



Singulum Demeti Diseksiyon Prensipleri

Dissection Principles of Cingulum Bundle

Hüseyin BİÇEROĞLU

Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye

Yazışma adresi: Hüseyin BİÇEROĞLU ✉ huseyin.biceroglu@gmail.com

ÖZ

Limbik sistemin ana bölümlerinden biri olan Singulum Demeti korpus kallosumu kuşak veya kemer gibi çevreleyen bir yapıdır. Uzun bir bağlantı demeti olmasına rağmen sahip olduğu liflerin demete katılıp ayrıldıkça sürekli olarak bileşimi değişen Singulum demeti subkortikal çekirdekleri singulat girusa aynı zamanda frontal, parietal ve medial temporal lobları birbirine bağlar. Çok önemli ve kompleks bağlantıları nedeniyle duyu, duyu fonksiyonlar ve eylem arasındaki nöral bir arayüz olarak belirlemekte ve beyin medial yüzeyinde singulat sulkus boyunca rostrokaudal olarak uzanarak psikocerrahi prosedürlerin doğal bir hedefi olmaktadır. Hiç kuşku yok ki Singulum Demeti gibi kompleks bir anatomik yapıyı anlamak birçok hastalığın patogenezinde ve sağaltımında yeni ufuklar açacaktır. Bu çalışmada Singulum Demetinin Diseksiyonu sırasında dikkat edilmesi gereken prensipler ak madde anatomisi ve bağlantı sistematığının fonksiyonel özellikleri özetlenmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Singulum, Ak madde, Diseksiyon, Anatomi

ABSTRACT

The cingulum bundle, one of the main parts of the limbic system, is a structure that surrounds the corpus callosum like a belt or arch. Although it is a long bundle of connections, the cingulum bundle, which constantly changes in composition as its fibers join and leave the bundle, connects the subcortical nuclei to the cingulate gyrus as well as the frontal, parietal and medial temporal lobes. Due to its crucial and complex connections, it appears as a neural interface between emotion, sensory functions and action and is a natural target for psychosurgical procedures, extending rostrocaudally along the cingulate sulcus on the medial surface of the brain. There is no doubt that understanding such a complex anatomical structure as the bundle of cingulum will open new horizons in the pathogenesis and treatment of many diseases. In this study, the principles to be considered during dissection of the bundle of the cingulum are summarized along with the anatomy of the white matter and the functional properties of the connection system.

KEYWORDS: Cingulum, White Matter, Dissection, Anatomy

■ GİRİŞ

Uzun bir bağlantı demeti olmasına rağmen sahip olduğu liflerin demete katılıp ayrıldıkça sürekli olarak bileşimi değişen Singulum demeti subkortikal çekirdekleri singulat girusa aynı zamanda frontal, parietal ve medial temporal lobları birbirine bağlar (5,6,8).

Singulum Demetinde meydana gelen arazlarda yürütücü işlev, duyu, ağrı (dorsal singulum) ve epizodik bellekte (parahipo-

kampal singulum) çeşitli etkilenmeler gösterilmiştir. Özellikle şizofreni, depresyon, posttravmatik stres bozukluğu, obsesif kompulsif bozukluk, otizm spektrum bozukluğu gibi psikiyatrik rahatsızlıklarda, hafif bilişsel bozukluklar ve Alzheimer hastalığı gibi nörolojik bazı durumlarda singulum anormallikleri rapor edilmiştir (7,9,10,12).

Tüm serebral loblarda sonlanan aynı zamanda subkortikal çekirdekleri singulat girusa bağlayan uzun bir bağlantı sistemat-

ği olması sebebiyle limbik sistemin ana fasikülü olmaktan çok öte fonksiyonlara sahip olması gerektiği görüşü hâkimdir (2-4).

Fasikülün gövdesi singulat girus içinde daha az etkilenirken, sonlanmalarının üç boyutlu düzenlenmesinin filogenez sırasında serebral lobların genişlemesi ve insanlarda daha büyük giruslaşma ile evrimleştiğini belirtmek gerekir (2-4). Evrimsel değişiklikler farklı uzunluklarda liflerin gelişimini zorunlu kılmıştır. Bazı gruplar ana fasikül içinde bireyselleştirilebilir ve sistematikleştirme çabası olarak alt bileşenler olarak önerilebilir. Şimdiye kadar önerilen alt bölümler kesinlikle kapsamlı değildir, ancak tam olarak araştırılmamış işlevsel olarak heterojen bir multilobar ağır aşırı basitleştirilmesidir (9,11,14,15).

Singulum görünürdeki sürekliliğine rağmen, lifler demete katıldıkça ve demetten ayrıldıkça bileşim sürekli olarak değişir çok katmanlı bir yapı olarak duyuşal verilere dayalı eylemleri seçme sürecini optimize etmek için ödül bilgilerinin kullanımında görev aldığı düşünülmektedir (15).

İlk olarak 1809'da yaptığı çalışma ile Reil tarafından ortaya konulmuştur geçmişte büyük ve gizemli bir bilinmez bölge olarak adlandırılan 'terra incognita' olarak adlandırılmıştır (1,2,11,13).

Tarih boyunca birçok araştırmacı tarafından alt gruplara ayrılarak değerlendirilmiştir. Beyindeki en belirgin lif yollarından biri olan Singulum korpus kallozumun üst yüzü ve singulat girus alt yüzü arasında uzanan 5-7 mm çapında bir bağlantı sistemiğidir (8,11,14).

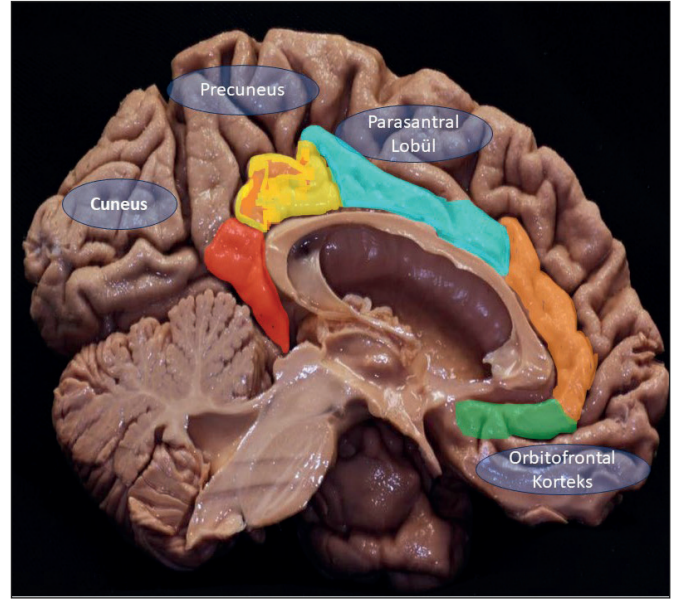
Yürütme işlevi, karar verme ve duygu işleme gibi temel süreçlerde yer alan bir yay şeklinde rostral subkallosal areadan korpus kallozumun süperior yüzüne uzanan bu demet dört ayrı bölgeye ayrılan singulat korteksin altında yer alır.

Singulat Korteks en basit olarak daha rostral Anterior Singulat Korteks (ACC) ve daha kaudal Posterior Singulat Korteks (PCC) olarak iki alt gruba ayrılabilir de yüksek düzeyde dopamin içeren beyin sapına projekte olan ve ön planda emosyonel ve otonomik regülasyonda rol aldığı düşünülen Anterior Singulat Korteks (ACC), spinal korda projekte olan ve emosyonel işleme, viseral kontrol rollerini üstlenen rostral ve kaudal singulat motor alanlarıyla ilişkili Orta Singulat Korteks (MCC), ön planda amigdala ile ilişkilendirilen kognitif fonksiyonlar ile ilişkili olan, uzaysal ve lokasyon ile bilgiyi işlemek için daha fazla özelleşen Posterior Singulat Korteks (PCC) ve epizodik bellekten ve konsolidasyondan sorumlu olan Retrosplenial Singulat Korteks (RSC) olarak alt gruplardan oluşmaktadır (2-4,7,10) (Şekil 1).

Singulat motor alandaki (CMA) nöronların yanıt özellikleri, supplemter motor korteksteki (SMA) ile benzerdir, ancak SMA nöronları, CMA'lardaki nöronlardan daha erken ve daha fazla yanıt verir. Bu bulgular, SMA'nın hareketleri başlattığını, CMA'daki nöronların ise bunların yürütülmesine katkıda bulunduğunu göstermektedir (9,10,15).

■ SİNGULUM DEMETİNİN BAĞLANTILARI

Beyaz madde kavramımız hızla yeni bilgilerimizle evrimleşmekte ve Singulumu hareketsiz bir yapı olarak tasvir etme yönünde doğal bir eğilimimiz de artık değişmektedir. Singulat



Şekil 1: Yeşil renkli Pregenuel Anterior Singulat Korteks, turuncu renkli Dorsal Anterior Singulat Korteks, açık mavi renkli Orta Singulat Korteks, sarı renkli Posterior Singulat Korteks ve kırmızı renkli Rretrosplenial Singulat Korteks görülmektedir.

girusun içinde, farklı uzunluklardaki lifler singulumu oluşturur. En uzun lifler amigdala, uncus ve parahipokampal girustan kaynaklanır ve frontal lobdaki subgenual alana giderlerdir. Yolları üzerinde ise temporal, oksipital, parietal ve frontal lobları birbirine bağlayan ve onları singulat girusun çeşitli kısımlarıyla ilişkiye sokan çok sayıda bitişik bölgesel "U-şekilli" asosiyasyon lifleri ile birleşir.

Anterior Singulat Korteksin motivasyonel ve duyuşal işlemlerde oynadığı rol, bu bölgenin orbitofrontal korteks (OFC), bazal ganglionlar gibi ödül merkezleri ile yakın ilişki içerisinde olması ve ödülle ilgili çeşitli parametrelere yanıt veren orta beyin dopamin nöronları ile yakın ilişkisi, hem pozitif hem de negatif değerlendirmede rol oynayan bir çekirdek topluluğu olan amigdala ile olan bağlantısı, insula ile olan güçlü bağlantıları ile olması nedeniyle önemli bağlantılara sahiptir (5-10). Motivasyonel ve duyuşal girdiler ACC ve PCC arasındaki karşılıklı doğrudan bağlantılar nedeniyle hemen anterior posterior düzlemde hemen iletilirler.

Hem prefrontal kortekse gelen uyarıları, "sömürme" ve "keşfetme" davranış biçimleri arasında seçim yapılmasını sağlayan ve beynin geri kalanına yaygın noradrenerjik uyarımlar sağlayan bir beyin sapı çekirdeği olan locus coeruleus'a (LC) güçlü bağlantıları olan ACC hem de PCC; yönetici kontrol, çalışma belleği ve kural öğrenme ve ifade ile ilgili bir bölge olan ve sensorimotor haritalamalara ödülle ilgili bilgileri dahil etmede büyük bir rolü olan lateral prefrontal korteks (LPFC) ile karşılıklı olarak bağlantılıdır (15).

Primer ve supplemter motor korteks ve göz hareketlerini kontrol eden ana kortikal bölgeleri, frontal ve supplemter göz alanlarını içeren motor yapılarla güçlü karşılıklı bağlantılara sahip olan Orta Singulat Korteks davranışı en doğrudan

kontrol ettiği yol olarak görülen medulla spinalise doğrudan projeksiyonlar içerir (15).

Parietal korteks arasında dikkatin yönlendirilmesinde merkezi bir rol oynayan bağlantıların olduğu ve bu bağlantı sistematizasyonunun zedelenmesinde dikkati yönlendirmede seçici bir eksiklik olan ihmale ve ihmal sendromu ortaya çıktığı düşünülmektedir. ACC'nin dikkati kontrol etmede daha genel, uzamsal olmayan bir rol oynarken, PCC'nin dikkatin lokalizasyonuna katılabileceği, ödül mekanizması için önemli olduğu düşünülen limbik bölgelerle olan güçlü bağlantıların dikkat kontrolü ve bilgilerin dikkat dağılımını kontrol etmesinde etkin bir rol oynadığı için oldukça önemli olduğunu hatırlamak gerekir (11-15).

Singulat korteksin uzun süreli hafızayı oluşturan yapılarla bağlantısı da çok önemlidir. Özellikle uzun süreli hafızanın konsolidasyonu, motivasyon açısından önemli olayların uzun süreli hafızada kodlanması ve saklanması önem arz eden PCC hipokampus ve temporal lobun medial duvarı ile ACC ise duygusal uyarılarla ilgili bilgileri işleyen amigdala ile kuvvetli bağlantılara sahiptir (2-4,7).

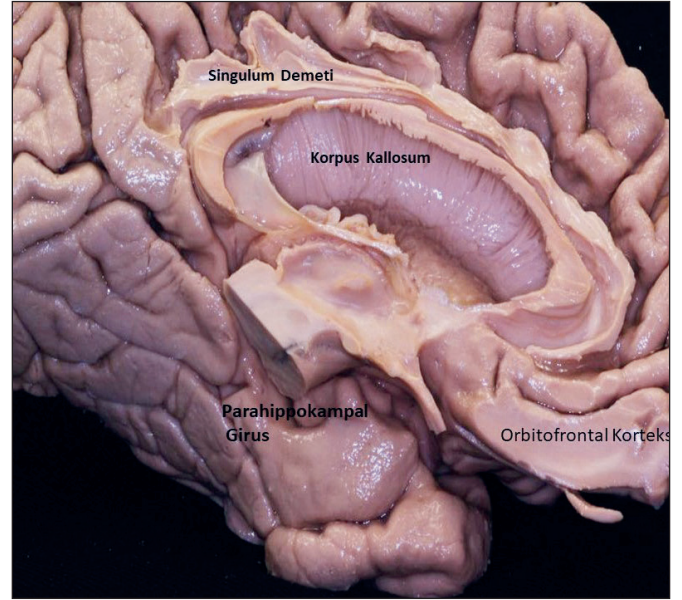
Singulat korteksin her bölgesi hem anatomik hem de işlevsel olarak serebral korteksin komşu bölgelerine güçlü bağlantılar içerir. Bu nedenle, bilişsel ve duygusal rolü olan pACC, duygusal ve motivasyonel bilgi işlemede etkin rol oynayan ve primer kortikal bölge olduğu düşünülen OFC'nin yakın komşuluğunda yer alır. Daha soyut bilişsel süreçlerde etkili olan dACC, kural belirlemeye, çalışma belleğine ve diğer soyut bilişsel süreçlere katıldığı düşünülen LPFC ve pre-SMA'nın komşuluğunda yer alır. Singulat korteksin motor çıktısı olan singulat motor alan, frontal lobun primer ve suplementer motor alanlarına bitişiktir. Son olarak, ödülleri uzaydaki konumlarla ilişkilendiren posterior singulat ve retrosplenial korteks, uzamsal temsilleri saklayan ve işleyen kortikal bölgeler olan parietal ve parahippokampal bölgelere komşudur.

■ DİSEKSİYON AŞAMALARI

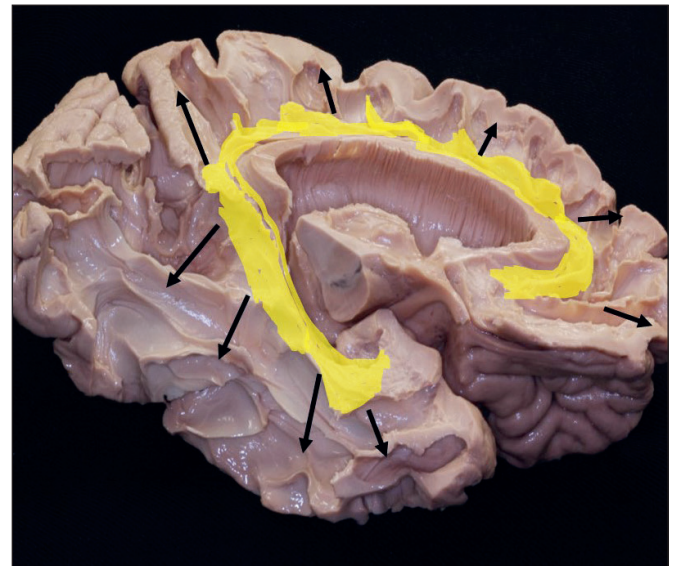
1. Singulat girusun korteksi çıkarılarak tipik olarak singulumun üst kolu ortaya çıkarılır (Şekil 2). Bu aşamada, supra-komissural hipokampus olarak da bilinen indusium griseum ve Medial ve Lateral Longitudinal Strialar Korpus Kallosum'un (CC) üst yüzeyinde açığa çıkar. Singulat Girusun CC'nin üzerinde uzandıktan sonra, genu etrafında kıvrıldığı ve orbitofrontal beyaz maddede yaygınlaştığı görülür.
2. Singulum istmusu seviyesinde üç önemli limbik yapının birleştiği görülür: limbik fornix krusu, dentat girus ve parahippokampal girus.
3. Parahippokampal girusun medial yönündeki korteksi çıkardıktan sonra alt kolu açığa çıkarınca entorhinal kortekste sonlandığı görülür. İntraventriküler yöndeki korteks parahippokampal girus - subikulum olarak bilinir (Şekil 3).
4. Hipokampus, parahippokampal girus boyunca serbest olarak diseke edilir (Şekil 4).
5. Diseksiyonun sonunda ventrikülün ependimi de diseke edilirse Tapetal Lifler ortaya konulur.

■ SİNGULAT KORTEKSİN DAVRANIŞTAKİ EYLEM SEÇİMİNDE ROLÜ

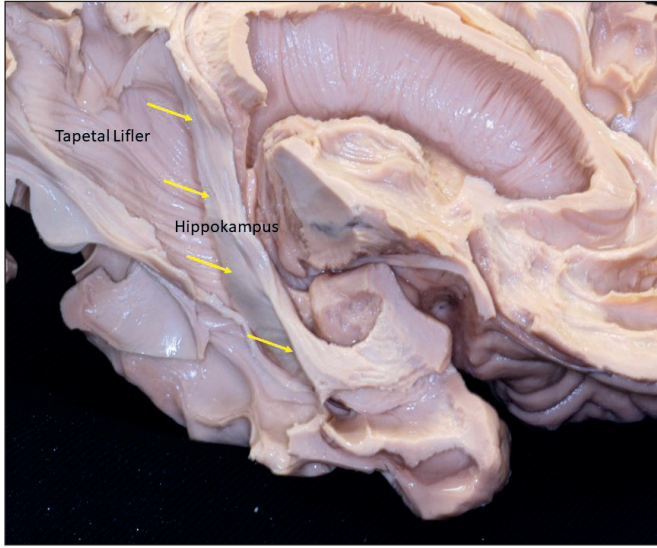
- Singulat korteksin tamamının çıkarıldığı singulotomilerin bazen istenmeyen semptomları hafifletse de, duyguların küntleşmesine ve duygularının donuklaşmasına da neden olduğu tespit edilmiştir (4,5,15).
- Duygusal olarak ilgili (tehditle ilgili) işitsel uyarılara yanıt olarak PCC aktivasyonunu ortaya çıkar bu yanıtlar, işitsel dikkatin bir sonucudur. Singulum Demetinin yalnızca du-



Şekil 2: Singulat girusun korteksi çıkarılarak tipik olarak singulumun üst kolu ortaya çıkarılır.



Şekil 3: Parahippokampal girusun medial yönündeki korteksi çıkardıktan sonra alt kolu açığa çıkarınca entorhinal kortekste sonlandığı görülür.



Şekil 4: Oklar Singulumun Hippokampal bağlantılarını göstermektedir.

yusal veya duygusal bir yapı olmadığını, bunun yerine motivasyonla ilgili uyarıların bilişsel işlenmesine ve eyleme eşlik ve rehberlik etmeye katkıda bulunduğunu gösterir (4-6,15).

- Hipnozda ACC'deki ağrıyla ilgili tepkilerin azaldığı, ancak somatosensoryel kortekste azalmadığı da görülmüştür bu ise sadece bir ödül sinyali üretmediğini, bunun yerine ödüller ve duygusal amaçlı eylemler arasındaki ilişkilerin ve hafızanın oluşumuna rehberlik ettiğini göstermektedir (4,5).
- Singulat kortekste motor sinyallerinin belirli bir eyleme özgü veya daha karmaşık eylemlerde rol oynadığı ve ACC'nin davranış dizilerinin sırasını veya zamanlamasını kontrol etmede görev aldığını düşündürür.

■ SONUÇ

Limbik sistemin ana bölümlerinden biri olan Singulum Demeti korpus kallosumu kuşak veya kemer gibi çevreleyen bir yapıdır. Çok önemli ve kompleks bağlantıları nedeniyle duygu, duygusal fonksiyonlar ve eylem arasındaki nöral bir arayüz olarak belirlemekte ve beyin medial yüzeyinde singulat sulkus boyunca rostrokaudal olarak uzanarak psikocerrahi prosedürlerin doğal bir hedefi olmaktadır. Hiç kuşku yok ki Singulum Demeti gibi kompleks bir anatomik yapıyı anlamak birçok hastalığın patogenezinde ve sağaltımında yeni ufuklar açacaktır.

■ KAYNAKLAR

1. Agrawal A, Kapfhammer JP, Kress A, Wichers H, Deep A, Feindel W, Sonntag VKH, Spetzler RF, Preul MC: Josef Klingler's models of white matter tracts: Influences on neuroanatomy, neurosurgery and neuroimaging. *Neurosurgery* 69:238-252; discussion 252-254
2. Bubb EJ, Metzler-Baddeley C, Aggleton JP: The cingulum bundle: Anatomy, function, and dysfunction. *Neurosci Biobehav Rev* 92:104-127, 2018
3. Bush G, Luu P, Posner MI: Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci* 4(6):215-222, 2000
4. Dalgleish T: The emotional brain. *Nat Rev Neurosci* 5(7):583-589, 2004
5. Güngör A, Baydin S, Middlebrooks EH, Tanriöver N, Isler C, Rhoton Jr AL: The white matter tracts of the cerebrum in ventricular surgery and hydrocephalus. *J Neurosurg* 126(3):945-971, 2017
6. Güngör A, Haşımoğlu O, Çırak M, Erkan B: Three-dimensional micro structure of the cingulum bundle: A fiber dissection study. *Bakırköy Tıp Dergisi* 15:96-102, 2019
7. Heilbronner SR, Haber SN: Frontal cortical and subcortical projections provide a basis for segmenting the cingulum bundle: Implications for neuroimaging and psychiatric disorders. *J Neurosci* 34:10041-10054, 2014
8. Maldonado IL, Parente de Matos V, Castro Cuesta TA, Herbet G, Destrieux C: The human cingulum: From the limbic tract to the connectionist paradigm. *Neuropsychologia* 144:107487, 2020
9. Paus T: Primate anterior cingulate cortex: Where motor control, drive and cognition interface. *Nat Rev Neurosci* 2(6):417-424, 2001
10. Shima K, Tanji J: Role for cingulate motor area cells in voluntary movement selection based on reward. *Science* 282(5392):1335-1338, 1998
11. Schmahmann JD, Pandya DN: Fiber pathways of the brain. New York: Oxford UP, 2006
12. Showers MJC: The cingulate gyrus: Additional motor area and cortical autonomic regulator. *J Comparative Neurol* 112(1): 231-301, 1959
13. Stilling B: Untersuchungen über den Bau des kleinen Gehirns des Menschen: Untersuchungen über den Bau des Zügelchens und seiner Hemisphären-Theile. *Kay*, 1864
14. Vogt BA, Laureys S: Posterior cingulate, precuneal and retrosplenial cortices: Cytology and components of the neural network correlates of consciousness. *Prog Brain Res* 150: 205-217, 2005
15. Yavaş G, Biçeroğlu H: Singulat korteks. İçinde: Tanriöver N, Küçükürük B (ed), *Nöroşirürjide Orta Hat Patolojilerinin Mikrocerrahi Anatomisi*, 1. baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri, 2023:33-39