



Unsinat Fasikül Anatomisi, Fonksiyon ve Hastalıkları

Uncinate Fasciculus Anatomy, Functions, and Diseases

Ozan HAŞİMOĞLU

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Tıp Fakültesi, Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul

Yazışma adresi: Ozan HAŞİMOĞLU ✉ ozanhasim@hotmail.com

ÖZ

Unsinat Fasikül (UF), beyin ak maddesinin önemli bir parçası olup, orbitofrontal korteks ve anterior temporal lobu birbirine bağlayan uzun asosiyasyon liflerinden oluşur. UF'nin epizodik hafıza, dil ve sosyal - duygusal fonksiyonlarla ilişkilendirildiği düşünülmektedir. Epizodik hafıza, dil ve davranışsal işlevlerin düzenlenmesinde merkezi bir rol oynaması nedeniyle UF, çeşitli hastalıklarla ilişkilendirilir. Literatürde, UF hasarının psikiyatrik bozukluklar, demans, dil ve davranışsal bozukluklara yol açabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, UF'nin işlevi hâlâ tam olarak anlaşılmamıştır. Bunun için ileri çalışmalara da ihtiyaç vardır. Bu derleme, UF'nin yapısını ve işlevlerini anlamamıza yardımcı olmak için ak madde diseksiyonları, Difüzyon Tensor Görüntüleme (DTG) teknikleri ve literatür verilerini kullanarak bilgi sunmaktadır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Unsinat fasikül, Ak madde, Anatomik diseksiyon, Fonksiyon, Difüzyon tensor görüntüleme, Hastalıklar

ABSTRACT

The Uncinate Fasciculus (UF) is a significant component of brain white matter, composed of long association fibers that connect the orbitofrontal cortex and the anterior temporal lobe. The UF is believed to be associated with episodic memory, language, and socio-emotional functions. Given its central role in regulating episodic memory, language, and behavioral functions, the UF is associated with various disorders. In the literature, UF damage has been indicated to lead to psychiatric disorders, dementia, language, and behavioral disturbances. However, UF's functions still need to be fully comprehended. This review aims to provide an overview of the structure and functions of the UF by utilizing techniques including white matter dissections, Diffusion Tensor Imaging (DTI) modalities, and analysis of literature data.

KEYWORDS: Uncinate fasciculus, White matter, Anatomical dissection, Function, Diffusion tensor imaging, Disorders

■ GİRİŞ

Beyin, birçok hücre ve bağlantının ahenkle çalışması sayesinde bilişsel ve duygusal işlevleri düzenler. Bu süreçte ak maddenin işlevsel önemini anlamak özellikle kritik olmaktadır. Bu bağlamda, beyin ak maddesinin önemli bir bileşeni olan unsinat fasikül (UF), çeşitli bilişsel ve duygusal işlevlerin düzenlenmesinde oynadığı kilit rol nedeniyle öne çıkmaktadır. UF, orbitofrontal korteks ve anterior temporal lobu birbirine bağlayan iki yönlü, direkt, monosinaptik, uzun asosiyasyon liflerinden biridir. İlk defa 1809 yılında Johann Christian

Reil tarafından tanımlanmış olup “frontal ve temporal lobların arasındaki boşluğu dolduran ve bunları birleştiren bir genişleme” olarak tariflemiştir. Daha sonra Karl Burdach bu tanımla genişleterek eksternal kapsülün frontal kısmından laterale ve bazale uzanan eğri lifler olarak belirtip bugünkü adını tanımlamıştır (25).

Unsinat fasikül anatomisi ve komşulukları sebebiyle birçok psikiyatrik ve gelişimsel hastalıkla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca travmatik beyin hasarı sonrası en sık etkilenen yollardan biridir (11). Gelişimsel zirvesine üçüncü dekatta ulaşır, bu da onun

ergenlik ve genç erişkinlik döneminde ortaya çıkan psikiyatrik faktörlere duyarlı hâle getirir (21). Fakat tüm bu çıkarımlar UF'un anatomik ve bağlantısal özellikleri varsayılarak yapılmış olup bu traktın fonksiyonları tam olarak netleştirilememiştir.

Bu derlemenin amacı UF anatomisi, fonksiyonları, ilişkili hastalıkları ak madde diseksiyonları, Difüzyon Tensor Görüntüleme (DTG) teknikleri ve literatür verileri ışığında özetlemektir.

■ YÖNTEM

Anatomik diseksiyonlar; Klingler yöntemine uygun olarak (17) 2 ay süre ile %10'luk formalin solüsyonunda bekletildi. Araknoid mater, pia mater ve vasküler yapılar uzaklaştırıldıktan sonra en az 2 hafta süre ile -16 C°'de donduruldu. Sonrasında çeşme suyu altında çözülerek diseksiyona hazır hâle getirildi. Diseksiyonlar arası beyin hemisferleri %70 alkol solüsyonu içinde oda sıcaklığında bekletildi. Diseksiyonlar Zeiss cerrahi mikroskobu altında x4 ve x40 büyütmede, Rhoton mikrocerrahi seti; dişsiz mikropensetler, mikrohook, mikromakas, bistüri ve dissektör kullanılarak yapıldı. Diseksiyona tüm beyinde lateral ve medial yüzeylerde dekortikasyon işlemi ile başlandı. Dekortikasyon işlemi takiben önce kısa asosiyasyon lifleri (U-Lifleri) görüldü. Daha sonra bunlar kaldırılarak uzun majör asosiyasyon liflerine ulaşıldı. Lateralde mediale ve medialde laterale diseksiyon yapılarak lifler aşama hâlinde kaldırıldı. Her aşamada ulaşılan lifler ve anatomik yapıların birbirleri ile ilişkisi ortaya kondu. Tüm aşamalar Canon 600D D-SLR fotoğraf makinası ve Canon 35 mm sabit odaklı makro lens kullanılarak görüntülendi.

DTI metodu için ise; 1065 katılımcıdan oluşturulan ortalama DTI şablonu kullanıldı. Multishell difüzyon şeması uygulandı ve b değerleri sırasıyla 990, 1985 ve 2980 s/mm² olarak belirlendi. Difüzyon ağırlıklı görüntüler 2.0 mm izotropik olarak örneklenildi. Difüzyon örnekleme uzunluk oranı 1,7 olarak belirlendi. Tracking için deterministik trakt algoritması kullanıldı. Trakt haritalamak için traktografi atlası verileri kullanıldı ve 16 mm'lik bir mesafe toleransıyla haritalandı. Anizotropi eşiği rastgele seçildi. Açısal eşik 15 dereceden 90 dereceye kadar rastgele seçildi. Step size, 0.5 voxel ile 1.5 voxel arasında rastgele seçildi. 10 mm'den kısa veya 200 mm'den uzun traktlar elendi. Yanlış bağlantıları kaldırmak için traktografiye 16 iterasyon uygulandı.

Anatomi

Unsinat fasikül, sylvian fissürün tabanı etrafında yer alan, frontal ve temporal lobları birbirine bağlayan çengel şeklinde bir uzun asosiyasyon lifi demetidir. UF, insula'nın anteroinferior sınırında, anterior perforan substansın yanında yer alır. Lifleri limen insula boyunca ilerler ve sylvian fissürün sfenoidal ve operkuloinsular kısımlarının kesişim noktasında belirgin bir çıkıntı oluşturur (Şekil 1). UF'un bir üst ve bir alt parçası vardır. Alt parça, frontal lobun orbital yüzeyindeki girusları, temporal lobun medial yüzeyindeki parahipokampal ve diğer giruslarla bağlar. Üst parçası ise frontal lobun superolateral kısmındaki girusları, temporal pole yakın lateral temporal korteksle birleştirir (23) (Şekil 2). Kortikal bağlantı yerleri hâlâ tartışmalı olmasına rağmen amigdala, hipokampal formasyon, anterior temporal konveksite, temporal ve frontal pol, frontal bazal bölge ve

inferior frontal girus'a dallar verdiği gösterilmiştir (15,22,26,30) (Şekil 3).

Fonksiyonları ve İlişkili Hastalıklar

Literatürde unsinat fasikülün üç ana görevi olduğu varsayılır. Bunlar; epizodik hafıza, dil ve sosyal-duygusal fonksiyonlardır.

Epizodik Hafıza

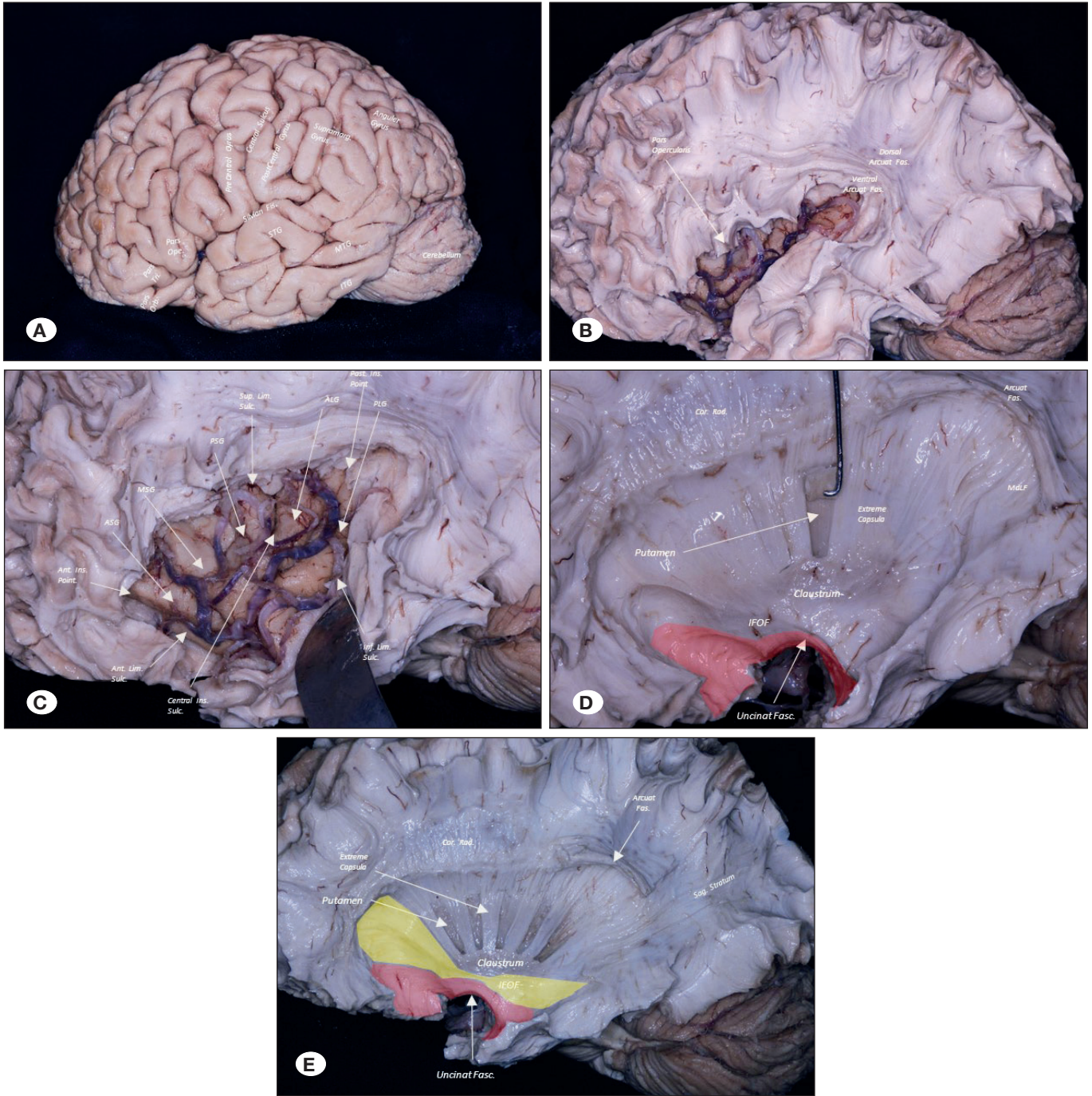
Epizodik-asosiyatif hafıza; tarih ve uzay-zamansal deneyimlerin kaydının tutulmasıdır. Özellikle medial temporal yapıların ve dorsolateral prefrontal korteksin bu fonksiyonda görevi vardır. Bu iki bölgeyi birbirine bağlayan UF'de bu sebeple bu fonksiyonla ilişkili olduğu düşünülmektedir (29). Bu ilişki ilk ortaya 1982 yılında Markowitsch tarafından atılmıştır. Markovitsch ve ark. UF'un verileri prefrontal kortekse işlenmek için götürdüğünü ve kayıtlama için de hipokampüse geri getirdiğini söylemektedirler. Bu önerilerini izole retrograd amnezisi olan ve UF tutulumlu beyin hasarı olan nöropsikiyatrik hastalardan varsayım yapılmıştır (14). Daha sonrasında da benzer vaka bildirimleri olsa da bugüne kadar hiçbir insanda izole UF hasarı ve buna sekonder bulgular bildirilmemiştir. Fakat Papagno sol taraflı düşük dereceli gliomlar sebebiyle opere 18 hastadan oluşan serisinde UF rezeksiyonu sonrası hafıza ile ilişkili bulguları izlemiştir. Cerrahini hemen sonrasında hafif verbal bellekte bozulma saptanırken 3. ay takiplerinde tamamen normale döndüğünü bildirmişlerdir (19). Benzer kanıtlar epilepsi cerrahisi için yapılan anterior temporal lobektomilerde de mevcuttur.

Maymun deneklerde izole UF fonksiyonu daha iyi gözlemlenmiş olup UF diseksiyonundan sonra yerinde nesne öğrenme ve koşullu kural öğrenme fonksiyonlarının bozulduğu görülmüştür (4,6). Özetle; UF'nin epizodik hafıza ile ilişkisi olduğu düşünülmekle beraber bu fonksiyonda öneminin ne olduğu hakkında net bir kanıt yoktur.

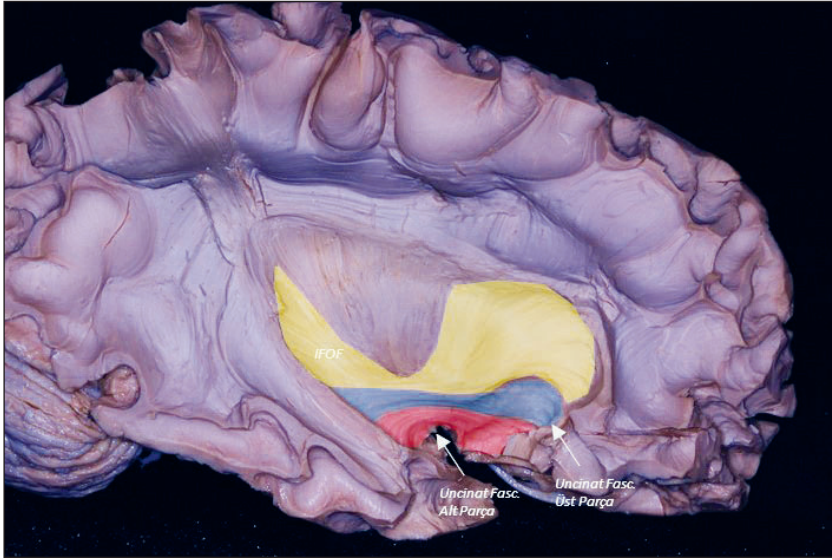
Dil ve Konuşma

Sol UF için frontal ve anterior temporal komşuluklarından dolayı ventral dil yolağında görevi olduğu belirtilmiştir (2,20). Fakat hem anatomi ve DTI çalışmalarında hem de temporal lobektomili hastaların verilerinde bunun için yeterli kanıtlar bulunmamaktaydı. Yakın zamanlı çalışmalar UF'nin ventral dil yolağında olmadığını, bu yolda ekstrem kapsül liflerinin yer aldığını, UF'nin özellikle orta temporal lob ve ventrolateral prefrontal korteksi birbirine bağladığını göstermiştir (24).

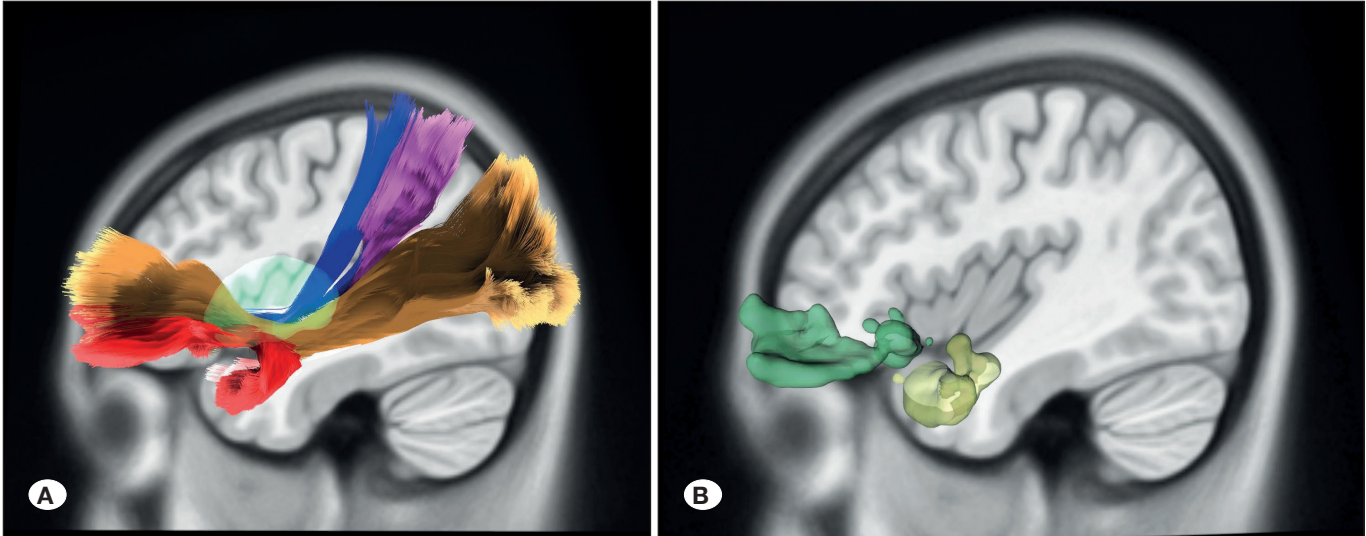
Sol UF dil fonksiyonunda bir rol oynuyor gibi görünmese de, özellikle semantik bilginin sözcüksel olarak geri getirilmesinde destekleyici rol oynadığına dair kanıtlar vardır. Sol unsinat fasikül dilde genel veya özel bir rol oynuyor gibi görünmese de, özellikle semantik bilginin sözcüksel olarak geri getirilmesinde küçük bir destekleyici rol oynadığına dair bazı kanıtlar vardır. Örneğin, sağlıklı yaşlı yetişkinlerde bellek üzerine yapılan bir araştırma, adlandırmayı içeren çeşitli semantik bellek görevleri ile sol unsinat fasikül fraksiyonel anizotropi değerleri arasında pozitif korelasyon göstermiştir (3). Ayrıca anterior temporal lobektomilerde genel dil işlevleri korunurken, adlandırma bozuklukları ortaya çıkabilir. Burada en yaygın olarak gözlemlenen adlandırma eksikliği, uygun adlandırmadır. Örneğin; ünlü kişilerin isimlerini çağırma defektli gelişebilir (3,8,13). Buna karşılık, temporal lobektomi sonrası gelişen bu gibi defisitlerle



Şekil 1: A) Sol Hemisfer Kadavra Diseksiyonu. Unsinat Fasikülün diseksiyonu için kadavra insan beyni, Dekortikasyon öncesi girusların görünümü. **STG:** Süperior Temporal Girus, **MTG:** Medial Temporal Girus, **ITG:** İnförior Temporal Girus, **Pars Orb:** Pars Orbikülaris, **Pars Tri:** Pars Triangularis, **Pars Opr:** Pars Operkularis. **B)** Diseksiyonda lateralden mediale doğru ilerlerken kortikal gri madde ve bazı kısa asosiyasyon lifleri (U Lifleri) kaldırıldıktan sonra insula, sylvian fissürün tabanında görünmektedir. Bu aşamada konuşma ile ilgili temel asosiyasyon lifi olan arkuat fasikül gösterilebilir. **C)** Lateralden mediale doğru diseksiyon ilerletildi. Tüm kısa asosiyasyon lifleri kaldırıldıktan sonra insulanın tüm sınırları, insuler korteks ve insuler vasküler yapılar ortaya çıkmaktadır. **ASG:** Anterior Kısa Girus, **MSG:** Middle Kısa Girus, **PSG:** Posterior Kısa Girus, **ALG:** Anterior Uzun Girus, **PLG:** Posterior Uzun Girus, **İns:** İnsula, **Lim:** Limiting. **D)** İnsüler korteks kaldırıldıktan sonra Unsinat Fasikül ortaya çıkmaktadır. Yakın komşuluğunda IFOF lifleri seyretmektedir. Süpero-medialinde Claustrum ve putamen bulunmaktadır. Aynı seviyede ekstrem kapsül ve MdLF lifleri görülmektedir. **IFOF:** İnförior Fronto Oksipital Fasikül, **MdLF:** Orta Longitudinal Fasikül, **Cor. Rad:** Korona Radiata. **E)** Unsinat Fasikülün komşuluklarıyla beraber lateralden görünümü. IFOF ile UF'nin yakın komşuluk gösterdiği görülürken inferior ve mediale yönelen lifler UF'nin, anterior-superiora yönelen lifler ise IFOF demetleridir. **Sarı:** IFOF (İnförior Fronto Oksipital Fasikül), **Kırmızı:** Unsinat Fasikül.



Şekil 2: Resimdeki sağ kadavra hemisferinde Unsınat Fasikülün uzanım bölgelerine göre alt ve üst parçası gösterilmektedir. Alt parça (Kırmızı), frontal lobda inferiora, temporal lobda ise mediale yönelmektedir. Üst parçası ise (Mavi) frontal lobda superolaterale, temporal lobda lateral doğru uzanım göstermektedir.



Şekil 3: A) Unsınat Fasikül ve komşu yapıların Difüzyon Tensor Görüntüleme (DTI) ile görünümü. **Kırmızı:** UF, **Turuncu:** IFOF, **Mavi:** Ekstrem Kapsül, **Pembe:** MdLF, **Yeşil:** Putamen. **B)** Unsınat fasikül liflerinin kortikal sonlanma noktalarının DTI temelli görünümü. Traktografi verilerine göre UF'nin kortikal sonlanım noktalarının diagramı şeklinde görüldüğü üzere orbitofrontal ve lateral frontal korteks, medial temporal yapılar, temporal pol ve kısmen inferior temporal girus olduğu görülmektedir.

rin ameliyattan 3 ay sonra normal seviyelere gerilediği yine bu çalışmalarda gösterilmiştir. Bu bulgular, sol unsınat fasikülün, uygun adlandırma haricinde, sözcüksel geri çağırma ve sözel bellekte önemli bir yeri olmadığını göstermektedir. Fakat UF'nin sosyal-emosyonel görevleri dil ile bağlantılar kurup konuşma diline sosyal ve duygusal müdahaleler yapabilir. Bu da fikirleri ifade ederken ona insani renkleri katılmasını sağlayabilir (29).

Sosyal-Emosyonel

Unsınat fasikülün, karar verme ve davranışı şekillendirmede etkili olan belirli sosyal ve duygusal işleme türlerinde merkezi bir rol oynadığına inanmak için sebepler vardır. Bu sebeplerin ilki anatomiktir. Orbitofrontal korteksin ödüle dayalı karar ver-

me için gerekli olduğu düşünülmektedir (7,29). Anterior temporal lobun ise; zihin teorisinin yanı sıra kişi hafızası da dahil olmak üzere sosyal hatıraların saklanması ve geri çağırılması fonksiyonu ile ilişkili olduğu gösterilmiştir (18,28). UF, limbik ve paralimbik bu beyin bölgelerini birbirine bağlar. İkinci sebep ise bazı hasta gruplarından elde edilen kanıtlardır. Örneğin, Fronto Temporal Demansın (FTD) davranışsal varyantı olan hastalarda diğer varyantlara göre semptomlar daha dilbilimsel ve hafıza ile ilgili olabilir. Bu popülasyonda UF anomalisi bulguları oldukça yaygındır (1,16,31). Ayrıca bu hasta grubunda davranışsal bozukluklar varsa bilateral UF'de fraksiyonel anizotropinin azaldığı gösterilmiştir (10).

Unsinat Fasikül hasarının rol aldığı başka hastalıklar da vardır. Capras sanrısı, bir hastanın aksi yönde tüm kanıtlara rağmen sevdiği birinin bir sahtekârla yer değiştirmiş olduğunu düşünmesidir. UF birçok çalışmada Capras sanrısı ile ilişkilendirilirken, tek başına UF hasarı bu hastalığın ortaya çıkmasına neden olmamaktadır (5,9). Buna rağmen özellikle anterior temporal lobektomilerden sonra Capras benzeri semptomlar bildirilmiştir (12). Ayrıca; Psikopati, otizm spektrum bozukluğu, empati yoksunluğunda UF'nin rolü olduğu düşünülmektedir (17,27,32).

Bildirilen bulguların hiçbiri kendi başına ikna edici olmasa da, bir bütün olarak literatür, unsinat fasikülün sosyal-duygusal süreçte önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

■ SONUÇ

Sonuç olarak, unsinat fasikül (UF), beyin ak maddesinin önemli bir bileşeni olarak orbitofrontal korteks ve anterior temporal lobu birbirine bağlayan uzun asosiyasyon liflerinden oluşur ve bilişsel ve duygusal işlevlerin düzenlenmesinde kilit bir rol oynar. UF'nin anatomik yapısı ve komşulukları, psikiyatrik ve gelişimsel hastalıklarla ilişkilendirilir ve travmatik beyin hasarının ardından etkilenebilen önemli yollarından biridir.

Birçok hastalıkla ilişkilendirilen UF hasarı, psikiyatrik bozukluklar, demans, dil ve davranışsal bozukluklar gibi çeşitli klinik semptomlara yol açabilir. Bununla birlikte, UF'nin rolü hâlâ tam olarak netleştirilmemiştir ve ileri çalışmaların bu konuda daha fazla bilgi sağlanması gerekmektedir.

Bu derleme, unsinat fasikülün anatomisi, fonksiyonları ve ilişkili hastalıklarını ak madde diseksiyonları, Difüzyon Tensor Görüntüleme (DTG) teknikleri ve literatür verileri ışığında özetlemeyi amaçlamaktadır. UF'nin karmaşık yapısı ve işlevleri, beyin araştırmalarındaki ilerlemelerle daha iyi anlaşılacak ve bu bilgi, nörolojik ve psikiyatrik hastalıkların anlayışı ve tedavisi açısından önemli olacaktır.

■ KAYNAKLAR

- Acosta-Cabronero J, Patterson K, Fryer TD, Hodges JR, Pengas G, Williams GB, Nestor PJ: Atrophy, hypometabolism and white matter abnormalities in semantic dementia tell a coherent story. *Brain* 134:2025-2035, 2011
- Catani M, Mesulam M: The arcuate fasciculus and the disconnection theme in language and aphasia: History and current state. *Cortex* 44:953-961, 2008
- de Zubizaray GI, Rose SE, McMahon KL: The structure and connectivity of semantic memory in the healthy older adult brain. *Neuroimage* 54:1488-1494, 2011
- Eacott M, Gaffan D: Inferotemporal-frontal disconnection: The uncinate fascicle and visual associative learning in monkeys. *Eur J Neurosci* 4:1320-1332, 1992
- Edelstyn NM, Oyebode F, Barrett K: The delusions of Capgras and intermetamorphosis in a patient with right-hemisphere white-matter pathology. *Psychopathology* 34:299-304, 2001
- Gaffan E, Gaffan D, Harrison S: Disconnection of the amygdala from visual association cortex impairs visual reward-association learning in monkeys. *J Neurosci* 8:3144-3150, 1988
- Grabenhorst F, Rolls ET: Value, pleasure and choice in the ventral prefrontal cortex. *Trends Cogn Sci* 15:56-67, 2011
- Hamberger MJ, Drake EB: Cognitive functioning following epilepsy surgery. *Curr Neurol Neurosci Rep* 6:319-326, 2006
- Hirstein W, Ramachandran VS: Capgras syndrome: A novel probe for understanding the neural representation of the identity and familiarity of persons. *Proc Biol Sci* 264:437-444, 1997
- Hornberger M, Geng J, Hodges JR: Convergent grey and white matter evidence of orbitofrontal cortex changes related to disinhibition in behavioural variant frontotemporal dementia. *Brain* 134:2502-2512, 2011
- Johnson CP, Juranek J, Kramer LA, Prasad MR, Swank PR, Ewing-Cobbs L: Predicting behavioral deficits in pediatric traumatic brain injury through uncinate fasciculus integrity. *J Int Neuropsychol Soc* 17:663-673, 2011
- Lipson SE, Sacks O, Devinsky O: Selective emotional detachment from family after right temporal lobectomy. *Epilepsy Behav* 4:340-342, 2003
- Lu LH, Crosson B, Nadeau SE, Heilman KM, Gonzalez-Rothi LJ, Raymer A, Gilmore RL, Bauer RM, Roper SN: Category-specific naming deficits for objects and actions: Semantic attribute and grammatical role hypotheses. *Neuropsychologia* 40:1608-1621, 2002
- Markowitsch HJ: Thalamic mediodorsal nucleus and memory: A critical evaluation of studies in animals and man. *Neurosci Biobehav Rev* 6:351-380, 1982
- 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* 46:691-699, 2010
- Matsuo K, Mizuno T, Yamada K, Akazawa K, Kasai T, Kondo M, Mori S, Nishimura T, Nakagawa M: Cerebral white matter damage in frontotemporal dementia assessed by diffusion tensor tractography. *Neuroradiology* 50:605-611, 2008
- Nacewicz BM, Dalton KM, Johnstone T, Long MT, McAuliff EM, Oakes TR, Alexander AL, Davidson RJ: Amygdala volume and nonverbal social impairment in adolescent and adult males with autism. *Arch Gen Psychiatry* 63:1417-1428, 2006
- Olson IR, Plotzker A, Ezzyat Y: The enigmatic temporal pole: A review of findings on social and emotional processing. *Brain* 130:1718-1731, 2007
- Papagno C: Naming and the role of the uncinate fasciculus in language function. *Curr Neurol Neurosci Rep* 11:553-559, 2011
- Parker GJ, Luzzi S, Alexander DC, Wheeler-Kingshott CA, Ciccarelli O, Ralph MAL: Lateralization of ventral and dorsal auditory-language pathways in the human brain. *Neuroimage* 24:656-666, 2005
- Paus T, Keshavan M, Giedd JN: Why do many psychiatric disorders emerge during adolescence? *Nat Rev Neurosci* 9:947-957, 2008
- Peuskens D, van Loon J, Van Calenberg F, Van den Bergh R, Goffin J, Plets C: Anatomy of the anterior temporal lobe and the frontotemporal region demonstrated by fiber dissection. *Neurosurgery* 55:1174-1184, 2004

23. Rhoton Jr AL: The cerebrum. *Anatomy. Neurosurgery* 61:37-118; discussion 118, 2007
24. Saur D, Kreher BW, Schnell S, Kümmerer D, Kellmeyer P, Vry MS, Umarova R, Musso M, Glauche V, Abel S: Ventral and dorsal pathways for language. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105:18035-18040, 2008
25. Schmahmann J, Pandya D: *Fiber Pathways of the Brain*. New York: Oxford University Press, 2006
26. Schmahmann JD, Pandya DN, Wang R, Dai G, D'Arceuil HE, De Crespigny AJ, Wedeen VJ: Association fibre pathways of the brain: Parallel observations from diffusion spectrum imaging and autoradiography. *Brain* 130:630-653, 2007
27. Shamay-Tsoory SG, Tomer R, Berger BD, Aharon-Peretz J: Characterization of empathy deficits following prefrontal brain damage: The role of the right ventromedial prefrontal cortex. *J Cogn Neurosci* 15:324-337, 2003
28. Simmons WK, Reddish M, Bellgowan PS, Martin A: The selectivity and functional connectivity of the anterior temporal lobes. *Cerebral Cortex* 20:813-825, 2010
29. Von Der Heide RJ, Skipper LM, Klobusicky E, Olson IR: Dissecting the uncinate fasciculus: Disorders, controversies and a hypothesis. *Brain* 136:1692-1707, 2013
30. Wang F, Sun T, Li XG, Liu NJ: Diffusion tensor tractography of the temporal stem on the inferior limiting sulcus. *J Neurosurgery* 108:775-781, 2008
31. Whitwell J, Avula R, Senjem M, Kantarci K, Weigand S, Samikoglu A, Edmonson H, Vemuri P, Knopman D, Boeve B: Gray and white matter water diffusion in the syndromic variants of frontotemporal dementia. *Neurology* 74:1279-1287, 2010
32. Yang Y, Raine A, Narr KL, Colletti P, Toga AW: Localization of deformations within the amygdala in individuals with psychopathy. *Arch Gen Psychiatry* 66:986-994, 2009