



Serebrumun Ak Madde Liflerinin Sınıflandırılması

Classification of White Mater Fibers of Cerebrum

Tufan Agah KARTUM

Midyat Devlet Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, Mardin, Türkiye

Yazışma adresi: Tufan Agah KARTUM ✉ tufankartum@gmail.com

ÖZ

Subkortikal ak madde yapıları 3 grup miyelinli lif topluluğundan oluşurlar. Bunlar asosiyasyon lifleri, projeksiyon lifleri ve komisüral lifler olarak sınıflandırılabilir. Asosiyasyon lifleri aynı hemisfer üzerindeki giruslar arasında uzanırlar. Komissural lifler orta hatta, karşılıklı olarak hemisferleri birbirlerine bağlayan liflerdir. Projeksiyon lifleri hemisferlerin korteksi ile derin nükleuslar ve spinal kord arasında seyreden ak madde lifleridir. Asosiyasyon lifleri; süperior longitudinal fasikül, arkuat fasikül, orta longitudinal fasikül, inferior longitudinal fasikül, vertikal oksipital fasikül, singulum, ekstrem kapsül ve eksternal kapsül liflerini içerir. Komissüral lifler içerisinde korpus kallozum, anterior komissür, hipokampal komissür, habelunar komissür ve posterior komissür yer alır. Projeksiyon lifleri; internal kapsül, korona radiata, sagittal stratum ve forniksi içerir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Ak madde, Lif diseksiyonu, Serebrum

ABSTRACT

Subcortical white matter fibers consist of 3 groups of myelinated fiber tracts. These can be classified as association fibers, projection fibers and commissural fibers. Association fibers connect between gyri on the same hemisphere. The commissural fibers connect the hemispheres to each other in the midline. Projection fibers travel between the cortex of the hemispheres and the deep nuclei and spinal cord. The association fibers include fibers of the superior longitudinal fascicle, arcuate fascicle, middle longitudinal fascicle, inferior longitudinal fascicle, vertical occipital fascicle, cingulum, extreme capsule, and external capsule. The commissural fibers include the corpus callosum, anterior commissure, hippocampal commissure, habelunar commissure, and posterior commissure. The projection fibers include the internal capsule, corona radiata, sagittal stratum, and fornix.

KEYWORDS: White matter, Fiber dissection, Cerebrum

■ GİRİŞ

Serebral hemisferler dıştan içe doğru korteks adı verilen yüzeyel gri madde tabakası, ak madde lifleri, bazal ganglionlar ve talamus gibi derin gri madde yapıları ve ventriküler sistemden meydana gelirler (8). İnsula korteksinin derini ile ventriküller arasında uzanan ve santral cevher adı verilen bölgede çeşitli ak madde lif toplulukları, bazal ganglionlar ve talamus yer alır (5). Subkortikal ak madde yapıları 3 grup miyelinli lif topluluğundan oluşurlar. Bunlar asosiyasyon lifleri, projeksiyon lifleri ve komisüral lifler olarak sınıflandırılabilir. Asosi-

yasyon lifleri, kısa ve uzun asosiyasyon lifleri olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Kısa asosiyasyon lifleri "U" lifleri veya intergiryal 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. Komissural lifler orta hatta, karşılıklı olarak hemisferleri birbirlerine bağlayan liflerdir. Projeksiyon lifleri hemisferlerin korteksi ile derin nükleuslar ve spinal kord arasında seyreden ak madde lifleridir (Tablo 1) (8,10,12).

Tablo I: Serebrumun Ak Madde Liflerinin Sınıflandırılması

Asosiyasyon Lifleri	Komisüral Lifler	Projeksiyon Lifleri
Süperior longitüdüal fasikül	Korpus Kallozum	İnternal Kapsül
Arkuat fasikül	Anterior Komissür	Korona Radiata
Orta longitüdüal fasikül	Hippokampal Komissür	Sagittal Stratum
İnferior longitüdüal fasikül	Habenular Komissür	Optik Radyasyon
Vertikal oksipital fasikül	Posterior Komissür	Forniks
Singulum		
Ekstrem Kapsül		
Eksternal Kapsül		

■ ASOSİYASYON LİFLERİ

Superior Longitudinal Fasikül (SLF) ve Arkuat Fasikül (AF)

SLF lifleri ve AF lifleri en yüzeysel uzun asosiyasyon lifleridir. SLF frontoparietal, AF lifleri de frontotemporal bağlantı sağlar. SLF, kendi içerisinde SLF 1, SLF 2 ve SLF 3 olmak üzere üç kısma ayrılır. SLF 1, süperior frontal girus içerisinde yer alır. SLF lifleri içerisinde en medialde ve süperiorda yer alan liflerdir. Prekuneustan başlayarak anteriora doğru ilerler ve prefrontal bölgede sonlanır. SLF 2, orta frontal girus içerisinde yer alır. Orta frontal girus ile angüler girus arasında seyrederek. SLF 3, inferior frontal girus içerisinde, frontoparietal operkulum boyunca yer alır. Frontoparietal operkulum içerisinde pars orbitalis ile supramarginal girus arasında uzanır (11). AF, Broca alanı (motor konuşma merkezi) ile Wernicke alanı (duysal konuşma merkezi) arasında bağlantı sağlar. AF, kendi içinde ventral ve dorsal AF olmak üzere ikiye ayrılır. Ventral AF orta temporal girustan başlayıp supramarginal girustan geçerek inferior frontal girusa uzanır. Dorsal AF orta ve inferior temporal girustan başlayıp angüler girustan geçerek inferior frontal girusa uzanır (Şekil 1) (12).

Orta Longitudinal Fasikül (Middle Longitudinal Fasikül, MdLF)

MdLF, süperior temporal girus içerisinde yer alır. Temporal polden köken alır ve angüler girus derininde parietal lobda sonlanır (Şekil 2) (12).

İnferior Longitudinal Fasikül (ILF)

ILF inferior temporal girus içerisinde yer alır. Temporal polden oksipital kortekse doğru uzanır (Şekil 2) (12).

Vertikal Oksipital Fasikül (VOF)

Ventrolateral ve dorsolateral oksipital korteks arasında bağlantı sağlar (Şekil 2) (2).

Singulum

Singulat girusun içerisinde yer alan uzun asosiyasyon lifleridir. Anteriorda, paraterminal ve paraolfaktör giruslardan başlar ve korpus kallozumun etrafında dönüş yaparak, singulat girusun isthmusuna doğru devam eder, daha sonra anteriora doğru devam ederek parahippokampal girusun anteriorunda sonlanır (1).

Ekstrem Kapsül

İnsüler korteksin dekortikasyonu sonrası ortaya çıkan kısa asosiyasyon lifleridir. İnsüler korteks ile klastrum arasında yer alır. İnsüler sulkuslar arasında bağlantı sağlayan ve insulanın derinindeki yapılar ile operküler yapılar arasında bağlantı sağlayan kısa asosiyasyon lifleri içerirler (12).

Eksternal Kapsül

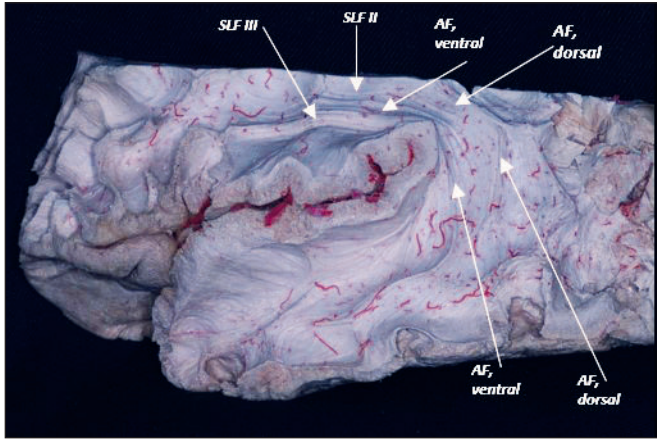
Ekstrem kapsülün medialind klastrum ve eksternal kapsül yer alır. Klastrum, ekstrem kapsül ve eksternal kapsül arasında yer alan gri madde topluluğudur ve eksternal kapsül ile iç içe geçmiştir. Eksternal kapsül ve klastrum, ikisi birlikte ele alınarak dorsal (posterosüperior) ve ventral (anteroinferior) olmak üzere iki kısma ayrılır (Şekil 3) (1,12):

- **Dorsal Eksternal Kapsül (Klastrokortikal Lifler):** Önde suplementer motor alan, arkada parietal lobun posterior kısımlarına kadar olan korteks kısımları ile klastrum arasında bağlantı sağlayan uzun asosiyasyon lifleri içerir (Şekil 3).
- **Ventral Klastrum ve Ventral Eksternal Kapsül:** Dorsalde inferior frontooksipital fasikül (IFOF) ve ventralde uncinat fasikül (UF) liflerinden oluşur (Şekil 3).
- **İnferior Frontooksipital Fasikül (IFOF):** Orta ve inferior frontal girus (pars orbitalis ve pars triangülaris) ile posterior parietal ve oksipital loblar arasında bağlantı sağlayan uzun asosiyasyon lifleridir (Şekil 3).
- **Unsinat Fasikül (UF):** Frontal ve temporal loblar arasında uzanan uzun asosiyasyon liflerinden oluşur (Şekil 3).

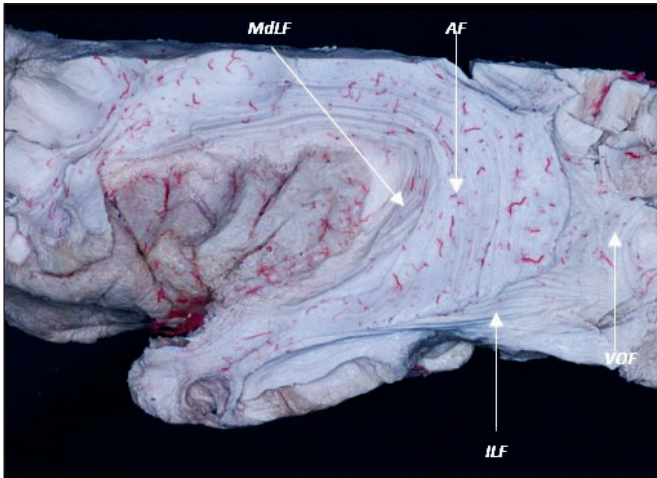
■ KOMİSSÜRAL LİFLER

Korpus Kallozum

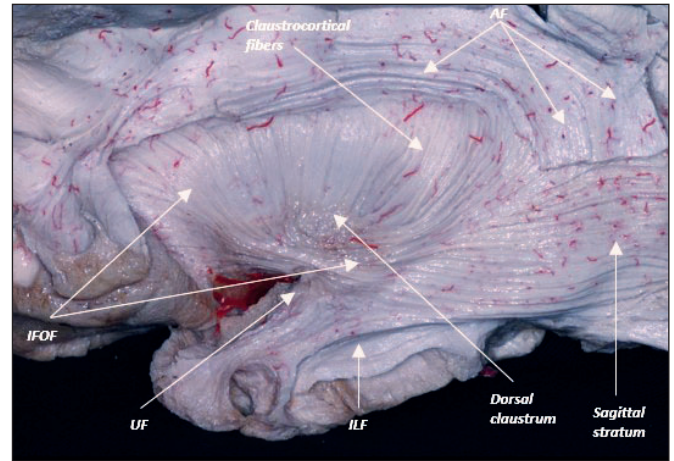
Rostrum, genu, gövde, isthmus ve splenium olmak üzere 5 bölümden oluşur. Rostrum; frontal boynuzun tabanını, genu; frontal boynuzun anteriorunu, gövde; lateral ventriküllerin çatısını, splenium ise lateral ventriküllerin posterior duvarını oluşturur. Korpus kallozum genusundan çıkıp anterior yönde devam eden liflere *forseps minor*, spleniumdan köken alıp oksipital loblara ilerleyen liflere *forseps major* adı verilir. Korpus kallozumun gövdesinden ayrılan lifler kortekse doğru ilerlerler



Şekil 1: Sol hemisferde yapılan dekortikasyon ve "U" liflerinin kaldırılması sonrası SLF ve AF lifleri ortaya koyulmuş. SLF lifleri ve AF lifleri en yüzeysel uzun asosiyasyon lifleridirler. SLF frontoparietal, AF lifleri de frontotemporal bağlantı sağlar. SLF, kendi içerisinde SLF 1, SLF 2 ve SLF 3 olmak üzere üç kısma ayrılır. SLF 1, süperior frontal girus içerisinde yer alır. SLF lifleri içerisinde en medialde ve süperiorda yer alan liflerdir. Prekuneustan başlayarak anteriora doğru ilerler ve prefrontal bölgede sonlanır. SLF 2, orta frontal girus içerisinde yer alır. Orta frontal girus ile angüler girus arasında seyrederek. SLF 3, inferior frontal girus içerisinde, frontoparietal operkulum boyunca yer alır. Frontoparietal operkulum içerisinde pars orbitalis ile supramarginal girus arasında uzanır. AF, kendi içinde ventral ve dorsal AF olmak üzere ikiye ayrılır. Ventral AF orta temporal girustan başlayıp supramarginal girustan geçerek inferior frontal girusa uzanır. Dorsal AF orta ve inferior temporal girustan başlayıp angüler girustan geçerek inferior frontal girusa uzanır. **SLF:** Süperior longitudinal fasikül, **AF:** Arkuat fasikül.



Şekil 2: AF, MdLF, ILF ve VOF. MdLF, süperior temporal girus içerisinde yer alır. Temporal polden köken alır ve angüler girus derininde parietal lobda sonlanır. ILF inferior temporal girus içerisinde yer alır. Temporal polden oksipital kortekse doğru uzanır. VOF, ventrolateral ve dorsolateral oksipital korteks arasında bağlantı sağlar. **AF:** Arkuat fasikül, **ILF:** Inferior longitudinal fasikül, **MdLF:** Orta longitudinal fasikül, **VOF:** Vertikal oksipital fasikül.



Şekil 3: İnsulanın dekortikasyonu ve ekstrem kapsülün kaldırılması sonrası dorsal ve ventral eksternal kapsül lifleri ile sagittal stratum ortaya koyulmuş. Dorsal Eksternal Kapsül (Klaustrokortikal Lifler), önde suplementer motor alan, arkada parietal lobun posterior kısımlarına kadar olan korteks kısımları ile klastrum arasında bağlantı sağlayan uzun asosiyasyon lifleri içerir. Ventral Klastrum ve Ventral Eksternal Kapsül, dorsalde inferior frontooksipital fasikül (IFOF) ve ventralde uncinat fasikül (UF) liflerinden oluşur. IFOF, orta ve inferior frontal girus (pars orbitalis ve pars triangülaris) ile posterior parietal ve oksipital loblar arasında bağlantı sağlayan uzun asosiyasyon lifleridir. UF, frontal ve temporal loblar arasında uzanan uzun asosiyasyon liflerinden oluşur. IFOF'un sagittal stratum içerisinde seyrettiği görülmektedir. **AF:** Arkuat fasikül, **IFOF:** Inferior frontooksipital fasikül, **ILF:** Inferior longitudinal fasikül, **UF:** uncinat fasikül.

ve korona radiata lifleri ile bir araya gelerek *sentrum semiovali* oluştururlar. Spleniumdan köken alan *tapetum* lifleri anteriora ve inferolateral tarafa doğru devam eder, önce atriyumun yan duvarını örter ve devamında temporal boynuzun çatısına, lateral duvarına ve anterioruna doğru devam ederler. Forseps majörün atriyumun medial duvarında yaptığı belirgin kabark yapıya *bulbus (bulb of corpus callosum)* adı verilir ve bu yapı atriyumun medial duvarının üst yarısını oluşturur (6,12).

Anterior Komissür

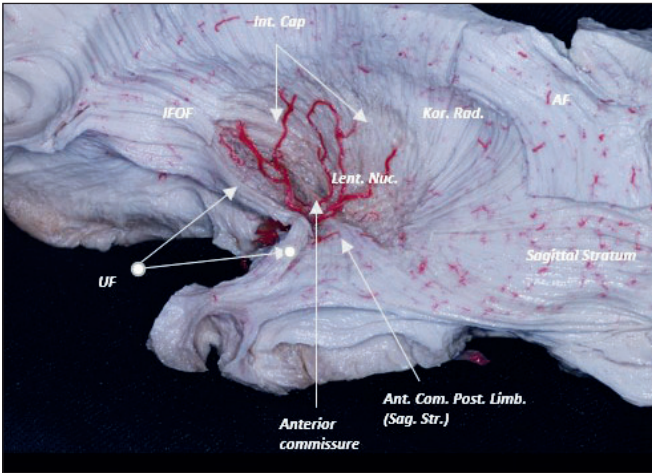
Orbitofrontal korteks, temporal loblar ve oksipital lobları birbirlerine bağlar. Orta hatta yer alan gövde bölümü ile birlikte anterior bacak, posterior bacak ve temporal ve oksipital uzantıları mevcuttur. Gövde kısmından ayrılan anterior bacak olfaktor nükleuslara doğru anteriora ilerler ve medial orbitofrontal alana ulaşır. Arka bacak ise Gratiolet kanalı içerisinde laterale doğru ilerler ve temporal ve oksipital uzantılara ayrılır (Şekil 4) (12).

Hippokampal Komissür

Her iki krus forniks arasında uzanan liflerdir (7).

Habenular Komissür

Üçüncü ventrikülün posterior duvarında, pineal bezin anteriorunda ve süperiorunda yer alan komissüral ak madde lifidir ve diensefalonun her iki tarafında karşılıklı olarak yer alan habenular nükleusları birbirlerine bağlar (1).



Şekil 4: Ekstrem kapsülün kaldırılması ile lentiform nükleus ve anterior komissür ortaya koyulmuş. İnternal kapsül anterior komissürün derininde yer alan projeksiyon lifleridir ve kaudat nükleusun üst sınırından itibaren internal kapsül ve eksternal kapsül lifleri birleşerek korona radiatayı oluşturur. Anterior komissürün arka bacağı, sagittal stratum içerisinde seyreder. **AF:** Arkuat fasikül, **Ant. Com:** Anterior komissür, **IFOF:** İnfirior longitudinal fasikül, **Int. Cap:** İnternal kapsül, **Kor. Rad:** Korona radiata, **Lent. Nuc:** Lentiform nükleus, **Post. Limb:** Posterior bacak, **UF:** Unsınat fasikül.

Posterior Komissür

Üçüncü ventrikülün posterior duvarında, habelunanın rostralinde yer alan kommisüral bağlantıdır (1).

■ PROJEKSİYON LİFLERİ

İnternal Kapsül

Lentiform nükleusun hemen medialinde yer alan projeksiyon lifleri topluluğudur (Şekil 4). Anterior bacak, genu, posterior bacak, retrolentiküler ve sublentiküler internal kapsül olmak üzere 5 kısımdan oluşur. İnternal kapsülün ön bacağı frontopontin ve frontotalamik lifleri (anterior ve süperior talamik radyasyon lifleri), genu kısmı frontotalamik lifler (anterior ve süperior talamik radyasyon lifleri) ile beyin sapı çekirdekleri ile ilişkili olan kortikobulbar lifleri, posterior bacak ise kortikospinal traktus, kortikopontin lifler, kortikotegmantal lifleri ve parietal talamik radyasyon liflerini içerir. Retrolentiküler ve sublentiküler internal kapsül lifleri içerisinde optik ve işitsel radyasyona ait lifler yer alır (optik radyasyon ve odituar radyasyon). Sublentiküler internal kapsül içerisinde bunlara ek olarak temporopontin (Turck fasikülü) ve temporopulvinar (Arnold fasikülü) lifler yer alır (3,7,9).

Korona Radiata

Kaudat nükleusun süperior sınırından itibaren internal kapsül lifleri ile eksternal kapsül lifleri birleşerek korona radiatayı oluşturur. Korona radiata frontoparietal projeksiyon lifleridir, kortikospinal, kortikopontin ve talamokortikal lifleri içerir (Şekil 4) (4,9).

Sagittal Stratum

Oksipital ve temporal projeksiyon liflerinin bir arada bulunduğu lif demetleri sagittal stratum olarak adlandırılır. Korona radiata ve sagittal stratum lifleri, limen insula ortasından parietookspital sulkusun üst sınırına çekilen hayali bir çizgi ile birbirlerinden ayrılabilir. Bu hattın üstünde yer alan projeksiyon lifleri korona radiata, altında kalanlar ise sagittal stratumdur. Sagittal stratum posterior insüler noktanın posteriorundan itibaren oksipitale uzanan karmaşık bir lif demetidir. Sagittal stratum içinde, retrolentiküler internal kapsül, posterior talamik pedinkül lifleri, *optik radyasyon*, *parietopontin* ve *oksipitopontin* liflerin yanı sıra IFOF, anterior kommissür, ILF gibi asosiyasyon lifleri ve kommisüral lifler de yer alır (Şekil 3 ve 4) (2,12).

Optik Radyasyon (Genikülokalkarin Traktus): Oksipital projeksiyon lifidir ve lateral genikulat cisimden kalkarın sulkusa uzanır. Optik radyasyon lifleri, seyirlerine göre anterior, santral ve posterior lifler olmak üzere 3 kısma ayrılır. Anterior grup, lateral genikulat cisimden köken aldıktan sonra temporal boynuzun çatısında, temporal boynuzun ön sınırına doğru ilerler ve bu noktada posterolaterale doğru bir kıvrım yapar. Bu kıvrıma Meyer kıvrımı adı verilir (13).

Forniks

Hipokampusun temel eferent yolağıdır ve içerisinde hem projeksiyon hem de asosiyasyon liflerini barındırır. "C" şeklinde bir yapı olan forniks talamusu çevreler. Ambient sisternada 'fimbria', kuadrigeminal sisternada 'krus', lateral ventrikül gövdesi boyunca 'gövde', ve foramen Monro hizasında 'kolumna' olarak isimlendirilir. Fimbria temporal boynuzun tabanında hipokampal formasyondan köken alır ve posteriora doğru ilerleyerek krus forniksi oluşturur. Krus forniks pulvinarın posterior yüzeyi etrafında dönüş yapar. Lateral ventrikülün gövdesi ve atriyumun kesiştiği noktada karşılıklı iki krus forniks bir araya gelir ve forniksin gövde kısmını oluştururlar. Forniksin gövde kısmı talamusun superomedial yüzeyinde seyreder ve lateral ventrikülün gövdesinin medialinde, septum pellucidumun inferiorunda yer alır. Foramen Monro'nun hemen önünde forniksin gövdesi iki adet kolumna fornikse ayrılır ve foramen Monro boyunca inferiora seyrederken bunlar da kendi içerisinde prekomisüral ve postkomisüral forniks olmak üzere iki dala ayrılırlar. *Prekomisüral forniks* septal alan ve nükleus akumbens içinde sonlanırken, *postkomisüral forniks* mamiller cisimlerde sonlanır (4,7).

■ KAYNAKLAR

1. Baydin S, Gungor A, Tanrıover N, Baran O, Middlebrooks EH, Rhoton AL Jr: Fiber Tracts of the medial and inferior surfaces of the cerebrum. *World Neurosurg* 98:34–49, 2017
2. Di Carlo DT, Benedetto N, Duffau H, Cagnazzo F, Weiss A, Castagna M, Cosottini M, Perrini P: Microsurgical anatomy of the sagittal stratum. *Acta Neurochir (Wien)* 161(11):2319–2327, 2019
3. Esen Aydın A, Aydın S, Bilgin B, Mirkhasilova M, Bayramli N, Tanrıover N: Microsurgical anatomy of the auditory radiations: Revealing the enigmatic acoustic pathway from a surgical viewpoint. *J Neurosurg* 138(5):1443–1456, 2023

4. Fernández-Miranda JC, Rhoton ALJ, Alvarez-Linera J, Kakiwaza Y, Choi C, de Oliveira EP: Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain. *Neurosurgery* 62(6 Suppl 3):989-1026, 2008
5. Frigeri T, Paglioli E, de Oliveira E, Rhoton AL Jr: Microsurgical anatomy of the central lobe. *J Neurosurg* 122(3):483-498, 2015
6. Güngör A, Baydin S, Middlebrooks EH, Tanriover N, Isler C, Rhoton AL Jr: The white matter tracts of the cerebrum in ventricular surgery and hydrocephalus. *J Neurosurg* 126(3):945-971, 2017
7. Güngör A, Baydin ŞŞ, Holanda VM, Middlebrooks EH, Isler C, Tugcu B, Foote K, Tanriover N: Microsurgical anatomy of the subthalamic nucleus: Correlating fiber dissection results with 3-T magnetic resonance imaging using neuronavigation. *J Neurosurg* 130(3):716-732, 2018
8. Rhoton AL Jr: The cerebrum. *Neurosurgery* 51 Suppl 4:S1-51, 2002
9. Sedat J, Duvernoy H: Anatomical study of the temporal lobe. Correlations with nuclear magnetic resonance. *J Neuroradiol* 17(1):26-49, 1990
10. Türe U, Yaşargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O: Fiber dissection technique: Lateral aspect of the brain. *Neurosurgery* 47(2):417-426, 2000
11. Yagmurlu K, Middlebrooks EH, Tanriover N, Rhoton AL Jr: Fiber tracts of the dorsal language stream in the human brain. *J Neurosurg* 124(5):1396-1405, 2016
12. Yagmurlu K, Vlasak AL, Rhoton AL Jr: Three-dimensional topographic fiber tract anatomy of the cerebrum. *Neurosurgery* 11 Suppl 2:274-305, 2015
13. Yeni SN, Tanriover N, Uyanik O, Ulu MO, Ozkara C, Karaağaç N, Ozyurt E, Uzan M: Visual field defects in selective amygdalohippocampectomy for hippocampal sclerosis: The fate of Meyer's loop during the transsylvian approach to the temporal horn. *Neurosurgery* 63(3):505-507, 2008