

Nükleus akkumbens'in anatomik sınırlarının ak madde temelli topografik değerlendirilmesi

A white matter–based topographic evaluation of the anatomical boundaries of the nucleus accumbens

Mehmet Akif Erbaş¹, Ozan Barut¹, Abdullah Hilmi Marangoz¹, Mustafa Aras¹,
Keramet Aydın², Şevki Serhat Baydın¹

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroşirürji Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye

²VM Medikal Park Hastanesi, Nöroşirürji Kliniği, Samsun, Türkiye

Öz

Giriş: Nükleus akkumbens (NAK), ventral striatumun temel bileşenlerinden biri olup limbik, bilişsel ve motor sistemler arasında işlevsel bir ara yüz oluşturmaktadır. Klinik olarak stereotaktik cerrahi ve nöromodülasyon girişimlerinin hedefi olmasına karşın, komşu gri ve beyaz cevher yapılarıyla olan anatomik sürekliliği nedeniyle sınırlarının kesin olarak tanımlanması güçtür. Bu çalışmada, NAK'ın anatomik sınırlarının ak madde lif diseksiyonu temel alınarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Çalışma, formalinle fikse edilmiş üç insan beyin kadavrasında mikroskopik büyütme altında ak madde lif diseksiyonu tekniği kullanılarak yapıldı. NAK'ın komşuluk ilişkileri; lateralden mediale, medialden laterale ve superiordan inferiora yönelimlerde gerçekleştirilen aşamalı diseksiyonlarla değerlendirildi.

Bulgular: Diseksiyonlar, NAK'ın belirgin ve keskin sınırlarla ayrılmış izole bir çekirdekten ziyade, ventral striatum düzeyinde yer alan bir geçiş alanı niteliğinde olduğunu göstermiştir. Superior düzeyde NAK'ın kaudat nükleus başı ile belirgin bir demarkasyon olmaksızın süreklilik gösterdiği, lateral ve inferolateral yönde ise substantia innominata ile iç içe geçtiği saptanmıştır. Buna karşılık, anterior komissür gövdesi ve bacakları, internal kapsülün anterior segmenti, forniks, singulum ve uncinat fasikülün ventromedial lifleri, NAK'ın göreceli anatomik sınırlarının tanımlanmasında güvenilir ve tekrarlanabilir referans düzlemleri sağlamıştır. Özellikle anterior komissür temel alınarak tanımlanan sagittal ve vertikal referans hatlarının, NAK'ın superior ve posterior uzanımının üç boyutlu olarak değerlendirilmesinde belirleyici olduğu gözlenmiştir.

Sonuç: Bu çalışma, NAK'ın anatomik sınırlarının klasik gri madde temelli mutlak tanımlar ile açıklanmasından ziyade, ak madde lif diseksiyonuna dayalı topografik bir yaklaşım ile daha tutarlı biçimde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Ak madde referans hatlarını esas alan bu yaklaşım, NAK'ın anatomik organizasyonunun

✉ Mehmet Akif Erbaş • 19mae19@gmail.com

Geliş tarihi / Received: 25.09.2025 **Kabul tarihi / Accepted:** 20.12.2025 **Yayın tarihi / Published:** 31.12.2025

Telif hakkı © 2025 Yazar(lar). Sinir Sistemi Cerrahisi Derneği tarafından yayımlandı. Açık erişimli bu makale, orijinal çalışmaya uygun şekilde atıfta bulunulması koşuluyla, herhangi bir ortamda veya formatta sınırsız kullanım, dağıtım ve çoğaltmaya izin veren [Creative Commons Atıf Lisansı \(CC BY\)](#) ile dağıtılmıştır.

Copyright © 2025 The Author(s). Published by Nervous System Surgery Society. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium or format, provided the original work is properly cited.

daha doğru yorumlanmasına olanak sağlamak ve NAK'ı hedef alan stereotaktik, fonksiyonel cerrahi ve nöromodülasyon girişimlerinde anatomik yön bulmayı kolaylaştırabilecek bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: nükleus akkumbens, ventral striatum, ak madde lif disseksiyonu, anatomik sınırlar

ABSTRACT

Introduction: The nucleus accumbens (NAc) is one of the principal components of the ventral striatum and serves as a functional interface between limbic, cognitive, and motor systems. Although it is a clinical target for stereotactic surgery and neuromodulation procedures, precise delineation of its boundaries remains challenging due to its anatomical continuity with adjacent gray and white matter structures. The aim of this study was to evaluate the anatomical boundaries of the NAc based on white matter fiber dissection.

Materials and Methods: This study was conducted on three formalin-fixed human brain cadavers using the white matter fiber dissection technique under microscopic magnification. The spatial relationships of the NAc were evaluated through stepwise dissections performed in lateral to medial, medial to lateral, and superior to inferior orientations.

Results: The dissections demonstrated that the NAc represents a transitional zone within the ventral striatum rather than an isolated nucleus with distinct and sharp boundaries. Superiorly, the NAc showed continuity with the head of the caudate nucleus without a clear demarcation, while laterally and inferolaterally it merged with the substantia innominata. In contrast, the body and limbs of the anterior commissure, the anterior segment of the internal capsule, the fornix, the cingulum, and the ventromedial fibers of the uncinate fasciculus provided reliable and reproducible reference planes for defining the relative anatomical boundaries of the NAc. In particular, sagittal and vertical reference lines defined based on the anterior commissure were found to be decisive in the three-dimensional assessment of the superior and posterior extent of the NAc.

Conclusion: This study demonstrates that the anatomical boundaries of the NAc can be evaluated more consistently using a topographic approach based on white matter fiber dissection rather than relying on classical gray matter-based absolute definitions. A reference framework centered on white matter structures enables a more accurate interpretation of the anatomical organization of the NAc and may facilitate anatomical orientation in stereotactic, functional surgical, and neuromodulation procedures targeting this region.

Keywords: nucleus accumbens, ventral striatum, white matter fiber dissection, anatomical boundaries

Giriş

Bazal gangliyonlar, motor, bilişsel ve emosyonel işlevlerin entegrasyonunda rol alan ve kortikal-subkortikal yapılarla yoğun bağlantıları bulunan kompleks bir nöral sistemdir. Bu sistem içerisinde striatum, dorsal ve ventral bölümleriyle fonksiyonel ve anatomik olarak ayrılmaktadır.¹⁻⁶ Ventral striatumun temel bileşenlerinden biri olan nükleus akkumbens (NAK), bazal gangliyonların en derin ve ventralinde yer alan bir çekirdektir. Limbik ve kortikal alanlardan gelen girdiler ile motor çıkış sistemleri arasında bir ara yüz oluşturmaktadır.^{1,7-9} Bu konumu nedeniyle NAK, bazal gangliyonların klasik motor döngülerinin

ötesinde, limbik sistem, prefrontal korteks ve bazal gangliyonlar arasındaki bağlantıları aracılığıyla motivasyonel ve emosyonel süreçlerle ilgili devrelerde bir merkez rolü üstlenmektedir.^{1,10} Özellikle orbitofrontal korteks, singulat korteks, amigdala ve hipokampal formasyondan aldığı girdiler ile ventral pallidum ve thalamus üzerinden motor ve davranışsal çıktıları etkilemektedir.¹¹⁻¹³ Bu geniş bağlantı ağı, NAK'ı yalnızca fonksiyonel bir limbik yapı olmaktan çıkararak, emosyonel ve bilişsel süreçlerin motor yanıtlarla bütünleştiği bir ara yüz haline getirmektedir. Bu özellikleri nedeniyle NAK, başta hareket bozuklukları ve psikiyatrik hastalıklar olmak üzere çeşitli

klirik durumlarda cerrahi ve nöromodülasyon yaklaşımlarının hedefi haline gelmiştir.¹⁴⁻²⁶

Anatomik olarak NAK'ın tanımlanması, komşu gri ve beyaz cevher yapılarıyla olan yakın ilişkisi nedeniyle güçlükler içermektedir. Kaudat nükleus başı (KNB), substantia innominata (Sİ) ve anterior komissür (AK) ile olan süreklilik ve iç içe geçme, NAK'ın klasik atlaslarda ve görüntüleme temelli çalışmalarda sınırlarının net olarak çizilmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle ventral striatum düzeyinde, NAK'ın KNB'den ve çevre bazal ön beyin yapılarından ayrımı çoğu zaman göreceli anatomik referanslara dayanmaktadır.^{11,12,27-29} Bu durum, NAK'ın üç boyutlu konumunun ve komşuluk ilişkilerinin anatomik olarak ayrıntılı biçimde ortaya konulmasını gerekli kılmaktadır.

Bu çalışmada, NAK'ın anatomik konumu, komşuluk ilişkileri ve sınırlarının, kadavra diseksiyonları kullanılarak ayrıntılı biçimde ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı, NAK için kesin sınırlar tanımlamaktan ziyade, bu yapının üç boyutlu anatomik organizasyonunu ve komşu yapılarla olan göreceli konumunu ortaya koymaktır. Elde edilen bulguların, hem anatomik bilgi birikimine katkı sağlaması hem de cerrahi ve nöromodülasyon yaklaşımlarında NAK'ın daha doğru anlaşılmasına yardımcı olması hedeflenmiştir.

Gereç ve Yöntem

Diseksiyonlar, formalinle fikse edilmiş üç adet insan beyin kadavrası (altı hemisfer) üzerinde gerçekleştirildi. Diseksiyon öncesinde ve diseksiyonlar arasında kadavra spesimenleri %70 alkol solüsyonunda muhafaza edildi. Diseksiyonlara başlanmadan önce araknoid membran ve yüzeyel vasküler yapılar uzaklaştırıldı.

Diseksiyon öncesi tüm kadavra spesimenleri -16 °C'de iki hafta süreyle dondurularak saklandı. Diseksiyonlar, çözündürme işleminin ardından

mikroskopun 6× ve 40× büyötmeleri altında, mikrocerrahi el aletleri kullanılarak kortikal yüzeyden derin yapılara doğru aşamalı olarak gerçekleştirildi.

NAK ve komşu yapıların üç boyutlu ilişkilerinin ortaya konulabilmesi amacıyla diseksiyonlar, lateralden mediale, medialden laterale ve superiorlardan inferiora olmak üzere üç ana yönelimde yapıldı. Lateralden mediale diseksiyonlarda insular korteks düzeyinden başlanarak eksternal kapsül, bazal çekirdekler ve internal kapsül (İK) lifleri sırasıyla ortaya konuldu. Medialden laterale diseksiyonlarda lateral ventrikül duvarı referans alınarak KNB, forniks ve AK düzeyinde NAK'ın ilişkileri değerlendirildi. Superiorlardan inferiora diseksiyonlarda ise korpus kallozum, foramen Monro, forniks ve AK ilişkileri takip edilerek NAK'ın superior ve inferior komşulukları incelendi.

Tüm diseksiyon aşamaları yüksek çözünürlüklü dijital fotoğraf ile belgelenerek her aşama anatomik referans noktaları temel alınarak kayıt altına alındı. Görüntüler, diseksiyon yönelimlerine göre sınıflandırılarak değerlendirilip, sonuç bölümünde sunulan anatomik bulgular bu görsel kayıtlar temel alınarak tanımlandı.

Bulgular

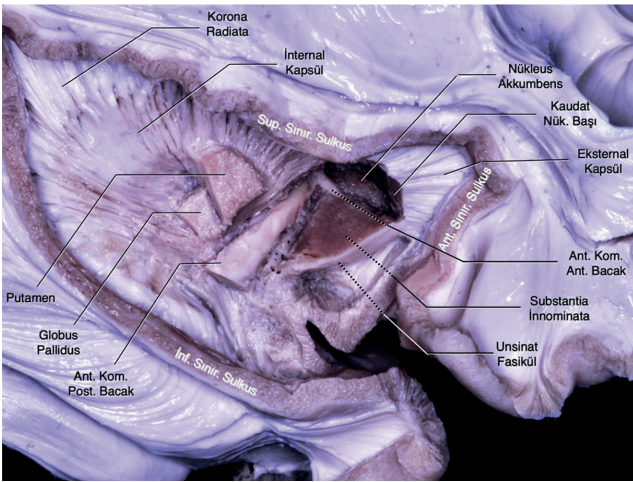
Lateralden Mediale Diseksiyon

Diseksiyon işlemi, anterior, superior ve inferior sınırlayıcı sulkuslar tanımlandıktan sonra, insular korteks düzeyinde lateralden mediale doğru sistematik olarak ilerletildi. İnsular korteksin anterior sınırını anterior sınırlayıcı sulkus, superior sınırını superior sınırlayıcı sulkus, posterior ve inferior sınırını ise inferior sınırlayıcı sulkus oluşturmaktaydı (Şekil 1).

İnsular korteksin uzaklaştırılmasını takiben, dıştan içe doğru sırasıyla eksternal kapsül, putamen, globus pallidus ve İK lifleri tanımlandı.

Bazal çekirdeklerin sınırında, anterior, superior ve posterior yönler doğru yükselen eksternal kapsül ve İK liflerinin birleşerek korona radiata liflerini oluşturduğu gözlemlendi (Şekil 1).

Putamen ve globus pallidusun anterior bölümleri uzaklaştırıldığında, bu yapıların inferiorunda ve medialinde; posterolaterale yönelen AK posterior bacağı, anterolaterale yönelen AK anterior bacağı ve bu iki yapı arasında tabanda yerleşim gösteren, iyi sınırlanmamış bir gri madde kitlesi olarak Sİ ortaya konuldu. Sİ'nin posterior ve posteromedial sınırını AK posterior bacağı, medial ve



Şekil 1. Lateralden mediale ak madde lif diseksiyonu ile nükleus akkumbens'in komşuluk ilişkileri

Lateralden mediale doğru gerçekleştirilen diseksiyon sırasında, insular korteks düzeyinde anterior, superior ve inferior sınırlayıcı sulkuslar tanımlanmış ve diseksiyon bu sınırlar temel alınarak ilerletilmiştir. İnsular korteksin uzaklaştırılmasını takiben sırasıyla eksternal kapsül, putamen, globus pallidus ve internal kapsül lifleri ortaya konmuştur. Bu düzeyde eksternal kapsül ve internal kapsül liflerinin birleşerek korona radiata liflerini oluşturduğu izlenmiştir. Putamen ve globus pallidusun anterior bölümlerinin uzaklaştırılması sonrasında, anterior komissürün anterior ve posterior bacakları ile bu iki yapı arasında yer alan substantia innominata tanımlanmıştır. Anterior komissürün posterior bacağının anteriorunda yer alan internal kapsül liflerinin uzaklaştırılmasıyla kaudat nükleus başı ortaya konmuş, bu yapının inferiorunda ve anterior komissürün anterior bacağının hemen medialinde nükleus akkumbens tanımlanmıştır. Bu düzeyde nükleus akkumbens'in lateral yüzeyinin substantia innominata ile, superior yüzeyinin ise kaudat nükleus başı ile süreklilik gösterdiği izlenmiştir. *ant.*, anterior; *inf.*, inferior; *nük.*, nükleus; *kom.*, komissür; *sınır.*, sınırlayıcı; *post.*, posterior; *sup.*, superior.

anteromedial sınırını AK anterior bacağı, lateral ve anterolateral sınırını ise unsinat fasikülün gövdesi oluşturmaktaydı (Şekil 1).

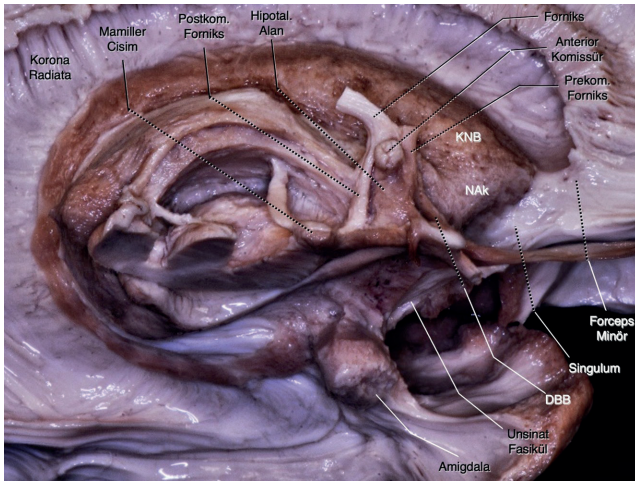
AK posterior bacağının anteriorunda yer alan İK liflerinin uzaklaştırılmasıyla, santral gri madde çekirdeklerinin medialinde, talamusu C-benzeri bir konfigürasyonla çevreleyen KNB ortaya çıkarıldı. KNB'nin inferiorunda ve AK anterior bacağının hemen medialinde yerleşim gösteren NAK tanımlandı. Bu aşamada NAK'ın lateral yüzeyi Sİ ile belirgin bir sınır göstermeden süreklilik içerisinde, bu sınır düzeyinde İK anterior bacağı ile AK anterior bacağının yer aldığı gözlemlendi. NAK'ın superior yüzeyinin ise KNB ile birleştiği saptandı (Şekil 1).

Medialden Laterale Diseksiyon

Lateral ventrikülün dış duvarında yer alan kaudat nükleusun, talamusu C-şeklinde çevrelediği net olarak gözlemlendi. Forniksin gövdesi, AK düzeyine kadar uzanmakta olup, bu seviyede KNB ile NAK'ın posterior sınırında kesiştiği bölgede, AK'nin hemen üzerinde iki dala ayrılmaktaydı. Bu dallardan biri postkomissüral forniks olarak posteroinferior yönde ilerleyerek posterior hipotalamus boyunca seyretmekte ve mamiller cisimlere ulaşmaktaydı. Diğer dal ise prekomissüral forniks olarak anteroinferior yönde ilerlemekte ve Broca'nın diyagonal bandı (DBB) ile yakın ilişkili şekilde septal bölgeye uzanmaktaydı (Şekil 2).

Prekomissüral forniks ve DBB'nin birlikte, NAK'ın posterior ve inferomedial sınırları boyunca seyrettiği gözlemlendi. AK'nin hemen inferiorunda ve NAK'ın posteriorunda hipotalamik alan yer almaktaydı (Şekil 2).

NAK'ın medialinde, paraterminal girus düzeyinde indusium griseum, singulum ve unsinat fasikülün ventromedial lifleri tarafından oluşturulan yoğun bir beyaz cevher ağı izlendi. Bu lif demetlerinin NAK'ın medial yüzeyini saran bir beyaz cevher kapsülü oluşturduğu ve medial sınırın gri madde



Şekil 2. Medialden laterale ak madde lif diseksiyonu ile nükleus akkumbens'in medial ve posterior komşulukları

Medialden laterale doğru gerçekleştirilen ak madde lif diseksiyonu sırasında, korona radiata ve forceps minör liflerinin uzaklaştırılmasını takiben forniks yapısı ortaya konmuştur. Forniksın, anterior komissür düzeyinde prekomissüral ve postkomissüral dallara ayrıldığı izlenmiştir. Postkomissüral forniksın posterior yönde hipotalamik alan boyunca seyrederek mamiller cisimlere uzandığı, prekomissüral forniksın ise anterior yönde ilerleyerek septal bölgeye yöneldiği görülmüştür. Bu düzeyde kaudat nükleus başı ve nükleus akkumbens arasındaki ilişki değerlendirilmiş; nükleus akkumbensin kaudat nükleus başının inferiorunda yer aldığı izlenmiştir. Nükleus akkumbensin medial komşuluğunda singulum, Broca'nın diyagonal bandı ve unsinat fasikül lifleri gösterilmiştir. Anterior komissür, nükleus akkumbensin posterior komşuluklarının değerlendirilmesinde derin anatomik bir referans yapısı olarak izlenmektedir. DBB, Broca'nın diyagonal bandı; hipotal., hipotalamik; KNB, kaudat nükleus başı; NAK, nükleus akkumbens; postkom., postkomissüral; prekom., prekomissüral.

yapılarından ziyade beyaz cevher traktları ile tanımlandığı görüldü (Şekil 2).

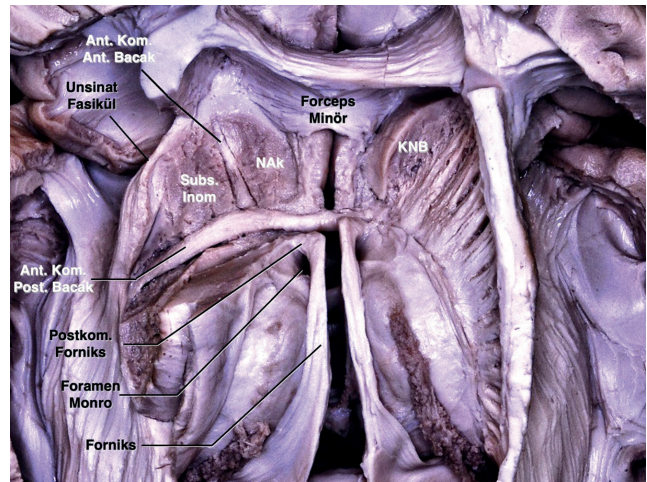
İnferomedial düzeyde medial olfaktör stria, NAK'ın inferiorunda posteromedial yönde ilerleyerek, NAK'ın medial yüzeyinin posteroinferior bölümüne doğru seyretti (Şekil 2).

Superior'dan Inferiora Diseksiyon

Superiordan inferiora doğru ilerleyen diseksiyon, frontal lobun medial yüzeyinde korpus kallozum genusu ve buradan köken alan kallozal liflerin (forceps minor) tanımlanmasıyla başlatıldı.

Forceps minor liflerinin frontal pol yönünde ilerleyerek prefrontal ve medial orbitofrontal kortekse uzandığı ve derin düzeyde singulumla beraber NAK'ın anteromedial yüzeyi boyunca seyrettiği gözlemlendi (Şekil 3).

Korpus kallozumun inferiorunda, foramen Monro düzeyinde, lateral ventrikülün frontal boynuzunun medial sınırını oluşturan KNB tanımlandı. Foramen Monro çevresinde, KNB ile talamus arasında C-şeklinde bir ilişki izlendi. Bu düzeyde forniksın gövdesi AK seviyesine kadar takip edildi. AK düzeyine ulaşıldığında, forniks kolonlarının ikiye ayrıldığı gözlemlendi. Prekomissüral forniks, AK'nin önünden geçerek



Şekil 3. Superiordan inferiora ak madde lif diseksiyonu ile nükleus akkumbens'in derin komşulukları

Superiordan inferiora doğru gerçekleştirilen ak madde lif diseksiyonu sırasında forceps minor lifleri uzaklaştırılarak kaudat nükleus başı ve foramen Monro düzeyi ortaya konmuştur. Bu düzeyde forniks kolonlarının foramen Monro çevresinde seyrettiği ve anterior komissür seviyesinde prekomissüral ve postkomissüral liflere ayrıldığı izlenmiştir. Anterior komissürün anterior ve posterior bacakları, nükleus akkumbens'in posterior ve posterolateral komşuluklarının değerlendirilmesinde derin anatomik referans yapıları olarak tanımlanmıştır. Nükleus akkumbensin lateral ve inferolateral yönde substantia innominata ile süreklilik gösterdiği, bu düzeyde unsinat fasikül liflerinin nükleus akkumbensin ventrolateral komşuluğunda seyrettiği izlenmiştir. Postkomissüral forniksın inferior yönde ilerleyerek hipotalamik alanlara doğru uzandığı görülmüştür. ant., anterior; KNB, kaudat nükleus başı; NAK, nükleus akkumbens; post., posterior; postkom., postkomissüral.

septal bölgeye yönelmekte olup bu seyir sırasında DBB ile yakın komşuluk göstermekteydi ve NAK'ın posterior ve inferomedial sınırı boyunca seyrettiği izlendi. Buna karşılık postkomissüral forniks, posteriora yönelerek hipotalamus boyunca ilerleyip mamiller cisimlere ulaştı (Şekil 3).

Diseksiyon inferiorda derinleştirildiğinde, AK gövdesi ve buradan ayrılan anterior ve posterior bacaklar net olarak ortaya konuldu. AK gövdesi NAK'ın posterosuperior sınırını oluşturmakta, anterior bacağı ise posterolateralden anterolateral sınıra doğru seyretmekteydi. AK anterior ve posterior bacakları arasında, tabanda yerleşim gösteren, iyi sınırlanmamış bir gri madde kitlesi olarak Sİ tanımlandı (Şekil 3).

NAK'ın superior yüzeyinin, AK anterior bacağı düzeyinde KNB ile belirgin bir demarkasyon olmaksızın birleştiği gözlemlendi. Lateral ve inferolateral yönde ise NAK'ın Sİ ile süreklilik gösterdiği, bu iki yapı arasında keskin bir sınır izlenmediği saptandı (Şekil 3).

Medial yüzey boyunca forceps minor, singulum, unsinat fasikülün ventromedial lifleri, indusium griseum ve DBB liflerinin yoğunlaştığı görüldü. Bu lif demetlerinin NAK'ın medial ve inferomedial yüzeyini saran kompakt bir beyaz cevher ağına oluşturduğu izlendi (Şekil 3).

NAK Komşulukları ve Anatomik Sınırları

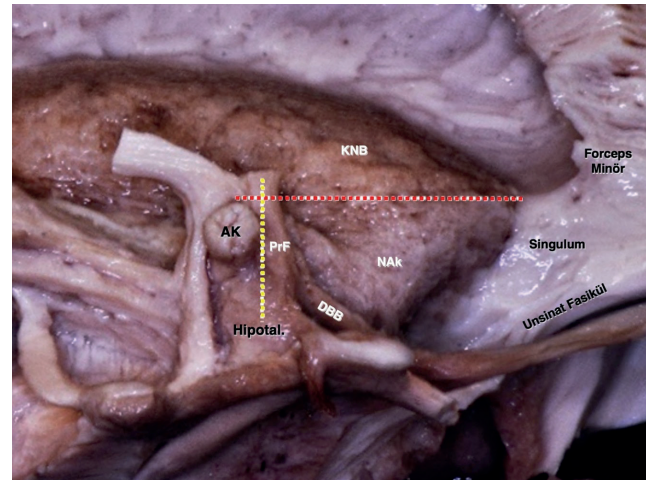
NAK'ın superiorunda KNB yer almakta olup, NAK'ın superior yüzeyinin KNB ile devamlılık gösterdiği gözlemlendi. AK gövdesinin üst sınırı hizasından anterior yönde uzatılan sagittal referans hattının NAK'ın superior sınırına karşılık geldiği gözlemlendi (Şekil 4). Bu referans hattı NAK ile KNB arasındaki sınırı oluşturur.

Lateral ve inferolateral yönde NAK'ın Sİ ile komşuluk gösterdiği izlendi. Bu bölgede iki yapı arasında keskin bir demarkasyon saptanmadı. Bu düzeyde İK anterior bacağı ile AK anterior

bacağına NAK'ın lateral sınırına gelen düzeyde yer aldığı izlendi.

Posterior ve posterosuperior düzeyde NAK'ın AK ile yakın ilişkide olduğu gözlemlendi. AK gövdesinin, NAK'ın posterosuperior sınırı düzeyinde yer aldığı saptandı. AK gövdesinin anterior sınırı hizasından inferior yönde uzatılan vertikal referans hattının, NAK'ın posterior sınırına karşılık geldiği izlendi (Şekil 4). Bu hatta aynı zamanda prekomissüral forniks ve DBB yer almaktaydı.

Medial yönde NAK'ın komşuluğunda singulum, unsinat fasikülün ventromedial lifleri, indusium



Şekil 4. Medialden laterale diseksiyonda nükleus akkumbens sınırlarının sagittal ve vertikal referans hatları ile gösterimi

Medialden gerçekleştirilen ak madde lif diseksiyonu sırasında, nükleus akkumbens'in göreceli anatomik sınırlarının değerlendirilmesinde kullanılan sagittal ve vertikal referans hatları gösterilmektedir. Anterior komissür temel alınarak, anterior komissür gövdesinin üst sınırı hizasından anterior yönde uzatılan sagittal referans hattı kırmızı kesikli çizgi ile, AK gövdesinin anterior sınırı hizasından inferior yönde uzatılan vertikal referans hattı ise sarı kesikli çizgi ile işaretlenmiştir. Bu düzeyde prekomissüral forniks ve Broca'nın diyagonal bandı, vertikal referans hattı boyunca izlenmekte olup, kaudat nükleus başı sagittal referans hattının superiorunda yer almaktadır. Hipotalamik alan, vertikal hattın inferiorunda izlenirken, singulum, unsinat fasikül ve forceps minor lifleri anterior yüzey boyunca nükleus akkumbensin komşuluk ilişkilerinin değerlendirilmesinde anatomik referans yapıları olarak gösterilmektedir. AK, anterior komissür; DBB, Broca'nın diyagonal bandı; hipotal., hipotalamik alan; KNB, kaudat nükleus başı; NAK, nükleus akkumbens; PrF, prekomissüral forniks.

griseum ve DBB lifleri yer almakta olup, bu lif demetlerinin NAK'ın medial ve inferomedial yüzü boyunca uzandığı gözlemlendi. Bu bölgede medial sınırın gri madde çekirdeklerinden ziyade beyaz cevher yapıları ile temsil edildiği saptandı.

İnferior yönde NAK'ın hipotalamik alanlar ve medial olfaktör stria ile komşuluk gösterdiği izlendi. Bu düzeyde de belirgin bir sınır ayırt edilemedi.

Tartışma

Bu çalışmada NAK'ın üç boyutlu anatomik organizasyonu ve komşuluk ilişkileri, kadavra diseksiyonları temel alınarak ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Bulgular, NAK'ın ventral striatum içerisinde klasik anatomik tanımlarda ifade edildiği gibi kesin sınırlarla ayrılan izole bir çekirdekten ziyade, geçiş alanı niteliğinde bir yapı olduğunu göstermiştir. Bu yapı, superior düzeyde KNB ile anatomik süreklilik göstermekte, lateral ve inferolateral yönde ise Sİ ile iç içe geçmektedir. Buna karşılık AK başta olmak üzere singulum, İK, korpus kallozum, unsinat fasikül ve prekomissüral forniks gibi beyaz cevher yapılarının, NAK'ın üç boyutlu topografisinin değerlendirilmesinde güvenilir anatomik referanslar sunduğu görülmüştür. Bu bulgu, NAK sınırlarının tek başına gri cevher demarkasyonları üzerinden değil, komşu beyaz cevher yapılarıyla olan göreceli ilişkiler dikkate alınarak değerlendirilmesinin daha gerçekçi olduğunu düşündürmektedir.^{11,12,30-34}

Literatürde de NAK'ın ventral striatum içerisindeki konumunun, özellikle KNB ve Sİ ile olan yakını ilişkisi nedeniyle kesin anatomik sınırlarla tanımlanmasının güç olduğu vurgulanmaktadır.^{11,27-29,35-37} Baydın ve arkadaşlarının mikroskopik diseksiyon temelli çalışmalarında, NAK'ın superior düzeyde KNB ile devamlılık gösterdiği ve bu iki yapı arasında belirgin bir anatomik demarkasyon izlenmediği bildirilmiştir.^{11,12} Benzer şekilde Neto

ve arkadaşlarının stereotaktik ve üç boyutlu anatomik analizlerinde de, NAK'ın klasik atlas tanımlarında öngörülen net sınırlar yerine göreceli anatomik referanslar kullanılarak tanımlanabildiği belirtilmiştir.^{27,28} Bu çalışmada elde edilen bulgular, literatürle uyumlu biçimde, NAK'ın superior düzeyde KNB ile anatomik süreklilik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca NAK'ın lateral ve inferolateral yönde Sİ ile bir geçiş alanı oluşturduğu görülmüştür. Ventral striatum düzeyinde gri madde yapıları arasındaki bu süreklilik, NAK'ın izole bir çekirdek olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

Diseksiyonlarımızda superior düzeyde NAK ile KNB arasında belirgin bir anatomik sınır izlenmemiştir. Bu ayrım, AK gövdesinin üst sınırı hizasından anterior yönde uzatılan sagittal bir referans hattı kullanılarak yapılabilmektedir. Lateral ve inferolateral düzeyde ise NAK'ın Sİ ile belirgin bir demarkasyon göstermediği ve gri madde sürekliliğinin ön planda olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölgede NAK'ın lateral uzanımının değerlendirilmesinde, AK ve İK'nin anterior bacaklarının güvenilir topografik referanslar sunduğu görülmüştür. Posterior ve posterosuperior düzeyde ise, AK gövdesinin anterior sınırı hizasından inferior yönde uzatılan vertikal referans hattının belirleyici olduğu saptanmıştır. Bu hattın aynı zamanda prekomissüral forniks ve DBB ile çakıştığı izlenmiştir.

Önceki çalışmalarda da AK, forniks ve komşu beyaz cevher traktlarının NAK'ın lokalizasyonunda önemli referans yapıları olduğu bildirilmiştir.^{11,27,28,35-37} Özellikle AK'nin NAK'a göre konumunun, cerrahi ve stereotaktik yaklaşımlarda güvenilir bir anatomik landmark olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.^{11,12} Bu çalışmanın bulguları da, NAK'ın anatomik sınırlarının yalnızca gri madde demarkasyonlarıyla değil, AK merkezli referans hatları ve eşlik eden beyaz

cevher yapıları üzerinden daha tutarlı biçimde değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın örneklem büyüklüğü üç kadavra (altı hemisfer) ile sınırlıdır. Bununla birlikte çalışmanın temel amacı, anatomik varyasyonları nicel olarak değerlendirmekten ziyade, NAK'ın mikrocerrahi anatomisini ve üç boyutlu organizasyonunu ayrıntılı biçimde tanımlamaktır. Mikrocerrahi anatomi çalışmalarında bu yaklaşımın, Rhoton'un diseksiyon temelli klasik çalışmalarında da benimsendiği bilinmektedir.³⁸

Bu veriler ışığında, NAK'a yönelik cerrahi ve stereotaktik yaklaşımlarda klasik atlas temelli mutlak sınır tanımlarından ziyade, AK merkezli referans hatları ve komşu beyaz cevher traktlarının esas alınmasının daha güvenilir bir yaklaşım sunduğu düşünülmektedir. Özellikle AK gövdesinin superior ve anterior sınırları temel alınarak tanımlanan sagittal ve vertikal referans hatları, NAK'ın superior ve posterior uzanımının üç boyutlu olarak değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır. Lateral düzeyde AK ve İK anterior bacaklarının, medial düzeyde ise singulum, unsinat fasikül ve prekomissüral forniksın yönlendirici rolü, cerrahi planlamada anatomik belirsizliklerin azaltılmasına katkı sağlayabilir. Bu diseksiyon temelli topografik yaklaşımın, NAK'ı hedef alan nöromodülasyon ve fonksiyonel cerrahi girişimlerde anatomik yön bulmayı kolaylaştırarak klinik uygulamalara katkı sunabileceği düşünülmektedir.

Sonuç

Bu çalışmada, NAK'ın üç boyutlu anatomik organizasyonu ve komşuluk ilişkileri, kadavra diseksiyonları temel alınarak ayrıntılı biçimde ortaya konulmuştur. Bulgular, NAK'ın KNB ve Sİ ile belirgin anatomik sınırlar yerine süreklilik gösteren bir geçiş alanı niteliğinde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle NAK'ın anatomik sınırlarının tanımlanmasında, komşu gri madde

yapılarından ziyade AK, İK, forniks ve eşlik eden beyaz cevher traktları üzerinden belirlenen referans hatlarının daha tutarlı bir yaklaşım sunduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen bulguların, NAK'ın anatomik yerleşiminin daha doğru yorumlanmasına katkı sağlaması ve ileri anatomik, stereotaktik ve cerrahi çalışmalara yapısal bir zemin oluşturmaya amaçlanmaktadır.

Etik kurul onayı

Bu çalışma, uygun kurumsal protokollerle elde edilen postmortem beyin örnekleri ve anonimleştirilmiş açık erişimli veriler kullanılarak gerçekleştirildiğinden, etik kurul onayı gerektirmemektedir.

Yazarlık katkısı

Çalışma tasarımı ve kavramsallaştırma: MAE, OB, ŞSB; veri toplama: OB, AHM, MA, ŞSB; sonuçların analizi ve yorumlanması: OB, KA, ŞSB; aday makalenin hazırlanması: MAE, OB, ŞSB. Yazar(lar) sonuçları gözden geçirmiş ve makalenin son halini onaylamıştır.

Finansman

Yazar(lar), çalışmanın herhangi bir finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Çıkar çatışması

Yazar(lar) herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Kaynakça

1. Nieuwenhuys R, Voogd J, Van Huijzen C. The human central nervous system. Berlin Heidelberg: Springer; 2008. [\[Crossref\]](#)
2. Humphries MD, Prescott TJ. The ventral basal ganglia, a selection mechanism at the crossroads of space, strategy, and reward. Prog Neurobiol 2010; 90: 385-417. [\[Crossref\]](#)

3. Sesack SR, Grace AA. Cortico-Basal Ganglia reward network: microcircuitry. *Neuropsychopharmacology* 2010; 35: 27-47. [\[Crossref\]](#)
4. Alexander GE, Crutcher MD. Functional architecture of basal ganglia circuits: neural substrates of parallel processing. *Trends Neurosci* 1990; 13: 266-271. [\[Crossref\]](#)
5. Middleton FA, Strick PL. Basal ganglia and cerebellar loops: motor and cognitive circuits. *Brain Res Brain Res Rev* 2000; 31: 236-250. [\[Crossref\]](#)
6. Haber SN. The primate basal ganglia: parallel and integrative networks. *J Chem Neuroanat* 2003; 26: 317-330. [\[Crossref\]](#)
7. Heimer L, Switzer RD, Van Hoesen GW. Ventral striatum and ventral pallidum: components of the motor system? *Trends in Neurosciences* 1982;5:83-87. [\[Crossref\]](#)
8. de Olmos JS, Heimer L. The concepts of the ventral striatopallidal system and extended amygdala. *Ann N Y Acad Sci* 1999; 877: 1-32. [\[Crossref\]](#)
9. Groenewegen HJ, Berendse HW, Haber SN. Organization of the output of the ventral striatopallidal system in the rat: ventral pallidal efferents. *Neuroscience* 1993; 57: 113-142. [\[Crossref\]](#)
10. Mogenson GJ, Jones DL, Yim CY. From motivation to action: functional interface between the limbic system and the motor system. *Prog Neurobiol* 1980; 14: 69-97. [\[Crossref\]](#)
11. Baydin S, Yagmurcu K, Tanriover N, Gungor A, Rhoton AL. Microsurgical and fiber tract anatomy of the nucleus accumbens. *Oper Neurosurg* 2016; 12: 269-288. [\[Crossref\]](#)
12. Baydin S, Gungor A, Tanriover N, Baran O, Middlebrooks EH, Rhoton AL. Fiber tracts of the medial and inferior surfaces of the cerebrum. *World Neurosurg* 2017; 98: 34-49. [\[Crossref\]](#)
13. Powell EW, Leman RB. Connections of the nucleus accumbens. *Brain Res* 1976; 105: 389-403. [\[Crossref\]](#)
14. Sturm V, Lenartz D, Koulousakis A, et al. The nucleus accumbens: a target for deep brain stimulation in obsessive-compulsive- and anxiety-disorders. *J Chem Neuroanat* 2003; 26: 293-299. [\[Crossref\]](#)
15. Mayberg HS, Lozano AM, Voon V, et al. Deep brain stimulation for treatment-resistant depression. *Neuron* 2005; 45: 651-660. [\[Crossref\]](#)
16. Bewernick BH, Hurlmann R, Matusch A, et al. Nucleus accumbens deep brain stimulation decreases ratings of depression and anxiety in treatment-resistant depression. *Biol Psychiatry* 2010; 67: 110-116. [\[Crossref\]](#)
17. Denys D, Mantione M, Figee M, et al. Deep brain stimulation of the nucleus accumbens for treatment-refractory obsessive-compulsive disorder. *Arch Gen Psychiatry* 2010; 67: 1061-1068. [\[Crossref\]](#)
18. Bewernick BH, Kayser S, Sturm V, Schlaepfer TE. Long-term effects of nucleus accumbens deep brain stimulation in treatment-resistant depression: evidence for sustained efficacy. *Neuropsychopharmacology* 2012; 37: 1975-1985. [\[Crossref\]](#)
19. Müller UJ, Voges J, Steiner J, et al. Deep brain stimulation of the nucleus accumbens for the treatment of addiction. *Ann N Y Acad Sci* 2013; 1282: 119-128. [\[Crossref\]](#)
20. Kuhn J, Möller M, Treppmann JF, et al. Deep brain stimulation of the nucleus accumbens and its usefulness in severe opioid addiction. *Mol Psychiatry* 2014; 19: 145-146. [\[Crossref\]](#)
21. Müller UJ, Sturm V, Voges J, et al. Nucleus accumbens deep brain stimulation for alcohol addiction - safety and clinical long-term results of a pilot trial. *Pharmacopsychiatry* 2016; 49: 170-173. [\[Crossref\]](#)
22. Li MCH, Cook MJ. Deep brain stimulation for drug-resistant epilepsy. *Epilepsia* 2018; 59: 273-290. [\[Crossref\]](#)
23. Shivacharan RS, Rolle CE, Barbosa DAN, et al. Pilot study of responsive nucleus accumbens deep brain stimulation for loss-of-control eating. *Nat Med* 2022; 28: 1791-1796. [\[Crossref\]](#)
24. Davidson B, Giacobbe P, George TP, et al. Deep brain stimulation of the nucleus accumbens in the treatment of severe alcohol use disorder: a phase I pilot trial. *Mol Psychiatry* 2022; 27: 3992-4000. [\[Crossref\]](#)
25. Bach P, Luderer M, Müller UJ, et al. Deep brain stimulation of the nucleus accumbens in treatment-resistant alcohol use disorder: a double-blind randomized controlled multi-center trial. *Transl Psychiatry* 2023; 13: 49. [\[Crossref\]](#)
26. Rezai AR, Mahoney JJ, Ranjan M, et al. Safety and feasibility clinical trial of nucleus accumbens deep brain stimulation for treatment-refractory opioid use disorder. *J Neurosurg* 2023; 140: 231-239. [\[Crossref\]](#)
27. Neto LL, Oliveira E, Correia F, Ferreira AG. The human nucleus accumbens: where is it? A stereotactic, anatomical and magnetic resonance imaging study. *Neuromodulation* 2008; 11: 13-22. [\[Crossref\]](#)
28. Lucas-Neto L, Neto D, Oliveira E, et al. Three dimensional anatomy of the human nucleus accumbens. *Acta Neurochir (Wien)* 2013; 155: 2389-2398. [\[Crossref\]](#)
29. Salgado S, Kaplitt MG. The nucleus accumbens: a comprehensive review. *Stereotact Funct Neurosurg* 2015; 93: 75-93. [\[Crossref\]](#)

30. Yagmurlu K, Vlasak AL, Rhoton AL. Three-dimensional topographic fiber tract anatomy of the cerebrum. *Neurosurgery* 2015; 11(Suppl 2): 274-305; discussion 305. [\[Crossref\]](#)
31. Fernández-Miranda JC, Rhoton AL, 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: 989-1026; discussion 1026-8. [\[Crossref\]](#)
32. Baydin SS, Barut O, Kucukyuruk B, Hasimoglu O, Tanrioer N. Anatomical segmentation and connectivity of the uncinate fasciculus. *Turk Neurosurg* 2025; 35: 652-660. [\[Crossref\]](#)
33. Barut O, Durmus YE, Cevik OM, Baydin SS, Cokluk C, Tanrioer N. Three-dimensional dissection of the bed nucleus of the stria terminalis and its white matter connections: a surgical and neuropsychiatric perspective. *Turk Neurosurg* 2025; 35: 791-800. [\[Crossref\]](#)
34. Erkan B, Hergünel B, Barut O, et al. Ventral amygdalofugal pathway as an integrated surgically important network: microsurgical anatomy and segmentation based on fiber dissection. *J Neurosurg* 2024; 141: 540-554. [\[Crossref\]](#)
35. Mavridis I, Boviatsis E, Anagnostopoulou S. Anatomy of the human nucleus accumbens: a combined morphometric study. *Surg Radiol Anat* 2011; 33: 405-414. [\[Crossref\]](#)
36. Mavridis I, Boviatsis E, Anagnostopoulou S. Stereotactic anatomy of the human nucleus accumbens: from applied mathematics to microsurgical accuracy. *Surg Radiol Anat* 2011; 33: 583-594. [\[Crossref\]](#)
37. Mavridis IN. Stereotactic neurosurgical anatomy of the nucleus accumbens: four-year outcomes. *Surg Radiol Anat* 2013; 35: 637-638. [\[Crossref\]](#)
38. Rhoton AL. The cerebrum. *Anatomy. Neurosurgery* 2007; 61: 37-118; discussion 118-9. [\[Crossref\]](#)