanan lif demeti MdlF ve temporal polü dorsolateral oksipital kortekse bağlayan lifler İLF liflerinin görünümü

B: MdlF liflerinin daha yakından görünümü ve Arkuat fasikülün derininden geçişi **C:** İLF liflerinin daha yakından görünümü. (Ventral AF: Ventral arkuat fasikül, Dorsal AF: Dorsal arkuat fasikül, FAT: Frontal aslant traktus, MdlF: Orta longitudinal fasikül, İLF: Inferior Longitudinal Fasikül, Sup. Lim. Sulk. : Superior limitan sulkus)

3B model 3 : MdlF ve İLF

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1RzZ8E4VEvTNACT9zwzleVIf_G1w-iF7U/view?usp=drive_link

3B model 3 :

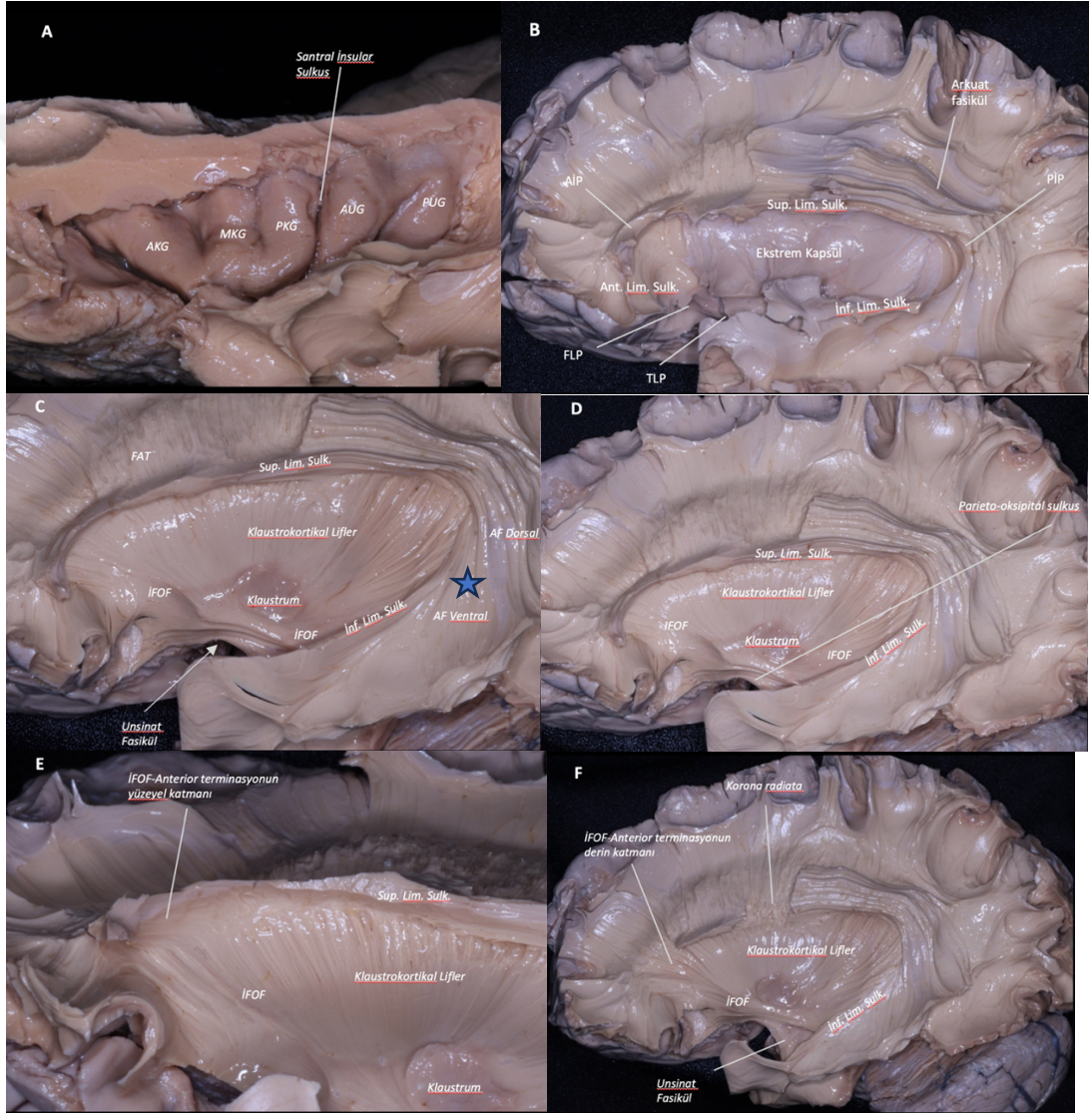
- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1 :Klaustrum | 6 :AF Ventral |
| 2 :Klaustrokortikal lifler | 7 :AF Dorsal |
| 3 :MdlF | 8 :Superior Temporal Girus |
| 4 :FAT | 9 :Temporal Pol |
| 5 :Arkuat fas. | 10 :Korona Radiata |

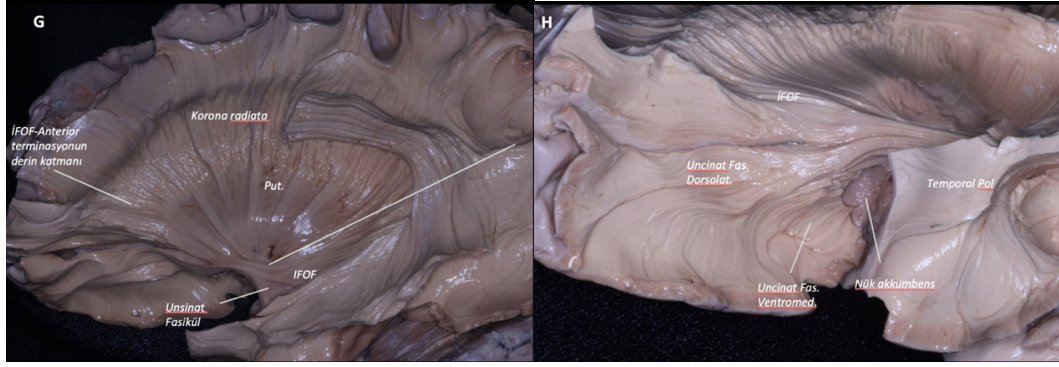


Santral Cevher

Santral cevher yapısının en lateral kısmı olan insular korteksin üç adet limitan sulkusla (insulayı frontal, parietal ve temporal operkulumlardan ayıran) beraber

piramid şeklinde bir yapı oluşturduğu görüldü. Limitan sulkus anterior, superior ve posterior olmak üzere 3 kısımda tanımlandı. Superior ve anterior limitan sulkusların kesişim noktası “ anterior insular point ” , superior ve inferior limitan sulkusların kesişim noktası “ posterior insular point ” olarak tanımlandı. Ayrıca anterior limitan sulkusun limen insula ile kesişim noktası “ frontal limen point” , inferior limitan sulkus ile limen insulanın kesişim noktası ise “ temporal limen point ” olarak tanımlandı.





Resim 5:Santral Cevher A: İnsular korteksin üç anterior yerleşimli kısa girus ve iki posterior yerleşimli uzun girustan oluştuğu saptandı. Kısa ve uzun girusları ayıran sulkus santral insular sulkus olarak tanımlandı. İnsulanın sulkusları ve girusları, anteroinferior bölgeden posterior ve superior yönünde uzanan bir radyal desen oluşturduğu görüldü. **B:** Limitan sulkus anterior, superior ve posterior olmak üzere 3 kısımda tanımlandı. Superior ve anterior limitan sulkusların kesişim noktası ‘ ‘ anterior insular point ‘ ‘ , superior ve inferior limitan sulkusların kesişim noktası ‘ ‘ posterior insular point ‘ ‘ olarak tanımlandı. Ayrıca anterior limitan sulkusun limen insula ile kesişim noktası ‘ ‘ frontal limen point’ ‘ , inferior limitan sulkus ile limen insulanın kesişim noktası ise ‘ ‘ temporal limen point ‘ ‘ olarak tanımlandı. **C:** Anterior Limitan sulkus (ALS) ve Superior limitan sulkus (SLS) düz sulkuslar olduğu saptandı. Ama İnférieur limitan sulkus’un(İLS) eğri olduğu ve anterior kısmının daha yatay seyrederken, posterior kısmının daha dik bir eğilim gösterdiği saptandı. Anterior ve posterior kısımları arasındaki geçiş noktası “posteroinferior insular point”(Yıldız işaretli) olarak adlandırıldı.

D: Klastrumun gri madde topluluğu olduğu görüldü. Eksternal kapsül lifleri dorsal ve ventral olarak sınıflandırıldı. Dorsal eksternal kapsül kısmını oluşturan klaustrokortikal projeksiyon liflerinin suplemeter motor alan, presantral-postsantral girus ve arka tarafta parietal lob olmak üzere birçok kortikal bölge ile klastrum arasında uzandığı görüldü. Limen insula'nın orta noktası ile parieto-okipital sulkusun üst ucu arasında bir hat çizildi. Bu hattın klastrokortikal liflerin posterior sınırı olduğu görüldü. **E:** İFOF'un frontal (anterior) terminasyonunun yüzeyel ve derin olmak üzere 2 bileşenin olduğunu saptandı. Yüzeysel katman, ventral klastrumdan geçerek inferior frontal girusta (pars triangularis ve pars orbitalis) sonlandı. **F:** Derin katman ise dorsolateral prefrontal korteks (inferior frontal girusun altından geçerek), orta

frontal girusun en ön kısmına, lateral orbitofrontal kortekse ve bazal orbitofrontal kortekse doğru dağıldığı görüldü. **G:** Limen insula'nın orta noktası ile parieto-okipital sulkusun üst ucu arasındaki hattın altı ise İFOF'un posterior terminasyonun dağılımı olarak kabul edildi. **H:** UF, Dorsolateral ve Ventromedial iki kısma ayrıldı. Temporal polü lateral orbitofrontal alanla bağlayan lifler dorsolateral kısım, temporal polü medial orbitofrontal ve septal alanlarla bağlayan kısma ventromedial kısım olarak tanımlandı.

(AKG: Anterior kısa girus, MKG: Orta kısa girus, PKG: Posterior kısa girus, AUG: Anterior Uzun girus, PUG: Posterior uzun girus, Sup. Lim. Sulk. : Superior limitan sulkus, İnf. Lim. Sulk. : İnfierior limitan sulkus, Ant. Lim. Sulk. : Anterior limitan sulkus, AİP: Anterior insular point, PİP: Posterior insular point, FLP: Frontal limen point, TLP: Temporal Limen Point, İFOF: İnfierior fronto-okspital fasikül, UF: Unsinat fasikül)



3B model 4 : Klaustrokortikal Lifler

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1IndA8tkXmDfRTcPZWNBdPZjkU8F1RbT/view?usp=drive_link

3B model 4 :

- | | |
|----------------------------|-------------------|
| 1 :Klastrum | 6 :AF Ventral |
| 2 :Klaustrokortikal lifler | 7 :AF Dorsal |
| 3 :İFOF | 8 :Arkuat Fas. |
| 4 :İFOF | 9 :Korona Radiata |
| 5 :İnf. Lim. Sulk. | 10 :UF |





3B model 5 : Ventral eksternal kapsül (Unsinat fasikül ve İfof)

Video Linki:

[https://drive.google.com/file/d/1E5aCzMw1tXToD44_9PpAjEpcsdOZEm4V/view?usp=drive link](https://drive.google.com/file/d/1E5aCzMw1tXToD44_9PpAjEpcsdOZEm4V/view?usp=drive_link)

3B model 5 :

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| 1 :Klastrum | 6 :UF |
| 2 :Klaustrokortikal lifler | 7 :Arkuat fas. |
| 3 :Putamen | 8 :Korona Radiata |
| 4 :İFOF | 9 :İnf. Lim. Sulk. |
| 5 :İFOF | 10 :Temporal Pol |



3B model 6 : Putamen

Video Linki:

[https://drive.google.com/file/d/1_8GUjPwuJjRPAYX1kg1PSZCb6GmY7J/view?usp=drive link](https://drive.google.com/file/d/1_8GUjPwuJjRPAYX1kg1PSZCb6GmY7J/view?usp=drive_link)

3B model 6 :

- | | |
|--------------------|-----------------|
| 1 :Putamen | 6 :UF |
| 2 :Korona radiata. | 7 :Temporal Pol |
| 3 :Arkuat fas. | |
| 4 :İnf. Lim. Sulk | |
| 5 :İFOF | |



Silvian fissürün operkuloinsular bölgesinin medial duvarını oluşturan İnsular korteksin üç anterior yerleşimli kısa girus ve iki posterior yerleşimli uzun girustan oluştuğu saptandı. İLS posterior uzun girus boyunca LI'dan posterior insular noktaya uzanmaktaydı. (Resim 5C) Kısa ve uzun girusları ayıran sulkus santral insular sulkus olarak tanımlandı. İnsulanın sulkusları ve girusları, anteroinferior bölgeden posterior ve superior yönünde uzanan bir radyal desen oluşturduğu görüldü. (Resim5A) İnsular korteksin çıkarılması sonrası komşu insular girusları bağlayan kısa U liflerinden

oluşan ekstrem kapsül lifleri açığa çıkarıldı. Ekstrem kapsül liflerinin operkuler bölgelere dikey olarak projekte olduğu gözlemlendi.

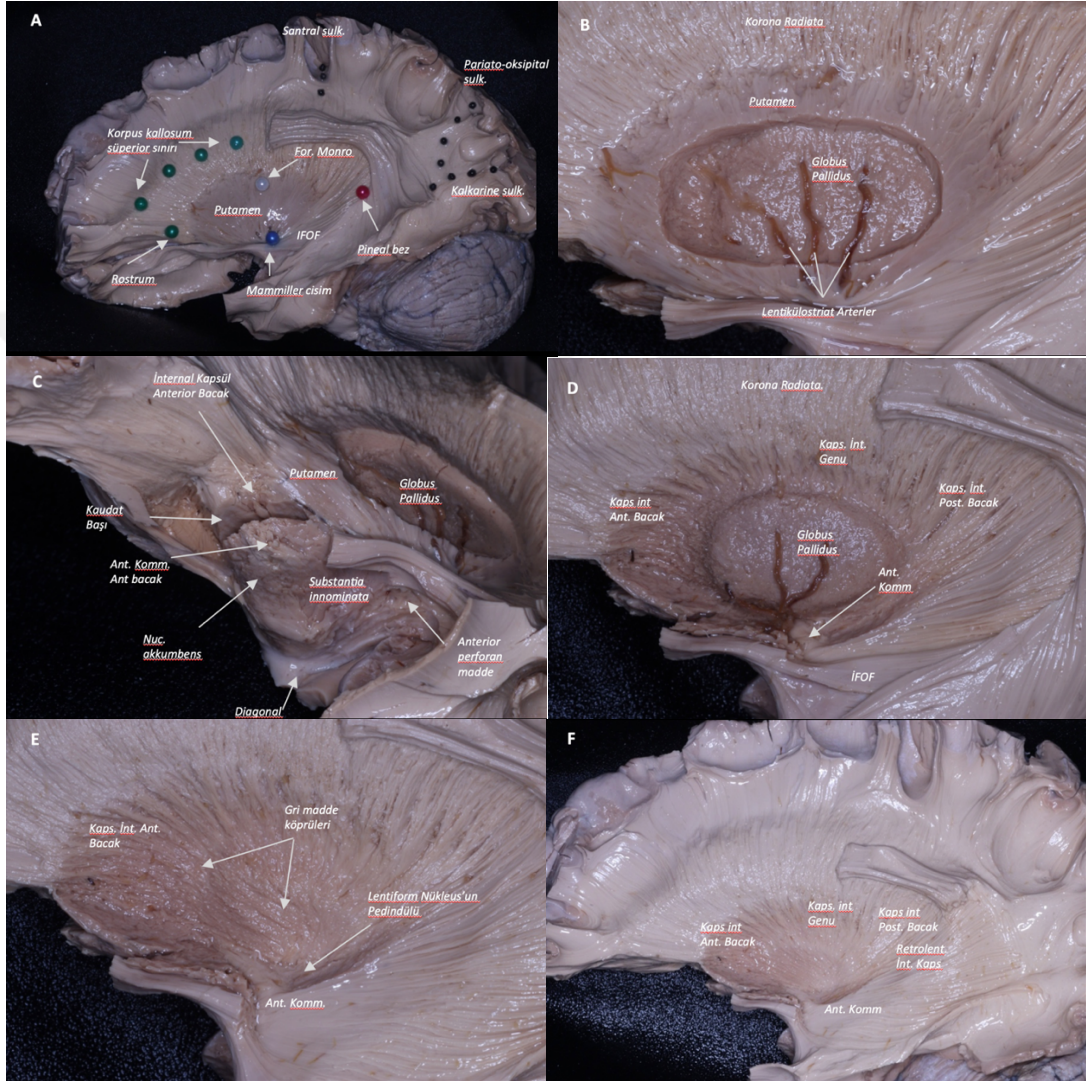
Ekstrem kapsül liflerinin soyulması ve çıkarılması klastrum ve eksternal kapsülü ortaya çıkardı. Klastrumun gri madde topluluğu olduğu görüldü. Eksternal kapsül lifleri dorsal ve ventral olarak sınıflandırıldı. Dorsal eksternal kapsül kısmını oluşturan klaustrokortikal projeksiyon liflerinin suplemeter motor alan, presantral-postsantral girus ve arka tarafta parietal lob olmak üzere birçok kortikal bölge ile klastrum arasında uzandığı görüldü. Limen insula'nın orta noktası ile parieto-okipital sulkusun üst ucu arasında bir hat çizildi. Bu hattın klaustrokortikal liflerin posterior sınırı olduğu görüldü. (Resim 5C ve Resim 5D)

Ventral eksternal kapsülü inferior fronto-okspital fasikül (İFOF) ve Unsinat fasikül'ün oluşturduğu görüldü. İFOF'un orta ve inferior frontal girusları okipital loba bağladığı saptandı. İFOF'un frontal (anterior) terminasyonunun yüzeysel ve derin olmak üzere 2 bileşenin olduğunu saptandı. Yüzeysel katman, ventral klastrumdan geçerek inferior frontal girusta (pars triangularis ve pars orbitalis) sonlandı.(Resim5E) Derin katman ise dorsolateral prefrontal korteks (inferior frontal girusun altından geçerek), orta frontal girusun en ön kısmına, lateral orbitofrontal kortekse ve bazal orbitofrontal kortekse doğru dağıldığı görüldü.(Resim5F) Limen insula'nın orta noktası ile parieto-okipital sulkusun üst ucu arasındaki hattın altı ise İFOF'un posterior terminasyonun dağılımı olarak kabul edildi.

Ventral eksternal kapsülün diğer bileşeni olan Unsinat fasikül (UF), bir frontotemporal asosiyasyon lifi olarak saptandı. Dorsolateral ve Ventromedial iki kısma ayrıldı. Temporal polü lateral orbitofrontal alanla bağlayan lifler dorsolateral kısım, temporal polü medial orbitofrontal ve septal alanlarla bağlayan kısım ventromedial kısım olarak tanımlandı. UF'ün anterior perforan maddenin önünden geçtiği ve nükleus akkumbens'in inferior ve medial taraflarını kapladığı görüldü.

Eksternal kapsül lifleri kaldırıldıktan sonra lentiform nükleusun lateral kısmı olan koyu renkli nükleer yapı olan Putamen ile karşılaşıldı. Diseksiyonun devamında putamen ile internal kapsül lifleri arasında daha soluk renkli nükleer yapı ile karşılaşıldı. Lentiform nükleusun medial kısmı olan Globus pallidus olarak tanımlandı. Lentiform nükleusun, internal kapsülün anterior bacağına geçen dağınık gri madde köprüleriyle kaudat nükleusa bağlandığı görüldü. Bu yapılar gri maddeyi içeren

transkapsüler köprüler (pontes grisei kaudatolentikülares) olarak tanımlandı. Ayrıca putamenin fundusu ile bazal ön beyin arasında belirgin bir sınır olmadığı görüldü. Lentiform nükleusun inferiora yani amigdalaya doğru uzantı yaptığı görüldü ve lentiform nükleusun pedinkülü olarak tanımlandı.



Resim 6: Lentiform Nükleus ve İnternal Kapsül **A:** Serebrum'un medial yüzey anatomik yapıların lateral yüzey santral cevher ve çevresindeki izdüşümlerinin gösterilmesi. **B:** Koyu renkli putamen çerçeve şeklinde bırakıldı ve daha soluk renkli globus pallidus görünümü. Ayrıca Lentikülostriat arterlerin dağılımı görülmekte. **C:** Frontobazal görünüm. Putamen ve kaudat nükleus arasındaki internal kapsül anterior bacağı ve en alt seviyesindeki substantia innomiata ile nükleus akkumbens arasındaki anterior kommissür'ün anterior bacağı görüldü. Ayrıca Anterior perforan maddeden

santral cevher'a doğru penetre olan lentikülostriat arterlerin santral cevher içerisindeki dağılımı görüldü. Putamen ile substantia innominata arasında belirgin bir sınır tanımlanamadı. **D:** Geri kalan putamenin çıkarılması ile birlikte Globus Pallidus'un anterior-inferior'unda İnternal kapsülün anterior bacağından geçerek orta hattı çaprazlayan ve torsiyon geçiren bir lif demeti görüldü. Anterior komissür olarak tanımlandı. Anterior komissürün posterior bacağı Gratiolet kanalı içinde torsiyon geçirerek ilerledi ve böylece superior lifleri temporal loblara, inferior lifleri ise oksipital loblara gittiği görüldü. Posterior bacak, inferior limitan sulkusun derininden ve IFOF'un medialinden geçtiği görüldü. Temporal bölümün lifleri uncinat fasikülün hemen arkasından temporal kutba ve amigdalya doğru ilerlediği görüldü, oksipital bölümün lifleri posteriora doğru ilerleyerek sagittal stratum ile birleştiği görüldü. **E:** Lentiform nükleusun, internal kapsülün anterior bacağına geçen dağınık gri madde köprüleriyle kaudat nükleusa bağlandığı görüldü. Bu yapılar gri maddeyi içeren transkapsüler köprüler (pontes grisei kaudatolentikülares) olarak tanımlandı. Lentiform nükleusun inferiora yani amigdalya doğru uzantı yaptığı görüldü ve lentiform nükleusun pedikülü olarak tanımlandı. **F:** Lentiform çekirdeğin medialinde projeksiyon liflerinden oluşan İnternal kapsül lifleriyle karşılaştı. Süperior limitan sulkus düzeyinde eksternal kapsül lifleri ile birleşerek oluşan radyal düzen, korona radiata olarak tanımlandı. Internal kapsül anterior bacak, posterior bacak, genu, retrolentiküler ve sublentiküler kısımlara ayrılarak ayrı ayrı isimlendirildi. (Kaps. İnt: Kapsula interna, Ant. Komm.: Anterior Komissür, For. Monro: Foramen Monro, Pariato-oksipital Sulk. :Pariato-oksipital sulkus)

Globus Pallidus'un anterior-inferior'unda İnternal kapsülün anterior bacağından geçerek orta hattı çaprazlayan ve torsiyon geçiren bir lif demeti Anterior komissür olarak tanımlandı. Anterior ve posterior bacak olmak üzere iki bölüme ayrıldı. Anterior bacak, internal kapsül anterior bacağına en alt seviyesini oluşturup medialde nükleus akümbens ve lateralde substantia innominata arasında sınır oluşturdu. Anterior komissürün posterior bacağı Gratiolet kanalı içinde torsiyon geçirerek ilerledi ve böylece superior lifleri temporal loblara, inferior lifleri ise oksipital loblara gittiği görüldü. Posterior bacak, inferior limitan sulkusun derininden ve IFOF'un medialinden geçtiği görüldü. Temporal bölümün lifleri uncinat fasikülün hemen arkasından temporal kutba ve amigdalya doğru ilerlediği görüldü, oksipital

bölümün lifleri posteriora doğru ilerleyerek sagittal stratum ile birleştiği görüldü. Ayrıca posterior bacağın anteriorunda ve inferiorunda gri madde topluluğu olan substantia innominata tanımlandı. Santral cevher yapılarını besleyen lentikülostriat arterler, anterior perforan maddeyi delerek anterior komissürün ön ve arka kenarlarının yanından geçtiği görüldü. Nucleus akümbens'in, kaudat çekirdeğinin başının altında anterior komissürün anterior krusunun ve internal kapsülün anterior kolunun medialinde ve anterior komissür seviyesinin altında yer aldığı saptandı.

Lentiform çekirdeğin medialinde projeksiyon liflerinden oluşan İnternal kapsül lifleriyle karşılaşıldı. Süperior limitan sulkus düzeyinde eksternal kapsül lifleri ile birleşerek oluşan radyal düzen korona radiata olarak tanımlandı. Internal kapsül anterior bacak, posterior bacak, genu, retrolentiküler ve sublentiküler kısımlara ayrılarak ayrı ayrı isimlendirildi. İnternal kapsülün daha derinlerinde S şekliyle ayırt edilebilen Talamik radyasyon lifleri seçilip tanımlandı. Genu kısmı foramen monro'nun hemen lateral izdüşümünde olduğu saptandı. Retrolentiküler kısım lifleri posterior talamik pedinkülün lateralinde ve yüzeyinde oksipitale doğru yönelip sagittal stratum'a katıldığı gözlemlendi. Sublentiküler internal kapsül'ün temporal kutuptan uzanan iki farklı bileşeni olup bunlar temporopulvinar lifler (Arnold fasikülü) ve temporo pontin lifleri olarak tanımlandı.



3B model 7 : Medial yüzey anatomisinin Santral cevher ve çevresindeki izdüşümü

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1LUG203TLbRQV7QjSWVa2Ayntw3KyTzYa/view?usp=drive_link

3B model 7 :

1 :For. Monro

2 :Pineal Bez

3 :Mamiller Cisim

4 :KK Rostrum

5 :Santral Sulk.

6 :Parieto-oksipital sulk.

7 :Kalkarin Sulkus

8 :Putamen

9 :Arkuat Fas.

10 :KK süperior sınırı





3B model 8 : Globus Pallidus ve
Lentikülostriat arterler

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1AZnFD6CsWGX_Gx0k6AmScPGd5mK4Hk7H/view?usp=sharing



3B model 8 :

- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1 :Globus Pallidus | 6 :UF |
| 2 :Putamen | 7 :Anterior Perforan Madde |
| 3 :Lentikülostriat arterler | 8 : Substantia innominata |
| 4 :Korona radiata | 9 :Ant. Komm. Ant. Bacak |
| 5 :İFOF | 10 :Arkuat Fas. |



3B model 9 : Anterior Komissür

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1MVoSbrH0dcsTvpGkjhswWkzi4FpPN2RO/view?usp=drive_link



3B model 9 :

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1 :Globus Pallidus | 6 :İnf. Lim. Sulk. |
| 2 :İnternal Kapsül Ant. Bacak | 7 :Ant. Komm. Ant. Bacak |
| 3 :İnternal Kapsül Genu | 8 :Substantia innominata |
| 4 :İnternal Kapsül Post. Bacak | 9 :Anterior Perforan Madde |
| 5 :Ant. Komm. | 10 :Nükleus Akkumbens |



3B model 10 : İnternal Kapsül

Video Linki:

<https://drive.google.com/file/d/11AGSmBnG2CABdsjaIdImTEbE6cY7sPf-/view?usp=sharing>

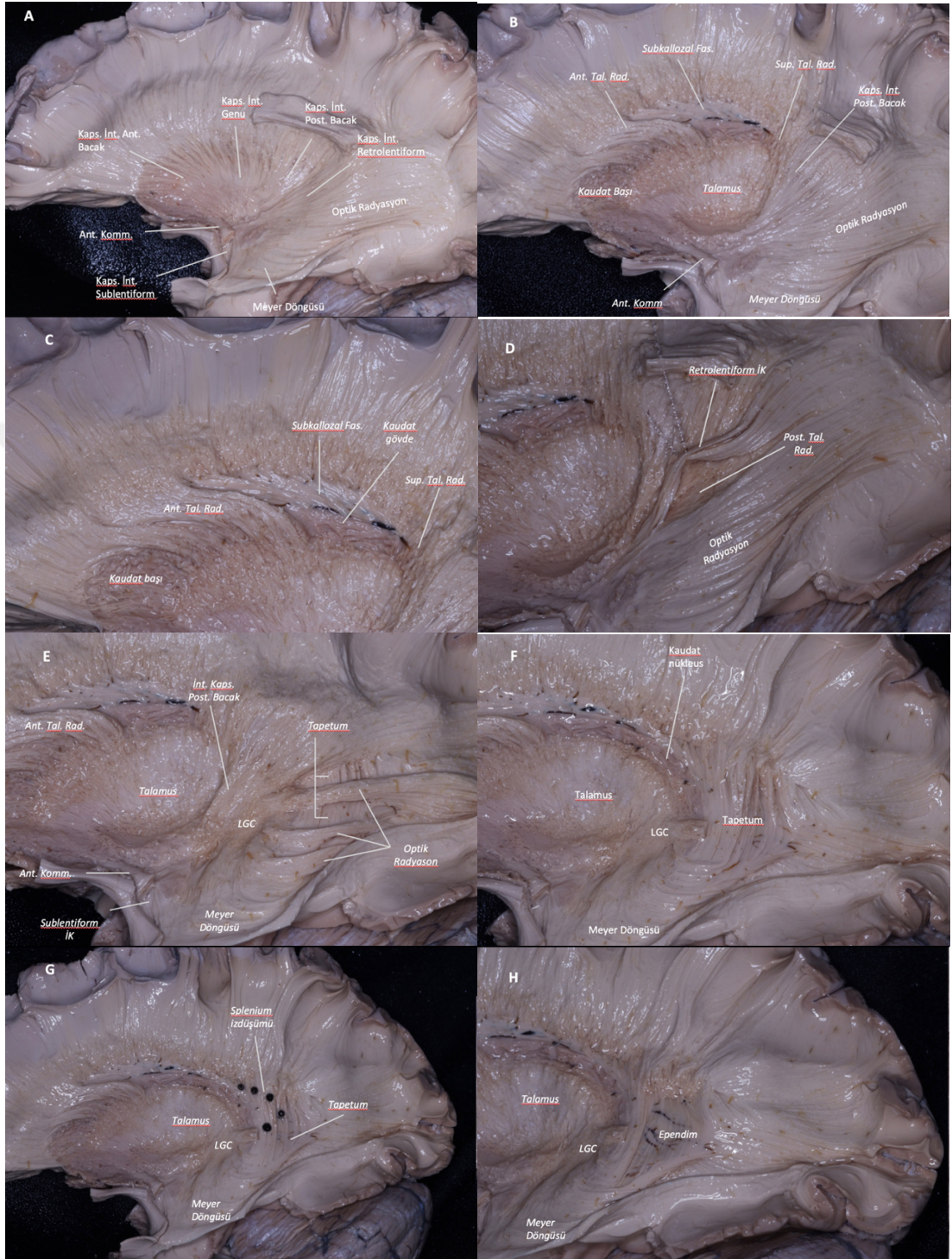


3B model 10 :

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1 :Ant. Komm. | 6 :UF |
| 2 :İnternal Kapsül Ant. Bacak | 7 :Sagittal Stratum |
| 3 :İnternal Kapsül Genu | 8 :Anterior Perforan Madde |
| 4 :İnternal Kapsül Post. Bacak | 9 :Substantia innominata |
| 5 :İnternal Kapsül Retrolent. | 10 :Nükleus Akkumbens |

İnternal kapsülün daha derinlerinde S şekliyle ayırt edilebilen Talamik radyasyon lifleri seçilip tanımlandı. Kortikotalamik veya talamokortikal lifler, korona radiata ve internal kapsülden ayrılarak talamusa girdiği görüldü ve talamik radyasyonlar olarak tanımlandı. Talamik radyasyonlar gidiş yönlerine anterior, süperior, posterior ve oksipital talamik radyasyonlar (optik radyasyon) olarak tanımlandı.

Anterior komissür posterior bacak liflerinin derininde ve medialinde seyreden Optik radyasyonlar anterior, santral ve posterior olmak üzere üç bant halinde sınıflandırıldı. Optik radyasyonların anterior bandı, anterolateral yönde ilerleyerek lateral ventrikülün temporal boynuzunun ucuna kadar ulaştı ve burada bir döngü oluşturarak posteriora dönüşü görüldü. Meyer döngüsü olarak tanımlandı. Anterior bandın, temporal boynuzun tavanını ve lateral duvarını ve lateral ventrikülün atriumunun alt yüzeyini kaplayarak kalkarin sulkusa ulaştığı görüldü. Optik radyasyonların santral bandı, lateral genikulat cisimden ve pulvinar çekirdekten aşağı doğru ilerledi, ardından kalkarin kortekse ulaşmak için posteriora doğru yöneldi. Optik radyasyonların posterior bandı ise, lateral genikulat cisimden ve pulvından çıktıktan sonra doğrudan arkaya doğru ilerleyerek kalkarin sulkus çevresindeki kortekse ulaştı. Posterior talamik radyasyon ise retrolentiform internal kapsülün daha derininde olduğu görüldü ve internal kapsül liflerinden ayrılarak tanımlandı.



Resim 7: Talamik radyasyon A: Internal kapsül anterior bacak, posterior bacak, genu, retrolentiküler ve sublentiküler kısımlara ayrılarak ayrı ayrı isimlendirildi. Anterior komissür posterior bacak liflerinin derininde ve medialinde seyreden Optik radyasyonlar anterior, santral ve posterior olmak üzere üç bant halinde sınıflandırıldı.

Optik radyasyonların anterior bandı, anterolateral yönde ilerleyerek lateral ventrikülün temporal boynuzunun ucuna kadar ulaştı ve burada bir döngü oluşturarak posteriora dönüşü görüldü. Meyer döngüsü olarak tanımlandı. **B:** İnternal kapsülün daha derinlerinde S şekliyle ayırt edilebilen Talamik radyasyon lifleri seçilip tanımlandı. Kortikotalamik veya talamokortikal lifler, korona radiata ve internal kapsülden ayrılarak talamusa girdiği görüldü ve talamik radyasyonlar olarak tanımlandı. Talamik radyasyonlar gidiş yönlerine anterior, süperior , posterior ve oksipital talamik radyasyonlar (optik radyasyon) olarak tanımlandı. **C:** Talamusun lateral kısmını çevreleyen yay şeklinde C biçiminde bir yapı olan kaudat nükleus tanımlandı. Büyük bir başa sahip olup kuyruk kısmına doğru inceldiği görüldü. Striatum ile serebral korteks arasında seyreden subkallozal fasikül görüldü ve tanımlandı. **D:** Posterior talamik radyasyon retrolentiform internal kapsülün derininde ve medialinde görüldü ve tanımlandı. **E,F:** Lateral genikulat cisimden oksipital kortekse doğru giden optik radyasyon lifleri pencere bırakılacak şekilde kaldırıldı. Spleniumdan başlayan bir başka lif yolu olan tapetum'un, atriumun, temporal ve oksipital boynuzların tavanını ve lateral duvarını oluşturmak üzere laterale ve inferiora doğru uzandığı görüldü. Tapetum'un, optik radyasyon liflerini temporal boynuzdan ve atriumdan ayırdığı görüldü. **G:** Medial yüzeydeki spleniumun topografik izdüşümü siyah iğnelerle gösterildi. **H:** Tapetum lifleri kaldırıldıktan sonra atriumun ependim tabakası ile karşılaşıldı.



3B model 11 : Meyer Döngüsü

Video Linki:

<https://drive.google.com/file/d/1VQz1NeBMT2cYJu2pEbXPTfShajUYIjXE/view?usp=sharing>

3B model 11 :

- 1 :Meyer Döngüsü
- 2 :Optik Radyasyon
- 3 :Ant. Komm.
- 4 :UF
- 5 :Arkuat fas.

- 6 :İnternal Kapsül Genu
- 7 : İnternal Kapsül Ant. Bacak
- 8 :İnternal Kapsül Post. Bacak
- 9 : İnternal Kapsül Retrolent.





3B model 12 : Talamik Radyasyon

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/14wfgw502JPUXB8IDXSftvvQMz5_Yr_u4/view?usp=drive_link

3B model 12 :

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1 :LGC | 6 :Kaudat Başı |
| 2 :İnternal Kapsül Post. Bacak. | 7 :Kaudat Gövde |
| 3 :Talamus | 8 :Subkallozal Fas. |
| 4 :Sup. Tal. Rad. | 9 :Optik Radyasyon |
| 5 :Ant. Tal. Rad. | 10 :Tapetum |



3B model 13 : Atrium ve Koroid pleksus

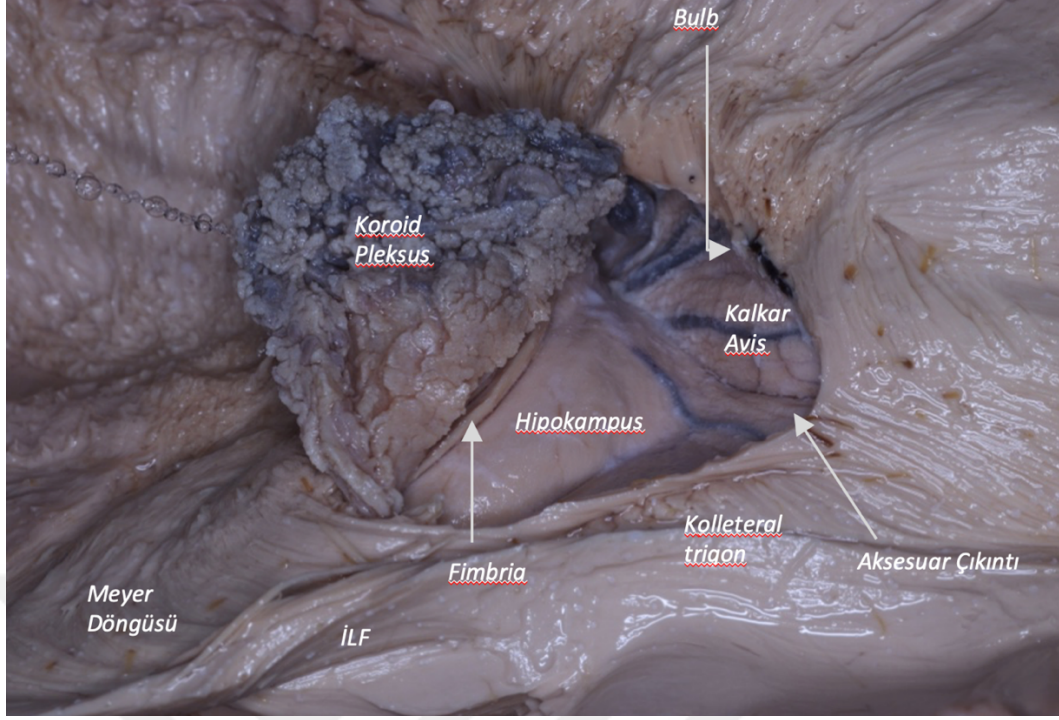
Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1yvFUAXeEBK3hfkM3aQUePyr5poFG_Hj5/view?usp=sharing

3B model 13 :

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1 :Talamus | 6 :Kaudat Başı |
| 2 :Ant. Tal. Rad. | 7 :Ant. Komm. |
| 3 :Meyer Döngüsü | 8 :LGC |
| 4 :Koroid Pleksus (Atrium) | 9 :İnternal Kapsül Sublent. |
| 5 :Kaudat Gövde | 10 : Subkallozal Fas. |





Resim 8: Atrium. Tapetum ve ventrikül endimi eksize edilince temporal boynuz ve atrium, koroid pleksus ve hipokampus ortaya çıktı. Lateral ventrikül içinde yerleşik koroid pleksus intraventriküler hipokampusun kuyruk ve gövdesini örtüyor, baş ve gövde sınırına kadar uzanıyordu. Atrium medial duvar yapıları lateralden görüldü. Yukarıdan aşağı doğru bulb , kalkar avis ve aksesuar çıkıntı olmak üzere üç adet çıkıntı tanımlandı. Fimbria Hipokampusün medial kenarı boyunca uzanıyordu.

Tapetum ve ventrikül endimi eksize edilince temporal boynuz ve atrium, koroid pleksus ve hipokampus ortaya çıktı. Lateral ventrikül içinde yerleşik koroid pleksus intraventriküler hipokampusun kuyruk ve gövdesini örtüyor, baş ve gövde sınırına kadar uzanıyordu. Koroid pleksus kaldırılınca atrium ve temporal boynuz inferomedialine yerleşen intraventriküler hipokampus tamamen gözükte.

Sublentiküler internal kapsülün temporal pole uzanan ön kısmını Türck ve Arnold Demeti oluşturduğu görüldü. Türck Demeti'nin (temporopontin lifler) pons ve serebral pedinkülden çıktıktan sonra LGC üzerinden temporal pole uzandığı ve Arnold Demeti'nin (temporopulvinar lifler) pulvinar talamiden köken alarak temporal pole uzandığı görüldü. Her iki lif de temporal boynuz anterior çatısına katılıyordu. Stria terminalis ve kaudat nükleus bu liflerin altından temporal boynuz önündeki

amigdalaya uzandığı görüldü. Tapetum, kaudat kuyruğunun lateralinde uzanarak atrium ve temporal boynuz superolateral çatısını oluşturuyordu. Amigdala, intraventriküler hipokampus başının hem anteriorunda hem de süperiorunda duruyordu.

Atrium medial duvarında yukarıdan aşağı doğru bulb, kalkar avis ve aksesuar çıkıntı olmak üzere üç adet çıkıntı tanımlandı. Lif diseksiyon yoluyla bu yapılardan bulbusu splenium kaynaklı forseps major lifleri; aksesuar kallosal çıkıntıyı splenium kaynaklı lifler oluştururken, kalkar avisi ise medial hemisferde yer alan kalkarin fissürün laterale uzanımının oluşturduğu gösterildi.

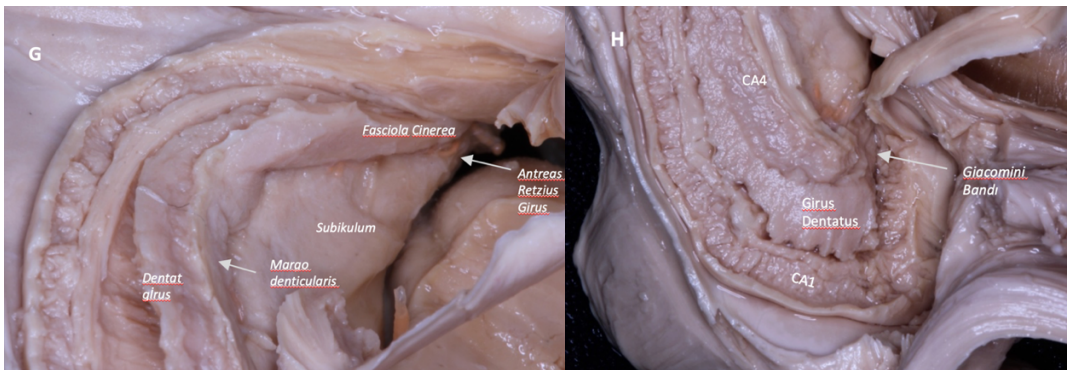
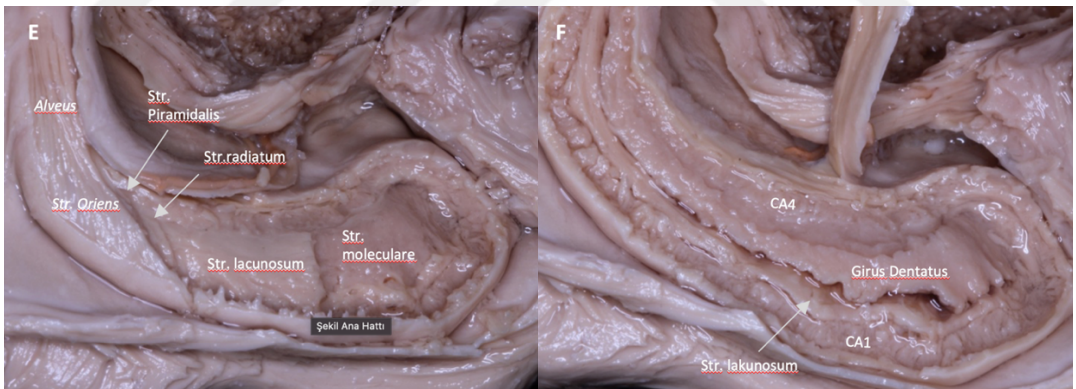
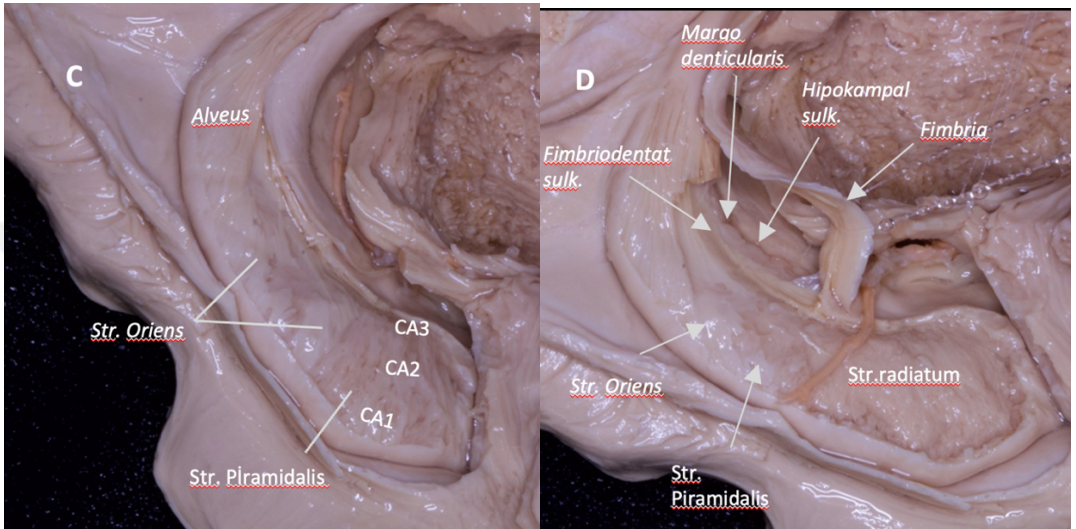
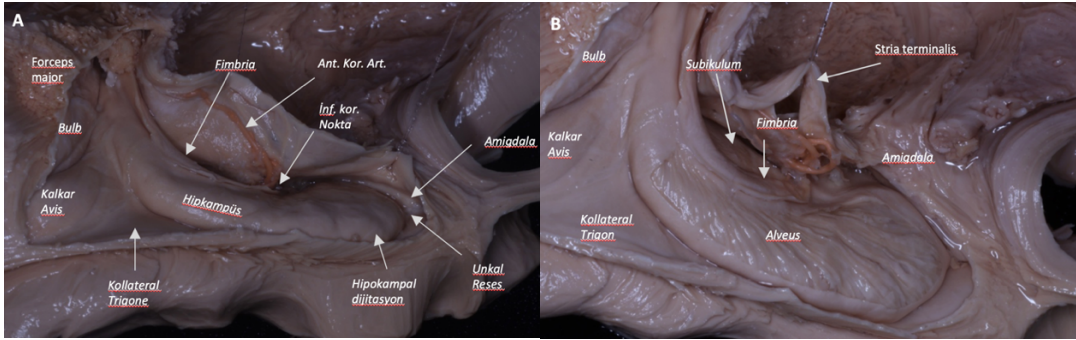
Atrium Ependimi temporal boynuzla doğru tamamen açıldığında intraventriküler hipokampus tamamen ortaya çıktı. Kıvrımlı yapısı deniz atını andırıyordu ve Baş, gövde ve kuyruk olmak üzere 3 kısımda değerlendirildi. İntraventriküler hipokampal baş koroid pleksusdan yoksundu ve kedi patisini andıran görünümü vardı. Hipokampal dijitalasyonlar hepsi birden pes hippokampi olarak adlandırıldı. Fibria unkusun en arkasına tutunuyordu bu bölge intralimbik girus olarak tanımlandı. Unkusun posterior kısmı ayrıca ekstraventriküler hipokampal başı oluşturuyordu. Posterior unkusun inferior ve medial yüzeyinde dentat girusa ait margo dentikularisin bant şeklinde devamı olan ve dışarıdan gözükken Giacomini Bandı vardı.

Fimbrianın bittiği ve koroidal fissürün başladığı yer inferior koroidal nokta olarak tanımlandı. Inferior koroidal nokta ayrıca hipokampal başla gövde arasındaki sınırı belirleyip, anterior koroidal arter'in sisternal segmentinin bittiği yeri göstermekteydi.(126) Temporal boynuz tavanında tanımlanan inferior ventriküler ven ile hipokampus kaudale doğru takip edildi. Kaudale doğru margo dentikulatusun dişleri küçülmeye başladı ve margo dentikulatus'un fasciola cinerea'yı oluşturduğu görüldü. Hipokampus kuyruk kısmı ortaya konarak, Kornu Ammonis'in oluşturduğu girus fasciolaris tanımlandı. Bu bölgede Andreas Retzius Girusları'da tanımlandı.

Ventrikülden hipokampal sulkusa doğru, Kornu Ammonis alveus, stratum oriens, stratum pyramidale, stratum radiatum, stratum lakunozum ve stratum molekulare olmak üzere altı katmanda incelendi ve her bir katman gösterildi. (Özgündüz Y. Hipokampusun iç mimarisi ve komşuluklarının lif mikrodiseksiyonu ile üç boyutlu gösterilmesi [Tıpta Uzmanlık Tezi].Sağlık Bilimleri Üniversitesi;2022. <https://tez.yok.gov.tr/>) Alveus lifleri intraventriküler hipokampus antero-infero-

lateralinden postero-supero-mediale doğru yükseliyorlardı. Hipokampus baş bölgesinden yükselen liflerin fimbriaya katıldığı, yine gövde ve kuyrukta medialden yükselen liflerin fimbriaya katıldığı, ancak gövde ve kuyruk lateralinde yükselen liflerin mediale yöneldiği ama fimbriaya katılmayarak paralel seyrettiği gözlemlendi. Alveus katmanından sonra ince, zarımsı stratum oriens katmanı ile karşılaşıldı.

Zarımsı stratum oriens kaldırılınca belirgin kalın stratum pyramidale karşımıza çıktı. Stratum pyramidalenin, dentat girusun oluşuna girdiği kısmı CA4, dentat girusun oluşuna girerken yaptığı dirsek CA3, CA1 ve CA3 arasında kalan kısmı CA2, distal kısmı ise CA1 olarak tanımlandı. Piramidal hücreler kaldırılınca ortaya çıkan stratum radiatum farklı rengi ile ortaya çıktı. Daha sonra sırasıyla Stratum lakunozum ve moleküllere de ortaya kondu. Stratum moleküllere'nin dentat girusa bitişik olduğu görüldü. Ardından dentat girus ortaya kondu. İntraventriküler hipokampal baştan itibaren dentat girusun enine kalınlığı kuyruğa doğru azalıyordu. Enine yerleşen dişli yapısı görüldü. Dentat girus eleve edilerek, altındaki Kornu Ammonis stratum moleküllere katmanı ve daha derinde dentat girusu saran CA1 görüldü.



Resim 9: Hipokampus **A:** Atrium Ependimi temporal boynuza doğru tamamen açıldığında intraventriküler hipokampus tamamen ortaya çıktı. Kıvrımlı yapısı deniz atını andırıyordu ve Baş, gövde ve kuyruk olmak üzere 3 kısımda değerlendirildi. İnaventriküler hipokampal baş koroid pleksusdan yoksundu ve kedi patisini andıran görünümü vardı. Hipokampal dijitalasyonlar olarak tanımlandı ve hepsi birden pes hippokampi olarak adlandırıldı. Fimbrianın bittiği ve koroidal fissürün başladığı yer inferior koroidal nokta olarak tanımlandı. Bu nokta ayrıca hipokampal başla gövde arasındaki sınırı ortaya koydu. Bu noktada anterior koroidal arter ve inferior ventriküler ven tanımlandı ve kaudale doğru uzanımı gösterildi. **B:** Alveus lifleri intraventriküler hipokampus antero-infero-lateralinden postero-supero-mediale doğru yükseliyorlardı. **C:** Alveus katmanından sonra ince, zarımsı stratum oriens katmanı ile karşılaşıldı. Zarımsı stratum oriens kaldırılınca belirgin kalın stratum piramidale karşımıza çıktı. Stratum piramidalenin, dentat girusun oluşuna girdiği kısmı CA4, dentat girusun oluşuna girerken yaptığı dirsek CA3, CA1 ve CA3 arasında kalan kısmı CA2, distal kısmı ise CA1 olarak tanımlandı. **D,E:** Piramidal hücreler kaldırılınca ortaya çıkan stratum radiatum farklı rengi ile ortaya çıktı. Daha sonra sırasıyla Stratum lakunozum ve moleküllere de ortaya kondu. Stratum moleküllere'nin dentat girusa bitişik olduğu görüldü. **F:** Ardından dentat girus ortaya kondu. İnaventriküler hipokampal baştan itibaren dentat girusun enine kalınlığı kuyruğa doğru azalıyordu. Enine yerleşen dişli yapısı görüldü. **G:** Kaudale doğru margo dentikulatusun dişleri küçülmeye başladı ve margo dentikulatus'un fasciola cinerea'yı oluşturduğu görüldü. Ayrıca kaudalde Kornu Ammonis'in oluşturduğu girus fasciolaris tanımlandı. Bu bölgede Andreas Retzius Girusları'da tanımlandı. **H:** Hipokampal başta giacomini bandı ortaya kondu.



3B model 14 : Alveus

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/16Sd2iyLXEFnqoXUF6V04hy_65K1uUEvS/view?usp=sharing

3B model 14 :

- | | |
|--------------|-------------------------------|
| 1 :LGC | 6 :Alveus |
| 2 :Talamus | 7 :Meyer Döngüsü |
| 3 :Ant. Komm | 8 :Aksesuar Kall. Lifler |
| 4 :Amigdala | 9 :Forceps Major |
| 5 :Alveus | 10 : Sublent. İnternal Kapsül |



3B model 15 : Dentat Girus

Video Linki:

<https://drive.google.com/file/d/1rRY34CYzp9tBvJq0mTt8IEfWxjxSQ8qF/view?usp=sharing>

3B model 15 :

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1 :LGC | 6 :Fimbria |
| 2 : Ant. Komm | 7 :5. KS |
| 3 :Meyer Döngüsü | 8 :Serebellum |
| 4 :Dentat Girus | 9 :Talamus |
| 5 :Amigdala | 10 : Kaudat Nükleus |



4.2. Serebrum'un Medial'den Lateral'e Doğru Kademeli Diseksiyonu ve 3D modelleri

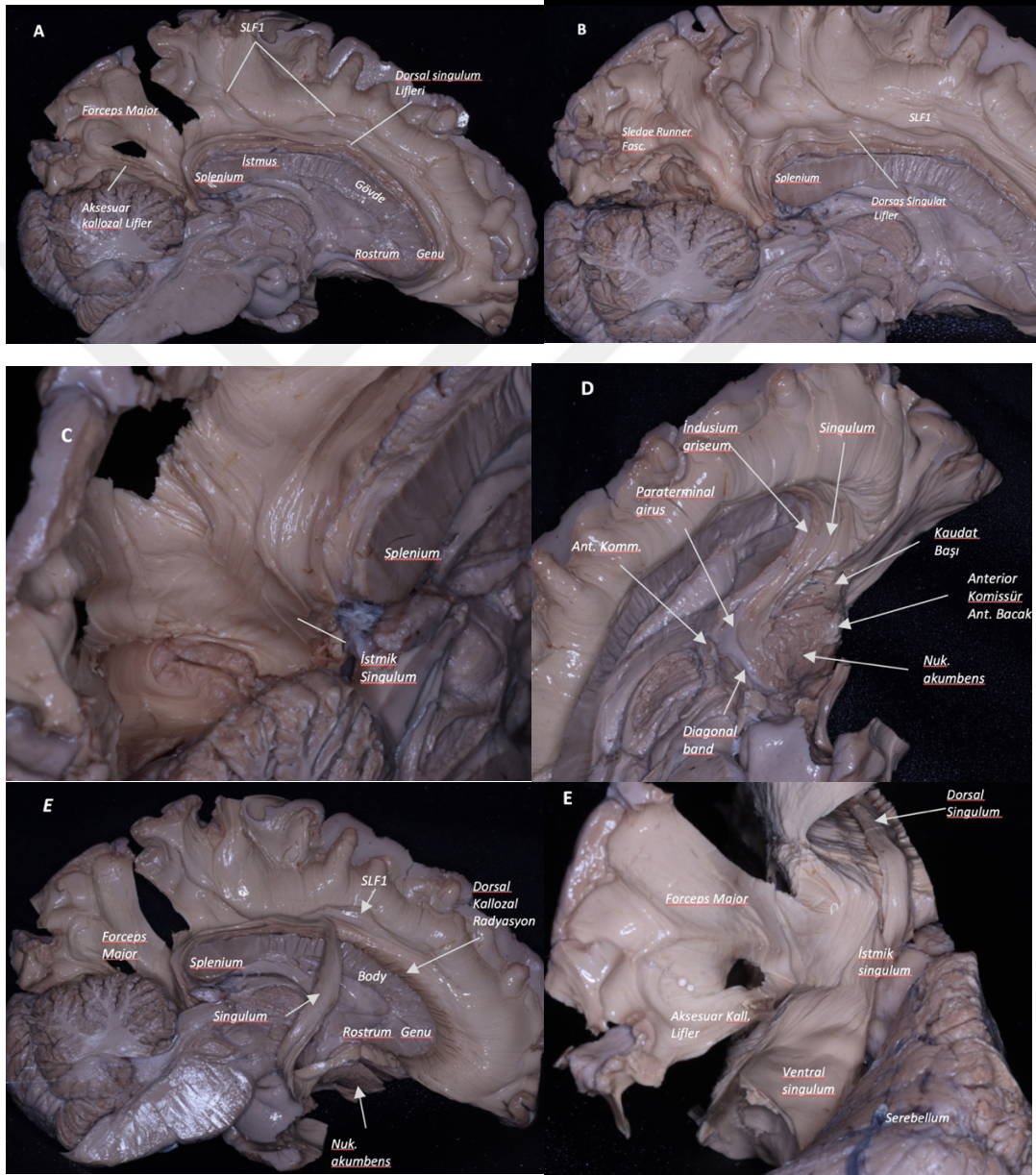
Dekortikasyondan önce medial yüzeyde görülen ilk ak madde yolu olan korpus kallozum lateral ventrikülün tavanında, interhemisferik

fissürün tabanında yer alır. Topografik olarak korpus kallozum rostrum, genu, gövde, istmus ve splenium olmak üzere 5 bölümde tanımlandı. Ardından tüm medial yüzey dekortikasyonu yapıldı. U liflerine ulaşıldı. U liflerinin çıkarılması, singulum ve medialde kallozal liflerin üzerinde bulunan prekuneus'tan medial frontal ve anterior singulat kortekse doğru uzanan SLF I'i (superior longitudinal fasikulus) açığa çıkardı. Singulat girus dekortikasyonu ile singulum ortaya çıkarıldı. Singulum'a süperior frontal girustan, parasantral lobülden ve prekuneus'tan dikey lifler katılıyordu. Frontal bölgede singulum, korpus kallozumun genu'su etrafında inferior ve posterior bir şekilde yönelerek paraterminal girusta ve subkallozal kortekste sonlanıyordu. Parietal bölgede singulum lifleri korpus kallozumun dorsal yüzeyinin üzerinde takip edildi.

Singulum, spleniumun hemen arkasında yer alan singulat girusun istmus seviyesinde daraldı ve bu bölge istmik singulum olarak tanımlandı. Bu seviyenin altında, singulum anterior yöne doğru kıvrılarak Parahipokampal girus'tan geçerek presubikulum ve entorinal kortekste sonlandı.(109) Böylece singulum lifleri; dorsal , ventral ve istmik olmak üzere 3 kısımda incelendi ve tanımlandı. Kuneus ve lingual girusun dekortikasyonu ve u liflerinin kaldırılması ile kuneusu lingual girusa bağlayan bir lif demeti olan 'sledge runner' fasikülü ortaya çıkarıldı. Spleniumdan takip edilen diseksiyonda kuneusa giden Forceps majör lifleri ve lingula'a giden aksesuar kallozal lifler ortaya kondu.

Paraterminal girusun ve anterior komissürün önündeki singulum liflerinin çıkarılması, kaudat çekirdeğin başının altında ve anterior komissürün anterior bacağı ile internal kapsülün anterior bacağının inferomedialinde Nükleus akumbensi ortaya çıkardı. Kaudat başı ile nükleus akumbens arasında belirgin bir sınır yoktu.

Faskikulus retrofleksus'un, interpedünküler nükleustan çıkışı, posterosuperior yönde nükleus ruber (RN) medialinde ve üstünde ilerleyerek habenulada sonlanması gösterildi. Mercek şeklinde bir yapıya sahip Subtalamik nükleus (STN), talamusun ventralinde, substantia nigranın dorsalinde yer alıyordu.



Resim 10: Serebrum Medial Yüzeyi A: Topografik olarak korpus kallozum rostrum, genu, gövde, istmus ve splenium olmak üzere 5 bölümde

tanımlandı. Ardından tüm medial yüzey dekortikasyonu yapıldı. U liflerine ulaşıldı. U liflerinin çıkarılması, singulum ve medialde kallozal liflerin üzerinde bulunan prekuneus'tan medial frontal ve anterior singulat kortekse doğru uzanan SLF I'i (superior longitudinal fasikulus) açığa çıkardı. Singulat girus dekortikasyonu ile singulum ortaya çıkarıldı. **B:** Parietal bölgede singulum lifleri korpus kallozumun dorsal yüzeyinin üzerinde takip edildi. Kuneus ve lingual girusun dekortikasyonu ve u liflerinin kaldırılması, kuneusu lingual girusa bağlayan bir lif demeti olan 'sledge runner' fasikülünü ortaya çıkardı. Spleniumdan takip edilen diseksiyonda kuneusa giden Forceps majör lifleri ve lingula'a giden aksesuar kallozal lifler ortaya kondu. **C:** Singulum, spleniumun hemen arkasında yer alan singulat girusun istmus seviyesinde daraldı ve bu bölge istmik singulum olarak tanımlandı. **D:** Frontal bölgede singulum, korpus kallozumun genu'su etrafında inferior ve posterior bir şekilde yönelerek paraterminal girusta ve subkallozal kortekste sonlanıyordu. Paraterminal girusun ve anterior komissürün önündeki singulum liflerinin çıkarılması, kaudat çekirdeğin başının altında ve anterior komissürün anterior bacağı ile internal kapsülün anterior bacağının inferomedialinde Nükleus akumbensi ortaya çıkardı. Kaudat başı ile nükleus akumbens arasında belirgin bir sınır yoktu. **E:** Singulum lifleri ekarte edilmiş ve altında dorsal kallozal radyasyonlar görüldü. **F:** İstmik singulum seviyesinin altında, singulum anterior ve lateral yöne doğru kıvrılarak Parahipokampal girus'tan geçerek presubikulum ve entorinal kortekste sonlandı. Ventral singulum olarak tanımlandı.



3B model 16 : SLF1 ve Singulum

Video Linki:

https://drive.google.com/file/d/1nG_we7RKeT1NZYHAHLJKgZdPWkUWTSC/view?usp=sharing

3B model 16 :

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1 :SLF1 | 6 :KK İstmus |
| 2 :Dorsal singulum lifleri | 7 :Splenium |
| 3 :KK Rostrum | 8 :Forceps Major |
| 4 :KK Genu | 9 :Aksesuar kallozal lifler |
| 5 :KK Gövde | 10 : İstmik singulum |



3B model 17 : Dorsal kallozal radyasyon

Video Linki:

<https://drive.google.com/file/d/1HnjCfC5hTW-wseZrlQsELvIxNtDmhRbO/view?usp=sharing>

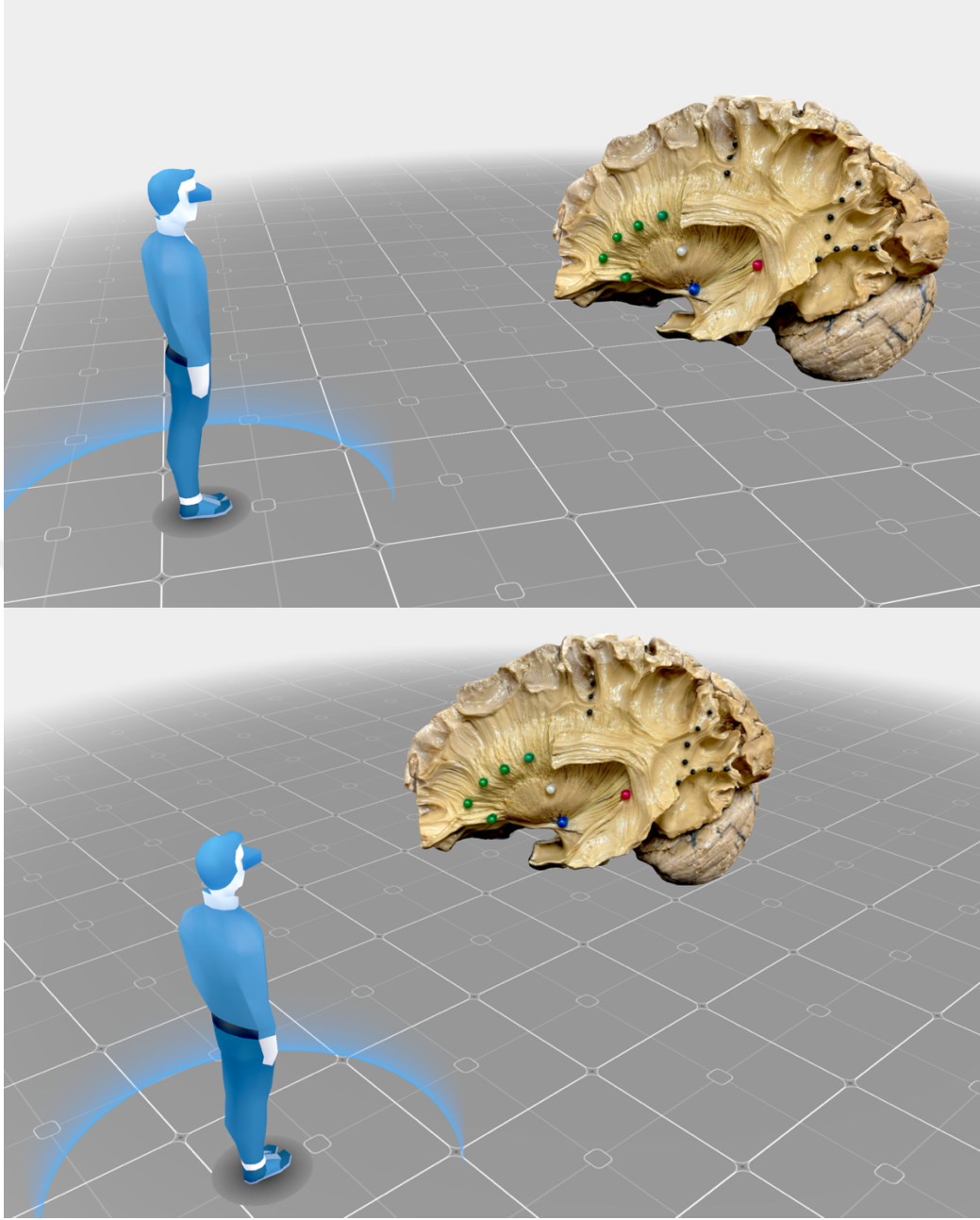
3B model 17 :

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1 :Dorsal Kallozal Rad. | 6 :Ant. Komm. |
| 2 :Dorsal singulum lifleri | 7 :Forniks |
| 3 :SLF1 | 8 :DBB (Diagonal band) |
| 4 :Splenium | 9 :Nük. Akkumbens |
| 5 :İstmik singulum | 10: Kaudat Nükleus |

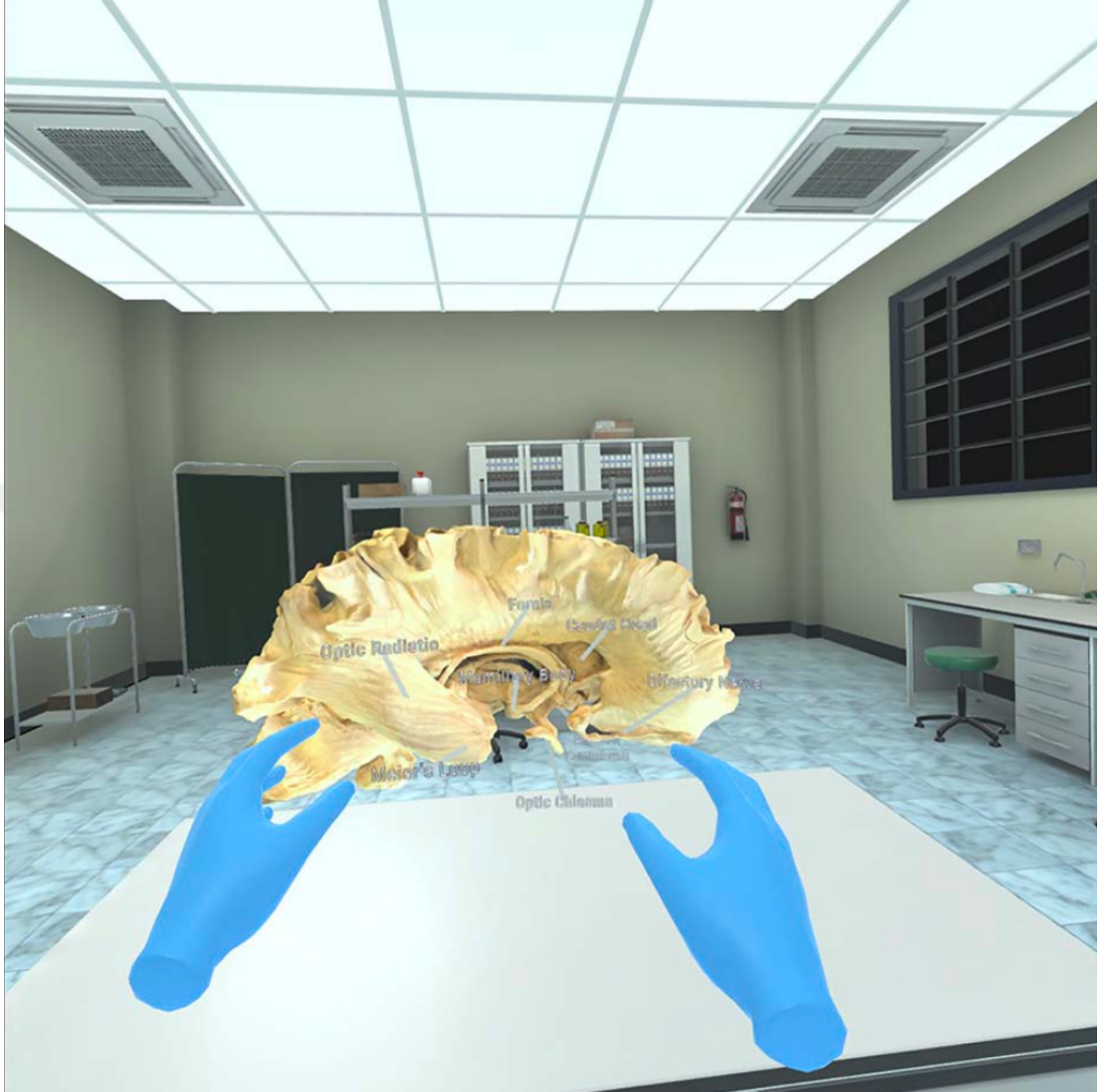




Resim 11 : AR uygulamaları Akıllı telefon tabanlı fotogrametri tekniği ile oluşturulmuş 3B modellerin ev ve labaratuar çalışma ortamlarında AR platformlarındaki entegrasyonu. (Polycam 2020-2021, Polycam Inc.)



Resim 12 : VR uygulamaları. Bu çalışmada sunulan 3B modeller, dışa aktarıldıktan sonra sanal gerçeklik (VR) platformlarında görselleştirilmek üzere işlenmiştir. Bilgisayar tarafından oluşturulan ve gerçek dünyanın özelliklerini taklit eden bu sentetik ortam, başa takılan stereo kulaklıklarla deneyimlenebilir. Görsellerin oluşturulması için Sketchfab, Inc. kullanılmıştır.



Resim 13 :Sanal Labaratuar ortamında VR deneyimi.

(Aydin SO, Barut O, Yilmaz MO, Sahin B, Akyoldas G, Akgun MY, et al. Use of 3-Dimensional Modeling and Augmented/Virtual Reality Applications in Microsurgical Neuroanatomy Training. Oper Neurosurg (Hagerstown). 2023;24(3):318-23.)(6)

5. TARTIŞMA

Gelişen teknolojiler, Nöroşirurji uzmanlık eğitiminde anatomik bilgi aktarımı ve cerrahi yetenek kazandırma açısından önemli bir dönüşüm sağlamaktadır. Geleneksel cerrahi eğitim yöntemleri, özellikle iki boyutlu görseller ve anatomik atlaslarla sınırlı kaldığında, öğrencilerin mekansal farkındalık ve üç boyutlu düşünme becerilerini geliştirmekte yetersiz kalabilmektedir. Akıllı telefon tabanlı fotogrametri, düşük maliyeti, taşınabilirliği ve kolay erişilebilirliği ile bu sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır. Bahsedilen yeni teknoloji Nöroşirurji asistanlık eğitimde yalnızca ekonomik bir çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda uzmanlık öğrencilerin bireysel olarak modeller üzerinde çalışmasına olanak tanır.

Çalışmamız Nöroşirurji uzmanlık eğitiminde ‘Lif Mikrodiseksiyonları’ ile elde edilen modellerin yüksek doğruluk oranı ile, uzmanlık öğrencilerin gerçekçi bir öğrenme deneyimi yaşamasına olanak sağlayabileceğini göstermiştir. Özellikle, bu çalışmada uygulanan fotogrametri tabanlı modellerin AR platformlarına entegrasyonu, uzmanlık öğrencilerinin beyin, ventrikül ve derin yerleşimli ak madde ile nükleusların üç boyutlu yapıları üzerinde interaktif keşifler yapmasını desteklemektedir.

Nöroşirurji eğitiminde bu tip modellemelerin ve AR platformlarına entegrasyonun kullanımı, yalnızca bilgi aktarımı için değil, aynı zamanda cerrahi becerilerin geliştirilmesi için de kritik bir rol oynamaktadır. Bernardo *ve ark.*, 3D modellerin öğrencilerin mekansal farkındalığını artırarak cerrahi prosedürlere daha hazırlıklı olmalarını sağladığını belirtmiştir (127). Bu modeller özellikle beyin, ventrikül, ak madde ve derin nükleusların birbirleri ile olan karmaşık ilişkilerini – uzun süre ve meşakatli bir eğitim gerektiren Mikrocerrahi Nöroanatomi Laboratuvar çalışması yapılmadan – uzmanlık öğrencilerine kısa yoldan sunma potansiyeline sahiptir. Bu şekilde Nöroşirurji uzmanlık öğrencilerinin cerrahi tekniklere dair güvenlerini artabilir (127).

Bernardo *ve ark.*, göre VR ve diğer simülasyonların, cerrahın güvenini artırarak ve gereksiz hareketleri azaltarak ameliyat süresini ve hatalarını azalttığını göstermektedir (127). Nöroşirurji uzmanlık öğrencileri ve eğitmenler cerrahi simülasyonların kadavra ve hasta üzerinde yapılan geleneksel eğitim yöntemlerini tamamlayıcı bir araç olduğunu düşünmektedir. Hiç şüphesiz kadavra çalışmaları kullanıcının cerrahi eğitimini gerçekçi ve dokusal bir ortamda uygulamasına olanak

tanır. Bu fiziksel geri bildirim, kullanıcının becerilerini geliştirmesi için önemlidir. Kadavra üzerinde cerrahi simülasyonların fiziksel simülatörler ve bilgisayarlarla oluşturulmuş modellere kıyasla en yüksek faydayı sağladığı bildirilmekte birlikte, bu tez içinde bahsi geçen modellemeler ile kullanıcı, cerrahi sırasında önem kazanacak nöral yapıları 3D olarak görselleştirme yeteneğine sahip olur. (127)

Moro *ve ark.*, VR destekli eğitim platformlarının, öğrencilerin anatomik yapıların üç boyutlu mekansal ilişkilerini daha iyi anlamalarına yardımcı olduğunu göstermiştir (128). Özellikle AR tabanlı rehberlik sistemleri, gerçek zamanlı anatomik görselleştirme sağlayarak cerrahların intraoperatif süreçlerde hata oranını azaltmalarına olanak tanımaktadır. (128)

McGuire *ve ark.*, vasküler cerrahide 3D baskı ile oluşturulan modeller üzerine yaptığı çalışmada, bu modellerin cerrahi planlama ve simülasyon süreçlerinde önemli avantajlar sunduğu belirtilmiştir.(129) Özellikle hasta spesifik modellerin ameliyat öncesi planlamada kullanılması, cerrahi başarıyı artırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır.

AR ve VR teknolojilerinin eğitimdeki bir diğer faydası, öğrencilere güvenli bir ortamda pratik yapma imkânı sunmasıdır. Fotogrametri tabanlı 3D modellerin bu platformlara entegrasyonu, öğrencilerin karmaşık yapıları anlamalarını kolaylaştırırken, aynı zamanda cerrahi uygulamalarda deneyim kazanmalarına olanak tanımaktadır. Fotogrametri tabanlı 3D modelleme ve AR/VR teknolojilerinin sunduğu avantajlara ve öğrencilerin VR kullanımına artan ilgisi ve memnuniyetine rağmen, çeşitli zorluklar ve sınırlamalar bulunmaktadır. Zhao *ve ark.*, VR kullanımının baş dönmesi, göz yorgunluğu ve adaptasyon zorluklarına neden olabileceği belirtilmiştir.(124)

Sanal gerçeklik kullanırken öğrenme deneyimini ve değerlendirme sonuçlarını etkileyebilecek potansiyel bir diğer sorun, siber hastalık olarak bilinen bir durumdur. Bu durum; mide bulantısı, oryantasyon bozukluğu, rahatsızlık hissi, baş ağrısı, yorgunluk, odaklanma güçlüğü ve görme problemleri (bulanık veya çift görme) gibi semptomlara neden olabilir. Siber hastalığın, görsel sistemin vücuda hareket halinde olduğunu söylerken vestibüler sistemin vücudun sabit olduğunu bildirdiği bir duyu uyumsuzluktan kaynaklandığı düşünülmektedir.(128) Bu nedenle, VR'nin neden olduğu bulanık görme ve oryantasyon bozukluğu gibi olumsuz etkiler üzerine daha

fazla çalışmaya odaklanılmalıdır. Hızla gelişen bir teknoloji olan VR'nin maliyeti, özellikle düşük gelirli bölgelerde eğitimde uygulanmasını düşündürken kritik bir faktör olabilir.(124, 128)

Akıllı telefon tabanlı fotogrametri tabanlı 3D modelleme yöntemlerinde ışık koşulları, çekim açıları ve fotoğraf sayısı gibi faktörlerin model kalitesini etkilediği gözlemlenmiştir. Bu, özellikle yeni başlayan kullanıcılar için öğrenme eğrisini arttırabilir.

6. SONUÇ

Akıllı telefon tabanlı fotogrametri, düşük maliyetli, taşınabilir ve etkili bir 3D modelleme yöntemi olarak Nöroşirurji eğitiminde yeni bir standart oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu teknoloji AR ve VR ile birleştirildiğinde, cerrahi planlama ve intraoperatif uygulamalarda önemli avantajlar sunma potansiyeline sahiptir. Ancak, bu teknolojilerin daha geniş çapta benimsenmesi için teknik ve ekonomik sınırlamaların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Gelecekte, bu yeniliklerin cerrahi eğitiminde yeni standartlar belirlenmesinde önemli rol oynayacağını düşünüyoruz.

7. KAYNAKLAR

1. Wichmann T, Dostrovsky JO. Pathological basal ganglia activity in movement disorders. *Neuroscience*. 2011;198:232-44.
2. Gungor A, Baydin SS, Holanda VM, Middlebrooks EH, Isler C, Tugcu B, et al. Microsurgical anatomy of the subthalamic nucleus: correlating fiber dissection results with 3-T magnetic resonance imaging using neuronavigation. *J Neurosurg*. 2019;130(3):716-32.
3. Yagmurlu K, Rhoton AL, Jr., Tanriover N, Bennett JA. Three-dimensional microsurgical anatomy and the safe entry zones of the brainstem. *Neurosurgery*. 2014;10 Suppl 4:602-19; discussion 19-20.
4. Baydin S, Gungor A, Tanriover N, Baran O, Middlebrooks EH, Rhoton AL, Jr. Fiber Tracts of the Medial and Inferior Surfaces of the Cerebrum. *World Neurosurg*. 2017;98:34-49.
5. Shimizu S, Tanaka R, Rhoton AL, Jr., Fukushima Y, Osawa S, Kawashima M, et al. Anatomic dissection and classic three-dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. *Neurosurgery*. 2006;58(5):E1000; discussion E.
6. Aydin SO, Barut O, Yilmaz MO, Sahin B, Akyoldas G, Akgun MY, et al. Use of 3-Dimensional Modeling and Augmented/Virtual Reality Applications in Microsurgical Neuroanatomy Training. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2023;24(3):318-23.
7. Schmähmann JD, Pandya DN. Cerebral white matter--historical evolution of facts and notions concerning the organization of the fiber pathways of the brain. *J Hist Neurosci*. 2007;16(3):237-67.
8. Silva SM, Andrade JP. Neuroanatomy: The added value of the Klingler method. *Ann Anat*. 2016;208:187-93.
9. Silva SM, Cunha-Cabral D, Andrade JP. Neurosurgical relevance of the dissection of the diencephalic white matter tracts using the Klingler technique. *Clin Neurol Neurosurg*. 2017;156:35-40.
10. Rhoton AL, Jr. The cerebrum. *Anatomy. Neurosurgery*. 2007;61(1 Suppl):37-118; discussion -9.
11. KARTUM TA. Serebrumun Ak Madde Liflerinin Sınıflandırılması.
12. Yagmurlu K, Vlasak AL, Rhoton AL, Jr. Three-dimensional topographic fiber tract anatomy of the cerebrum. *Neurosurgery*. 2015;11 Suppl 2:274-305; discussion
13. Ture U, Yasargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. *Neurosurgery*. 2000;47(2):417-26; discussion 26-7.
14. Yagmurlu K, Middlebrooks EH, Tanriover N, Rhoton AL, Jr. Fiber tracts of the dorsal language stream in the human brain. *J Neurosurg*. 2016;124(5):1396-405.
15. Fernández-Miranda JC, Wang Y, Pathak S, Stefaneau L, Verstynen T, Yeh F-C. Asymmetry, connectivity, and segmentation of the arcuate fascicle in the human brain. *Brain Structure and Function*. 2014;220(3):1665-80.
16. Glasser MF, Rilling JK. DTI Tractography of the Human Brain's Language Pathways. *Cerebral Cortex*. 2008;18(11):2471-82.

17. Dick AS, Tremblay P. Beyond the arcuate fasciculus: consensus and controversy in the connectonal anatomy of language. *Brain*. 2012;135(12):3529-50.
18. Ungerleider L, Petrides M, Pandya DN. Distinct Parietal and Temporal Pathways to the Homologues of Broca's Area in the Monkey. *PLoS Biology*. 2009;7(8).
19. Catani M, Jones DK, ffytche DH. Perisylvian language networks of the human brain. *Annals of Neurology*. 2004;57(1):8-16.
20. Stromswold K, Caplan D, Alpert N, Rauch S. Localization of Syntactic Comprehension by Positron Emission Tomography. *Brain and Language*. 1996;52(3):452-73.
21. Embick D, Marantz A, Miyashita Y, O'Neil W, Sakai KL. A syntactic specialization for Broca's area. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2000;97(11):6150-4.
22. Poldrack RA, Wagner AD, Prull MW, Desmond JE, Glover GH, Gabrieli JD. Functional specialization for semantic and phonological processing in the left inferior prefrontal cortex. *Neuroimage*. 1999;10(1):15-35.
23. Mesulam MM. *Principles of Behavioral and Cognitive Neurology*. Mesulam MM, editor: Oxford University Press; 2000 31 Oct 2023.
24. Just MA, Carpenter PA, Keller TA, Eddy WF, Thulborn KR. Brain Activation Modulated by Sentence Comprehension. *Science*. 1996;274(5284):114-6.
25. Caplan D, Alpert N, Waters G. Effects of Syntactic Structure and Propositional Number on Patterns of Regional Cerebral Blood Flow. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1998;10(4):541-52.
26. Kaplan E, Naeser MA, Martin PI, Ho M, Wang Y, Baker E, et al. Horizontal portion of arcuate fasciculus fibers track to pars opercularis, not pars triangularis, in right and left hemispheres: A DTI study. *NeuroImage*. 2010;52(2):436-44.
27. Duffau H, Gatignol P, Mandonnet E, Peruzzi P, Tzourio-Mazoyer N, Capelle L. New insights into the anatomo-functional connectivity of the semantic system: a study using cortico-subcortical electrostimulations. *Brain*. 2005;128(Pt 4):797-810.
28. Bookheimer S. Functional MRI of Language: New Approaches to Understanding the Cortical Organization of Semantic Processing. *Annual Review of Neuroscience*. 2002;25(1):151-88.
29. Friederici AD, Meyer M, von Cramon DY. Auditory language comprehension: an event-related fMRI study on the processing of syntactic and lexical information. *Brain Lang*. 2000;74(2):289-300.
30. Keller TA, Carpenter PA, Just MA. The neural bases of sentence comprehension: a fMRI examination of syntactic and lexical processing. *Cereb Cortex*. 2001;11(3):223-37.
31. Noesselt T, Shah NJ, Jancke L. Top-down and bottom-up modulation of language related areas--an fMRI study. *BMC Neurosci*. 2003;4(1):13.
32. Noppeney U, Price CJ. A PET Study of Stimulus- and Task-Induced Semantic Processing. *NeuroImage*. 2002;15(4):927-35.
33. van Geemen K, Herbet G, Moritz-Gasser S, Duffau H. Limited plastic potential of the left ventral premotor cortex in speech articulation: Evidence From intraoperative awake mapping in glioma patients. *Human Brain Mapping*. 2013;35(4):1587-96.

34. Aboitiz F, García V R. The evolutionary origin of the language areas in the human brain. A neuroanatomical perspective. *Brain Research Reviews*. 1997;25(3):381-96.
35. Dronkers NF, Wilkins DP, Van Valin RD, Redfern BB, Jaeger JJ. Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*. 2004;92(1-2):145-77.
36. Binder JR. Human Temporal Lobe Activation by Speech and Nonspeech Sounds. *Cerebral Cortex*. 2000;10(5):512-28.
37. Binder JR, Frost JA, Hammeke TA, Cox RW, Rao SM, Prieto T. Human Brain Language Areas Identified by Functional Magnetic Resonance Imaging. *The Journal of Neuroscience*. 1997;17(1):353-62.
38. Castillo EM, Simos PG, Davis RN, Breier J, Fitzgerald ME, Papanicolaou AC. Levels of word processing and incidental memory: dissociable mechanisms in the temporal lobe. *Neuroreport*. 2001;12(16):3561-6.
39. Hickok G, Poeppel D. Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*. 2004;92(1-2):67-99.
40. Poeppel D, Guillemin A, Thompson J, Fritz J, Bavelier D, Braun AR. Auditory lexical decision, categorical perception, and FM direction discrimination differentially engage left and right auditory cortex. *Neuropsychologia*. 2004;42(2):183-200.
41. Price CJ. The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *J Anat*. 2000;197 Pt 3(Pt 3):335-59.
42. Vandenberghe R, Price C, Wise R, Josephs O, Frackowiak RS. Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*. 1996;383(6597):254-6.
43. Duffau H, Gatignol P, Denvil D, Lopes M, Capelle L. The articulatory loop: study of the subcortical connectivity by electrostimulation. *Neuroreport*. 2003;14(15):2005-8.
44. Martino J, De Witt Hamer PC, Berger MS, Lawton MT, Arnold CM, de Lucas EM, et al. Analysis of the subcomponents and cortical terminations of the perisylvian superior longitudinal fasciculus: a fiber dissection and DTI tractography study. *Brain Struct Funct*. 2013;218(1):105-21.
45. Fridriksson J, Kjartansson O, Morgan PS, Hjaltason H, Magnusdottir S, Bonilha L, et al. Impaired speech repetition and left parietal lobe damage. *J Neurosci*. 2010;30(33):11057-61.
46. Saur D, Kreher BW, Schnell S, Kummerer D, Kellmeyer P, Vry MS, et al. Ventral and dorsal pathways for language. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2008;105(46):18035-40.
47. Catani M, Dell'acqua F, Vergani F, Malik F, Hodge H, Roy P, et al. Short frontal lobe connections of the human brain. *Cortex*. 2012;48(2):273-91.
48. Bozkurt B, Yagmurlu K, Middlebrooks EH, Karadag A, Ovalioglu TC, Jagadeesan B, et al. Microsurgical and Tractographic Anatomy of the Supplementary Motor Area Complex in Humans. *World Neurosurg*. 2016;95:99-107.
49. Mayka MA, Corcos DM, Leurgans SE, Vaillancourt DE. Three-dimensional locations and boundaries of motor and premotor cortices as defined by functional brain imaging: a meta-analysis. *Neuroimage*. 2006;31(4):1453-74.

50. Matsuzaka Y, Aizawa H, Tanji J. A motor area rostral to the supplementary motor area (presupplementary motor area) in the monkey: neuronal activity during a learned motor task. *J Neurophysiol.* 1992;68(3):653-62.
51. Picard N, Strick PL. Imaging the premotor areas. *Curr Opin Neurobiol.* 2001;11(6):663-72.
52. Lehericy S, Ducros M, Krainik A, Francois C, Van de Moortele PF, Ugurbil K, et al. 3-D diffusion tensor axonal tracking shows distinct SMA and pre-SMA projections to the human striatum. *Cereb Cortex.* 2004;14(12):1302-9.
53. Vergani F, Lacerda L, Martino J, Attems J, Morris C, Mitchell P, et al. White matter connections of the supplementary motor area in humans. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2014;85(12):1377-85.
54. Luppino G, Matelli M, Camarda R, Rizzolatti G. Corticocortical connections of area F3 (SMA-proper) and area F6 (pre-SMA) in the macaque monkey. *J Comp Neurol.* 1993;338(1):114-40.
55. Chainay H, Krainik A, Tanguy ML, Gerardin E, Le Bihan D, Lehericy S. Foot, face and hand representation in the human supplementary motor area. *Neuroreport.* 2004;15(5):765-9.
56. Wang Y, Isoda M, Matsuzaka Y, Shima K, Tanji J. Prefrontal cortical cells projecting to the supplementary eye field and presupplementary motor area in the monkey. *Neurosci Res.* 2005;53(1):1-7.
57. Potgieser AR, de Jong BM, Wagemakers M, Hoving EW, Groen RJ. Insights from the supplementary motor area syndrome in balancing movement initiation and inhibition. *Front Hum Neurosci.* 2014;8:960.
58. Heiferman DM, Ackerman PD, Hayward DM, Primeau MJ, Anderson DE, Prabhu VC. Bilateral supplementary motor area syndrome causing akinetic mutism following parasagittal meningioma resection. *Neuroscience Discovery.* 2014;2(1):7.
59. Grafton ST, Arbib MA, Fadiga L, Rizzolatti G. Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. 2. Observation compared with imagination. *Exp Brain Res.* 1996;112(1):103-11.
60. Pollmann S, von Cramon DY. Object working memory and visuospatial processing: functional neuroanatomy analyzed by event-related fMRI. *Exp Brain Res.* 2000;133(1):12-22.
61. Sakai K, Hikosaka O, Miyauchi S, Sasaki Y, Fujimaki N, Putz B. Presupplementary motor area activation during sequence learning reflects visuo-motor association. *J Neurosci.* 1999;19(10):RC1.
62. Hikosaka O, Sakai K, Miyauchi S, Takino R, Sasaki Y, Putz B. Activation of human presupplementary motor area in learning of sequential procedures: a functional MRI study. *J Neurophysiol.* 1996;76(1):617-21.
63. Coull JT, Vidal F, Nazarian B, Macar F. Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation. *Science.* 2004;303(5663):1506-8.
64. Lau HC, Rogers RD, Haggard P, Passingham RE. Attention to intention. *Science.* 2004;303(5661):1208-10.
65. Kennerley SW, Sakai K, Rushworth MF. Organization of action sequences and the role of the pre-SMA. *J Neurophysiol.* 2004;91(2):978-93.
66. Ford A, McGregor KM, Case K, Crosson B, White KD. Structural connectivity of Broca's area and medial frontal cortex. *Neuroimage.* 2010;52(4):1230-7.

67. Kinoshita M, Shinohara H, Hori O, Ozaki N, Ueda F, Nakada M, et al. Association fibers connecting the Broca center and the lateral superior frontal gyrus: a microsurgical and tractographic anatomy. *J Neurosurg.* 2012;116(2):323-30.
68. Catani M, Mesulam MM, Jakobsen E, Malik F, Martersteck A, Wieneke C, et al. A novel frontal pathway underlies verbal fluency in primary progressive aphasia. *Brain.* 2013;136(Pt 8):2619-28.
69. Kinoshita M, de Champfleury NM, Deverdun J, Moritz-Gasser S, Herbet G, Duffau H. Role of fronto-striatal tract and frontal aslant tract in movement and speech: an axonal mapping study. *Brain Struct Funct.* 2015;220(6):3399-412.
70. Duffau H, Denvil D, Lopes M, Gasparini F, Cohen L, Capelle L, et al. Intraoperative mapping of the cortical areas involved in multiplication and subtraction: an electrostimulation study in a patient with a left parietal glioma. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2002;73(6):733-8.
71. Schmahmann JD. *Fiber Pathways of the Brain.* Oxford: Oxford University Press; 2010.
72. Seltzer B, Pandya DN. Further observations on parieto-temporal connections in the rhesus monkey. *Exp Brain Res.* 1984;55(2):301-12.
73. Makris N, Papadimitriou GM, Kaiser JR, Sorg S, Kennedy DN, Pandya DN. Delineation of the middle longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cereb Cortex.* 2009;19(4):777-85.
74. Esen Aydin A, Aydin S, Bilgin B, Mirkhasilova M, Bayramli N, Tanriover N. Microsurgical anatomy of the auditory radiations: revealing the enigmatic acoustic pathway from a surgical viewpoint. *J Neurosurg.* 2023;138(5):1443-56.
75. De Witt Hamer PC, Moritz-Gasser S, Gatignol P, Duffau H. Is the human left middle longitudinal fascicle essential for language? A brain electrostimulation study. *Hum Brain Mapp.* 2011;32(6):962-73.
76. Tanriover N, Rhoton AL, Jr., Kawashima M, Ulm AJ, Yasuda A. Microsurgical anatomy of the insula and the sylvian fissure. *J Neurosurg.* 2004;100(5):891-922.
77. Ribas EC, Yagmurlu K, de Oliveira E, Ribas GC, Rhoton A. Microsurgical anatomy of the central core of the brain. *J Neurosurg.* 2018;129(3):752-69.
78. Wieser HG, Yasargil MG. Selective amygdalohippocampectomy as a surgical treatment of mesiobasal limbic epilepsy. *Surg Neurol.* 1982;17(6):445-57.
79. Dejerine J, Dejerine-Klumpke A. *Anatomie des centres nerveux: Rueff;* 1895.
80. Dick AS, Bernal B, Tremblay P. The language connectome: new pathways, new concepts. *Neuroscientist.* 2014;20(5):453-67.
81. Damasio H, Damasio AR. The anatomical basis of conduction aphasia. *Brain.* 1980;103(2):337-50.
82. Nieuwenhuys R, Voogd J, van Huijzen C. *The Human Central Nervous System: A Synopsis and Atlas: Steinkopff;* 2016.
83. Fernandez-Miranda JC, Rhoton AL, Jr., Kakizawa Y, Choi C, Alvarez-Linera J. The claustrum and its projection system in the human brain: a microsurgical and tractographic anatomical study. *J Neurosurg.* 2008;108(4):764-74.
84. Trolard P. Au sujet de l'avant-mur. *Rev Neurol.* 1905;13:1068-71.
85. Morys J, Narkiewicz O, Wisniewski HM. Neuronal loss in the human claustrum following ulegyria. *Brain Res.* 1993;616(1-2):176-80.

86. Duffau H, Mandonnet E, Gatignol P, Capelle L. Functional compensation of the claustrum: lessons from low-grade glioma surgery. *J Neurooncol.* 2007;81(3):327-9.
87. Sarubbo S, De Benedictis A, Maldonado IL, Basso G, Duffau H. Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle: anatomical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle. *Brain Struct Funct.* 2013;218(1):21-37.
88. Martino J, Brogna C, Robles SG, Vergani F, Duffau H. Anatomic dissection of the inferior fronto-occipital fasciculus revisited in the lights of brain stimulation data. *Cortex.* 2010;46(5):691-9.
89. Duffau H, Thiebaut de Schotten M, Mandonnet E. White matter functional connectivity as an additional landmark for dominant temporal lobectomy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2008;79(5):492-5.
90. Motomura K, Fujii M, Maesawa S, Kuramitsu S, Natsume A, Wakabayashi T. Association of dorsal inferior frontooccipital fasciculus fibers in the deep parietal lobe with both reading and writing processes: a brain mapping study. *J Neurosurg.* 2014;121(1):142-8.
91. Yasargil MG. *Microneurosurgery, Volume IV A: CNS Tumors: Surgical Anatomy, Neuropathology, Neuroradiology, Neurophysiology, Clinical Considerations, Operability, Treatment Options*: Thieme; 2013.
92. Von Der Heide RJ, Skipper LM, Klobusicky E, Olson IR. Dissecting the uncinate fasciculus: disorders, controversies and a hypothesis. *Brain.* 2013;136(Pt 6):1692-707.
93. Surmeier DJ, Mercer JN, Chan CS. Autonomous pacemakers in the basal ganglia: who needs excitatory synapses anyway? *Curr Opin Neurobiol.* 2005;15(3):312-8.
94. Moldrich RX, Gobius I, Pollak T, Zhang J, Ren T, Brown L, et al. Molecular regulation of the developing commissural plate. *J Comp Neurol.* 2010;518(18):3645-61.
95. Raybaud C. The corpus callosum, the other great forebrain commissures, and the septum pellucidum: anatomy, development, and malformation. *Neuroradiology.* 2010;52(6):447-77.
96. van der Knaap LJ, van der Ham IJ. How does the corpus callosum mediate interhemispheric transfer? A review. *Behavioural brain research.* 2011;223(1):211-21.
97. Cavdar S, Aydin AE, Algin O, Aydin S. The Complex Structure of the Anterior White Commissure of the Human Brain: Fiber Dissection and Tractography Study. *World Neurosurg.* 2021;147:e111-e7.
98. Pescatori L, Tropeano MP, Manfreda A, Delfini R, Santoro A. Three-Dimensional Anatomy of the White Matter Fibers of the Temporal Lobe: Surgical Implications. *World Neurosurg.* 2017;100:144-58.
99. Lavrador JP, Ferreira V, Lourenco M, Alexandre I, Rocha M, Oliveira E, et al. White-matter commissures: a clinically focused anatomical review. *Surg Radiol Anat.* 2019;41(6):613-24.
100. Peltier J, Verclytte S, Delmaire C, Pruvo JP, Havet E, Le Gars D. Microsurgical anatomy of the anterior commissure: correlations with diffusion tensor imaging fiber tracking and clinical relevance. *Neurosurgery.* 2011;69(2 Suppl Operative):ons241-6; discussion ons6-7.

101. Corballis MC, Finlay DC. Interhemispheric visual integration in three cases of familial callosal agenesis. *Neuropsychology*. 2000;14(1):60-70.
102. Adam C. How do the temporal lobes communicate in medial temporal lobe seizures? *Revue Neurologique*. 2006;162(8-9):813-8.
103. Villemure JG, Mascott CR. Peri-insular hemispherotomy: surgical principles and anatomy. *Neurosurgery*. 1995;37(5):975-81.
104. Fernandez-Miranda JC, Rhoton AL, Jr., Alvarez-Linera J, Kakizawa Y, Choi C, de Oliveira EP. Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain. *Neurosurgery*. 2008;62(6 Suppl 3):989-1026; discussion -8.
105. Erkan B, Hergünel B, Barut O, Saygı T, Kocak B, Güngör A, et al. Ventral amygdalofugal pathway as an integrated surgically important network: microsurgical anatomy and segmentation based on fiber dissection. *Journal of Neurosurgery*. 2024;1(aop):1-15.
106. Baydin S, Yagmurlu K, Tanriover N, Gungor A, Rhoton AL, Jr. Microsurgical and Fiber Tract Anatomy of the Nucleus Accumbens. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2016;12(3):269-88.
107. Schultz C, Engelhardt M. Anatomy of the hippocampal formation. *Front Neurol Neurosci*. 2014;34:6-17.
108. Duvernoy HM, Cattin F, Risold PY. *The Human Hippocampus: Functional Anatomy, Vascularization and Serial Sections with MRI*: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
109. Saygı T, Avyasov R, Barut O, Daglar Z, Baran O, Hasimoglu O, et al. Microsurgical anatomy of the isthmic cingulum: a new white matter crossroad and neurosurgical implications in the posteromedial interhemispheric approaches and the glioma invasion patterns. *Neurosurg Rev*. 2023;46(1):82.
110. Fernandez-Miranda JC, Xu Y, Hendricks BK, Cohen-Gadol A. Contralateral Interhemispheric Transfalcine Transprecuneus Approach: Advancing Operative Angles to Deep-Seated Lesions. *World Neurosurg*. 2020;144:341-50.
111. Margulies DS, Vincent JL, Kelly C, Lohmann G, Uddin LQ, Biswal BB, et al. Precuneus shares intrinsic functional architecture in humans and monkeys. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2009;106(47):20069-74.
112. Catani M, De Schotten MT. *Atlas of human brain connections*: Oxford University Press, USA; 2012.
113. Witelson SF. Hand and sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum. A postmortem morphological study. *Brain*. 1989;112 (Pt 3)(3):799-835.
114. Kucukyuruk B, Uzan M, Avyasov R, Tahmazoglu B, Isler C, Sanus GZ, et al. Evaluation of Ideal Extent of Corpus Callosotomy Based on the Location of Intracallosal Motor Fibers. *World Neurosurg*. 2020;144:e568-e75.
115. Shah A, Jhavar S, Goel A, Goel A. Corpus Callosum and Its Connections: A Fiber Dissection Study. *World Neurosurg*. 2021;151:e1024-e35.
116. Van Wagenen WP, Herren RY. Surgical division of commissural pathways in the corpus callosum: relation to spread of an epileptic attack. *Archives of Neurology & Psychiatry*. 1940;44(4):740-59.
117. Mazza M, Di Rienzo A, Costagliola C, Roncone R, Casacchia M, Ricci A, et al. The interhemispheric transcalsal-transversal approach to the lesions of the

- anterior and middle third ventricle: surgical validity and neuropsychological evaluation of the outcome. *Brain Cogn.* 2004;55(3):525-34.
118. Remondino F, El-Hakim S. Image-based 3D modelling: a review. *The photogrammetric record.* 2006;21(115):269-91.
119. De Benedictis A, Nocerino E, Menna F, Remondino F, Barbareschi M, Rozzanigo U, et al. Photogrammetry of the Human Brain: A Novel Method for Three-Dimensional Quantitative Exploration of the Structural Connectivity in Neurosurgery and Neurosciences. *World Neurosurg.* 2018;115:e279-e91.
120. Barbero-Garcia I, Lerma JL, Marques-Mateu A, Miranda P. Low-Cost Smartphone-Based Photogrammetry for the Analysis of Cranial Deformation in Infants. *World Neurosurg.* 2017;102:545-54.
121. Quispe-Enriquez OC, Valero-Lanzuela JJ, Lerma JL. Craniofacial 3D Morphometric Analysis with Smartphone-Based Photogrammetry. *Sensors (Basel).* 2023;24(1).
122. Wang J, Li W, Dun A, Zhong N, Ye Z. 3D visualization technology for Learning human anatomy among medical students and residents: a meta- and regression analysis. *BMC Med Educ.* 2024;24(1):461.
123. Ferroli P, Tringali G, Acerbi F, Schiariti M, Broggi M, Aquino D, et al. Advanced 3-dimensional planning in neurosurgery. *Neurosurgery.* 2013;72 Suppl 1:54-62.
124. Zhao J, Xu X, Jiang H, Ding Y. The effectiveness of virtual reality-based technology on anatomy teaching: a meta-analysis of randomized controlled studies. *BMC Med Educ.* 2020;20(1):127.
125. Iwanaga J, Terada S, Kim HJ, Tabira Y, Arakawa T, Watanabe K, et al. Easy three-dimensional scanning technology for anatomy education using a free cellphone app. *Clin Anat.* 2021;34(6):910-8.
126. Tanriover N, Kucukyuruk B, Ulu MO, Isler C, Sam B, Abuzayed B, et al. Microsurgical anatomy of the cisternal anterior choroidal artery with special emphasis on the preoptic and postoptic subdivisions. *J Neurosurg.* 2014;120(5):1217-28.
127. Bernardo A. Virtual Reality and Simulation in Neurosurgical Training. *World Neurosurg.* 2017;106:1015-29.
128. Moro C, Stromberga Z, Raikos A, Stirling A. The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anat Sci Educ.* 2017;10(6):549-59.
129. McGuire LS, Fuentes A, Alaraj A. Three-Dimensional Modeling in Training, Simulation, and Surgical Planning in Open Vascular and Endovascular Neurosurgery: A Systematic Review of the Literature. *World Neurosurg.* 2021;154:53-63.