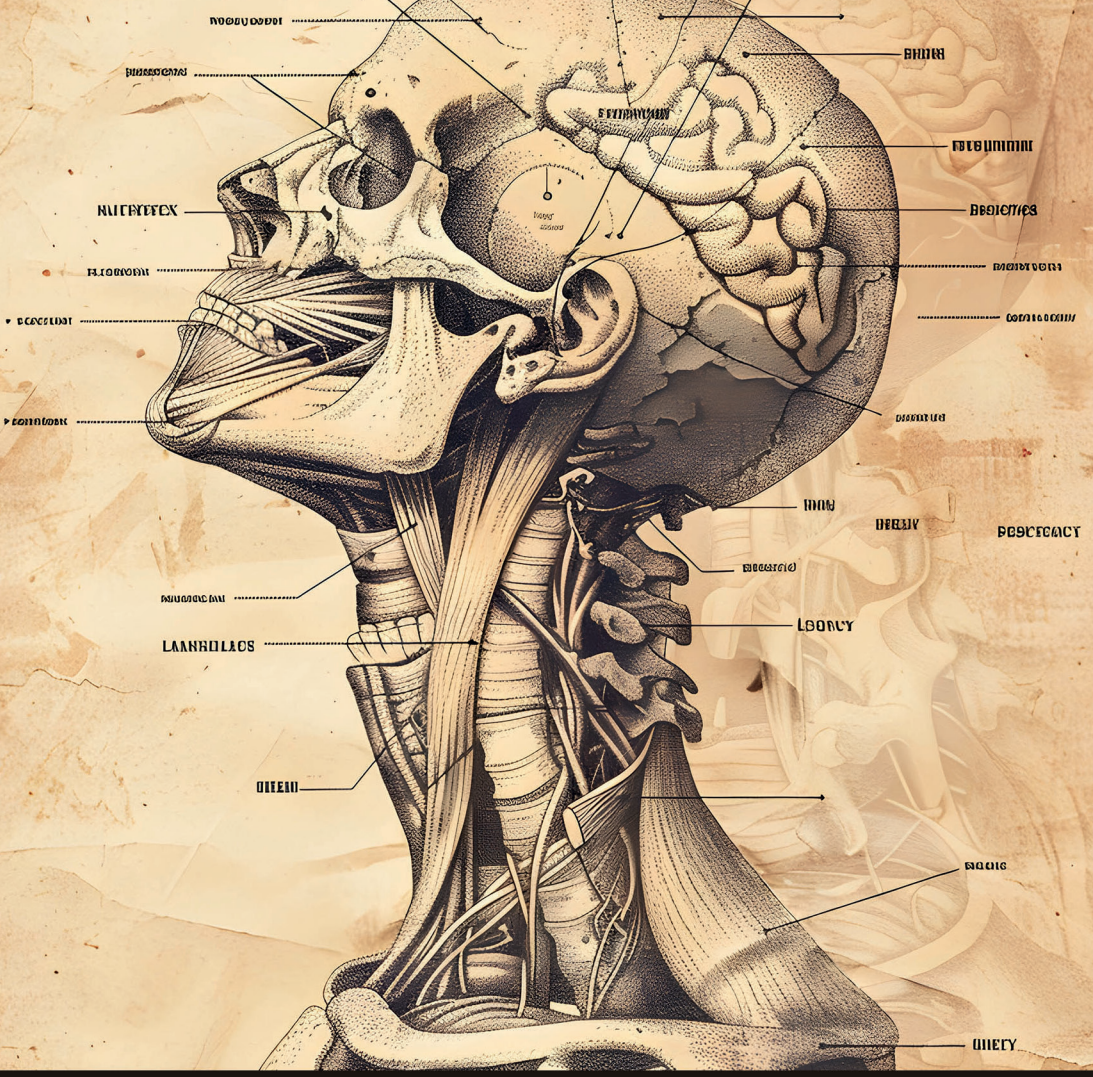




Aralık 2025

ANATOMİ

Alanında Uluslararası Derleme, Araştırma ve Çalışmalar

EDİTÖRLER

DOÇ. DR. ÖMER FARUK CİHAN

DOÇ. DR. SERDAR GÜNGÖR

SERÜVEN
YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Ankara 2025

ISBN • 978-625-8559-26-2

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing

Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

Telefon / Phone: 05437675765

web: www.seruvenyayinevi.com

e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume

Sertifika / Certificate No: 47083

Anatomi

Alanında Uluslararası Derleme,
Araştırma ve Çalışmalar

Editörler

DOÇ. DR. ÖMER FARUK CİHAN

DOÇ. DR. SERDAR GÜNGÖR

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

L-TEANİN VE ETKİLERİ

Yusuf SEÇGİN, Melike TATLI, Halil Şaban ERKARTAL, Şeyda SEÇGİN 1

BÖLÜM 2

RENAL ARTERİN ANATOMİK YAPISI VE CERRAHİ ÖNEMİ

Esin ERBEK9

BÖLÜM 3

KRANİAL SİNİRLERİN KLİNİK ANATOMİSİ

EBRU CEYLAN

Tufan ULÇAY19

BÖLÜM 4

MEDULLA SPINALIS ANATOMİSİ

Necati Emre Şahin33

BÖLÜM 5

PANCREAS VE KLİNİK ANATOMİSİ

Rukiye Sümeyye BAKICI47

BÖLÜM 6

FOTOGRAMETRİ VE ANATOMİ: ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME TEKNOLOJİLERİNİN MORFOLOJİK ANALİZE ENTEGRASYONU

Saliha DEMİR, Ruken ÖNCÜ, Tufan ULÇAY53

BÖLÜM 7

RUMİNANTLARDA KARIN ORGANLARININ YERLEŞİMİ VE ANATOMİSİ

MERYEM KARAN, HAMZA YURTTAŞ67

BÖLÜM 8

ANATOMİ DERSİ ÇOKTAN SEÇMELİ SORULARIN (MCQ) BİLİŞSEL DÜZEYLERİ

Esin ERBEK.....79

BÖLÜM 9

ALT EKSTREMİTE EKLEMLERİ VE PATOLOJİLERİ

Yusuf SEÇGİN, Melike TATLI,

Halil Şaban ERKARTAL, Masum NURMAMMADOV89

BÖLÜM 10

RENAL İSKEMİ/REPERFÜZYON HASARINDA ANTİOKSİDAN YAKLAŞIMLAR: DENEYSEL BİR MODEL OLARAK MELATONİN VE PİROLİDİN

Semih ÖZ, Hilmi ÖZDEN109



L-TEANİN VE ETKİLERİ

“ ”

Yusuf SEÇGİN¹

Melike TATLI²

Halil Şaban ERKARTAL³

Şeyda SEÇGİN⁴

1 Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, yusufsecgin@karabuk.edu.tr, Orcid: 0000-0002-0118-6711

2 İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, fztmeliketatli@gmail.com, Orcid: 0000-0001-8548-2421

3 İstanbul Okan Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, halilerkartal@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6558-3265

4 Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, seyda-secgin@karabuk.edu.tr, Orcid: 0000-0003-4448-5129

L-Teanin ve Etkileri

L-teanin, L-gama-glutamiletülamid veya N5-etil-L-glutamin olarak da bilinen teanin bir aminoasit türevidir. *Camellia sinensis* ismi verilen çay bitkisinden yapılan çayın hoş tadına katkıda bulunur. Ayrıca gevşeme, konsantrasyon ve öğrenmenin geliştirilmesi konuları ile de ilişkili olduğu belirtilmiştir (Vuong, Bowyer, & Roach, 2011). Protein kaynaklı olmayan bu aminoasit ilk kez Sakato tarafından 1940'ların sonlarında çay yapraklarında izole edilmiştir (Sakato, 1949). Çay yapraklarının çeşidine göre bulunma miktarı da değişiklik gösterebilmektedir. Aynı zamanda hasat zamanı da teanin miktarını etkileyen faktörlerden biridir. İlk hasat edilen çay yani yaz ayının başında hasat edilen çay, yazın sonuna doğru hasat edilen çaydan daha yüksek teanin içeriğine sahip olmaktadır (Yamamoto, Juneja, & Kim, 1997). Buna karşın aynı tür ve yetiştirme bölgesine sahip olan çay sınıfları arasında da teanin seviyeleri önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Hasat sonrası yapılan işleminin teanin üzerindeki etkisinin çok az olduğu ifade edilmiştir. Buna göre yeşil çay, oolong çayı ve siyah çay teanin açısından birbirleri ile kıyaslandığında seviyelerin benzer olduğu görülmüştür (Ekborg-Ott, Taylor, & Armstrong, 1997). Fermentasyon ve oksidasyon işlemlerine tabi tutulmayan beyaz çayın, diğer çay türlerine kıyasla daha yüksek L-teanin seviyelerine sahip olduğu da ifade edilmiştir (Alcázar et al., 2007; Zhao et al., 2011). Bazı çalışmalarda; fermentasyon işlemine tabi tutulmayan yeşil çayın, yarı fermente oolong çayı ve fermente siyah çay ile benzer L-teanin seviyelerine sahip olduğu bulunmuştur (Alcázar et al., 2007; Ying, Ho, Chen, & Wang, 2005). Farklı bir çalışmada çayın demleme süresinin, L-teanin konsantrasyonu açısından en önemli belirleyici unsur olduğu; az miktarda eklenen süt ve şekerin, konsantrasyonda önemli farklılıklara neden olmadığı belirtilmiştir (Keenan, Finnie, Jones, Rogers, & Priestley, 2011). Aşağıdaki tabloda farklı ülkelerden farklı tiplerde olan çaylara ait teanin miktarları verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çayların İçinde Bulunan Teanin Miktarı (Ekborg-Ott et al., 1997)

Özel Adı	Tipi	Menşei	Teanin Miktarı (100 g çayda bulunan teanin miktarı)
African Flower	Siyah	Kenya	1.30
Assam FOP	Siyah	Hindistan	1.05
Ceylon Broken	Siyah	Sri Lanka	1.32
Ceylon Pekoe	Siyah	Sri Lanka	2.20
Cherry Blend FOP	Siyah	Hindistan / Çin	2.04
Darjeeling FOP	Siyah	Hindistan	1.45
Earl Grey	Siyah	Çin	1.07
Formosa Oolong	Yarı-yeşil	Tayvan	0.60
Georgian FOP	Siyah	Gürcistan	1.16

Gunpowder	Yeşil	Çin	1.78
Jasmine FOP	Yarı-yeşil	Çin	1.72
Keemun FOP	Siyah	Çin	1.12
Lapsang Souchong	Siyah	Çin	0.82
Lemon Blend	Siyah	Hindistan / Sri Lanka	1.26
Rosen	Siyah	Çin	1.03
Sencha	Yeşil	Japonya	1.05
Yunnan	Siyah	Çin	2.38

Camellia sinensis bitkisi dışında teanin doğal olarak yenmeyen bir mantar türü olan *Xerocomus badius* içerisinde de bulunmaktadır (Deng, Ogita, & Ashihara, 2008; Türközü & Şanlıer, 2017). Teanin'in Uluslararası Saf ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC) tarafından belirlenen adlandırılması 2-amino-4-(etilkarbamoil) bütirik asit şeklindedir (Vuong et al., 2011). Moleküler formülü $C_7H_{14}N_2O_3$ şeklinde ifade edilen teanin'in moleküler kütlesi 174,2 g mol⁻¹'dir. Diğer doğal α -amino asitlere benzer şekilde, teanin asimetrik bir karbon içerir ve bu nedenle teorik olarak iki kiral izomere sahip olduğu ifade edilir. Bu kiral izomerler D- ve L-teanin şeklindedir. Teanin, bitkilerde L-glutamik asitten biyosentezlenir ve bu nedenle doğada L-enantiomer formunda bulunur (Mu, Zhang, & Jiang, 2015). 217-218 °C erime noktasına sahip olan teanin suda çözünürken; etanol, metanol, kloroform ve eterde çözünmez. Asidik koşullarda kararlı haldeyken alkali koşullarda kararsız haldedir. Hiç tat bırakmaz yada bir miktar umami tadı bırakabilir (Narukawa, Toda, Nakagita, Hayashi, & Misaka, 2014; Vuong et al., 2011).

Teanin biyosentezi, *camellia sinensis* bitkisinin filizlerinde, sürgünlerinde ve köklerinde; glutamik asit ve etilamin teanin sentetaz enzimi tarafından gerçekleştirilir. Yetişkin *camellia sinensis* bitkisinde biyosentez işlemi çoğunlukla katiledonlardan ziyade köklerle gerçekleşmektedir. Bu durumun sebebinin, teanin sentetaz geninin (TS1 ve TS2) kotiledonlarda bitkinin diğer kısımlarına kıyasla daha az transkripsiyon yapması olduğu düşünülmektedir (Deng et al., 2008; Vuong et al., 2011). Bu kısımlarda sentezlenene teanin, floem tarafından büyüyen bitki asmalarına aktarılır ve çoğunlukla büyümekte olan yapraklarda depolanmaktadır. Güneş ışığına ve sıcaklığa maruz kaldığında ise yapraklarda tekrar hidrolize olur. Reaksiyon sonucunda ortaya çıkan etilamin, kateşin sentezinde öncü madde olarak kullanılır. Sonuç olarak; düşük güneş ışığına sahip iklim koşullarında yetiştirilen çayda, kateşin konsantrasyon seviyesi düşüken teanin konsantrasyon seviyesi yüksektir (Türközü & Şanlıer, 2017; Vuong et al., 2011).

L-Theanine'in Nöropsikiyatrik, Bilişsel ve Sistemik Etkileri

L-theanine (L- γ -glutamiletilamid), ağırlıklı olarak çay bitkisinde (*Camellia sinensis*) bulunan, protein yapısında olmayan bir amino asittir. Bilişsel işlevleri, özellikle de dikkati artırıcı etkileri ile bilinmektedir. L-theanine'in etkilerini ortaya çıkaran birkaç farklı etki mekanizması bulunmaktadır. Bi-

rinci olarak, glutamat geri alım inhibitörü, ikinci olarak da hipokampusta, düşük afiniteli bir glutamat reseptör antagonisti olarak rekabetçi şekilde etki gösterir. Üçüncü olarak, GABA-A (gamma aminobütirik asit-A) reseptörleri üzerinde etkili olarak nöronlar için koruyucu bir etki sağlar. Kan-beyin bariyerini geçebilen bu bileşik, beyne doz bağımlı bir şekilde taşınmakta ve beyindeki çeşitli reseptörler üzerinde etkiler göstermektedir. Kimyasal yapısı L-glutamata benzediği için, glutamat reseptörlerinde onunla rekabet eder. Bu mekanizma sayesinde L-theanine'in merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileri ortaya çıkmaktadır (Hidese et al., 2017; Sohail et al., 2021; Türközü & Şanlıer, 2017).

Hayvan çalışmaları, L-theanine'in stres sonrası bozulan tanıma hafızasını geri kazandığını ve hipokampal uzun süreli potansiyasyon (LTP) üzerinde olumlu etkiler sağladığını ortaya koymuştur. Ayrıca, kronik psikososyal stres modellerinde, L-theanine'in depresyon benzeri davranışları ve bilişsel bozuklukları azalttığı, anksiyeteyi hafiflettiği ve N-metil-D-aspartat (NMDA) reseptörleri aracılığıyla antidepresan benzeri etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. L-theanine'in çeşitli psikiyatrik ve psikotropik etkileri de gösterilmiştir. Özellikle fareler üzerinde yapılan çalışmalarda, karşılıklı barındırma koşullarıyla oluşturulan kronik stres modelinde, gözlemlenen depresyon benzeri davranışların ve bilişsel bozuklukların, L-theanine uygulanan grupta belirgin şekilde baskılandığı rapor edilmiştir (Hidese et al., 2017; Nathan, Lu, Gray, & Oliver, 2006).

İnsan çalışmaları da bu bulguları desteklemektedir. L-theanine, sağlıklı bireylerde anksiyete düzeylerini azaltmakta ve akut stres sonrası sempatik sinir sistemi tepkilerini düşürmektedir. Elektroensefalogram (EEG) çalışmalarında, hem dinlenme halinde hem de dikkat gerektiren görevler sırasında, alfa dalgası (8–13 Hz) aktivitesini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu alfa dalgaları, prefrontal korteks işlevleriyle ilişkili olup, dikkat ve hafıza gibi bilişsel süreçleri desteklemektedir (Hidese et al., 2017).

Majör depresif bozukluğu olan bireylerde yapılan bir çalışmada, L-theanine uygulamasının güvenli olduğu bildirilmiştir. Bu uygulama, hipofiz ve hipokampusta dopamin ve serotonin düzeylerini artırarak, serum kortizol seviyelerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu mekanizma üzerinden, depresif semptomlar, anksiyete, stres, kaygı, uyku bozuklukları ve bilişsel işlev bozuklukları üzerinde çok sayıda olumlu etki sağladığı gösterilmiştir (Chen et al., 2023; Hidese et al., 2017; Williams et al., 2020).

L-theanine'in, şizofreni, şizoaffektif bozukluk ve dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu (DEHB) olan hastalarda antipsikotik tedaviyi destekleyici etkileri olduğu gösterilmiştir. Bu etkiler, özellikle dikkat eksikliği, disforik ruh hali ve anksiyete semptomlarında anlamlı azalmalar ile kendini göstermektedir. Ayrıca, sağlıklı bireylerde yapılan çalışmalarda, dikkat görevlerin-

deki hata oranlarının azaldığı ve dikkat ile hafıza gibi bilişsel işlevlerde belirgin gelişmeler kaydedildiği bildirilmiştir. Hafif bilişsel bozukluğu olan bireylerde de benzer şekilde bilişsel iyileşmeler rapor edilmiştir (Higashiyama, Htay, Ozeki, Juneja, & Kapoor, 2011; Moshfeghinia et al., 2024; Shamabadi et al., 2023).

L-theanine yalnızca sinir sistemi üzerinde değil, birçok sistem üzerinde de etkili olan biyoaktif bir bileşiktir. Antioksidan, antienflamatuar, nöroprotektif, antikanser, metabolik düzenleyici, kardiyovasküler koruyucu, karaciğer ve böbrek fonksiyonlarını destekleyici, bağışıklık sistemini düzenleyici ve obezite karşıtı etkiler dahil olmak üzere çok sayıda faydalı özelliğe sahiptir (Li et al., 2022).

Genel olarak, L-theanine'in hem sağlıklı bireylerde bağışıklık sistemini düzenleyici etkilere sahip olduğu, hem de çeşitli psikiyatrik bozukluklara sahip bireylerde bilişsel ve duygu durum düzenleyici etkiler gösterdiği bilinmektedir. Bu etkilerin, glutamat sistemine müdahalesi ve alfa dalgası aktivitesini artırması yoluyla ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Alcázar, A., Ballesteros, O., Jurado, J., Pablos, F., Martín, M., Vilches, J., & Navalón, A. (2007). Differentiation of green, white, black, Oolong, and Pu-erh teas according to their free amino acids content. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(15), 5960-5965.
- Chen, S., Kang, J., Zhu, H., Wang, K., Han, Z., Wang, L., . . . Tu, Y. (2023). L-theanine and immunity: a review. *Molecules*, 28(9), 3846.
- Deng, W.-W., Ogita, S., & Ashihara, H. (2008). Biosynthesis of theanine (γ -ethylamino-L-glutamic acid) in seedlings of *Camellia sinensis*. *Phytochemistry Letters*, 1(2), 115-119.
- Ekborg-Ott, K. H., Taylor, A., & Armstrong, D. W. (1997). Varietal differences in the total and enantiomeric composition of theanine in tea. *Journal of agricultural and food chemistry*, 45(2), 353-363.
- Hideese, S., Ota, M., Wakabayashi, C., Noda, T., Ozawa, H., Okubo, T., & Kunugi, H. (2017). Effects of chronic L-theanine administration in patients with major depressive disorder: an open-label study. *Acta neuropsychiatrica*, 29(2), 72-79.
- Higashiyama, A., Htay, H. H., Ozeki, M., Juneja, L. R., & Kapoor, M. P. (2011). Effects of L-theanine on attention and reaction time response. *Journal of functional foods*, 3(3), 171-178.
- Keenan, E. K., Finnie, M. D., Jones, P. S., Rogers, P. J., & Priestley, C. M. (2011). How much theanine in a cup of tea? Effects of tea type and method of preparation. *Food Chemistry*, 125(2), 588-594.
- Li, M.-Y., Liu, H.-Y., Wu, D.-T., Kanaan, A., Geng, F., Li, H.-B., . . . Gan, R.-Y. (2022). L-theanine: A unique functional amino acid in tea (*Camellia sinensis* L.) with multiple health benefits and food applications. *Frontiers in Nutrition*, 9, 853846.
- Moshfeghinia, R., Sanaei, E., Mostafavi, S., Assadian, K., Sanaei, A., & Ayano, G. (2024). The effects of L-theanine supplementation on the outcomes of patients with mental disorders: a systematic review. *BMC psychiatry*, 24(1), 886.
- Mu, W., Zhang, T., & Jiang, B. (2015). An overview of biological production of L-theanine. *Biotechnology advances*, 33(3-4), 335-342.
- Narukawa, M., Toda, Y., Nakagita, T., Hayashi, Y., & Misaka, T. (2014). L-Theanine elicits umami taste via the T1R1+ T1R3 umami taste receptor. *Amino Acids*, 46(6), 1583-1587.
- Nathan, P. J., Lu, K., Gray, M., & Oliver, C. (2006). The neuropharmacology of L-theanine (N-ethyl-L-glutamine) a possible neuroprotective and cognitive enhancing agent. *Journal of herbal pharmacotherapy*, 6(2), 21-30.
- Sakato, Y. (1949). The chemical constituents of tea; III. A new amide theanine. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 23, 262-267.
- Shamabadi, A., Fattollahzadeh-Noor, S., Fallahpour, B., A. Basti, F., Khodaei Arda-

- kani, M.-R., & Akhondzadeh, S. (2023). L-Theanine adjunct to risperidone in the treatment of chronic schizophrenia inpatients: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Psychopharmacology*, 240(12), 2631-2640.
- Sohail, A. A., Ortiz, F., Varghese, T., Fabara, S. P., Batth, A. S., Sandesara, D. P., . . . Patel, U. K. (2021). The cognitive-enhancing outcomes of caffeine and L-theanine: a systematic review. *Cureus*, 13(12).
- Türközü, D., & Şanlıer, N. (2017). L-theanine, unique amino acid of tea, and its metabolism, health effects, and safety. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(8), 1681-1687.
- Vuong, Q. V., Bowyer, M. C., & Roach, P. D. (2011). L-Theanine: properties, synthesis and isolation from tea. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(11), 1931-1939.
- Williams, J. L., Everett, J. M., D'Cunha, N. M., Sergi, D., Georgousopoulou, E. N., Keegan, R. J., . . . Naumovski, N. (2020). The effects of green tea amino acid L-theanine consumption on the ability to manage stress and anxiety levels: a systematic review. *Plant foods for human nutrition*, 75(1), 12-23.
- Yamamoto, T., Juneja, L. R., & Kim, M. (1997). *Chemistry and applications of green tea*: CRC press.
- Ying, Y., Ho, J. W., Chen, Z. Y., & Wang, J. (2005). Analysis of theanine in tea leaves by HPLC with fluorescence detection. *Journal of liquid chromatography & related technologies*, 28(5), 727-737.
- Zhao, M., Ma, Y., Wei, Z.-z., Yuan, W.-x., Li, Y.-l., Zhang, C.-h., . . . Zhou, H.-j. (2011). Determination and comparison of γ -aminobutyric acid (GABA) content in puerh and other types of Chinese tea. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(8), 3641-3648.



RENAL ARTERİN ANATOMİK YAPISI VE CERRAHİ ÖNEMİ

“ ”

Esin ERBEK¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yalova Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı, esinerbek89@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-0883-8532

Giriş

Renal arter, böbreklerin kanlanması sağlayan ana damar olup, hem normal anatomik yapısı hem de varyasyonları ile cerrahi ve klinik uygulamalarda büyük öneme sahiptir. Son yıllarda böbrek transplantasyonu, canlı verici nefrektomisi ve endovasküler girişimlerin artması, renal arterin detaylı anatomik bilgisinin gerekliliğini daha da artırmıştır (Satyapal et al., 2001). Böbrek nakli, cerrahi teknikler ve ameliyat sonrası immünsüpresyon tedavisindeki gelişmeler sayesinde, günümüzde son dönem böbrek yetmezliğinin en kesin tedavi seçeneğidir. Gelişmekte olan ülkelerde böbrek nakli için en önemli organ kaynağı canlı donörlerdir. Donörler, ameliyat öncesinde bilgisayarlı tomografi (BT) veya manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile böbrek damar anomalileri açısından değerlendirilir. Bu anomaliler içinde en sık görüleni, birden fazla renal arterin bulunmasıdır. Geçmişte nakil için kontrendikasyon sayılan bu durum, günümüzde yalnızca cerrahi olarak yönetilmesi gereken ek bir zorluk olarak kabul edilmektedir. Ancak bu damar varyasyonları, operasyon süresinin uzamasına ve tübüler nekroz, gecikmiş graft fonksiyonu veya rejeksiyon gibi greft kaybı risklerinin artmasına neden olabilmektedir (Usta, Soyer, Sarıcı, Pişkin, & Ünal, 2015). Literatürde popülasyonun %18–30'unda aksesuar veya multipl renal arter bulunduğu bildirilmiştir (Satyapal et al., 2001). Canlı donörlerde BT anjiyografiye dayalı çalışmalarda bu oran % 24–40 arasında değişmektedir (Khamanarong, Prachaney, Utravichien, Tong-Un, & Sriporaya, 2004; Urban et al., 2001).

1. Renal Arterin Çıkış Noktası, Seyri ve Dallanma Yapısı

1.1. Renal Arterin Orijini ve Seyri

Renal arterler, abdominal aortanın lateral yüzünden, genellikle L1-L2 intervertebral disk seviyesinden çıkarlar. Sağ renal arter, aortanın anterolateralinden, sol renal arter ise daha süperior ve lateral bir noktadan köken alır. Sağ renal arter, sol renal artere göre daha uzun olup, vena cava inferior (VCI) arkasından geçerek böbrek hilumuna ulaşır. Sol renal arter ise daha kısa ve yatay seyirli olup, sol renal venin arkasından geçer (Türkmen, Akın Saygın, Tülek, Çakmak, & Yağmur, Ö., 2021; Eldem & Peynircioğlu, 2018; Çıra et al., 2014).

Renal arterlerin uzunluğu genellikle 4-6 cm, çapı ise 5-6 mm civarındadır. Her iki arter de böbrek hilumuna ulaşmadan önce, perirenal yağ dokusu ve renal ven ile yakın komşuluk gösterir. Renal arterler, böbrek hilumunda segmental dallarına ayrılmadan önce, ekstrarenal seyirlerinde adrenal, üreterik ve kapsüler dallar verebilirler (Türkmen et al., 2021; Eldem & Peynircioğlu, 2018).

1.2. Dallanma Yapısı ve Mikrovasküler Anatomisi

Renal arter, hilumda genellikle beş segmental artere ayrılır: apikal, üst,

orta, alt ve posterior segmental arterler. Bu segmental arterler, böbrek paran-kimini fonksiyonel olarak bağımsız segmentlere ayırır. Segmental arterler, renal sinüs boyunca ilerleyerek lobar arterlere, ardından interlober, arkuat ve interlobüler arterlere dallanır. Son olarak, interlobüler arterlerden çıkan afferent arterioller, glomerülleri besler ve böbreğin filtrasyon fonksiyonunu sağlar (Eldem & Peynircioğlu, 2018; Çıra et al., 2014).

Mikrovasküler düzeyde, segmental arterlerin dallanma düzeni, böbrek cerrahisi ve parsiyel nefrektomi gibi işlemlerde segmental rezeksiyonun planlanmasında kritik öneme sahiptir. Segmental arterler arasında anastomoz bulunmadığı için, herhangi bir segmental arterin ligasyonu, ilgili segmentte iskemi ve infarkta yol açabilir (Cereb, 2022).

1.3. Embriyolojik Gelişim ve Anatomik Temel

Böbreklerin embriyolojik gelişimi sırasında, metanefrosun pelvik bölgeden lomber bölgeye yükselmesiyle birlikte, böbreği besleyen çok sayıda geçici arter oluşur. Bu arterlerin büyük kısmı regresyona uğrarken, kalıcı olanlar ana renal arteri oluşturur. Regresyona uğramayan geçici arterlerin kalıcılığı ise aksesuar veya polar arterlerin oluşumuna yol açar (Çıra et al., 2014; Döbesh & Nypouer, 2023).

2. Anatomik Varyasyonlar ve Sıklıkları

2.1. Varyasyon Tipleri

Renal arterin en sık görülen anatomik varyasyonları şunlardır:

- **Aksesuar (Ekstra) Renal Arterler:** Ana renal arter dışında, aortadan veya nadiren iliak arterlerden çıkan ve böbreğe ulaşan ek arterlerdir. Hilumdan girenler “aksesuar hilar arter”, kutuplardan girenler ise “polar arter” olarak adlandırılır (Çıra et al., 2014; Cereb, 2022; Doğan & Türker, 2003; Yılmaz, Aycan, Demirtaş, Mavili, & Ekinci, 2013).

- **Polar Arterler:** Üst veya alt böbrek kutbuna doğrudan giren, genellikle aortadan köken alan arterlerdir. Alt polar arterler, üreteropelvik bileşke önünden geçerek hidronefroza neden olabilir (Cereb, 2022; Url 1).

- **Erken Dallanma:** Ana renal arterin hilumdan önce, genellikle aortadan çıktıktan sonraki 1.5-2 cm içinde segmental dallarına ayrılmasıdır. Bu durum, cerrahi anastomoz için uygun segmentin kısa olmasına yol açar (Türkmen et al., 2021; Sampaio & Passos, 1992; Abuelnaur et al., 2020).

- **Aberan ve Süpernümerer Arterler:** Ana arterin dışında, farklı seviyelerden çıkan ve böbreğe ulaşan damarlar olup, bazen kapsüler veya adrenal arterlerle karışabilir (Cereb, 2022; Doğan & Türker, 2003).

2.2. Varyasyonların Sıklığı: Popülasyon Çalışmaları ve Meta-Analizler

Renal arter varyasyonlarının sıklığı, kullanılan görüntüleme yöntemi, popülasyonun etnik kökeni ve çalışmanın kapsamına göre değişiklik gösterebilir. Literatürde bildirilen oranlar:

- Tek ana renal arter: % 68-81(Sampaio & Passos,1992).
- Aksesuar renal arter: % 11-30 (Türkiye’de %20-29, uluslararası meta-analizlerde %19-30) (Yılmaz et al., 2023; Sampaio & Passos,1992; Url 2; Url 3).
- Polar arter: %6-16 (alt polar arterler daha sık) (Yılmaz et al., 2023; Url 3).
- Erken dallanma: %10-22 (Sampaio & Passos,1992; Macchi et al., 2017; Öztekin et al., 2021).
- Çoklu arter (≥ 2): %14-35, üç veya daha fazla arter ise %1-2’den az (Url 1; 17. Szczepanik et al., 2025).

Türkiye’de yapılan geniş serili çalışmalarda, 1.073 böbrek vericisinin %59,4’ünde herhangi bir vasküler varyasyon, %35,4’ünde multipl renal arter, %20,2’sinde aksesuar renal arter, %16,8’inde polar arter ve %21,4’ünde erken dallanma saptanmıştır (Sampaio & Passos,1992).

Bu oranlar, böbrek transplantasyonu ve cerrahi planlama açısından varyasyonların göz ardı edilemeyecek sıklıkta olduğunu göstermektedir.

2.3. Embriyolojik Temel ve Klinik Yansımalar

Renal arter varyasyonlarının embriyolojik temeli, böbreğin pelvikten lomber bölgeye yükselirken geçici arterlerin regresyonundaki farklılıklara dayanır. Persistan kalan arterler, erişkin dönemde aksesuar veya polar arter olarak izlenir. Bu varyasyonlar, cerrahi sırasında kanama, segmental iskemi, üreteropelvik bileşke darlığı ve transplantasyon sonrası komplikasyon riskini artırabilir (Cereb, 2022; Dobesh & Nypouer, 2023; Özkan et al., 2006).

3. Renal Arterin Cerrahi Önemi: Nefrektomi, Transplantasyon ve Endovasküler Girişimlerdeki Rolü

3.1. Nefrektomi Planlamasında Renal Arter Anatomisi

Canlı verici veya kadavra nefrektomisinde, renal arterin sayısı, çıkış yeri, uzunluğu ve varyasyonları cerrahi yaklaşımı belirler. Tek ana renal artere sahip böbreklerin çıkarılması teknik olarak daha kolay ve komplikasyon oranı daha düşüktür. Birden fazla arter varlığında ise, diseksiyon ve anastomoz teknikleri daha karmaşık hale gelir, kanama ve böbrek kaybı riski artar (Çıra et al., 2014; Url 3).

Sol böbrek, daha uzun ven nedeniyle genellikle tercih edilirken, sağ böb-

rekte kısa ven tromboz riskini artırır. Erken dallanma, cerrahi anastomoz için uygun segmentin belirlenmesini zorlaştırır. Bu nedenle, arterin aortadan çıkışından 1.5-2 cm distalden kesilmesi önerilir (Abuelnour et al., 2020; Url 3).

3.2. Böbrek Transplantasyonunda Vasküler Rekonstrüksiyon Teknikleri

Transplantasyon cerrahisinde, birden fazla renal arterin varlığı, vasküler rekonstrüksiyon gereksinimini artırır. Kullanılan başlıca teknikler:

- **Double Barrel (Pantaloön) Anastomoz:** İki arterin yan yana birleştirilerek tek bir anastomoz yapılması.
- **Y-Graft:** İki arterin Y şeklinde birleştirilerek ana iliak artere anastomoz edilmesi.
- **End-to-Side Anastomoz:** Küçük çaplı aksesuar arterin ana artere veya iliak artere yanlamasına anastomozu.
- **Aortik Patch ile Anastomoz:** Çoklu arterlerin aortik patch ile birlikte çıkarılması ve tek bir yama olarak iliak artere anastomozu (Url 1; Url 2).

Çoklu arterli greftlerde, özellikle alt polar arterlerin rekonstrüksiyonu, üreteral nekroz ve segmental iskemi riskini azaltmak için önemlidir. Ancak, çoklu anastomozlar, cerrahi süreyi uzatır ve sıcak iskemi süresini artırabilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, çoklu arterli greftlerin başarıyla transplant edilebildiğini, ancak komplikasyon oranlarının tek arterli greftlere göre bir miktar daha yüksek olduğunu göstermektedir (Çıra et al., 2014).

3.3. Endovasküler Girişimler ve Renal Arter Hastalıkları

Renal arter stenozu, renovasküler hipertansiyon ve iskemik nefropatinin başlıca nedenidir. En sık ateroskleroz (% 90) ve fibromusküler displazi ile ilişkilidir. Endovasküler tedavi seçenekleri arasında balon anjiyoplasti ve stentleme yer alır. Özellikle medikal tedaviye dirençli hipertansiyon, hızlı böbrek fonksiyon kaybı, bilateral stenoz veya tek fonksiyonel böbrekte ciddi stenoz varlığında endovasküler girişimler önerilir. Randomize kontrollü çalışmalar endovasküler tedavinin medikal tedaviye üstün olmadığını göstermiştir. Ancak, seçilmiş hasta gruplarında (flash pulmoner ödem, akut böbrek yetmezliği, dirençli hipertansiyon) revaskülarizasyonun faydalı olabileceği vurgulanmaktadır (Köse & Yıldırım, 2020; Hands & Thompson, 2015; Karayağız et al., 2021).

Stentleme, özellikle ostial darlıklarda balon anjiyoplastiye göre daha yüksek başarı ve uzun dönem açıklık oranlarına sahiptir (Köse & Yıldırım, 2020).

3.4. Açık Cerrahi Revaskülarizasyon ve Komplikasyonlar

Açık cerrahi revaskülarizasyon (aorto-renal bypass, endarterektomi),

günümüzde endovasküler tekniklerin yaygınlaşmasıyla azalmıştır. Ancak, kompleks anatomik varyasyonlar, eşlik eden aort patolojileri veya endovasküler girişim başarısızlığı durumunda cerrahi seçenekler gündeme gelir. Cerrahi sonrası en sık komplikasyonlar; erken renal disfonksiyon, greft oklüzyonu, tromboz ve rekürren stenozdur. Mortalite oranı % 4.7-8.3 arasında bildirilmiştir (Hands & Thompson, 2015; Leblebisatan, 2023).

4. Görüntüleme Yöntemleriyle Arterin Değerlendirilmesi

4.1. Dijital Subtraksiyon Anjiyografi (DSA)

DSA, renal vasküler yapının değerlendirilmesinde uzun yıllar altın standart olarak kabul edilmiştir. Yüksek uzaysal çözünürlük ve damar yapısının detaylı gösterimi avantajdır. Ancak, invaziv olması, nefrotoksik kontrast kullanımı ve komplikasyon riski nedeniyle günümüzde daha çok endovasküler girişim planlanan veya diğer yöntemlerle yeterli bilgi alınamayan olgularda tercih edilmektedir (Towne, 1978).

4.2. Çok Dedektörlü Bilgisayarlı Tomografi Anjiyografi (ÇDBT/MDCT)

ÇDBT anjiyografi, günümüzde böbrek verici adaylarının değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Non-invaziv, hızlı ve yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlar. Arteriyel, venöz ve geç fazlarda çoklu kesitler ve 3D rekonstrüksiyonlar ile arterlerin sayısı, çapı, çıkış yeri, erken dallanma ve aksesuar arterler net şekilde saptanabilir. ÇDBT'nin duyarlılığı ve özgüllüğü %97-100'e ulaşmaktadır (Sampaio & Passos, 1992; Abuelnour et al., 2020; Macchi et al., 2017; Öztekin et al., 2021; Mittal et al., 2001; Horta et al., 2019). ÇDBT ile elde edilen bulgular, intraoperatif bulgularla yüksek oranda uyumludur (Öztekin et al., 2021; Mittal et al., 2001).

4.3. Manyetik Rezonans Anjiyografi (MRA)

MRA, iyonizan radyasyon içermemesi ve gadolinyum bazlı kontrastların düşük nefrotoksisite riski nedeniyle özellikle böbrek fonksiyonu bozuk hastalarda tercih edilir. Duyarlılığı %76-100 arasında değişir. Küçük çaplı aksesuar arterlerin saptanmasında ÇDBT'ye göre biraz daha düşük performansa sahiptir. Kontrastsız MRA teknikleri de geliştirilmiştir, ancak hareket artefaktlarına duyarlıdır (Towne, 1978; Horta et al., 2019).

4.4. Doppler Ultrasonografi (USG)

Doppler USG, non-invaziv, ucuz ve kolay uygulanabilir bir yöntemdir. Özellikle renal arter stenozunun taranmasında kullanılır. Pik sistolik hız >200 cm/sn ve renal/aort oranı >3.5, %60-99'luk darlığı gösterir. Duyarlılığı %98, özgüllüğü %99'dur. Ancak, anatomik varyasyonların detaylı haritalanmasında sınırlıdır (Horta et al., 2019; Khamanarong et al., 2004).

4.5. Görüntüleme Protokolleri ve Raporlama

ÇDBT ve MRA ile yapılan değerlendirmelerde, arterlerin sayısı, çapı, çıkış yeri, erken dallanma, aksesuar arterlerin orijin ve giriş noktaları, venöz varyasyonlar ve toplayıcı sistem anomalileri standart raporlama formatında belirtilmelidir. Cerrahi planlama için 3D rekonstrüksiyonlar ve anahtar görüntüler arşivlenmelidir (Abuelnour et al., 2020; Horta et al., 2019; Urban et al., 2001).

5. Klinik Vaka Örnekleriyle Arterin Cerrahi Etkisi

5.1. Nefrektomi ve Transplantasyon Vaka Serileri

Bu vaka serilerinde, çoklu arterli greftlerde cerrahi sürenin uzadığı, anastomoz sayısının arttığı ve komplikasyon oranının tek arterli greftlere göre bir miktar daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ancak, deneyimli cerrahi ekip ve uygun rekonstrüksiyon teknikleri ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Çıra et al., 2014; Sampaio & Passos, 1992; Url 1).

5.2. Endovasküler Girişim ve Renal Arter Stenozu Vaka Örnekleri

PTRAS (perkütan transluminal renal arter anjiyoplasti ve stentleme) uygulanan olgularda, özellikle dirençli hipertansiyon ve böbrek fonksiyon bozukluğu olan hastalarda, kan basıncı kontrolü ve renal fonksiyonlarda iyileşme sağlanmıştır. Ancak, randomize çalışmalarda uzun dönem böbrek fonksiyonu ve mortalite üzerinde belirgin üstünlük gösterilememiştir. Komplikasyonlar arasında hematoma, restenoz ve nadiren böbrek kaybı bildirilmiştir (Köse & Yıldırım, 2020; Usta et al., 2001).

5.3. Görüntüleme ve Cerrahi Korelasyon

ÇDBT ve MRA ile elde edilen anatomik bulgular, intraoperatif bulgularla %97-100 oranında uyumludur. Ancak, küçük çaplı aksesuar arterler veya hilum dışı giriş yapan polar arterler nadiren atlanabilir. Bu nedenle, cerrahi planlamada görüntüleme bulgularının dikkatle değerlendirilmesi ve şüpheli durumlarda intraoperatif eksplorasyon önerilir (Url 4).

Sonuç ve Klinik Öneriler

Renal arterin anatomik yapısı ve varyasyonları, böbrek cerrahisi, transplantasyon ve endovasküler girişimlerde doğrudan cerrahi başarıyı ve komplikasyon oranlarını etkiler. Aksesuar ve polar arterlerin sıklığı göz önüne alındığında, her olguda detaylı preoperatif görüntüleme ve sistematik raporlama zorunludur. Cerrahi planlamada, arterin sayısı, çapı, çıkış yeri ve dallanma yapısı dikkate alınmalı; çoklu arterli greftlerde uygun rekonstrüksiyon teknikleri seçilmelidir. Endovasküler girişimlerde ise, arterin anatomik varyasyonları işlem başarısını ve komplikasyon riskini belirler. Sonuç olarak, renal arter anatomisinin detaylı bilgisi, multidisipliner ekiplerin ortak başarısı için vazgeçilmezdir.

Kaynakça

1. Satyapal, K. S., Haffjee, A. A., Singh, B., Ramsaroop, L., Robbs, J. V., & Kalideen, J. M. (2001). Additional renal arteries: incidence and morphometry. *Surgical and radiologic anatomy*: SRA, 23(1), 33–38.
2. Türkmen, B., Akın Saygın, D., Tülek, M. S., Çakmak, B., & Yağmur, Ö. (2021). Arteria renalis anatomik varyasyonları: Sistematik bir derleme. *Mevlana Medical Sciences*, 1(1), 19.
3. Eldem, F. G., & Peynircioğlu, B. (2018). Renal arter girişimleri. In S. Karaköse (Ed.), *Vasküler balonplasti ve stent uygulamaları* (pp. 17–26). Türkiye Klinikleri.
4. Çıra, K., Çeken, K., Durmaz, M.S., Demirtaş, H., Göya, C., & Hamidi C. (2014). Canlı vericilerde renal arterlerin digital subtrak anjiyografi ile değerlendirilmesi. *Selçuk Tıp Dergisi*, 30(4), 145–149.
5. Cereb, F. (2022). Periferik arter atlası: Arter patolojilerinin medikal tedavileri (renal arter). *Akademisyen Kitabevi*.
6. Dobesh, K., & Nypaver, T. J. (2023). Aortorenal bypass and renal artery reconstruction. In S. S. Hans, M. R. Weaver, & T. J. Nypaver (Eds.), *Primary and repeat arterial reconstructions*. Springer.
7. Ozkan, U., Oguzkurt, L., Tercan, F., Kizilkiliç, O., Koç, Z., & Koca, N. (2006). Renal artery origins and variations: Angiographic evaluation of 855 consecutive patients. *Diagnostic and Interventional Radiology*, 12(4), 183–186.
8. Doğan, A., & Türker, Y. (2003). Renal arter darlığı: Tanı ve tedavisi. *Anadolu Kardiyoloji Dergisi*, 3, 2–7.
9. Yılmaz, S., Aycan, K., Demirtaş, A., Mavili, E., & Ekinci, N. (2013). Arteria renalis'in orijin düzeyleri ve sayı varyasyonları. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 22(1), 18–23.
10. Url 1: Kenhub (n.d.). Renal artery: Anatomy, branches, supply. Retrieved from <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/renal-artery>
11. Sampaio, F. J., & Passos, M. A. (1992). Renal arteries: Anatomic study for surgical and radiological practice. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 14, 113–117.
12. Abuelnour, M. A., Faiz, Y. M., & Abubaker, E. T. (2020). A systematic review of the prevalence of anatomical variations of the renal artery. *Prensa Med Argent*, 106(6).
13. Url 2: Radiopaedia. (n.d.). Multiple renal arteries. Retrieved from <https://radiopaedia.org/articles/multiple-renal-arteries>
14. Url 3: Embryology UNSW. (n.d.). Renal system development. Retrieved from https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Renal_System_Development
15. Url 4: Radiopaedia. (n.d.). Renal artery. Retrieved from <https://radiopaedia.org/articles/renal-artery>
16. Macchi, V., Crestani, A., Porzionato, A., Sfriso, M. M., Morra, A., et al. (2017). Ana-

- tomical study of renal arterial vasculature and its potential impact on partial nephrectomy. *BJU international*, 120(1), 83-91.
17. Öztekin HC, Şeker M, Poyraz N, Özen KE, Erol S, Akın Saygın D. (2021). Arteria Renalis'in Multidedektör Bilgisayarlı Tomografi ile Morfometrik Analizi. *Mevlana Medical Science*, 1(1):7-11.
 18. Szczepanik, M., Staniak D., Sianos, J., Brzusek, M., Buczek, J., Daniluk, A., et al. (2025). Accessory renal arteries: Frequency of anatomical variations and clinical aspect. *European Journal of Anatomy*, 29(2), 277–286.
 19. Köse, N., & Yıldırım, T. (2020). Outcomes and efficacy of percutaneous transluminal renal artery angioplasty with stent in patients with atherosclerotic renal artery stenosis. *EJCM*, 8(3), 138–145.
 20. Hands, L., & Thompson, M. (2015). Surgical revascularization of kidneys. In *Vascular surgery* (pp. 313–324). Oxford University Press.
 21. Karayağız, A. H., Cenal, U., Ertürk, T., Özdemir, E., Polatkan, S. A. V., Yılmaz, G., et al. (2021). Renal arterial and venous system variations in 1,073 kidney donors in Turkey. *Istanbul Medical Journal*, 22(4), 257–260.
 22. Leblebisatan, Ş. (2023). Percentages and Gender Distribution of Anatomic Variations of Inferior Vena Cava, Renal Veins, and Posterior Lumbar Tributaries of the Left Renal Vein Left Renal Vein Drainage Variations. *Sakarya Tıp Dergisi*, 13(1), 1-8.
 23. Towne, J. B., & Bernhard, V. M. (1978). Revascularization of the ischemic kidney. *Archives of surgery* (Chicago, Ill.:1960), 113(2), 216–218.
 24. Mittal, T. K., Evans, C., Perkins, T., & Wood, A. M. (2001). Renal arteriography using gadolinium enhanced 3D MR angiography—clinical experience with the technique, its limitations and pitfalls. *The British journal of radiology*, 74(882), 495-502.
 25. Horta, S., Gianordoli, R., Verussa, M. H., Vento, B. A., FUKUMOTO, M., Yamauchi, F., ... & Viana, P. (2019). Computed tomography for living renal donors evaluation: the main checkpoints for an accurate report. *European Congress of Radiology-ECR 2019*.
 26. Khamanarong, K., Prachaney, P., Utraravichien, A., Tong-Un, T., & Sriporaya, K. (2004). Anatomy of renal arterial supply. *Clinical Anatomy: The Official Journal of the American Association of Clinical Anatomists and the British Association of Clinical Anatomists*, 17(4), 334-336.
 27. Urban, B. A., Ratner, L. E., & Fishman, E. K. (2001). Three-dimensional volume-rendered CT angiography of the renal arteries and veins: normal anatomy, variants, and clinical applications. *Radiographics*, 21(2), 373-386.
 28. Usta, S., Soyer, V., Sarıcı, B., Pişkin, T., & Ünal, B. (2015). Multiple renal arteries in patients with kidney transplantation: Initial experiences of the new kidney transplant center. *Firat Medical Journal*, 20(1), 25–28.



KRANİAL SİNİRLERİN KLİNİK ANATOMİSİ

“ ”

Ebru CEYLAN¹

Tufan ULCA²

1 Uzm. Fzt , Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Anatomi ABD, ORCIDID: 0000-0003-4915-672X

2 Doç. Dr. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi ABD, ORCID ID: 0000-0003-2203-3850

GİRİŞ

Kranial sinirler; baş-boyun bölgesi, toraks ve abdomen içerisindeki organların büyük bir kısmını innerve eder. Bu sinirler, beyinden çıkış sırasına göre rostralden kaudale doğru CN I-XII şeklinde romen rakamlarıyla numaralandırılır. Koku ve görme sinirleri cerebrum'dan çıkarken diğer kranial sinirler beyin sapından çıkmaktadır (Taner, Atasever, & Durgun, 2002). Bu sinirler, periferden uyarı getirebileceği gibi perifere uyarı da götürmektedir.

Kranial sinirler; motor, duyu ve parasempatik lifler içermektedir. Kranial sinirlerin fonksiyonundaki anormallikler, lezyonun beyin veya beyin sapının hangi seviyesinde olduğunun saptanmasında yardımcı olmaktadır (Musick & Alberico, 2021). Genellikle tek bir kranial sinir lezyonu, periferik sinir yaralanması bulguları verirken beyin ya da beyin sapındaki bir lezyon ise çoklu kranial sinir hasarına neden olabilmektedir. Spinal sinirler kranial sinirlere nazaran travmalara ve tuzak nöropatilere daha açık olmakla beraber, kranial sinirler de kafa iskeleti içerisindeki dar bölgelerden geçmeleri nedeniyle sıkışma sendromlarına maruz kalabilmektedir. Örneğin çocuklarda foramen magnum boyutunda yaşa bağlı değişiklikler hakkında kesin bir veri bulunmamakla birlikte, çalışmalar büyüklüğünün çevredeki kemik yapılarının kaynaşması sırasında değiştiğini göstermiştir. Bu kaynaşmanın erken gerçekleşmesine bağlı olarak da kranial sinirler kafatasını terk ederken sıkışma tabloları ortaya çıkabilmektedir (Yücel ve ark., 2025). Periferik sinirin sıkışması ilk aşamada küçük damarların hasar görmesine ve miyelin kılıfın bozulmasına yol açar (Uğuz, 2025). Eğer baskı hafif ve aralıklıysa semptomlar genellikle ağrı ve parestezi ile sınırlı kalır ve kalıcı bir nörolojik bulgu saptanmaz. Baskı uzun süreli ya da tekrarlayıcı hale gelirse, bu durum inflamasyon ve fibrozise neden olabilir (Madani & Doughty, 2020; Rempel & Diao, 2004)

Bu sıkışma tablolarının sinirler üzerindeki etkisi; sıkışma şiddeti ve süresi, travmanın şiddeti ile kompresyonun tipi gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Nöropatiler akut olarak hızla ortaya çıkabileceği gibi kronik bir seyir de izleyebilmektedir. (Öncü, 2024). Ayrıca bu durum ekstremitelerde motor ve duysal disfonksiyonlara neden olabilir (Sonne & Lopez-Ojeda, 2017). Kranial sinir testleri, travma, felç veya intrakranial patolojiye sahip olan hastalarda klinik tabloyu netleştirmek açısından önemlidir.

Nervus olfactorius (CN I)

Nervus olfactorius, koku duyusunu üst merkezlere iletir. Bu sinir, koku alma duyusunu sağlayan ve tat alma duyusunun lezzet ayırt etme yönüne katkıda bulunan özel visseral afferent liflerden oluşmaktadır (Sanders & Gillig, 2009). N. olfactorius'un afferentleri, regio olfactoria epiteli içerisinde bulunan bipolar ganglion hücrelerinin merkezi uzantılarından başlar. Koku duyusu ile ilgili nöronların ömrü 30-60 gündür ve erişkin insanda çoğalma özelliğine sahip tek nöron tipidir. Ayrıca bu duyu kortekse direkt ulaşmaktadır. Koku

duyusu ile ilgili liflerin limbik sistem ile olan bağlantısı; bu duyunun emosyonel fonksiyonlar üzerinde etkiye sahip olmasına; hypothalamus ve bazı retiküler nükleuslarla olan bağlantılarının ise otonomik fonksiyonlar üzerinde düzenleyici etkiye sahip olmasına neden olmaktadır.

Nervus olfactorius'un fonksiyonel değerlendirmesi, hastanın gözlerini kapatıp bir burun deliğini kapatmasıyla kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Kahve, sabun veya karanfil gibi tanıdık bir koku açık burun deliğine verilir ve hastadan maddeyi koklayıp tanımlaması istenir (Taylor, Mourad, Kerry, & Hutting, 2021). Bu işlem diğer burun deliğiyle tekrarlanır ve burun delikleri arasındaki farklar not edilir. Madde burun deliğinden 30 cm'den daha yakın olmalı ve hastanın yüzüne dokunmaktan veya maddenin verildiğini gösteren işitsel ipuçları vermekten kaçınılmalıdır. Hasta kokuyu tanımlamıyorsa farklı, ikinci bir koku denenir. Anosmia'da hasta kokulardan herhangi birini tanımlayamaz ya da iki kokuyu birbirinden ayırt edemez (Li & Lui, 2018).

Anosmia, genellikle gençlerde travmalara, yetişkinlerde ise viral enfeksiyonlara bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Özellikle otomobil kazalarında olfaktor sinirinin kopmasına yol açan darbeler, koku yollarının harabiyetine neden olan tümörler ve regio olfactoria'nın enfeksiyonları anosmia'ya neden olabilir. Ayrıca koku duyusu ile ilgili olan parahippokampal alan, uncus ve çevresinde bulunan yapıları etkileyen lezyonlar da koku halüsinasyonları ile sonuçlanabilmektedir. Bazı çalışmalarda koku kaybı depresyon gelişimiyle de ilişkilendirilmiştir (Li & Lui, 2018; Rombaux, Mouraux, Collet, Eloy, & Bertrand, 2009; Sanders & Gillig, 2009).

Nervus opticus (CN II)

Görme duyusu, retina'daki fotoreseptör hücreler tarafından algılanır ve optik sinir aracılığı ile üst merkezlere iletilir. Nervus opticus ve retina gelişimsel olarak diencephalon'un uzantısıdır (Taner ve ark., 2002). Retina'nın damarları olan a. ve v. centralis retinae, n. opticus içerisinden geçmektedir. Cranium içerisindeki tümörler, enfeksiyonlar ve kanamalar gibi kafa içi basıncın artmasına neden olan durumlarda, n.opticus'u saran spatium subarachnoideum'da bulunan BOS'un da basıncı artacağı için bu arterler baskı altında kalır ve oftalmoskop ile yapılan göz dibi muayenesinde, discus nervi optici'de ödem görülür. Klinikte bu duruma papilledema adı verilmektedir. Papilledema, malign hipertansiyonu olan hastalarda da ortaya çıkabilmektedir (Mollan, 2025).

Nervus opticus içerisindeki lifler retinotopik organizasyon gösterir ve canalis opticus'dan geçerek cranium boşluğuna girer. Optik sinirlerden birinin lezyonu durumunda, o taraftaki gözün üst merkezler ile bağlantısı kesileceği için o gözde körlük olur (Taner ve ark., 2002).

Retina'nın nasal kısmından gelen lifler çapraz yaparak chiasma opti-

cum'u oluştur. Bir taraftaki tractus opticus içerisinde görme alanının karşı yarımından gelen lifler bulunmaktadır. Optik traktuslardan biri zedelenirse her iki görme alanının karşı yarımında körlük ortaya çıkar. Buna homonymous hemianopsia adı verilir. Görme kaybının her iki gözde, görme alanlarının temporal veya nasal yarımalarında olmasına heteronymous hemianopsia denir. Hypophysis'in tmrl büyümeleri, chiasma opticum'un orta bölümüne baskı yapar ve bitemporal heteronymous hemianopsia'ya neden olur. Glandula pituitaria tümörleri nadiren chiasma opticum'un her iki yanına baskı yapacak şekilde büyür. Bu da binasal heteronymous hemianopsia'ya neden olmaktadır (Taner ve ark., 2002).

Retina'dan tractus opticus aracılığıyla corpus geniculatum laterale'ye gelen liflerin büyük bir kısmı radiatio optica'yı oluşturarak sulcus calcarinus'un üstünde ve altında kalan görme merkezi (Brodmann 17)'nde sonlanırlar. Sol taraftaki görme merkezi görme alanının sağ yarısını, sağ taraftaki görme merkezi görme alanının sol yarısını görmektedir. Aynı şekilde görme merkezinin st kısmı ise görme alanının alt kısmını görmektedir (Taner et al., 2002).

Unilateral bir damarın tıkanması veya kanaması durumunda radiatio optica'nın st veya alt demetlerinden birisi etkilenebilir, bu durumda lezyonun karşı tarafında dörtte birlik alanda görme kaybı quadrant anopsia'ya gelişebilmektedir. Ancak bazen santral görmede kayıp olmaz. Bunun nedeni primer görme merkezinin santral görme ile ilgili kısmının iki taraftaki arter tarafından beslenmesi olarak açıklanabilmektedir (Mraek, 2024).

Optik traktus aracılığı ile retina'dan corpus geniculatum laterale'ye gelen liflerin bir kısmı colliculus superior'a veya pretektal alana gitmektedir. Pretektal alana gidenler, pupilla ışık refleksi ile ilgilidir. Nervus opticus'un tek taraflı zedelenmelerinde afferent yolun lezyona uğraması nedeniyle o taraftaki pupilla'da direkt, karşı taraftaki pupilla'da konsensual pupilla ışık refleksi alınamaz. Bununla birlikte efferent yol sağlam kaldığı için lezyon tarafındaki pupilla'da consensual pupilla ışık refleksi sağlam kalır.

Nervus opticus, konjenital malformasyonlar , inflamatuvar, vasküler ve tmrl hastalıklar tarafından etkilenebilmektedir. Sinirin bütünlüğünü değerlendirmek için birden fazla test yapmak gerekmektedir. Testler arasında görme keskinliği, görme alanları, pupilla ışık refleksleri, akomodasyon refleksi ve oftalmoskopi değerlendirmesi yer almaktadır.

Pupilla ışık refleksi, el feneri testi kullanılarak değerlendirilmektedir. Loş ışıklı bir odada, hastanın göz bebeğine 1-3 saniye boyunca bir el feneri veya kalem feneri tutulur (Baughman, Weiss, & Golnik, 2012). Normal sonuç, ışık tutulan pupilla ve karşı taraf pupilla'da eşit daralma (konsensus yanıtı) olmasıdır. Nervus opticus'un chiasma opticum kısmındaki lezyon, konsensüs yanıtında daha fazla daralmaya neden olur, bu nedenle ışık lezyonlu göze tutulduğunda, göz genişliyorum ři gibi görünür. Bu duruma Marcus Gunn Fe-

nomeni adı verilmektedir (Smith & Czyz, 2022). Sifiliz hastalığının ileri evrelerinde görülen santral sinir sistemi tutulumunda veya mesencephalon'un tümöral, inflamatuvar, demiyelinizasyon ve vasküler hastalıklarında da pupilla ışık refleksi kaybolmaktadır.

Göze yaklaşan bir objenin görüntüsünün net kalmasını sağlayan harekete akomodasyon refleksi denir ve n.opticus bu refleksin afferent yolunu oluşturmaktadır. Akomodasyon refleksi, muayene eden kişinin işaret parmağının ucunu hastanın burnunun ucuna doğru yavaşça uzaktan getirmesi sırasında hastanın ona bakmaya devam etmesi istenerek değerlendirilmektedir. Test sırasında gözlerin birbirine yaklaşması ve pupilla'nın daralması gözlenmektedir (Motlagh & Geetha, 2022).

Nervus oculomotorius, n. trochlearis ve n. abducens (CN III, IV, VI)

Nervus oculomotorius, ekstrinsik göz kaslarının büyük bir kısmının motor inervasyonunu sağlamaktadır. Ayrıca ganglion ciliare aracılığı ile m. sphincter pupillae ve m. ciliaris'in parasempatik inervasyonunu yapmaktadır (Taner et al., 2002).

N. oculomotorius lezyonunda, somatomotor liflerin etkilenmesi nedeni ile ipsilateral m. rectus medialis, m. rectus inferior, m. obliquus inferior, m. rectus superior, m. levator palpebrae superior paralizisi görülür. Buna karşılık m. rectus lateralis ve m. obliquus superior'un hareketleri nedeni ile etkilenen gözde eksternal strabismus gelişir. Göz dışı ve aşağı bakar. Ayrıca gözde m. palpebra superior etkilenimine bağlı olarak da ptozis görülmektedir. Ayrıca parasempatik liflerin lezyonu nedeni ile aynı gözde direkt ve indirekt pupilla refleksi ile akomodasyon refleksleri kaybolur; mydriasis gelişir. Tip 2 diyabetes mellitus (T2DM), insülin üretiminin yetersizliği ya da insülinin etkisine karşı gelişen direnç sonucunda ortaya çıkan; karbonhidrat, yağ ve protein metabolizmasındaki bozulmaların yol açtığı hiperglisemi ile karakterize kronik bir metabolik hastalıktır (Yücel ve ark., 2025).

Diabetes mellitus'a bağlı iskemide pupil sparing oculomotor palsy tablosu oluşmaktadır. Bu tip paralizide n. oculomotorius'un parasempatik lifleri periferde seyrettiği için etkilenmez. Ancak n. oculomotorius'un a. communicans posterior, a. cerebri posterior veya a. cerebellaris superior anevrizmalarında veya tümör gibi baskıya bağlı gelişen lezyonlarında parasempatik lifler de etkilenmektedir (Erzurumlu, Şengül, & Ulupınar, 2021).

Nervus oculomotorius'un motor nükleusu oluşturan hücre grupları orta hatta yer aldığı için motor nükleusa ait lezyonunda bulgular bilateral olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak multipl skleroz gibi demiyelinizan hastalıklarda unilateral lezyon da görülebilmektedir. Aynı tarafta m. rectus medialis, m. rectus inferior ve m. obliquus inferior etkilenir. Sadece m. rectus superior'u inerve eden lifler motor nükleusun karşı tarafındaki hücre grubundan baş-

ladığı için bu kasta paralizi kontralateral görülmektedir (Erzurumlu et al., 2021).

Nervus oculomotorius colliculus superior seviyesinde crus cerebri'nin medialinden geçmektedir. Weber Sendromu'nda da n. oculomotorius'a ait lifler de zedelenir ve aynı taraf göz dışa ve aşağı bakar. Hastada horizontal diploopia ortaya çıkar. Ayrıca ipsilateral pitosis ve parasempatik liflerin etkilenimi nedeniyle de mydriasis görülür. Akomodasyon refleksi ve pupilla ışık refleksi kaybolur (Erzurumlu ve ark., 2021).

Benedict sendromu gibi mesencephalon'un tegmentum'unu etkileyen lezyonlarda ipsilateral n. oculomotorius paralizisi görülmektedir.

Nervus trochlearis, yalnız somatomotor lifler içermektedir. Musculus obliquus superior'u innerve eder ve izole lezyonu nadir görülmektedir. Lezyonunda etkilenen gözün aşağıya ve içe bakışı sınırlanarak göz ekstorsion durumunda kalır. Merdiven inmede güçlük çekerler ve diploopia görülür (Erzurumlu et al., 2021).

Nervus abducens ekstrinsik göz kaslarından m. rectus lateralis'i innerve eder ve sadece motor lif içerir. N. abducens ve nucleus nervi abducentis lezyonunda farklı bulgular ortaya çıkmaktadır. N.abducens lezyonunda ipsilateral m. rectus lateralis paralizi görülür ve hastadan lezyon tarafına bakması istendiğinde göz mediale kayar ve horizontal diploopia görülür. Middle alternating hemiplegia de aynı taraf n. abducens lezyonuna bağlı olarak horizontal diplopi ortaya çıkmaktadır (Erzurumlu ve ark., 2021).

Lezyon eğer nucleus nervi abducentis'de olursa lateral rektus kasının paralizisinin yanı sıra hastadan lezyon tarafına bakması istendiğinde karşı taraf gözde medial rektus kası da çalışmaz. Lezyon tarafına konjuge bakış bozulur. Lateral gaze paralysis gelişir. Her iki göz lezyon tarafının tersi yöne dönük durumda kalır (Erzurumlu ve ark., 2021).

Ekstrinsik göz kasları, iskelet kaslarını tutan patolojilerden etkilenir. Nöromusküler iletimin etkilendiği myastenia gravis hastalığında önce m.lelevator palpebra superior, ardından diğer ekstraoküler kaslar etkilenir. Fissura orbitalis superior ve sinüs cavernosus lezyonlarında 3 sinir birlikte etkilenebilmektedir (Erzurumlu et al., 2021).

Nervus oculomotorius, n.trochlearis ve n. abducens'in klinikte testi beraber yapılmaktadır. Hastanın 30 ila 40 cm önünde parmak ya da kalem H harfi şeklinde bir düzende dikey ve yatay hareket ettirilerek test edilir (Taylor et al., 2021). Hasta, başını dikkatlice sabit tutarak hedefi gözleriyle takip eder. Herhangi bir göz sapması, anormal baş duruşu veya nistagmus not edilir. Nervus oculomotorius'un felcinde, etkilenen göz, pitozis ile istirahat halindeyken aşağı ve laterale döner. Aşağı bakarken, göz hafifçe adduksiyonda ve dönmüş pozisyonudadır (Taylor et al., 2021).

Nervus trochlearis lezyonu olan hastalar genellikle başlarını sağlam tarafa doğru eğerler ve strabismus gözlenir. Baş eğme n. abducens lezyonunda da görülebilmektedir. Ancak hasta başını etkilenen göze doğru eğer. Hastalar ayrıca diplopiyi azaltmak için sürekli baş çevirme hareketi de yapabilir. Değerlendirmesinde göz abdüksiyonu azalmıştır ya da hiç görülmez (Khanam & Sood, 2020).

Nervus trigeminus (CN V)

N.trigeminus, kranial sinirlerin en kalınıdır ve baş ve boyna ait somatik duyu lifleri ve motor lifler içermektedir. İçerisindeki duyu lifleri yüzün büyük bir kısmı, saçlı derinin sutura lambdoidea'ya kadar olan kısmı, cavitas oris, cavitas nasalis, dişler, art. temporomandibularis, nasopharynx, auricula ve meatus acusticus eksternus'un bir bölümü ve dura mater cranialis'in büyük bir kısmından somatik duyu impulsu taşımaktadır. N. trigeminus'un dağıldığı sahaların birbirinden oldukça keskin sınırlar ile ayrılmış olması, baş bölgesindeki duyu kayıplarında etkilen sinirin teşhisi açısından çok önemlidir. Trigeminal neuralgia; n. trigeminus'un dağıldığı bölgelerde birden başlayan kısa süreli ve şiddetli ağrıya neden olan bir hastalıktır. Genellikle maksillar ve mandibular sinirin duyusunu aldığı bölgelerde görülür. İlaç tedavisine cevap vermeyen durumlarda ganglion trigeminale'ye müdahale edilmektedir (Erzurumlu et al., 2021; Taner et al., 2002; Taylor et al., 2021).

Trigeminal sinirin duyuusal kısımları, hastanın gözleri kapalıyken, yüzüne künt uçlu bir iğne ve ya bir pamuklu çubuk hafifçe dokundurularak değerlendirilmektedir. Hastadan yumuşak mı yoksa keskin mi bir his olduğunu belirtmesi istenmektedir. Yine bu sinirin fonksiyonunun değerlendirilmesi, kornea refleksinin test edilmesini de içermektedir. Kornea refleksinin afferent bölümünü n. trigeminus oluşturur (Spears, Mian, & Greer, 2022; Taylor et al., 2021).

Hasta başka tarafa bakarken, kornea refleksini test etmek için bir pamuklu çubuğu korneanın orta veya yan kısmına nazikçe dokundurularak test yapılır. Kornea hissi zayıf olan hasta, pamuklu çubuk korneaya değdiğinde onu hissetmeyecektir (Ogino & Tadi, 2023).

Nervus trigeminus'un motor fonksiyonu, hastanın dirence karşı ağzını açmasıyla test edilmektedir. Eğer güçsüzlük varsa, çene zayıflamış tarafa kayar. Ayrıca hastanın dişlerini sıkarken, m. masseter palpe edilir ve herhangi bir asimetri olup olmadığına bakılır (Ogino & Tadi, 2023). N. trigeminus'un alt motor nöron lezyonlarında güçsüzlük meydana gelir. Üst motor nöron lezyonlarından kaynaklanan paralizide ise bilateral inervasyon olduğundan güçsüzlük nadiren görülmektedir. Bilateral üst motor nöron lezyonlarında ise hiperaktif bir çene seğirmesi ve klonus görülmektedir (Ziccardi & Assael, 2001).

Nervus facialis (CN VII)

Nervus facialis; somatomotor, duyu ve parasempatik lifler içerir. Nucleus nervi facialis' den başlayan nöronların aksonları mimik kasları, m. buccinator, m. stapedius, m. stylohyoideus ve m. digastricus'un venter posterior'unu innerve etmektedir. Dolayısıyla bu tip alanlar için n. facialis'in innerve ettiği mimik kaslarının morfolojik özellikleri ve klinik anatomisi önem arzeder. Özellikle adli tıp ve plastik sanatlar gibi alanlarda fasiyal rekonstrüksiyon yöntemi sık başvurulmuş bir tekniktir (Öncü Ruken 2023). Ayrıca yapılan bu uygulamalar rekonstrüktif cerrahide ilgili bölgenin topografik anatomisinin de daha detaylı bilgisini vereceğinden nervus facialis yaralanmalarının da azalmasına katkı sağlayacaktır. Fasial sinir ile nucleus nervi facialis'in lezyonlarında görülen klinik bulgular farklı olmaktadır. Nervus facialis'in ödeme bağlı olarak canalis facialis içerisinde veya hemen çıkışında sıkışması Bell's palsy'e neden olur. Yüzün lezyon tarafında bulunan mimik kaslarında paralizisi görülür. Cornea'da duyu kaybı yoktur ancak bu refleksin efferent yolunu n.facialis yaptığı için kornea refleksi alınamaz. Yaralanmalar, ipsilateral üst ve alt yüzün kısmi veya tam paralizisine neden olabilmektedir. Bulgular arasında; gözlerin tam kapanmaması, hiperakuzi, ağız köşesinin sarkması, nasolabial kıvrımın düzleşmesi, kaşların düzleşmesi ve ön dilde tat alma duyusunun azalması yer almaktadır (Javed & Daly, 2023).

Korteksten nervus facialis'in nükleusuna gelen lifler etkilenirse kontralateral tarafta yüzün alt yarısında üst motor nöron tipi paralizisi görülür. Çünkü nucleus nervi facialis' in yüzün alt yarısındaki kasları inerve eden kısmına yalnız kontralateral korteksten lif gelmektedir (Javed & Daly, 2023).

Nervus facialis'in beyin sapından çıktığı yerde oluşan lezyonlarda; yüzün lezyon tarafında alt motor nöron tipi paralizisi, kornea refleksi kaybı, glandula submandibularis, glandula lacrimalis ve glandula sublingualis'e giden parasempatik liflerin harabiyetine bağlı olarak salivasyon bozuklukları, m. stapedius'a giden motor liflerin harabiyetine bağlı hiperakuzi ve duyu liflerinin harabiyetine bağlı olarak dilin yarısının üçte iki ön kısmında tat duyusu kaybı görülmektedir (Erzurumlu ve ark., 2021; Taner ve ark., 2002; Taylor et al., 2021).

Nervus facialis lezyonlarında aksonlar rejenere olurken; sinir içerisindeki presinaptik parasempatik lifler yanlış yönde rejenerasyon göstererek glandula submandibularis gibi salivasyon gösteren bezin ganglionuna giderlerse hasta yemek yerken lezyon tarafındaki gözde lakrimasyon gözlenir. Klinikte bu duruma timsah gözyaşı sendromu olarak adlandırılmaktadır (Erzurumlu ve ark., 2021; Taner ve ark., 2002; Taylor et al., 2021).

Nervus facialis'in fonksiyonu, asimetrik yüz hareketlerinin değerlendirilmesiyle test edilmektedir. Özellikle konuşma, göz kırpması ve gülümseme sırasında ya da tıbbi öykü alınırken gözlemlenebilmektedir. Hastadan

gülümsemesini, yanaklarını şişirmesini, kaşlarını kaldırmasını ve dişlerini göstermesini istenir. Ayrıca hastadan dirence karşı bu hareketleri yapması istenir. Yüzün her iki tarafı arasındaki asimetriye bakılır (Erzurumlu ve ark., 2021; Taner et al., 2002; Taylor ve ark., 2021).

Tat duyusunu değerlendirmek için hastadan dilini dışarı çıkarmasını ve gözlerini kapatması istenir. Ön dilin yan yüzeyine ve yan tarafına az miktarda tuz, kinin hidroklorür veya kafein şeritleri, tartarik asit veya şeker uygulanır ve hastadan maddeyi tanımlamasını istenir (Mastinu et al., 2022).

Nervus vestibulocochlearis (CN VIII)

Nervus vestibularis ve n. cochlearis olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Nervus vestibularis, iç kulakta bulunan vestibulum'dan denge ile ilgili duyu impulsları taşır. Nervus cochlearis ise cochlea'dan işitme ilgili duyu impulslarını taşır (Erzurumlu ve ark., 2021; Taner ve ark., 2002).

Vestibular neuritis ve akut labyrinthis gibi inflamatuvar hastalıklarda n. vestibularis veya semisirküler kanallar etkilenebilmektedir. Buna bağlı olarak da vertigo ve nistagmus ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca kafa travmalarından sonra utriculus ve sacculus'un macula'larındaki otolith adı verilen partiküllerin oynamasına bağlı olarak da vertigo gelişebilmektedir (Taylor ve ark., 2021)).

Nervus cochlearis veya nuclei cochlearis'in tek taraflı etkilenmesi halinde aynı taraf kulakta işitme kaybı olmaktadır. Tinnitus, n. cochlearis lezyonlarının erken döneminde sık olarak görülen kulakta çınlama, zil sesi, ısıklık gibi seslerin duyulması ile karakterize bir bulgudur. Nervus cochlearis' in parsiyel lezyonları ise belirli frekansların anlaşılmadığı kısmi işitme kaybına yol açabilmektedir. İşitme ile ilgili yollarda her iki taraftan gelen lifler çapraz yapabildiği gibi çapraz yapmadan da çıkan ve ipsilateral lateral lemniskusta da ilerleyen lifler vardır. Tek tarafta lateral lemniskus lezyonu aynı tarafta tam işitme kaybına neden olmaz; buna karşılık kontralateral yükselen lifleri sayısı fazla olduğu için karşı taraf kulakta fazla olmak üzere parsiyel sağırılık ortaya çıkar (Erzurumlu ve ark., 2021; Taner ve ark., 2002).

Corpus trapezoideum'un ortasında olan lezyonlarda iki tarafta eşit etkilendirme olmaktadır. İşitme testi, bir kulağı kapatırken diğer kulağı parmaklarla ovuşturarak ve ardından diğer kulak için tekrarlayarak yapılır. Bu, bir kulağı kapatırken diğer kulağa fısıldayarak ve karşı taraf için tekrarlayarak da yapılabilir (Taylor ve ark., 2021). Tepki veya işitmedeki herhangi bir asimetriye dikkat edilir. İşitme kaybindan şüpheleniliyorsa, Rinne ve Weber testleri kullanılarak daha ileri değerlendirme yapılmalıdır; Rinne ve Weber testleri, iletim tipi işitme kaybını sensörinöral işitme kaybindan ayırmaya yardımcı olmaktadır. Vestibüler fonksiyonu değerlendirmek için nistagmus testi ve baş itme testleri yapılmaktadır (Taylor ve ark., 2021).

Nervus glossopharyngeus, nervus vagus (CN IX, X)

Nervus glossopharyngeus; somatomotor, duyu ve parasempatik lifler içermektedir. Dilin üçte bir arka kısmı, yumuşak damak, pharynx ve tonsillalardan, tuba auditiva'nın mukozası ve cavitas tympani'den visseral duyu ve dilin arka üçte bir kısmından da tat duyusunu alır. Ayrıca m. stylopharyngeus'u inerve eder. İçerdiği parasempatik lifler ise parotis bezini inerve etmektedir (Taylor ve ark., 2021).

Nervus vagus da somatomotor, duyu ve parasempatik lifler içermektedir. Pharynx, larynx ve yumuşak damak mukozasından visseral duyu alır aynı zamanda epiglottis çevresinden de tat duyusunu alır. Ayrıca motor lifleri plexus pharyngeus'un yapısına katılarak pharynx, larynx ve yumuşak damak kaslarını inerve eder (Taylor et al., 2021).

Nervus vagus'un parasempatik lifleri, toraks içerisindeki organlar ile karın boşluğunda bulunan organlardan flexura coli sinistral'a kadar olan bölümü inerve etmektedir (Çalı, Özden, & Ceylan, 2024).

Nervus glossopharyngeus ve n. vagus' un lezyonları yakın komşulukları nedeni ile genellikle birlikte olmaktadır. Nervus glossopharyngeus hasarında öğürme refleksine ait afferent yol etkileneceği için bu refleks kaybolur. Yutkunma bozulur ve dilin üçte bir arka kısmında tat duyusu kaybolur. Glossopharyngeal nevralji kulağın arkasında veya ağızda genellikle yutma veya öksürükle başlayan ağrı şeklinde görülmektedir (Taner ve ark., 2002).

Tek taraflı n. vagus hasarı ses kısıklığı, disfaji, dispne, uvula'da normal tarafa doğru bükülmeye neden olur. Afferent duyunun azalması nedeni ile ipsilateral öksürük refleksi ve sinüs caroticus refleksi azalması görülür. Bilateral n. vagus lezyonunda ise asfiksi, oesophagus'da paralizisi, mide ağrısı, bulantı, taşikardi, dizatri ve disfaji görülür (Çalı ve ark., 2024).

Nervus glossopharyngeus ve n. vagus' un fonksiyonel testi aynı anda yapılmaktadır. Hastadan ağzını açmasını ve "Aaa" demesini istenir. Damağın simetrik olarak yükselip yükselmediğini ve uvula'nın orta hatta kalıp kalmadığını belirlenir. Zayıflık varsa, uvula damağın etkilenen tarafından uzaklaşmaktadır (Shahrokhi & Asuncion, 2020).

Öğürme refleksini değerlendirmek için, abeslang pharynx'in laterale hafifçe dokundurulur. Ipsilateral pharynx kasların kasılmasına direkt öğürme refleksi, karşı taraftaki kasların kasılmasına ise konsensual öğürme refleksi denir. Nervus glossopharyngeus' un tek taraflı hasarında o taraf pharynx'de öğürme refleksi kaybolmaktadır (Taner ve ark., 2002).

Nervus accessorius (CN XI)

Nervus accessorius, sadece motor lifler içermektedir. Kranial ve spinal olmak üzere iki kökten oluşur. Radix cranialis, nucleus ambiguus'un kranial

bölümünden, radix spinalis ise C1- C6 segmentlerinde bulunan nucleus nervi accessorii' den başlamaktadır (Snell, 2018).

Nervus accessorius lezyonları genellikle sinirin cranium'u terk ettiği bölgede veya boyunda travma veya cerrahi girişim komplikasyonu şeklinde ortaya çıkmaktadır. Musculus sternocleidomastoideus ve m.trapezius kaslarında atrofiye neden olur. Sinirin veya nükleusun hasarında baş lezyon tarafının karşı tarafına döndürülemez. Aynı zamanda aynı taraf m. trapezius paralizi skapulanın kanatlanmasına ve etkilenen omuzda düşmeye neden olabilmektedir (Snell, 2018).

Nervus accessorius'un boyun arka üçgenindeki yüzeysel seyri nedeniyle, futbol veya hokey gibi temas gerektiren sporlar sırasında travmaya maruz kalabilmektedir (Snell, 2018).

Ayrıca n. accessorius; lenf nodu biyopsileri boynun arka üçgenindeki tümör rezeksiyonu, karotis veya internal juguler ven ve estetik cerrahi operasyonları sırasında ortaya zedelenebilmektedir (AlShareef & Newton, 2018).

Nervus hypoglossus (CN XII)

Nervus hypoglossus, somatomotor bir sinirdir. Dil kaslarını inerve etmektedir. Arteria spinalis anterior'dan gelen dallarda tıkanma veya kanama, basis cranii kırıkları, hatalı boyun diseksiyonu veya boyun bölgesi travmaları, tümör ve demiyelinizan hastalıklar n. hypoglossus' a zarar verebilmektedir. Genellikle lezyonu unilateral olmaktadır (Snell, 2018; Taylor ve ark., 2021).

Nucleus nervi hypoglossi'nin büyük bir kısmı her iki taraf cerebral cortex'den lif alır. Sadece dili öne uzatan m. genioglossus kasını inerve eden bölümü kontralateral motor cortex'den lif alır. Lezyon supranuclear ise dil dışarı çıkarıldığında lezyonun karşı tarafına döner. Supranuclear lezyonlar sıklıkla felçlerden kaynaklanır, ancak psödobulber palsy veya amiyotrofik lateral sklerozdan da kaynaklanabilir. Nervus hypoglossus lezyonlarında dilin aynı taraf yarısında paralizi ve atrofi görülür. Hasta dilini çıkardığı zaman dil lezyon tarafına doğru kayar (Snell, 2018; Taylor ve ark., 2021).

Nervus hypoglossus C1 spinal siniriyle birlikte etkilenirse infrahyoid kasların da etkilenimine bağlı olarak yutma sırasında larynx sağlam tarafa doğru çekilir. Paralizi tek taraflı ise dil tamamen hareketsiz kalır. Tat ve dokunma duyuları etkilenmez ancak konuşma ve yutma bozulur. Obstrüktif uyku apnesi; m. genioglossus'un kas tonusunun azalması, dilin geri çekilmesine ve trachea'ya hava akışının engellenmesine neden olabilmektedir (Ratneswaran ve ark., 2021).

SONUÇ

Kranial sinirler, baş-boyun bölgesinden başlayarak gövde boyunca çeşitli motor, duyu ve otonomik işlevleri yöneten karmaşık yapılardır. Her bir sinir, kendine özgü çekirdekler, innervasyon alanları ve klinik bulgular ile nörolojik muayenenin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Bu sinirlerin işlevsel değerlendirilmesi, lezyonların lokalizasyonu ve ayırıcı tanısı açısından büyük önem taşımaktadır.

Klinikte tek bir kranial sinirin etkilenimi genellikle periferik bir patolojiye işaret ederken, birden fazla sinirin birlikte etkilenmesi, sıklıkla beyin sapı, fissura orbitalis superior, sinüs cavernosus gibi anatomik komşulukların dikkate alınmasını gerektiren daha kompleks lezyonlara işaret etmektedir. Bu sinirlerin ayrıntılı muayenesi, kafa içi basınç artışı, vasküler olaylar, tümörler, enfeksiyonlar ve nörodejeneratif hastalıkların tanısında çok önemli olmaktadır.

Sonuç olarak, kranial sinirlerin anatomik ve fonksiyonel bütünlüğünün anlaşılması; nörolojik değerlendirmelerin etkin yapılabilmesi, klinik tabloların doğru yorumlanması ve uygun tedavi yaklaşımlarının planlanması açısından hayati öneme sahiptir. Bu nedenle hem temel bilimler hem de klinik pratikte kranial sinirlerin sistematik ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- AlShareef, S., & Newton, B. W. (2018). Accessory Nerve Injury.
- Baughman, R. P., Weiss, K. L., & Golnik, K. C. (2012). Neuro-ophthalmic sarcoidosis. *Eye and brain*, 13-25.
- Çalı, A., Özden, A. V., & Ceylan, İ. (2024). Effects of a single session of noninvasive auricular vagus nerve stimulation on sports performance in elite athletes: an open-label randomized controlled trial. *Expert Review of Medical Devices*, 21(3), 231-237.
- Erzurumlu, R., Şengül, G., & Ulupınar, E. (2021). Nöroanatomi, Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri.
- Javed, K., & Daly, D. T. (2023). Neuroanatomy, lower motor neuron lesion. In *StatPearls [Internet]*: StatPearls Publishing.
- Khanam, S., & Sood, G. (2020). Trochlear nerve palsy.
- Li, X., & Lui, F. (2018). Anosmia.
- Mastinu, M., Pieniak, M., Wolf, A., Green, T., Hähner, A., Niv, M. Y., & Hummel, T. (2022). A Simple Taste Test for Clinical Assessment of Taste and Oral Somatosensory Function—The “Seven-iTT”. *Life*, 13(1), 59.
- Mollan, S. P. (2025). Papilledema. *Continuum: Lifelong Learning in Neurology*, 31(2), 436-462.
- Motlagh, M., & Geetha, R. (2022). Physiology, accommodation. In *StatPearls [Internet]*: StatPearls Publishing.
- Madani, S., & Doughty, C. (2020). Lower extremity entrapment neuropathies. *Best Practise & Research Clinical Rheumatology*, 34(3), 101565
- Mraček, J. (2024). *Neurosurgery*: Charles University in Prague, Karolinum Press.
- Musick, S., & Alberico, A. (2021). Neurologic assessment of the neurocritical care patient. *Frontiers in neurology*, 12, 588989.
- Ogino, M. H., & Tadi, P. (2023). Neuroanatomy, trigeminal reflexes. In *StatPearls [Internet]*: StatPearls Publishing.
- Öncü Ruken , U. T. (2023). Adli antropolojide cinsiyet tayinine morfolojik ve morfometrik yaklaşım In P. D. H. A. Prof. Dr. Engin Şahna, Prof. Dr. Zeliha Selamoğlu (Ed.), *Sağlık Bilimlerinde Uluslararası Teori, Araştırma ve Derlemeler*. Ankara: Serüven Yayınevi.
- Öncü Ruken, U. T. (2024). Üst extremitte tuzak nöropatileri. In D. Ö. Ü. T. A. Doç. Dr. Sadettin Demirel (Ed.), *Teori ve uygulamada sağlık bilimleri 2*. İzmir: Duvar Yayınları.
- Ratneswaran, D., Guni, A., Pengo, M. F., Al-Sherif, M., He, B., Cheng, M. C., . . . Schwarz, E. I. (2021). Electrical stimulation as a therapeutic approach in obstructive sleep apnea—a meta-analysis. *Sleep and breathing*, 25(1), 207-218.

- Rempel, D.M., & Diao, E. (2004). Enrapment neuropathies: pathophysiology and pathogenesis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 71-75
- Rombaux, P., Mouraux, A., Collet, S., Eloy, P., & Bertrand, B. (2009). Usefulness and feasibility of psychophysical and electrophysiological olfactory testing in the rhinology clinic. *Rhinology*, 47(1), 28.
- Sanders, R. D., & Gillig, P. M. (2009). Cranial nerve I: olfaction. *Psychiatry (Edgmont)*, 6(7), 30.
- Shahrokhi, M., & Asuncion, R. M. D. (2020). Neurologic exam.
- Smith, A. M., & Czyz, C. N. (2022). Neuroanatomy, cranial nerve 2 (optic). In *StatPearls [Internet]*: StatPearls publishing.
- Snell, R. S. (2018). *Snell's Clinical Anatomy*: Wolters Kluwer India Pvt Ltd.
- Sonne, J., & Lopez-Ojeda, W. (2017). Neuroanatomy, cranial nerve.
- Spears, W., Mian, A., & Greer, D. (2022). Brain death: a clinical overview. *Journal of intensive care*, 10(1), 16.
- Taner, D., Atasever, A., & Durgun, B. (2002). Fonksiyonel Nöroanatomi (3. baskı). *Ankara: Güneş Kitabevi*, 194-198.
- Taylor, A., Mourad, F., Kerry, R., & Hutting, N. (2021). A guide to cranial nerve testing for musculoskeletal clinicians. *Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 29(6), 376-390.
- Uğuz, E. (2025), Alt Ekstremité Tuzak Nöropatileri, Mehmet Selçuk (Ed.), Akademik Perspektiften Anatomi içinde (s. 103-121), Afyonkarahisar: Yaz Yayınları.
- Yücel, H. E., Ulcay, T., Görgülü, Ö., Öncü, R., Uğuz, E., & Dulkadiroğlu, E. (2025). A New Score for Metabolic Age in Type 2 Diabetes Mellitus: Physical Rating Score. *Journal of Clinical Medicine*, 14(9), 2868.
- Ziccardi, V. B., & Assael, L. A. (2001). Mechanisms of trigeminal nerve injuries. *Atlas of the Oral and Maxillofacial Surgery Clinics*, 9(2), 1-11.



MEDULLA SPINALIS ANATOMİSİ

“ ”

Necati Emre Şahin¹

¹ Doktor Öğretim Üyesi, Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, ORCID:
0000-0002-2061-7951

Medulla spinalis (omurilik), merkezi sinir sisteminin bir parçası olup beyin ile periferik sinir sistemi arasında iletim sağlar. Ayrıca, refleks faaliyetlerin merkezidir. **Canalis vertebralis** içinde yer alan omurilik, **foramen magnum** seviyesinde medulla oblongata'nın devamı olarak başlar ve aşağıya doğru aşağıya doğru ilerler. Genellikle silindir şeklinde bir görünüme sahiptir.

Embriyonal ve fetal dönemde medulla spinalis başlangıçta tüm vertebral kanalı doldurur. Ancak intrauterin gelişimin ilerleyen dönemlerinde columna vertebralis ve zarların daha hızlı büyümesi nedeniyle omurilik göreceli olarak kısa kalır. Bu nedenle erişkinde omurilik genellikle L1–L2 omurları arasındaki discus intervertebralis seviyesinde sonlanır. Alt ucu koni şeklinde daralır **conus medullaris** adını alır. Yenidoğanda bu seviye daha aşağıda, genellikle L3 vertebra düzeyindedir. Fetüste ise S2 vertebra seviyesine kadar uzanır. Erişkin bir bireyde omuriliğin uzunluğu ortalama 40–45 cm olup kadınlarda genellikle biraz daha kısadır.

Conus medullaris'in tepesinden itibaren pia mater'in ince bir uzantısı aşağıya doğru uzanır ve coccyx'in arka yüzüne tutunur. Bu yapıya **filum terminale** adı verilir. Filum terminale, subarachnoid boşluk içinde seyreden **pars pialis (filum terminale internum)** ve S2 seviyesinden sonra dura mater'le birlikte ilerleyen **pars duralis (filum terminale externum)** olmak üzere iki bölümden oluşur.

Medulla spinalis ve kemik yapının gelişimsel farklı büyüme hızları nedeniyle omuriliğin alt segmentlerinden çıkan spinal sinir kökleri, kendi foramen intervertebrale düzeylerine ulaşabilmek için aşağıya doğru uzanır. At kuyruğu görünümündeki bu uzun ön ve arka köklerin oluşturduğu yapı **cauda equina** olarak adlandırılır.

Medulla spinalis, vücudun farklı segmentlerinin artan sinirsel gereksinimlerine uyum sağlamak amacıyla belirli seviyelerde kalınlaşır. Bu kalınlaşmalar intumescentia cervicalis ve intumescentia lumbosacralis olarak adlandırılır ve ekstremitelerin innervasyonunun sağlandığı bölgelerdir.

Intumescentia cervicalis, üst ekstremitayı innerve eden spinal sinirlerin köken aldığı segmentlerin bulunduğu bölgede yer alan omurilik genişlemesidir. Segmental olarak C4–T1 seviyeleri arasında uzanır ve erişkin bireyde yaklaşık C3–T2 vertebra hizasına karşılık gelir. Bu bölgede omuriliğin çapı belirgin şekilde artmıştır. Bunun temel nedeni, üst ekstremitenin karmaşık ve ince motor beceriler gerektiren fonksiyonları için gerekli olan motor nöronların ve duyuşal ara nöronların yoğunluğudur. Intumescentia cervicalis'ten çıkan spinal sinirlerin ön dalları birleşerek **plexus brachialis**'i oluşturur.

Intumescentia lumbosacralis ise alt ekstremitayı innerve eden spinal sinirlerin çıktığı seviyede yer alan ikinci omurilik genişlemesidir. Segmental olarak L1–S3 segmentleri arasında bulunur ve erişkinde genellikle T9–T12

vertebralar hizasında yer alır. Alt ekstremitenin ağırlık taşıma, denge ve güçlü kas kasılmaları gerektiren fonksiyonları nedeniyle bu bölgede de motor nöronlar ve duysal nöral yapılar yoğunlaşmıştır. Bu genişlemeden çıkan spinal sinirlerin ön dalları birleşerek **plexus lumbosacralis**'i meydana getirir.

Medulla spinalis'in dış yüzünde çeşitli oluklar bulunur. Ön yüzde orta hatta **fissura mediana anterior**, arka yüzde ise **sulcus medianus posterior** yer alır. Spinal sinirlerin motor kökleri **sulcus anterolateralis**'ten, duysal kökleri ise **sulcus posterolateralis**'ten omuriliğe bağlanır. T6 ve üzerindeki segmentlerde sulcus medianus posterior ile sulcus posterolateralis arasında **sulcus intermedius posterior** bulunur. Bu oluk medialde **fasciculus gracilis** lateralde **fasciculus cuneatus** olacak şekilde fasciculus posterior'daki lifleri ayırır.

MEDULLA SPINALIS'İN İÇ YAPISI

Medulla spinalis'in iç yapısı, transvers bir kesitte incelendiğinde renk farkına göre iki ana bölümden oluşur: merkezde yer alan **gri cevher (substantia grisea)** ile onu çevreleyen **beyaz cevher (substantia alba)**. Bu düzenlenme, merkezi sinir sisteminin kafatası içinde bulunan bölümlerindeki gri ve ak madde yerleşiminin tersinedir.

Kesitin tam ortasında, içi beyin-omurilik sıvısı (BOS) ile dolu ve ependim hücreleriyle döşeli **canalis centralis** bulunur. Conus medullaris düzeyinde canalis centralis genişleyerek **ventriculus terminalis**'i oluşturur. Canalis centralis'in ön ve arka tarafında, iki tarafın omuriliğini birbirine bağlayan **commissura grisea anterior** ve **commissura grisea posterior** bulunur.

Substantia Grisea

Omuriliğin merkezinde yer alan gri cevher, kelebek ya da "H" harfi görünür. Burası nöron gövdeleri, dendritler, miyelinsiz lifler ve zengin bir damar ağı içerir. Canalis centralis çevresindeki bölge **substantia intermediocentralis** olarak adlandırılır. Substantia grisea, her iki yarımda beyaz cevhere doğru uzanan üç belirgin boynuz içerir. **Cornu posterius** dorsal yerleşimli olup başlıca duysal impulsların işlendiği bölgedir. **Cornu anterius** ventralde yer alır ve iskelet kaslarını innerve eden alfa ve gamma motor nöronların hücre gövdelerini barındırır. **Cornu laterale** ise sadece belirli segmentlerde T1-L2 ve sakral parasempatik bölgelerde bulunur ve otonom sinir sistemine ait preganglionik nöronları içerir. Bu boynuzların longitudinal uzanımıyla oluşan gri madde sütunları **columnae griseae** olarak adlandırılır. Medulla spinalis'in gri maddesini oluşturan nöronlar yukarıdan aşağı uzanan sütunları oluştururlar. Ön boynuz nöronları **columna anterior**, arka boynuz nöronları **columna posterior**, ön ve arka boynuzlar arasında kalanlar ise **columna intermedia**'yı oluşturur.

Gri Cevherin Laminer Organizasyonu (Rexed Laminaları)

Substantia grisea, histolojik ve fonksiyonel özelliklerine göre **Bror Rexed** tarafından kediler üzerinde yapılan çalışmalara dayanılarak 10 laminaya (Lamina I–X) ayrılmıştır. Bu laminalar, cornu posterius'tan cornu anterius'a doğru sıralanır ve farklı duysal, motor ve otonom yollarla ilişkilidir.

- Lamina I ve II özellikle ağrı ve ısı duyularının ilk sinaptik işlemlerinin yapıldığı alanlardır.

- Lamina III–VI, dokunma ve proprioseptif bilgilerin entegrasyonunda rol oynar.

- Lamina VII, otonom sistem merkezlerini ve Clarke nukleusunu içeren en geniş tabakadır. Lamina VIII, inen motor yolların internöronlarla bağlantı kurduğu bölgedir.

- Lamina IX, iskelet kaslarını innerve eden alt motor nöronların yer aldığı motor tabakadır.

- Lamina X ise canalis centralis çevresinde yer alır.

Substantia Alba

Ak madde içindeki lifler, omurilik boyunca longitudinal olarak uzanarak **funiculus** adı verilen demetleri oluşturur. Bu demetler, omuriliğin dış yüzeyindeki oluklar dikkate alınarak üç ana bölüme ayrılır ve birlikte **funiculi medullae spinalis** olarak adlandırılır. Yerleşimlerine göre adlandırılan üç ana grup funiculus bulunur. **Funiculus anterior**, fissura mediana anterior ile sulcus anterolateralis arasında yer alan ak madde bölümüdür. **Funiculus lateralis**, sulcus anterolateralis ile sulcus posterolateralis arasında uzanır. **Funiculus posterior**, sulcus medianus posterior ile sulcus posterolateralis arasında yer alır. Funiculus posterior, T6 segmenti ve üzerindeki seviyelerde dış yüzdeki sulcus intermedius posterior tarafından mediale **fasciculus gracilis** ve lateralde **fasciculus cuneatus** kalacak şekilde arka kordon lifleri birbirinden ayrılır. Fasciculus gracilis, T7 ve altındaki segmentlerden gelen titreşim, ince dokunma ve proprioseptif duyuları taşıyan liflerden oluşur. Üst seviyelerde, servikal segmentlerde fasciculus cuneatus'un medialinde seyrederek. Fasciculus cuneatus ise T6 ve üzerindeki segmentlerden gelen aynı tip duysal bilgilerin iletiminden sorumludur ve funiculus posterior'un lateral kısmında yer alır.

Medulla spinalis'in ak madde kordonlarında yükselen duysal ve inen motor traktuslar seyrederek. Bu yollardaki nöronlar gri cevher nöronları ile etkileşim içindedir.

MEDULLA SPINALIS SEGMENTLERİ

Medulla spinalis, **31** segmentten oluşur ve her segmentten bir çift spinal sinir çıkar. Segmentler, spinal sinir çıkışlarına göre ve histolojik özellikleri bakımından ayırt edilebilir. Bu segmentler genel olarak beş bölüme ayrılır: **8 servikal (C1–C8), 12 torakal (T1–T12), 5 lumbal (L1–L5), 5 sakral (S1–S5) ve 1 koksigeal (Co1) segment.** Servikal bölüm boyun ve üst ekstremitelerle, torakal bölüm göğüs duvarı ve karın üst bölgesiyle, lumbal bölüm karın alt bölgesi ve alt ekstremitenin büyük kısmıyla, sakral bölüm ise pelvik organlar ve alt ekstremitenin bir bölümüyle ilişkilidir. Koksigeal segment daha sınırlı bir alanın duyuusal innervasyonuna katkı sağlar.

Omurilik, tüm uzunluğu boyunca beyinle inen ve çıkan uzun yollar aracılığıyla bağlantılı olduğundan, seviyeler arasında beyaz cevher (substantia alba) miktarı düzenli bir değişim gösterir. Aşağıdan yukarıya doğru çıkıldıkça beyaz cevher artar. Bunun nedeni, üst seviyelere doğru gidildikçe alt seviyelerden gelen duyuyla ilgili çıkan liflerin birikmesi ve beyin kaynaklı inen liflerin henüz tamamen sonlanmamış olmasıdır. Buna karşılık, segmentin inerve ettiği alanın gereksinimine göre gri cevher (substantia grisea) miktarı da bölgesel olarak artıp azalabilir.

Servikal seviyeler omuriliğin en fazla lif taşıdığı bölgedir. Bu nedenle çapı geniş, beyaz cevheri belirgin görünür. Funiculus posterior içinde hem fasciculus gracilis hem de fasciculus cuneatus yer alır. Columna anterior'da üst ekstremiteler ve boyun kaslarıyla ilişkili motor nöron grupları belirgindir. Özellikle bazı seviyelerde **nucleus phrenicus** ve **nucleus nervi accessorii** ile ilişkili hücre grupları öne çıkar. Clarke çekirdeği yalnızca C8 ve altındaki segmentlerde görülürken bu seviyenin üzerinde görülmez. Servikal kesitler çoğunlukla ön-arka eksenine daha kısa olan oval biçimdedir ve bu görünüm beyaz cevherin fazlalığıyla uyumludur.

Torakal seviyelerde omurilik kesiti daha çok yuvarlak görünümündedir. Ön boynuzlar servikale göre daha küçüktür. Çünkü ekstremiteler kaslarına yönelik yoğun motor nöron kümelenmesi burada daha sınırlıdır. Bu seviyenin ayırt edici özelliği, cornu laterale'nin belirgin olarak bulunması ve buradan preganglionik sempatik nöronların çıkmasıdır. Özellikle T1–L2 arası segmentlerde bulunan nucleus intermediolateralis, pregangliyonik sempatik nöronları barındırır. Ayrıca arka boynuzda ağrı/ısı/dokunma ile ilişkili alanlara ek olarak nucleus dorsalis (Clarke çekirdeği) ve visceral afferentlerle ilişkili çekirdekler görülür. Beyaz cevherde fasciculus gracilis tüm torakal boyunca bulunurken, fasciculus cuneatus tipik olarak T6 ve üzerindeki segmentlerde belirginleşir.

Lumbal seviyelerde omurilik çapı yeniden büyür. Bunun temel nedeni alt ekstremiteler kaslarını kontrol eden motor nöronların yoğunlaşmasıdır. Bu nedenle gri cevher (özellikle ön boynuz) daha büyük görünür. Beyaz cevher,

servikale göre daha az olsa da sakrale göre daha fazladır. Dorsal kolonda fasciculus gracilis devam ederken fasciculus cuneatus görülmez. Bu bölgede arka boynuzda substantia gelatinosa ve nucleus proprius gibi duysal çekirdekler görülürken Clarke çekirdekleri özellikle L1 ve L2 seviyelerinde görünür, ancak, daha alt seviyelerde yer almaz. Lateral boynuz açısından bakıldığında, sempatik sistemle ilişkili hücre grupları özellikle L1–L2 segmentlerinde gözlenirken bazen L3'e kadar uzanabilir.

Sakral segmentler omuriliğin beyaz cevheri en az olan bölümüdür. Çünkü uzun yolların büyük kısmı daha üst düzeylerde sonlanmıştır. Bu nedenle horizontal kesitlerde gri cevher oranı oldukça fazladır ve şekli çoğunlukla yuvarlak görünür. Dorsal kolonda fasciculus gracilis bulunabilir, ancak fasciculus cuneatus bulunmaz. Cornu laterale klasik anlamıyla belirgin değildir. Buna karşılık S2–S4 segmentlerinde cornu lateralede bulunan nucleus intermediolateralis, parasempatik pregangliyonik nöronların bulunduğu çekirdeklerdir.

NERVI SPINALES (SPİNAL SİNİRLER)

Nervus spinalis, medulla spinalis'in her bir segmentinden çıkan motor, duysal ve otonom sinir liflerinin birleşmesiyle oluşur. Her spinal sinir, farklı tipte nöronlar taşıyan ön ve arka köklerin birleşmesiyle meydana gelir ve periferik sinir sistemi ile merkezi sinir sistemi arasındaki temel bağlantıyı sağlar.

Medulla spinalis'in ön yüzünde, sulcus anterolateralis boyunca çok sayıda ince motor lif demeti çıkar. Bu lifler **fila radicularia anteriores** olarak adlandırılır ve somatik motor nöronların yanı sıra sempatik ve parasempatik otonom lifleri de içerir. Fila radicularia anteriores'in birleşmesiyle **radix anterior** oluşur. Radix anterior esas olarak motor fonksiyonlardan sorumludur ve impulsları merkezi sinir sisteminden periferiye doğru iletir.

Omuriliğin arka yüzünde ise sulcus posterolateralis boyunca duysal lifler medulla spinalis'e girer. Bu lifler **fila radicularia posteriores** olarak adlandırılır ve periferden gelen somatik ve visceral duyuları taşır. Fila radicularia posteriores'in birleşmesiyle lateralde **radix posterior** meydana gelir. Arka kök üzerinde, foramen intervertebrale düzeyinde yer alan **ganglion spinale**, pseudounipolar duyu nöronlarının hücre gövdelerini içerir. Vücuttan gelen tüm somatik duyuların birinci nöronları bu ganglionda bulunur.

Radix anterior ile radix posterior'un foramen intervertebrale içerisinde birleşmesiyle **nervus spinalis** oluşur. Spinal sinirler kısa bir seyirden sonra foramen intervertebrale'den dışarı çıkarak omurga kanalını terk eder. Her bir spinal sinir hedef bölgelerine ulaşmadan önce ön ve ark dallara ayrılır. Ön ve arka köklerin birleşmesinden oluşan her bir spinal sinir barındırdığı lif çeşidi bakımından karma yapıdadır. Yani hem motor hem duysal hem de otonom lifler taşır.

Foramen intervertebrale'den çıktıktan sonra nervus spinalis **ramus anterior** ve **ramus posterior** olmak üzere iki ana dala ayrılır. Ramus anterior, vücudun ön ve yan bölümlerinin yanı sıra ekstremitelerin deri duyusunu alır ve bu bölgelerdeki iskelet kaslarının motor innervasyonunu sağlar. Plexus'ların oluşumuna katılan dallar ramus anterior'lardan kaynaklanır. Ramus posterior ise vücudun arka bölümünün deri duyusunu alır ve sırt kaslarının motor innervasyonundan sorumludur. Ön dallardan farklı olarak arka dallar dağılım bakımından segmental yapısını büyük ölçüde korur.

Spinal sinirlerin ramus anterior'ları, otonom sinir sistemi ile bağlantı kurmak üzere ek dallar da verir. **Ramus communicans albus**, myelinli pre-ganglionik sempatik lifleri içerir ve bu lifler spinal sinirden **truncus sympathicus**'a ait ganglionlara yönelir. Bu bağlantılar yalnızca T1-L2 segmentleri düzeyinde bulunur. Buna karşılık, **ramus communicans griseus**, **ganglion trunci sympathici**'den çıkan myelinsiz postganglionik sempatik lifleri ramus anterior'a bağlar ve tüm spinal sinirlerde yer alır. Bu lifler aracılığıyla sempatik uyarılar, damarlar, ter bezleri ve kıl köklerine iletilir.

Spinal Refleks

Refleks, belirli bir uyarana karşı ortaya çıkan istem dışı ve hızlı bir yanıt olarak tanımlanır. Sinir sisteminin bu temel fonksiyonu, organizmanın çevresel ve içsel değişikliklere kısa sürede uyum sağlamasını mümkün kılar. Refleks yanıtlar, genellikle bilinçli kontrol gerektirmeden gerçekleşir ve yaşamsal öneme sahip koruyucu mekanizmalar oluşturur.

Spinal refleks, kas, tendon veya deride bulunan reseptörler tarafından algılanan uyarılara karşı verilen motor yanıtın, beyin merkezlerine ulaşmadan medulla spinalis düzeyinde oluşturulmasıdır. Bu nedenle spinal refleksler son derece hızlıdır. Patella refleksi, spinal reflekslerin klasik bir örneğidir. Bu refleks türü, refleks yanıtın doğrudan omurilikte organize edilmesi nedeniyle merkezi sinir sisteminin üst merkezlerinden bağımsız olarak gerçekleşebilir.

Medulla spinalis'te organize edilen refleksler, özellikle kas tonusunun sürdürülmesi, postürün korunması ve ani zararlı uyarılara karşı hızlı korunma açısından hayati öneme sahiptir. Afferent liflerin geniş çaplı, hızlı ileten özellikleri ve monosinaptik bağlantılar sayesinde refleks yanıtlar çok kısa sürede ortaya çıkar. Bu özellikler, spinal refleksleri sinir sisteminin en hızlı ve en güvenilir yanıt mekanizmalarından biri haline getirir.

Refleks arkı

Bir refleksin oluşabilmesi için refleks arkı adı verilen anatomik ve fonksiyonel bir bütünlüğün sağlam olması gerekir. Refleks arkı, en basit haliyle dört temel yapıdan oluşur:

1- Reseptör: Deri, kas veya tendonda bulunan ve fiziksel ya da kimyasal

uyaranı algılayan özel yapılardır.

2- Afferent (duyusal) nöron: Reseptörden alınan bilgiyi merkezi sinir sistemine ileten sinir hücresidir. Bu nöronun hücre gövdesi ganglion spinalle'de yer alır.

3- Efferent (motor) nöron: Merkezi sinir sisteminden çıkan ve yanıtın oluşturulacağı organa impuls taşıyan nöronudur.

4- Efektör organ: Genellikle iskelet kası veya bez olup refleks yanıtı ortaya koyan yapıdır.

Refleks arkının herhangi bir noktasında meydana gelen bir kesinti, refleks yanıtın tamamen ortadan kalkmasına neden olur. Bu nedenle reflekslerin klinik değerlendirilmesi, sinir sisteminin bütünlüğü hakkında önemli bilgiler sağlar.

Refleks arkında yer alan nöron sayısına ve sinapsların durumuna göre refleksler iki ana gruba ayrılır. **Monosinaptik refleksler**, refleks arkında yalnızca iki nöronun (bir afferent ve bir efferent nöron) bulunduğu ve aralarında tek bir sinapsın yer aldığı reflekslerdir. Bu reflekslerde uyarının iletimi son derece hızlıdır. Patella refleksi bu gruba girer ve kas tonusunun korunmasında önemli rol oynar. **Polisinaptik refleksler** ise refleks arkında ikiden fazla nöron ve birden fazla sinaps içeren reflekslerdir. Bu reflekslerde araya giren interneuronlar sayesinde yanıt daha karmaşık hale gelir. Koruyucu çekilme refleksleri bu gruba örnek verilebilir.

MEDULLA SPINALIS'İN ZARLARI (MENINGES SPINALES)

Medulla spinalis, merkezi sinir sisteminin diğer bölümleri gibi, dıştan içe doğru uzanan üç bağ dokusu zarı tarafından çevrelenir. Bu zarlar, omuriliği korumanın yanı sıra, omurilik ile vertebral kanal arasında yer alan boşlukların anatomik sınırlarını belirler ve içeriklerini barındırır. Dıştan içe doğru sırasıyla dura mater spinalis, arachnoidea mater spinalis ve pia mater spinalis olarak adlandırılır.

Dura mater spinalis, omuriliği saran en dış tabakadır ve foramen magnum düzeyinde dura mater cranialis'in iç yaprağının (lamina interna) canalis vertebralis'e doğru inen devamıdır. Aşağıya doğru uzanarak S2 vertebra seviyesinde kese şeklinde sonlanır ve bu yapı dural kese olarak tanımlanır. S2 seviyesinden sonra dura mater **filum terminale externum** (lig. coccygeum) olarak aşağıya doğru seyrederek. Filum terminale externum, fibröz bir bant şeklinde coccygeal 2. vertebranın arkasına tutunur ve omuriliğin alt ucunu sabitler. Dura mater spinalis ile vertebraların periostu arasında yer alan **spatium epidurale (epidural aralık)**, klinik açıdan büyük önem taşır. Bu boşlukta yağ dokusu ve plexus venosus vertebralis internus bulunur. Epidural aralık, epidural anestezinin uygulandığı anatomik boşluk olup, bu bölgeye enjeksiyon

yoluyla lokal anestezi ilaçları verilir. Dura mater aynı zamanda **pachymeninge** olarak da adlandırılır.

Arachnoidea mater spinalis, dura mater ile pia mater arasında yer alan ince ve yarı saydam bir zarıdır. Foramen magnum'dan itibaren arachnoidea mater cranialis'in devamı olarak aşağı uzanır ve **S2 vertebra seviyesinde** cauda equina'yı oluşturan spinal sinir köklerini sararak sonlanır. Spinal sinirleri, vertebral kanaldan çıkana kadar çevreler. Arachnoidea mater ile dura mater arasında **spatium subdurale (subdural aralık)** yer alır. Ancak canlı bireylerde bu aralık potansiyel bir boşluk olup, beyin-omurilik sıvısının basıncı nedeniyle arachnoidea mater spinalis, dura mater spinalis'e yapışık durumdadır.

Pia mater spinalis, omuriliği doğrudan saran ve en içte yer alan zarıdır. Medulla spinalis'in yüzeyine sıkıca tutunur ve omuriliğin şeklinin korunmasına katkı sağlar. Pia mater, spinal sinir kökleri arasında kalınlaşarak **ligamenta denticulata (lig. denticulatum)** adı verilen diş şeklinde bağlar oluşturur. Bu bağlar iki kök arasından laterale uzanır, arachnoidea mater spinalis'i deldikten sonra dura mater spinalis'e tutunur ve omuriliğin vertebral kanal içinde stabilizasyonunu sağlar. Ligamenta denticulata, her iki tarafta olmak üzere yaklaşık **21 çift** olarak bulunur ve genellikle T12-L1 düzeyine kadar izlenebilir. Pia mater'in conus medullaris ucundan itibaren aşağı doğru uzanan ince bağ dokusu uzantısına **filum terminale** adı verilir. Filum terminale, bulunduğu konuma göre iki bölümde incelenir. **Filum terminale internum (pars pialis)** L2-S2 segmentleri arasında yer alır, subaraknoid aralık içinde seyreder ve yalnızca pia mater tarafından oluşturulur. **Filum terminale externum (pars duralis)** ise S2 seviyesinden sonra dural keseyi terk eder, üç zarın birleşimiyle oluşur ve coccyx'in arka yüzüne tutunarak sonlanır.

Pia mater ile arachnoidea mater arasında yer alan **spatium subaraknoidum (subaraknoid aralık)**, BOS içerir. BOS, medulla spinalis çevresinde koruyucu bir yastık görevi görür ve ayrıca canalis centralis içinde de bulunur. Pia mater ve arachnoidea mater birlikte **leptomeninges** olarak adlandırılır.

Lumbal Ponksiyon

Lumbal ponksiyon, beyin-omurilik sıvısının tanısal veya terapötik amaçlarla elde edilmesini sağlayan önemli bir girişimdir. Lumbal ponksiyon, yalnızca tanısal amaçlarla değil, aynı zamanda spinal anestezi uygulamalarında da kullanılır. Spinal anesteziye lokal anestezi madde doğrudan subaraknoid aralığa verilir ve hızlı, etkili bir blok elde edilir. İşlem, genellikle L3-L4 veya L4-L5 vertebraarı arasından gerçekleştirilir. Bu seviyelerde medulla spinalis sonlandığı için sinir dokusunun doğrudan zedelenme riski bulunmaz; ayrıca subaraknoid aralık geniştir.

Lumbal ponksiyon sırasında ponksiyon iğnesi, cilt yüzeyinden subaraknoid aralığa ulaşana kadar aşağıdaki anatomik yapıları sırasıyla geçer:

- 1- Deri (cutis)
- 2- Fascia superficialis
- 3- Ligamentum supraspinale
- 4- Ligamentum interspinale
- 5- Ligamentum flavum
- 6- Spatium epidurale (Epidural aralık)
- 7- Dura mater spinalis
- 8- Arachnoidea mater spinalis
- 9- Spatium subarachnoideum (Subaraknoid aralık): BOS bu aralıkta bulunur

MEDULLA SPINALIS'İN ARTERLERİ

Medulla spinalis'in arteriyel kanlanması esas olarak **a. vertebralis** kökenli damarlardan sağlanır. A. vertebralis'ler foramen magnum'dan kraniyum içine girmeden önce omuriliğe yönelik dallar verirler. Bu dallar, medulla spinalis boyunca uzanan ana spinal arterleri oluşturur ve segmental arterlerle desteklenir.

Arteria spinalis anterior, omuriliğin en önemli besleyici damarıdır. Genellikle sağ ve sol a. vertebralis'ten çıkan iki dalın foramen magnum düzeyinde birleşmesiyle oluşur. Fissura mediana anterior boyunca aşağıya doğru seyreder ve medulla spinalis'in ön 2/3'lik kısmını, özellikle gri cevherin büyük bölümünü ve beyaz cevherin anterior kesimlerini kanlandırır. Kanlandığı bölgeler motor işlevlerle ilgilidir.

Arteriae spinales posteriores, omuriliğin arka yüzünde yer alan sağ ve sol olmak üzere iki ince arterdir. Çoğunlukla a. vertebralis'ten, bazen de a. cerebellaris inferior posterior'dan köken alabilir. Radix posterior'ların önünden aşağıya doğru uzanırlar ve medulla spinalis'in dorsal bölümünü, özellikle arka kordonları beslerler.

Medulla spinalis'in yukarıda anlatılan ana arterleri (a. spinalis anterior ve aa. spinales posteriores), omurilik boyunca segmental düzeylerde katılan yardımcı arterler tarafından desteklenir. Bu damarlar, spinal sinir kökleri ile birlikte vertebral kanala girerek omuriliğin bölgesel kanlanmasına katkı sağlar ve **arteriae radicales** olarak adlandırılır.

Servikal segmentlerin arteriyel beslenmesine katkıda bulunan radiküler dallar, başlıca **a. vertebralis**, **a. cervicalis ascendens** ve **a. cervicalis profunda** kökenlidir. Torakal segmentlerde medulla spinalis'in kanlanması, esas olarak **aa. intercostales posteriores**'ten ayrılan spinal dallar aracılığıyla sağlanır. Lumbal segmentlerin beslenmesine katkıda bulunan radiküler arterler, **aa.**

lumbales'ten köken alır. Bu bölgedeki en önemli damar, **arteria radicularis magna**'dır. **Adamkiewicz arteri** olarak da bilinir. Genellikle sol tarafta yer alır ve çoğunlukla T9–L2 seviyeleri arasında omurilik kanalına girer. Sakral segmentlerin arteriyel beslenmesine **a. sacralis lateralis** ve **a. iliolumbalis**'in dallarından gelen küçük radiküler arterler destek verir.

MEDULLA SPİNALİS'İN VENLERİ

Medulla spinalis'in venöz drenajı, arteriyel sistemle paralel bir düzen gösterir ve yüzeyel venler ile bunların birleştiği geniş venöz pleksuslar aracılığıyla sağlanır.

Vena spinalis anterior, fissura mediana anterior boyunca uzanır ve omuriliğin ön yarısından venöz kanı toplar. **Venae spinales posteriores** ise omuriliğin dorsal yüzeyinden kanı drene eder. Ön ve arka spinal venler arasında çok sayıda anastomoz bulunur. Bu venler, **vena radicularis anterior** ve **vena radicularis posterior** aracılığıyla daha geniş venöz yapılara açılır. Radiküler venler, spinal sinir kökleri boyunca ilerleyerek vertebral kanal içine uzanır ve **plexus venosus vertebralis internus anterior** ve **plexus venosus vertebralis internus posterior**'a boşalır. Bu pleksus epidural aralıkta yer alır ve canalis vertebralis dışında bulunan **plexus venosus vertebralis externus anterior** ve **plexus venosus vertebralis externus posterior**'a açılır.

Klinik Notlar

Spina bifida

Spina bifida, embriyonik gelişim sırasında nöral tüpün ve buna eşlik eden vertebral arkların tam olarak kapanmaması sonucu ortaya çıkan konjenital bir anomalidir. En sık lumbal ve sakral bölgede görülür ve klinik bulgular, lezyonun tipine ve şiddetine göre değişkenlik gösterir. Spina bifida üç ana formda incelenir:

- **Spina bifida occulta:** En hafif formdur ve çoğu zaman asemptomatiktir. Vertebra arklarının kapanmaması söz konusudur; ancak omurilik ve zarlar etkilenmez. Deri üzerinde çöküntü, pigmentasyon artışı veya uzun kıl demeti ile fark edilebilir.

- **Spina bifida meningocele:** Omurilik zarlarının (meninkslerin) kemik defektten dışarı doğru fıtıklaştığı formdur. Omurilik bu kese içinde yer almaz ve genellikle ciddi nörolojik defisit görülmez.

- **Spina bifida myelomeningocele:** En ağır formdur. Omurilik ve zarları birlikte dışarı fıtıklaşır. Motor ve duyu kaybı, mesane bağırsak disfonksiyonları ve ortopedik deformiteler sık görülür.

Disk hernisi, intervertebral diskin nucleus pulposus kısmının anulus fibrosus'u aşarak spinal kanal veya foramen intervertebrale yönüne doğru yer değiştirmesiyle oluşur. Bu durum spinal sinir köklerine veya medulla spina-

lis'e bası yaparak ağrı, duyu kusuru, kas güçsüzlüğü ve refleks kaybına yol açabilir. Servikal ve lumbal bölgeler en sık etkilenen alanlardır. En sık L4-5 ve L5-S1 seviyelerinde görülür.

KAYNAKÇA

- 1- Arıncı, K., & Elhan, A. (2020). Anatomi, 2. Cilt: Dolaşım Sistemi, Periferik Sinir Sistemi, Merkezi Sinir Sistemi, Duyu Organları (7. baskı). Ankara: Güneş Tıp Ltd Şti.
- 2- Arifoğlu, Y. (2024). Her Yönüyle Anatomi (4. baskı). İstanbul: İstanbul Medikal Sağlık ve Yayıncılık Hiz. Tic. Ltd. Şti.
- 3- Erzurumlu R., Şengül G., & Ulupınar E., Nöroanatomi (2023). Güncellenmiş 2. Baskı, Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri
- 4- Gövsa, Gökmen, F. (2023). Sistematik Anatomi. 2. Baskı. İzmir: Güven Kitapevi.
- 5- Splittgerber R. (2024). Snell Klinik Nöroanatomi (Çeviri Editörü: Mehmet Yıldırım) (9. baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri.
- 6- Şahin B. (2025). Anatomi Hızlı Çalışma Kitabı: Nöroanatomi ve Özel Duyu Organları Cilt-3. 1. Baskı. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri.
- 7- Şahin B, ed. (2025). Temel İnsan Anatomisi. 3. Cilt: Nöroanatomi ve Özel Duyu Organları. 1. Baskı. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri Ltd. Şti.
- 8- Taner, D. (2020). Fonksiyonel Nöroanatomi (23. baskı). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık.



PANCREAS VE KLİNİK ANATOMİSİ

“ ”

Rukiye Sümeyye BAKICI¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi Karabük Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi ABD ORCID: 0000-0001-8008-7174

1) Pancreas Anatomisi

Pancreas, karın arka duvarında 90-100 gr ağırlığında, 12-15 cm uzunluğunda, lumbal 2. vertebra seviyesinde, bursa omentalis ve midenin arkasında gri-pembe renkte olup sekonder retroperitoneal bir organdır.

Yerleşimi: Pancreas, duodenum kavsi içinde, regio hypochondriaca sinistra ve regio epigastrica'da bulunur.

Komşulukları ve bölümleri: Pancreas, caput pancreatis, collum pancreatis, corpus pancreatis ve cauda pancreatis olmak üzere 4 bölümde incelenir.

Caput pancreatis, L1-3 vertebraların sağında duodenum kavsi içinde yer alan bölümdür. Alt sol kısmındaki çıkıntıya processus (proc.) uncinatus denir. Corpus pancreatis ile proc. uncinatus arasında yer alan incisura (inc.) pancreatis adlı çentikten ise arteria (a.) mesenterica superior ve vena (v.) mesenterica superior geçer. Caput pancreatis'in çevresi periton ve bağ dokusu aracılığıyla duodenum'a yapışmıştır. Bu yapıştığı yerdeki olukta a. pancreatica duodenalis superior ve inferior arasında anastomoz yaparak pancreas'ın ön yüzüne dallar verir. Caput pancreatis'in ön yüzü, sağ ve yukarı kısmı genellikle peritonsuzdur. A. gastroduodenalis, a. gastroepiploica dextra ve a. gastroepiploica sinistra olmak üzere pancreas başının yukarı kısmında terminal dallarına ayrılır. Caput pancreatis'in arka yüzünde ductus choledochus, v. portae hepatis ve a. mesenterica superior bulunur. Ayrıca a. renalis dextra ve daha derinde yer alan v. cava inferior ve v. renalis sinistra yer alır.

Collum pancreatis, caput pancreatis'ten sonraki 2- 2,5 cm'lik kısmına denir. Net bir sınırı olmayıp caput pancreatis ile birleşir. V. mesenterica superior ve v. portae hepatis, collum pancreatis ile proc. uncinatus arasında yer alır. Collum pancreatis'te yer alan çıkıntıya tuber omentale denir.

Corpus pancreatis, L1-2 vertebra seviyesinde yukarı doğru seyreden pankreasın en büyük bölümüdür. Corpus pancreatis'in üç yüzü ve üç de kenarı bulunur. Facies anterior öne ve yukarı bakan yüzü olup midenin arka yüzü ile komşudur ve bursa omentalis'in arka duvarını örten periton yaprağı ile örtülüdür. Facies inferior aşağıya ve öne doğru bakan bu yüz, ince bağırsak ile komşuluk yapar ve parietal peritoneum ile kaplıdır. Bu iki yüz arasında margo anterior yer alır ve mesocolon transversum yapışır. Facies posterior karnın arka duvarına ve burada bulunan organlara bağ dokusu ile yapışmıştır. Dolayısıyla pankreas sekonder retroperitoneal bir organdır. Corpus pancreatis'in arka yüz komşuluğunda aorta, a. mesenterica superior'un başlangıcı, a. renalis sinistra, diaphragma'nın crus sinistrum'u, glandula suprarenalis sinistra ve sol böbrek bulunur. Bunlara ek olarak a. splenica arka yüzden geçerken v. splenica daha aşağıdan geçmektedir. Margo superior'un komşuluğunda truncus coeliacus, ganglion coeliacum ve a. splenica yer alır. Margo inferior arka ve alt yüzleri arasındaki kenardır.

Cauda pancreatis, gövdenin dalağa doğru devam eden kısmıdır. Şekil olarak bireyler arasında farklılık göstermektedir. Komşulukları incelendiğinde arkada sol hilum renale, solda hilum splenicum, aşağıda flexura coli sinistra bulunur. Cauda pancreatis'ten dalağa uzanan periton kısmı ligamentum (lig.) pancreaticolienale aracılığıyla bağlanır. Bu bağ içerisinde dalak damarları bulunur.

Ductus pancreaticus (Wirsung Kanalı): Pankreasın kuyruk kısmından aşağıya doğru yönelerek baş kısmında bazen iç kısmında bazen de arka yüzde ductus choledochus ile bir araya gelerek ampulla hepatopancreatica denilen genişleme ile duodenum'un 2. bölümüne papilla duodeni major'e açılırlar. Ductus choledochus ile ductus pancreaticus bazen birleşmeyip ayrı ayrı kanallar olarak iki delikle papilla duodeni major'e (Vater papillası) açılırlar.

Ductus pancreaticus accessorius (Santorini kanalı): Pankreasın dorsal taslağından gelişen ikinci kanalı çoğunlukla duodenum ile bağlantısını kaybeder. Kanalin proksimal ucu büyük kanal ile distal ucu da papilla duodeni major'un 2cm yukarısında papilla duodeni minor denilen küçük bir mukoza kabartısı üzerine açılır.

Arterleri: Pankreasın gövde ve kuyruk kısmını a. splenica'dan çıkan rami pancreatici, baş kısmını ise a. pancreaticoduodenalis superior (a. gastroduodenalis'in dalı) ve a. pancreaticoduodenalis inferior (a. mesenterica superior'un dalı) besler.

Venleri: V. splenica'ya büyük bir kısmı olmak üzere v. mesenterica superior ve v. porta hepatis'e drene olur.

Lenfası: Büyük bir kısmı nodi pancreatici superiores, nodi pancreatici inferiores ve nodi splenici'ye açılır. Geriye kalan kısmı da nodi pancreaticoduodenales superiores, nodi pancreaticoduodenales inferiores ve nodi pylorici'ye açılır.

Sinirleri: Sempatik (postganglionik) ve parasempatik (preganglionik) lifleri plexus coeliacus'tan ayrılarak plexus splenicus içinde beze gelirler. Sempatik lifleri n. splanchnicus'tan, parasempatik lifleri n. vagus'tan gelir. Parasempatik etki salgıyı artırırken, sempatik etki salgıyı azaltır. Pankreasın yanşıyan ağrıları epigastrium bölgesinde ve son altı interkostal sinir dermatom sahalarına uygun olarak belde kuşak tarzında bir ağrı hissedilir.

Fonksiyonu: Pankreas günde yaklaşık olarak 1,5 lt salgı üreten hem endokrin (iç salgı) hem de ekzokrin (dış salgı) yapıda olan önemli karmaşık bir bezdir. Besin sindiriminde görev alan tripsin, amilaz ve lipaz ekzokrin salgılarıdır ve ductus pancreaticus ile duodenum'a boşaltır. Kan şekeri arayan insülin ve glukagon endokrin salgıları arasındadır. Pankreas'ın largerhans adacıklarındaki hücrelerde yapılan pankreatik polipeptit, somatostatin ve vasoaktif intestinal polipeptit hormonlarını direkt kana verir.

2) Klinik Anatomisi

Pankreatit: Pankreas'ın inflamatuvar durumuna denir. Bulantı, kusma, üst abdominal ağrı, kilo kaybı, yağlı dışkılama, diabetes mellitus, hafif sarılık, düşük kan basıncı ile kalp ve böbrek yetmezlikleri semptomları arasında yer almaktadır. Akut pankreatitte hasta sırt üstü yatarken ani epigastrik ağrının artarak devam etmesidir. Temel sebebi ampulla hepatopancreatica'da safra taşlarının tıkanması sonucu oluşur. Caput pancreatis'in şişmesi ile ductus pancreaticus daralabilir. Pankreas salgılarının ve safranin retrograd akışı yine tıkanmanın sonucu olarak görülebilir. Kronik pankreatitin yaygın sebebi ise kronik alkol tüketimidir.

Pankreas kanseri: Birçok vakada ciddi sırt ağrılarının eşlik ettiği, komşu organlara yayılma potansiyeli olan tedavisi güç bir hastalıktır. Pankreasın baş kısmında bulunan kanser dokuları safra kanalına bası yaptığı zaman kanalı tıkar ve ağrısız sarılığa sebep olur. Tedavisi ise pankreatoduodenektomi adlı cerrahi yöntem yapılabilir. Pankreasın gövde ve boynundaki kanserler büyük damarların üzerinde yerleşim gösterdiği için v. cava inferior ve v. portae hepatis'te tıkanıklık görülebilir.

Diabetes mellitus: Hiperglisemi ile karakterize insülinin yetersiz üretimi veya dokulardaki etkisinin azalması durumunda görülen hastalıktır.

İki türü bulunmaktadır:

Tip 1 diabette pankreastaki β hücreleri yetersiz miktarda insülin üretmesiyle gelişen hastalıktır. Tip 1 diabette pankreasın β hücrelerinin tahrip olması sonucunda yetersiz miktarda insülin üretmesiyle gelişen çok faktörlü kalıtsal bir hastalıktır. Klinik özellikleri arasında hiperglisemi, ketoasidoz ve eksojen insülin bağımlılığı bulunur. Tip 1 diabetin nöropati, körlüğe yol açan retinopati ve böbrek yetmezliğine neden olan nefropati bulunur.

Tip 2 diabette hedef dokuda yeterli olarak insülin kullanıp kullanılmadığı ya da insüline yanıt veremediği durumlarda görülür. Genellikle obezite ile ilişkilidir. Hiperglisemi tespiti veya aşırı idrara çıkma ve susama şikâyeti ile kliniğe başvuran kişilerde rutin tarama sırasında sık ortaya çıkan bir hastalıktır. (lippincott ile Gross Anatomi)

Aksesuar Pankreas Dokusu: Pankreas dokusunun mide, duodenum, diverticulum ilei ve ileum'da gelişim gösterebilir. Sıklıkla mide ve duodenumda görülmektedir. Bu aksesuar pankreas dokuları insülin ve glukagon salgılayan adacık hücreleri bulundurabilirler.

Pankreaktomi: Kronik pankreatit hastalarında bazı tedavilerinde pankreasın büyük bir kısmı çıkarılmaktadır. Caput pancreatis ve damarları, ductus choledochus ile duodenum'un komşuluk ilişkileri caput pancreatis'in çıkarılmasını imkânsız kılmaktadır. Çoğunlukla duodenum'un kanlanması-

nı korumak için duodenum'un medial kenarı boyunca ince bir şerit halinde pankreas dokusu bırakılır.

Pankreas laserasyonu: Pankreas yaralanmaları karna araba kazalarında emniyet kemerinin uyguladığı kuvvet gibi ani, büyük ve güçlü bir basınç sonucu görülebilir. Pankreas columna vertebralis'in önünde transvers uzanması sonucunda örs gibi hareket ettiği için travma yaralanmaya neden olur. Pankreasın yırtılması kanallarının zarar görmesi sonucunda pankreas sıvısının bezin parenkimasına girmesine ve çevre dokulara yayılmasına neden olur. Pankreas dokusu ve diğer dokuların pankreas salgıları tarafından sindirilmesi ağrı vericidir.

Kaynakça

- 1) Arıncı K. & Elhan A. Anatomi. 1. Cilt, 7. Baskı, Ankara: Güneş Tıp Kitabevi. 2020. s. 261-265.
- 2) Taner D. Fonksiyonel Anatomi, Baş, Boyun ve İç Organlar. 6. Baskı. Ankara: ODTÜ Yayıncılık; 2012. p. 236-239.
- 3) Arifoğlu Y. Her Yönüyle Anatomi. 4. Baskı, İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi. 2024. s 456-457.
- 4) Arifoğlu Y. BRS: Gross Anatomi. 1. Baskı, İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi. 2017. p. 124-125.
- 5) Cumhur M. Temel Anatomi. 2. Baskı. Ankara: ODTÜ Yayıncılık.2006;306-310.
- 6) Gülekon İ.N. & Peker T.V., Lippincott Resimli Gözden Geçirme Anatomi. Ankara:Ankara Nobel Tıp Kitabevi. 2019. s. 146-148
- 7) Moore K.L. ve Dalley A.F. (Çeviren Şahinoğlu K.). Kliniğe Yönelik Anatomi. İstanbul:Nobel Tıp Kitabevleri. 4. Baskı. 2007. s. 257-262
- 8) Agur A.M.R. & Dalley A.F. (Çeviren Gülekon İ.N. ve Peker T.V.) Moore Temel Klinik Anatomisi. Ankara: Ankara Nobel Tıp Kitabevleri. 6. Baskı.2020. s.298-300
- 9) Netter F.H. (Çeviren:Özmen M.M. & Baskan S.). The Netter Collection of Medical Illustrations. Cilt 3. Kısım III. Karaciğer, Safra Yolu ve Pankreas. Güneş Tıp Kitabevi. Ankara. 2010.141-149
- 10) Netter F.H. (Çeviren:Sözen T.). The Netter Collection of Medical Illustrations. Cilt 4. Endokrin Sistemi ve Bazı Metabolik Hastalıklar. Güneş Tıp Kitabevi. Ankara. 2011.143-173



FOTOGRAMETRİ VE ANATOMİ: ÜÇ BOYUTLU GÖRÜNTÜLEME TEKNOLOJİLERİNİN MORFOLOJİK ANALİZE ENTEGRASYONU

“ ”

Saliha DEMİR¹

Ruken ÖNCÜ²

Tufan ULCAY³

1 Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Anatomi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Öğrencisi, Saliha DEMİR: dsalihaa9@gmail.com ORCID: 0009-0007-9145-1294

2 Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Kırşehir, Türkiye Arş. Gör. Ruken ÖNCÜ: ruken.oncu@ahievran.edu.tr, ORCID: 0009-0001-4896-7822

3 Doç. Dr. Tufan ULCAY: tufanulcay@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2203-3850

Giriş

Fotogrametrinin Temel İlkeleri ve Tarihsel Gelişimi: Disiplinler Arası Bir Bakış

Fotogrametri, fiziksel nesneler ve çevreler hakkında güvenilir bilgi elde etmek amacıyla fotoğrafların kaydedilmesi, ölçülüp yorumlanması bilimi, teknolojisi ve sanatı olarak tanımlanır (Kraus, 2007). Bu disiplin, perspektif geometri, optik, görüntü işleme ve bilgisayar bilimlerinin kesişiminde bulunarak, iki boyutlu görüntülerden üç boyutlu nicel veri çıkarma kapasitesiyle eşsiz bir konuma sahiptir. Modern tanımıyla, Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Topluluğu (ASPRS) tarafından nesnelerden alınan fotoğraflardan şekil, boyut ve konum bilgilerinin elde edilmesinden doğan sanat, bilim ve teknolojiler şeklinde yapılmaktadır (McGlone, 2013).

Fotogrametrinin kökenleri, 15. yüzyılda Filippo Brunelleschi'nin perspektif yasalarını formüle etmesi ve Leon Battista Alberti'nin Della Pittura (1435) adlı eserinde "costruzione legittima" (meşru inşaat) yöntemini tanımlamasına kadar uzanmaktadır. Ancak, disiplinin gerçek anlamda doğuşu, 19. yüzyılın ortalarında fotoğrafik sürecin icadıyla başlamıştır. 1849'da Fransız fizikçi Aimé Laussedat, ilk sistematik fotogrametrik ölçümleri gerçekleştirerek "fotogrametrinin babası" unvanını almıştır (Laussedat, 1851). 20. yüzyılın başlarında Alman mucit Carl Pulfrich'in stereo komparatörü geliştirmesi, analog stereo değerlendirme dönemini başlatmıştır. Fotogrametriyi haritacılığın vazgeçilmez bir aracı haline getirmiştir.

Teknolojik evrim, Wolf ve DeWitt' in çalışmasına göre analog (1900-1960), analitik (1960-2000) ve dijital (2000-günümüz) olmak üzere üç ana aşamada sınıflandırılmıştır (Wolf ve DeWitt, 2000). Analitik fotogrametri dönemi, bilgisayar destekli hesaplamaların devreye girmesiyle yüksek doğruluk ve otomasyon sağlamıştır. Günümüzde hâkim olan dijital fotogrametri ise, tamamen dijital görüntü işleme, bilgisayar vizyonu algoritmaları ve Structure from Motion (SfM) tekniklerinden yararlanarak devrim niteliğinde bir dönüşüm gerçekleştirmiştir (Snaveley vd., 2008).

Prensibinin temeli, paralaks olgusu ve üç boyutlu rekonstrüksiyon için gereken stereoskopik görüştür. Bir nesnenin farklı konumlardan çekilmiş iki ya da daha fazla fotoğrafı (örtüşmeli görüntüler), nesne noktalarının değişik perspektiflerdeki konum farklarını (paralaks) kaydeder. Fotogrametrik açıdan değerlendirme, paralaktik açıları çözümler ve görüntü koordinatlarını nesne uzayı koordinatlarına dönüştürür. İşlem, iç yöneltme (kameranın kalibrasyon parametrelerinin belirlenmesi), dış yöneltme (kameranın pozisyon ve yöneliminin hesaplanması) ve nokta eşleştirme aşamalarından oluşan bir süreçle gerçekleştirilir (Luhmann vd., 2014).

Dijital dönemde fotogrametri, geleneksel haritacılık ve topoğrafya uy-

gulamalarının oldukça ilerisine geçmiştir. Mimari ve arkeolojik belgeleme (Remondino, 2011), kültürel mirasın korunması, adli tıp, endüstriyel ölçüm, jeomorfoloji ve anatomi gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle SfM algoritmalarının gelişmesi ve kullanıcı dostu yazılımların yaygınlaşması, fotogrametriyi düşük maliyetli, taşınabilir ve yüksek çözünürlüklü bir 3B belgeleme teknolojisi haline getirmiş ve böylece disiplinler arası araştırmaların vazgeçilmez bir enstrümanı olmasını sağlamaktadır (Westoby vd., 2012).

Fotogrametrinin Geometrik ve Optik Temelleri: Görüntüden Ölçüme Yolculuk

Fotogrametri, cisimler ve oluşturdukları çevreden yayılan ışınların şekillendirdiği fotografik görüntülerin kayıt, ölçme ve yorumlama işlemleri sonucunda bu cisimler ve çevre hakkında güvenilir bilgilerin elde edildiği teknoloji ve bilim dalıdır (Kraus, 2007). Bir başka tanımla, fotogrametri, bir nesnenin boyutlarını fotografik görüntüsünden belirleyen tekniktir. Cisimlere temas etmeksizin onların yeniden oluşturulmasını ve bazı cisim özelliklerinin belirlenmesini sağlamaktadır (Gürbüz H. 2006).

Fotogrametri, fiziksel dünyayı iki boyutlu optik izdüşümlerinden yeni baştan inşa etme sanatı ve bilimidir. Bu inşa süreci, fotoğrafların yalnızca belgesel değil, aynı zamanda geometrik birer veri kaynağı olduğu asli paradigmasına dayanır. Fotogrametrinin teorik omurgasını, nesne uzayıyla görüntü düzlemi arasındaki matematiksel ilişkiyi açıklayan merkezsiz izdüşüm (central perspective projection) oluşturmaktadır (Kraus, 2007). Bu ilişki, bir noktadan yayılan ve maddeyi delerek görüntü düzlemine ulaşan görüş ışınları konseptiyle ifade edilmekte ve her bir ışın, nesne uzayındaki bir noktayla görüntü düzlemindeki karşılığı arasında direkt olarak köprü kurar. Bu köprünün matematiksel olarak ifade edilmesi, kolinerite koşulu denklemleriyle sağlanır. Bu denklemler projeksiyon merkezi ve bu nesne noktasının görüntü düzlemindeki izdüşümünün aynı doğru üzerinde bulunduğu gerçeğini formüle eder. Kolinerite denklemleri, görüntü koordinatlarını (x, y) nesne uzayı koordinatlarına (X, Y, Z) bağlamakta ve iç/dış yöneltme parametrelerini içeren deterministik bir model sunmaktadır. Bu model, fotogrametrik yeniden yapılandırmanın en önemli alanında yer alan, ölçüm ve hesaplamaların dayandığı kesin geometrik çerçevedir (Luhmann vd., 2014).

Fotogrametrik bir yanıtın doğruluğu ve güvenilirliği, bu teorik modelin gerçek dünya şartlarına uyarlanmasına bağlıdır. Bu uyarılmanın ilk hayati adımı iç yöneltme olarak adlandırılmaktadır. İç yöneltme, görüntü düzlemindeki koordinat sistemini, fotoğraf makinesinin kalibrasyon parametreleriyle projeksiyon merkezine bağlar. Bu parametreler, odak uzaklığı (f), asıl nokta koordinatları (x_0, y_0) ve lens distorsiyon katsayılarından oluşur (Fraser, 1997). Fotogrametri, temelde bir görelî ölçüm yöntemidir. SfM süreci, başlangıçta sadece modelin içindeki görelî boyutları net bir şekilde yeniden oluşturur.

Mutlak, gerçek dünya ölçeğini ve koordinat sistemini elde etmek amacıyla dışsal referanslara ihtiyaç duyulur.

Modern ölçü kameralarında bu parametreler kararlı olsa da yakın mesafeye fotogrametrisinde kullanılan dijital SLR/DSLR kameraların kalibrasyonu, yüksek derece doğruluk için olmazsa olmaz bir ön şarttır.

Geometrik modelin fiziki dünyaya yerleştirilmesi dış yöneltmeyle sağlanır. Dış yöneltme, kameranın nesne uzayındaki mutlak konumunu (X_0 , Y_0 , Z_0) ve yönelimini (ω , ϕ , κ açıları) tanımlar. Diğer bir deyişle, projeksiyon merkezinin dünya koordinat sistemindeki koordinatlarını ve kameranın bu noktadan dünyaya olan bakış açısını belirler. İç ve dış yöneltme parametreleri birlikte, her bir görüş ışınının madde uzayındaki tam geometrik tanımını sağlamaktadır.

Tek bir fotoğraf, bir noktanın sadece projeksiyon merkezinden geçen ışın doğrultusunda olduğunu söylemektedir. Derinlik (Z) bilgisi kaybolmuştur. Bu kaybın geri kazanılması ve üç boyutlu konumunun belirlenmesi sadece stereoskopi ilkesi ile gerçekleştirilmektedir. Aynı madde noktasına, uzayda farklı iki projeksiyon merkezinden çekilmiş olan iki fotoğrafta bakıldığında, o noktanın her iki görüntü düzlemindeki izdüşümleri arasında bir konum farkı oluşmaktadır. Bu farka paralaks, yatay bileşenine yatay paralaks ya da stereoskopik paralaks denir (Wolf & DeWitt, 2000). Bu paralaks, insan beyninin derinliği algılamasındaki biyolojik prensibin matematiksel karşılığıdır. Fotogrametrinin temelindeki çözülmesi gereken problem, iki farklı fotoğraftaki eşlenik noktaları doğru şekilde eşleştirmek ve bu noktaların görüntü koordinatlarındaki farktan yola çıkarak, iki görüş ışınının kesişim noktasını hesaplamaktır. Bu kesişim, nesne noktasının üç boyutlu uzaydaki tam konumunu vermektedir.

Structure from Motion (SfM), çok sayıda eşleşen görüntüyü otomatik olarak işler, önce kameraların görelî konum ve yönelimlerini sonrasında da bu kameralar tarafından görülen ortak noktaların 3B koordinatlarını eş zamanlı olarak çözer (Snavely vd., 2008). Bu yapılan işlem, ölçekten Bağımsız Özellik Dönüşümü (Scale-Invariant Feature Transform- SIFT) vb. algoritmalarla sayıca oldukça fazla ortak özellik noktasının tespit ve eşleştirilmesiyle başlamaktadır. Ardından, sağlam bir doğrusal olmayan en küçük boyuttaki kareler (non-linear least squares) optimizasyonu olan paket ayarlamayla (bundle adjustment) tüm parametreler (3B nokta pozisyonları ve kamera parametreleri) birbirine bağılı olarak hassaslaştırılmakta ve en tutarlı geometrik çözüm elde edilmektedir (Triggs vd., 2000).

Fotogrametrinin Anatomik Keşifteki Rolü: Üç Boyutlu Morfolojik Analize Yeni Ufuklar

Fotogrametri, nesnelerin veya çevrenin fotoğraflarından güvenilir öl-

çümler çıkarma bilimi ve teknolojisi olarak yorumlanmıştır (Luhmann vd., 2019). Anatomi bilimi ile kesiştiği noktada ise, canlı veya kadavra anatomik yapıların invazif olmayan, yüksek doğruluklu üç boyutlu (3B) modellerinin oluşturulmasını sağlayan güçlü bir dokümantasyon ve analiz aracına dönüşmektedir. Bu bölümde, fotogrametrinin temel prensipleri, anatomi alanındaki uygulama yöntemleri, avantajları, sınırlılıkları ve disiplinler arası çalışmalar için sunduğu gelecek potansiyeli, akademik referanslar eşliğinde ele alınacaktır.

Anatomi, canlı organizmaların yapısal temellerini anlamaya yönelik bir araştırma alanıdır. Tarih süresince görselleştirme ve belgeleme teknolojilerindeki gelişmelerden derinden etkilenmiştir. Bu yolculuk Vesalius'un gravürlerinden modern tomografiye uzanmakta ve yakın mesafe fotogrametrisi (close-range photogrammetry), özellikle son on yılda, anatomi araştırmalarında ve eğitiminde devrimsel bir metodoloji olmuştur. Bu teknik, geleneksel diseksiyon ve radyolojik görüntülemenin farklı boyutuna geçerek, makroskobik anatomik yapılarının yüksek çözünürlüklü, ölçekli, gerçekçi doku bilgisi içeren ve metrik olarak doğru üç boyutlu (3B) dijital modellerini üretebilir kılmaktadır (Müller vd., 2016). Bu bölüm, fotogrametrinin anatomi alanı içerisindeki metodolojik uygulamalarını, temel avantajlarını, sınırlılıklarını ve multidisipliner araştırma potansiyelini, bilimsel literatür referanslarıyla inceleyecektir.

Metodolojik Yaklaşım: Kadavradan Dijital İkize

Anatomik fotogrametri, detaylıca bir veri yakalama ve işleme süreci gerektirir. İlk olarak, hedef yapının optimal şekilde görüntülenmesi amacıyla kadvranın veya preparatın hazırlanmasıdır. Yüzeysel reflekslerin azaltılması için nötr, mat bir fon (yaygın olarak mavi veya siyah) kullanılması ve mümkünse yapıların kontrast artırıcı ajanlar (örn., yumuşak doku için mavi veya yeşil pigmentli su, kemik için beyaz toz) ile işaretlenmesi, görüntü eşleştirme algoritmalarının performansını önemli derecede artırır (Egger vd., 2017). Dolaşım sistemi vb. içi boş yapıların modellenmesi için, yapı içine yerleştirilen endoskopik kameralarla endofotogrametri teknikleri uygulanabilir.

Görüntü Yakalama, yapının bütün yüzeylerinin yeterli derecede örtüşme (>%60-80) ile kapsanması ilkesine dayanır. Çok sıralı (multi-row) ve açılı (oblique) çekim motifleri kullanılarak, foramen, fissura gibi girintili çıkıntılı yapıların da tam anlamıyla yansıtılması sağlanır.

Ölçeklendirme (scaling), metrik doğruluğun temelini oluşturur. Sahneye yerleştirilen, boyutu bilinen kalibrasyon çubukları veya kodlanmış hedef noktalarıyla (coded targets), nihai 3B modelin standart dünya birimlerine (mm, cm) dönüştürülmesi sağlanır.

Yapı-Hareketinden (SfM) ve Çoklu Görüş Stereozinden (MVS) oluşan iş-

leme ardışığı, görüntülerden yoğun bir 3B nokta bulutu oluşturur ve bu bulut, yüzey temsili için bir poligonal ağ modeline dönüştürülür. Son olarak orijinal fotoğraflardan da elde edilen renk bilgisi, modele doku kaplaması (texture mapping) olarak uygulanarak gerçekçi bir görünüm kazandırılmaktadır (Remondino vd., 2017).

Fotogrametrinin Temel Prensipleri ve Yöntemleri

Fotogrametri temelinde uyum sağlayan 2B dijital görüntülerden, madelerin 3B koordinatlarını ve geometrilerini çıkarmaya dayanır. Süreç genel hatlarıyla “yapı hareketinden” (SfM) ve çoklu görüş geometrisinin prensiplerine dayanan dijital fotogrametriyle mümkün olmaktadır (Fonstad vd., 2013). Bu bölümde, fotogrametrinin temel matematiksel ilkelerini, tarihsel gelişim sürecini, veri toplama ve işleme metodolojilerini, çeşitli bilimsel alanlardaki modern uygulamaların sistematik bir şekilde ele alınmasını amaçlamaktadır. Fotogrametrinin teorik altyapısını ve pratikteki gücünü anlamak, fiziksel dünyanın dijital ikizlerini oluşturma ve analiz etme kapasitesinin kavranması açısından kritik öneme sahiptir.

Temel Aşamalar:

1. *Görüntü Alımı:* Hedef anatomik yapıların çevresinde, yüksek seviyede örtüşme oranına sahip olacak düzeyde çok sayıda dijital fotoğraf çekilmektedir.

2. *Nokta Bulutu Oluşturma (SfM):* Yazılımlar, alınan görüntülerdeki ortak noktaları tanımlayarak ve eşleştirerek, bu noktaların 3B uzaydaki konumlarını hesaplayarak “seyrek nokta bulutu” oluşturmaktadır.

3. *Yoğun Nokta Bulutu Üretimi:* Seyrek nokta bulutu temel alınacak şekilde her pikselin derinlik bilgisi hesaplanmakta ve nesne yüzeyinin yoğun bir şekilde temsil edilen milyonlarca noktadan oluşan bir veri seti elde edilmektedir.

4. *Mesh (Ağ) Modeli ve Doku Kaplaması:* Yoğun nokta bulutu, birbirine bağlanan üçgenlerden oluşan bir yüzey modeline dönüştürülmektedir. Sonrasında, orijinal fotoğrafların renkleri ve doku bilgileri 3B ağ modeli üzerine gerçekçi bir şekilde kaplanmaktadır. (Remondino, 2011, Yakar, M., & Yıldız, A. Y. F. (2005). FOTOGRAMETRİDE GÖRSELLEŞTİRME ÜRÜNLERİ VE TEKNİKLERİ.).

Anatomik Çalışmalarda Fotogrametrik Uygulamalar

Anatomi eğitimi, araştırması ve klinik dokümantasyonda fotogrametri, geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında önemli avantajlar sunmaktadır. Kantitatif ve Karşılaştırmalı Anatomi (Morfometri), Fotogrametri, geleneksel morfometrinin ötesine geçen olanaklar sunar. Oluşturulan 3B modeller üzerinden Geometrik Morfometri (Geometric Morphometrics- GM) analizleri

yapılabilmektedir. GM, anatomik landmark'ların 3B koordinatlarını kullanarak, popülasyonlar, türler veya patolojik durumlar arasında bulunan şekil varyasyonlarını istatistiksel olarak incelemeyi ve görselleştirmeyi sağlar (Slice, 2007). Bu, kraniyofasiyal varyasyonların, eklem morfolojisinin ya da dental ark formunun nesnel analizi için güçlü bir araçtır. (Rodríguez, E. M. 2024)

Fotogrametrik Uygulamaların Eğitim Alanında Kullanımı:

Dijital ve Hibrit Anatomi Laboratuvarları

Fotogrametri, kadavra temelli eğitimin erişilebilirliğini ve sürdürülebilirliğini arttırmaktadır. Nadir anatomik varyantlar ya da patolojik örnekler dijitalleştirilerek, zamandan ve mekândan bağımsız bir "3B Anatomi Kütüphanesi" oluşturulabilmektedir. Bu modeller, Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR) platformlarına senkronize edilerek, öğrencilerin eğitimde kullanılacak olan yapıları sanal olarak disseke edebileceği, katman olarak inceleyebileceği ve hatta cerrahi prosedürleri simüle edebileceği interaktif öğrenme ortamları yaratılabilmektedir (Murgitroyd vd., 2015).

- ***Dijital Anatomi Koleksiyonları:*** Anatomik preparatlar, patolojik örnekler ya da fosiller, kaybolma, bozulma riski olmadan arşivlenebilmekte ve 3B dijital koleksiyonlar şeklinde öğrencilerin erişimine sunulabilmektedir.

- ***Etkileşimli Öğrenme Araçları:*** Oluşturulan 3B modeller, sanal gerçeklik (VR) ya da artırılmış gerçeklik (AR) ortamlarına aktarılarak, öğrencilerin yapıları her açıdan inceleyebildiği katmanlı bir şekilde disseke edebildiği dinamik öğrenme deneyimleri yaratılabilmektedir (Murgitroyd vd., 2015).

- ***Uzaktan Eğitim Desteği:*** Fiziksel laboratuvara erişim kısıtlılığı yaşayan öğrenciler için yüksek kalitede, ölçeklendirilebilen ve tekrar kullanılabilen anatomik içerik sağlamaktadır.

Araştırmada Kullanımı:

- ***Kantitatif Analiz:*** Modellerin üzerinden hassas mesafe, açı, alan ve hacim ölçümleri yapılabilmektedir. Morfometrik çalışmalarda, popülasyonlar veya türler arasındaki ince şekil farklılıkları istatistiksel olarak analiz edilebilmektedir

- ***Zaman İçinde Değişimin İzlenmesi:*** Aynı örneklerin farklı zaman noktalarında fotogrametrik taraması yapılarak, sürecin 3B olarak nicel ve nitel izlenmesi sağlanabilmektedir.

- ***Forensik ve Paleoantropoloji:*** Adli tıp ve antropolojide, delil bütünlüğü ve dokümantasyonun nesnelliğini korumak esastır. Fotogrametri, kemik travmalarının, yara izlerinin veya osteolojik patolojilerin, fosil kalıntılarının invazif olmayan, örnek üzerinde herhangi bir fiziksel temasa gerek olmadan, adli kanıt niteliği taşıyan ve metrik olarak doğru 3B kayıtlarını almayı mümkün kılar ve bu kayıtlar, uzman raporlarını destekleyen, mahkemede sunula-

bilecek kalıcı bir görsel veri tabanı sağlamaktadır (Buck vd., 2013).

Klinik ve Cerrahi Planlamada Kullanımı

Hasta-spesifik anatominin modellenmesinde fotogrametri rolü önem arz eder. Yüz ve ekstremiteler vb. yüzeysel anatomik bölgelerin 3B taraması, rekonstrüktif ve estetik cerrahisinde cerrahi planlama, implant tasarlanması ve ameliyat öncesi-sonrası objektif olarak sonuç değerlendirmesi için kullanılmaktadır (Mohan vd., 2021). Cerrahi alanın intraoperatif fotogrametrik kaydı, ameliyatın adım adım 3B dokümantasyonunu sağlayarak eğitim ve kalite güvencesi açısından oldukça önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

• **Plastik Cerrahi ve Yüzeysel Anatomi:** Hastanın vücut konturlarının 3B modeli oluşturularak, cerrahi planlama, simülasyon ve ameliyat öncesi-sonrası objektif karşılaştırmalar yapılabilir.

• **Adli Tıp ve Otopsi:** Kadavra ya da adli olgularda, bulguların konumunu ve ilişkisini koruyarak ayrıntılı 3B kayıtlar oluşturulabilmektedir.

Fotogrametri Yöntemi Kullanımının Literatüre Yansımaları

Fotogrametri, son yıllarda antropometri ve klinik araştırmalarda, geleneksel temaslı ölçüm yöntemlerine kıyasla hatası az, tekrarlanabilir ve invaziv olmayan bir alternatif olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Bu yöntemin farklı disiplinlerdeki uygulama yelpazesi ve geçerliliği, yapılan çeşitli çalışmalarla ortaya konmaktadır.

Antropometrik alanda, Özkoçak ve ark. (2018), Anadolu popülasyonunda yaşa bağlı morfometrik değişimleri ve bilateral asimetriyi incelemek amacıyla, 20 yaş üstü 120 sağlıklı erkek bireyin kulak ölçümlerini fotogrametrik yöntemle analiz etmiştir. Benzer şekilde, Barut ve ark. (2025), yüz asimetrisinin el tercihi ve cinsiyetle ilişkisini araştırdıkları çalışmalarında, Frankfurt düzleminde standartlaştırılmış yüz fotoğrafları üzerinden 16 doğrusal ölçümü, AutoCAD yazılımı aracılığıyla dijital fotogrametri ile gerçekleştirmişlerdir.

Klinik ortopedi alanındaki bir uygulama ise Çatal (2010) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çatal, balerinlerin mesleki deformasyon kaynaklı ayak kemiklerindeki ortopedik değişiklikleri, fotogrametrik teknikler kullanarak metrik düzeyde incelemiştir.

Yöntemin erişilebilirliği ve pratikliğine yönelik vurgu ise Rodriguez (2024)'ün çalışmasında öne çıkmaktadır. Rodriguez, profesyonel “standart altın” fotografik ekipmanlara bir alternatif olarak, üst düzey akıllı telefon kameralarıyla yapılan fotogrametrinin geçerliliğini ve potansiyelini araştırmayı amaçlamıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmalar birlikte ele alındığında, fotogrametrinin hem temel antropolojik araştırmalarda hem de klinik tanı ve izlemde, gü-

venilir, ekonomik ve kullanıcı dostu bir metrik analiz aracı olarak önemini ortaya koymaktadır.

Fotogrametrinin Analitik Değerlendirmesi: Stratejik Üstünlükler ve Pratik Sınırlılıklar

Fotogrametri, ölçüm ve dokümantasyon teknolojileri doğrultusunda ilerleyerek merkezi bir konum kazanırken, uygulama yapıcı ve araştırmacılar için metodolojik bir tercih yapmak, tekniklerin derinlemesine bir karşılaştırmalı analizini gerektirmektedir. Bu bölüm, fotogrametrinin diğer 3B yakalama yöntemlerine (koordinat ölçüm makinaları, lazer tarama) kıyasla kendi iç uygulama spektrumunda sahip olduğu stratejik avantajlarla, pratik ve teorik sınırlılıklarını sistematize bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu analiz sonucu disiplinler arası projelerde fotogrametrinin optimal kullanım senaryolarının belirlenmesi amacıyla kritik bir çerçeve sunulacaktır.

Pratik ve Teorik Sınırlılıklar: Uygulama Duvarları

-Görünürlük ve Aydınlatma Bağımlılığı

Görüntülenebilirlik şartı fotogrametrinin en temel sınırıdır. Model oluşturulacak noktaların en az iki görüntüde net olacak şekilde görünmesi gerekmektedir. Derin oyuklar, örtüşmeler ya da kendi gölgeleri bu koşulu ihlal ederek veri kaybına sebep olur. Aydınlatma koşulları fazlasıyla kritiktir. Düşük ışık, gürültülü görüntülere; aşırı parlaklık ya da doğrudan yansımalar, özellik eşleştirmesinin imkânsız hale gelebileceği aşırı doymuş piksellere yol açmaktadır. Düzensiz aydınlatma neredeyse bir zorunluluktur. (Remondino, F. 2011.)

-Doğruluk Dağılımının Heterojenliği

Fotogrametrik bir modelin mutlak doğruluğu, birçok faktöre bağlıdır ve homojen değildir. Temel faktörler arasında; lens distorsiyon modelinin doğruluğu, kamera baz mesafesinin nesneye olan uzaklığa oranı (Baz-Objeye Uzaklığı Oranı), kamera konumlarının maddeye göre açısal dağılımı (Ağ Geometrisi) yer alır (Luhmann vd., 2014).

Hesaplama Yoğunluğu ve Veri Yönetimi

Yüksek netlikteki yüzlerce görüntünün işlenmesi, detaylı bir hesaplama yükü gerektirir. Yoğun nokta bulutu oluşturma ve mesh işlemleri, özellikle de karmaşık sahneler için, kaliteli işlemciler ve büyük RAM kapasitesi olmadan günler sürebilir.

Fotogrametriye Dair Gelecek Perspektifleri

Fotogrametri, anatomi bilimi için dijitalleşme, nicelleştirme ve demokratikleşme bağlamında güçlü bir araç seti sunmaktadır. Geleneksel anatomi laboratuvarının sınırlarını geçerek, yeniden üretilebilir, paylaşılabılır ve inte-

raktif 3B içeriklerin oluşturulmasına imkân tanır.

Gelecek yıllarda, yapay zekâ destekli görüntü işleme tekniklerinin fotogrametri süreçlerini hızlandırarak doğruluğunu artırması beklenmektedir. Artırılmış Gerçeklik (AR) gözlükleri ile canlı cerrahi alan üzerine, önceden hazırlanmış hasta-spesifik 3B anatomik modellerin yansıtılması, cerrahi navigasyonu yeni bir boyuta taşıyacaktır (Fida vd., 2018). Ek olarak histolojik kesitlerin veya radyolojik verilerin fotogrametrik modellerle füzyonu, makroskobik anatomiyle mikroskobik ve radyolojik anatomi arasında köprü kurarak bütünleşik bir anlayış geliştirmeye yardımcı olacaktır.

Anatomi disiplini statik bir belgeleme sürecinden, dinamik, nicel, etkileşimli ve erişilebilir hale getirerek bilimsel bir keşif alanına taşımakta fotogrametrinin anahtar bir rolü bulunmaktadır. Morfometrik araştırmalara sağladığı bilginin kesinliği, eğitime getirdiği yenilikçilik ve klinik uygulamalara sunduğu pratik çözümler ile modern anatomik bilginin üretim, arşivlenme ve aktarımında merkezi bir metodoloji haline gelmektedir.

Teknolojinin ulaşabilirliği arttıkça, eğitimden kliniğe, araştırmadan arşivlemeye kadar uzanan anatominin her alanında standart bir uygulama yöntemi haline gelmesi kaçınılmaz bir haldedir. Başarılı bir fotogrametrik proje, bu metodolojik üstünlüklerden azami ölçüde faydalanan ve sınırlılıklarını proje planlama aşamasında tanımlayıp bunları uygun sahne hazırlığı, veri yakalama planlama ve doğrulama protokolleriyle yönetmeyi gerektirmektedir. Fotogrametri, mühendislik kesinliğiyle sanatsal görselleştirmeyi birleştiren ve bilinçli kullanıldığında eşsiz sonuçlar verebilen güçlü ve demokratik bir teknolojidir. Bu teknolojinin benimsenmesi ve geliştirilmesi insan morfolojisinin anlaşılmasından sağlık alanındaki her alan için yeni ufuklar açmaya devam edecektir.

Sonuç

Fotogrametrinin avantaj ve dezavantajları, onu evrensel bir çözüm değil, belirli senaryolarda optimal bir araç haline getirir.

Avantajlar:

- Temassız ve Non-invaziv: Özellikle değerli, narin veya enfekte örnekler için idealdir.

- Kısmen Düşük Maliyet: Profesyonel 3B tarayıcılarla karşılaştırıldığında, yüksek çözünürlüklü bir dijital fotoğraf makinesi ve yazılımla uygulanabilmektedir.

- Renk ve Doku Bilgisi: Laser tarayıcıların tersine, gerçeğe uygun renk ve doku bilgisini doğal olarak kaydetmektedir.

- Sahada Kullanım ve Taşınabilirlik: Laboratuvar alanı dışında, uygun aydınlatma koşulları olan her yerde uygulanabilmektedir.

· Yüksek Çözünürlük: Mikro-fotogrametri teknikleriyle makro ve mikro anatomi düzeyinde detaylı modeller elde edilebilmektedir.

Sınırlılıklar ve Zorluklar:

· Işık ve Görünürlük Koşulları: Kaliteli sonuç için homojen, yansıma yapmayan aydınlatma ve yapının tüm alanlarının görünür olması gerekmektedir. Derin çukur, foramen gibi gizli yapılar problem oluşturabilmektedir.

· İşlem Süresi ve Yazılım: Yoğun nokta bulutu ve mesh oluşturma, özellikle karmaşık haldeki modellerde yoğun işlem gücü ve zaman gerektirmektedir.

· Mutlak Ölçeklendirme: Fotoğraflardan üretilen modeller ilk başta ölçeksiz haldedir. Doğru metrik ölçümler için modele, belirli uzunluktaki bir referans nesnesi ile ölçeklendirme yapılmaktadır.

· Hareket Artefaktı: Canlı hastada ya da non-stabil bir preparatta hareket, görüntü eşleştirmesinde yanlışlara yol açabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Buck, U., Naether, S., Rass, B., Jackowski, C., & Thali, M. J. (2013). Accident Or Homicide –Virtual Crime Scene Reconstruction Using 3D Methods. *Forensic Science International*, 225(1-3), 75-84. <https://doi.org/10.1016/j.forsci-int.2012.05.015>
- Carbonell Rodríguez, E. M. (2024). *Comparación fotogramétrica facial mediante smartphone de alta gama fotográfica y medición directa en voluntarios de la clínica de ortodoncia de la Fouch 2024* [Yüksek lisans tezi, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional- UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/21900>
- Çatal, H. (2010). Balerinlerin Ayak Kemiklerindeki Ortopedik Değişikliklerin Fotogrametrik Teknikleri ile Metrik Analizi [Metrik Analysis of Orthopedic Changes in The Foot Bones of Ballet Dancers Using Photogrammetric Techniques] [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi.
- Egger, J., Gall, M., Tax, A., Ücal, M., Zefferer, U., Li, X., & Chen, X. (2017). Interactive Reconstructions of Cranial 3D Implants Under Mevislab As An Alternative to Commercial Planning Software. *Plos ONE*, 12(3), E0172694. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172694>
- Fida, B., Cutolo, F., Di Franco, G., Ferrari, M., & Ferrari, V. (2018). Augmented Reality In Open Surgery. *Updates In Surgery*, 70(3), 389-400. <https://doi.org/10.1007/s13304-018-0567-8>
- Fonstad, M. A., Dietrich, J. T., Courville, B. C., Jensen, J. L., & Carbonneau, P. E. (2013).
- Fraser, C. S. (1997). Digital Camera Self-Calibration. *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 52(4), 149-159. [https://doi.org/10.1016/s0924-2716\(97\)00005-1](https://doi.org/10.1016/s0924-2716(97)00005-1)
- Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: Geometry From Images and Laser Scans* (2nd Ed.). Walter De Gruyter.
- Laussedat, A. (1851). *Mémoire Sur L’emploi De La Chambre Claire Dans Les Reconnaissances Topographiques*. École Polytechnique.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2014). **Close-Range Photogrammetry And 3D Imaging** (2nd Ed.). Walter De Gruyter.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. (2019). **Close-Range Photogrammetry And 3D Imaging**. Walter De Gruyter GmbH & Co KG.
- Mcglone, J. C. (Ed.). (2013). *Manual Of Photogrammetry* (6th Ed.). American Society For Photogrammetry and Remote Sensing.
- Mohan, P., Sivakumar, G., & Nair, S. (2021). Three-Dimensional Surface Imaging in Plastic Surgery: Foundation, Practical Applications, and Beyond. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, 9(5), E3561. <https://doi.org/10.1097/gox.0000000000003561>

- Murgitroyd, E., Madurska, M., Gonzalez, J., & Watson, A. (2015). 3D Digital Anatomy Modelling—Practical Or Pretty? *The Surgeon*, 13(3), 177-180. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2014.10.007>
- Müller, A., Vetter, M., & Bruckner, T. (2016). Photogrammetry in Anatomy: A Novel Method For Documenting Specimens. **Annals Of Anatomy- Anatomischer Anzeiger*, 208*, 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2016.06.002>
- Özdemir, F., & Özkoçak, V. (2018). Kulak Kepçeleri Yüzün Orta Hattına Göre Simetrik Mi? [Are Auricles Symmetric Relative to the Facial Midline?]. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 1093–1106. <https://doi.org/10.17218/hititsosbil.439970>
- Özkoçak, V., & Özdemir, F. (2018). Anadolu Erkeklerinde Sağ ve Sol Kulak Kepçesinin Yaşa Göre Değişimi [Age-Related Changes in The Right and Left Auricle in Anatolian Males]. *Turkish Studies*, 13(18), 1047–1058. <http://dx.doi.org/10.7827/turkishstudies.14370>
- Remondino, F. (2011). Heritage Recording and 3D Modeling With Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3(6), 1104-1138. <https://doi.org/10.3390/rs3061104>
- Remondino, F., & Rizzi, A. (2010). Reality-Based 3D Documentation of Natural And Cultural Heritage Sites—Techniques, Problems, and Examples. *Applied Geomatics*, 2(3), 85-100. <https://doi.org/10.1007/S12518-010-0025-x>
- Remondino, F., Nocerino, E., Toschi, I., & Menna, F. (2017). A Critical Review of Automated Photogrammetric Processing of Large Datasets. *ISPRS Annals of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W2, 117-124. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-iv-2-w2-117-2017>
- Slice, D. E. (2007). Geometric Morphometrics. *Annual Review Of Anthropology*, 36, 261-281. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.34.081804.120613>
- Snave, N., Seitz, S. M., & Szeliski, R. (2008). Modeling The World From Internet Photo Collections. *International Journal Of Computer Vision*, 80(2), 189-210. <https://doi.org/10.1007/s11263-007-0107-3>
- Topographic Structure From Motion: A New Development in Photogrammetric Measurement. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(4), 421-430. <https://doi.org/10.1002/esp.3366>
- Triggs, B., McLauchlan, P. F., Hartley, R. I., & Fitzgibbon, A. W. (2000). Bundle Adjustment—A Modern Synthesis. In B. Triggs, A. Zisserman, & R. Szeliski (Eds.), *Vision Algorithms: Theory and Practice* (Pp. 298-372). Springer Berlin Heidelberg.
- Vergauwen, M., & Van Gool, L. (2006). Web-Based 3D Reconstruction Service. *Machine Vision and Applications*, 17(6), 411-426. <https://doi.org/10.1007/s00138-006-0027-1>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure- From-Motion' Photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool

For Geoscience Applications. *Geomorphology*, 179, 300-314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. (2000). *Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS* (3rd Ed.). McGraw-Hill.

Yakar, M., & Yıldız, F. (2005, Mayıs 25-27). *Fotogrametride Görselleştirme Ürünleri ve Teknikleri* [Visualization Products and Techniques in Photogrammetry] [Sözlü Bildiri]. Harita Teknolojileri Sempozyumu, KTÜ, Trabzon, Türkiye.



RUMİNANTLARDA KARIN ORGANLARININ YERLEŞİMİ VE ANATOMİSİ

“ ”

MERYEM KARAN¹
HAMZA YURTTAŞ²

1 Prof. Dr., Fırat Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Anatomi A.D. 0000-0002-1857-2256

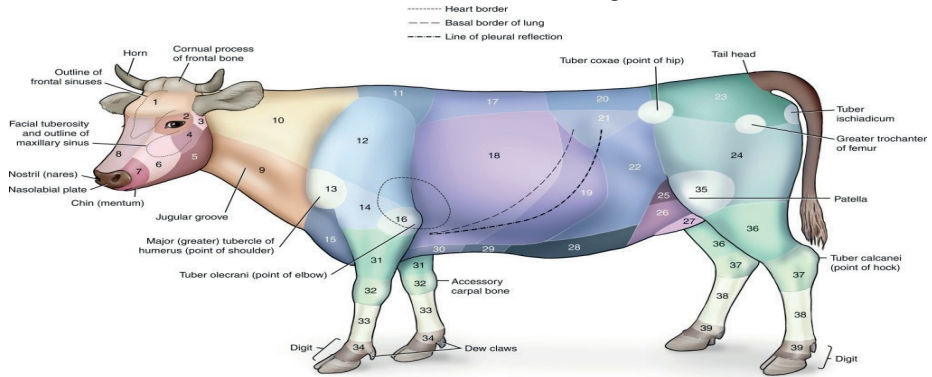
2 Doktora öğrencisi, Fırat Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Anatomi A.D., 0009-0001-9659-7686

KARIN BOŞLUĞU

Karın boşluğu (cavum abdominis), ön taraftan diyafram (diaphragma), arkadan pelvis ön girişi (apertura pelvis cranialis) ile yanlardan karın duvarları ile sınırlandırılmıştır. Karın boşluğu iki hayali çizgi ile üç bölüme ayrılmaktadır. Bu çizgilerden ilki son kaburgalardan (costae) çekilen enine düzlemdir, diğeri ise kalça kemiği çıkıntıları (tuber coxae) arasında çekilen enine düzlemdir. Bu iki düzlem ile karın boşluğu önde regio abdominis cranialis, ortada regio abdominis media ve geride regio abdominis caudalis olmak üzere üç bölüme ayrılır (Şekil 1). Daha sonra her bir bölüm kendi içinde üç alt bölüme ayrılır (Dursun, 2005: 88-110).

Bölgesel sığır anatomisi. 1, frontal; 2, orbital; 3, temporal; 4, zygomatic; 5, mandibular; 6, premaxillary; 7, maxillary; 8, nasal; 9, ventral cervical; 10, dorsal cervical; 11, interscapular; 12, membri thoracici; 13, humeri art.; 14, brachial; 15, presternal; 16, cubiti art; 17, dorsum ; 18, costal; 19, hypochondriae; 20, lumbar; 21, paralumbar fossa; 22, lateral abdominal; 23, sacral; 24, femoral; 25, inguinal; 26, prepubic; 27, prepucial, 28, umbilical; 29, xiphoid; 30, sternal; 31, antebrachial; 32, carpal; 33, metacarpal; 34, digital ; 35, genus 36, crural ; 37, tarsal ; 38, metatarsal; 39, digital.

Şekil 1. Ruminantlarda vücut bölgeleri



Kaynak: Grenager, N. S., Orsini, J. A., Desrochers, A., & de Lahunta, A. (2022). 5.0 Bovine Landscape Figures (1–9). In *Comparative Veterinary Anatomy* (pp. 991-1000). Academic Press.

REGIO ABDOMİNİS CRANIALİS

Diyafram ile son kaburgalar arasında çekilen enine çizginin arasında kalan bölümü oluşturur. Bu bölüm kendi içinde üç alt bölüme ayrılır. İlki göğüs kemiğinin (sternum) ksifoid çıkıntısı (processus xiphoideus) bölgesi regio xiphoidea alt bölgesidir. Diğer ikisi, kaburga kıkırdaklarının (cartilago costae) altında kalan regio hypochondriaca dextra ve regio hypochondriaca sinistra alt bölümleridir.

REGIO ABDOMİNİS MEDİA

Bu bölge, son kaburgalardan çekilen çizgi ile kalça kemiği çıkıntılarından çekilen çizgi arasındaki orta bölgedir, kendi içinde üç alt bölüme ayrılır. Bu alt bölümlerden ilki, göbek çevresi bölgesi olan regio umbilicalis adlı alt bölümdür. Diğer alt bölümler, karın yan duvarı regio abdominis lateralis dextra ve regio abdominis lateralis sinistra isimli alt bölümleridir.

REGIO ABDOMİNİS CAUDALİS

Kalça kemiği çıkıntılarından çekilen enine çizgi ile pelvis boşluğu girişi arasındaki bölümdür. Kendi içinde üç alt bölüme ayrılır. Bunlardan ilki, pubis kemiği bölgesi regio pubica adlı alt bölümdür. Diğer alt bölümler, kasık bölgesi regio inguinalis dextra ve regio inguinalis sinistra adlı alt bölümlerdir.

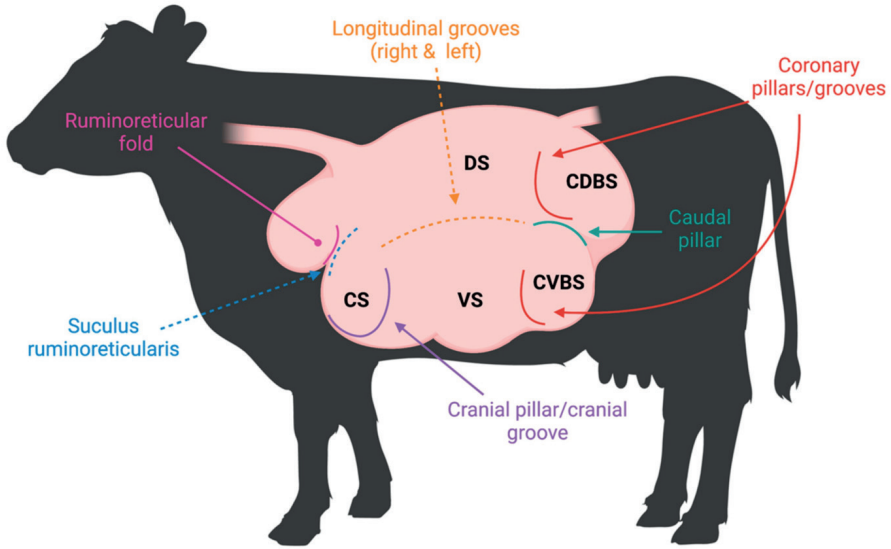
Karın boşluğu içerisinde bulunan fakat göğüs kafesi boşluğuna doğru, kaburgaların altında kalan karın organları bulunmaktadır. Karın boşluğuna ait bu organlara intrathoracal organlar denilmektedir (König & Bragulla, 2007: 690-704).

RUMEN

Geviş getiren hayvanların mideleri 4 kompartmandan oluşur. Bunlar rumen (işkembe), reticulum (börkenek), omasum (kırkbayır) ve abomasumdan (şirden, mayalık) oluşur. Rumen en büyük kompartmanı oluşturur (Dehority, 2002: 145-160). Oval bir şekle sahip olan rumen (Membrive, 2016: 1-38), iç mukoza yüzeyindeki kıvrımlar ile birbirinden farklı keselere ayrılmıştır (Harfoot, 1978: 1-19). Önde ve üstte bulunan kör kesesi (saccus cecus craniodorsalis), reticulum ile iştiraktedir ve yutulan gıdayı alır (Nickel & ark., 2004: 103-104). Rumen üzerinde makroskobik olarak gözlenen oluklar, rumeni farklı keselere ayırır. Yandan basık olan rumenin sağında ve solunda uzunlamasına yer alan oluklar rumeni üst ve alt keselere ayırır (saccus dorsalis, saccus ventralis), aynı zamanda en gerideki kısımda iki kör kese daha oluşturur (saccus cecus caudodorsalis, saccus cecus caudoventralis) (Şekil 2) (Braun, Schweizer & Trösch, 2013: 44).

Rumen median hattın solunu, yedinci intercostal aralık ya da sekizinci intercostal aralıktan pelvis boşluğunun girişine kadar, doldurur (Dyce, Sack & Wensing, 2009: 677-698)

Ds.saccus dorsalis, *Vs. saccus ventralis*, *Cs. Saccus cranialis* (atrium ruminis), *Cdbs. Saccus cecus caudo-dorsalis*, *Cvbs. Saccus cecus caudo-ventralis*
 Şekil 2. Rumen keseleri



Kaynak: Soltis, M. P., Moorey, S. E., Egert-McLean, A. M., Voy, B. H., Shepherd, E. A., & Myer, P. R. (2023). Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms*, 11(3), 747.

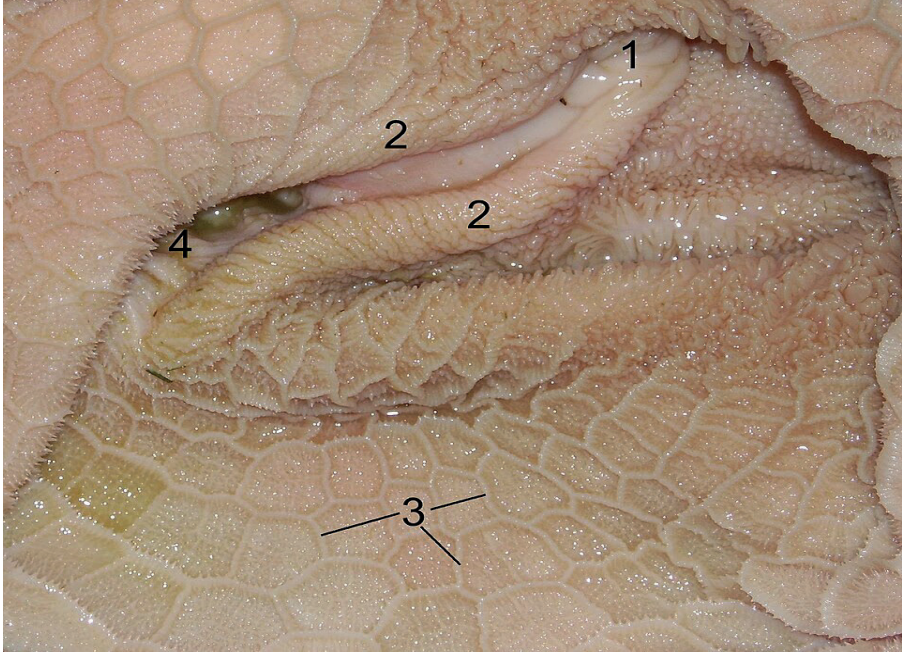
RETİCULUM

Reticulum kompartmanlı mideleri olan ruminanatlardaki en küçük kompartmandır (Nickel & ark., 1979: 151-163). Reticulum geride rumenin dorsal kesesi ile devam eder ve ondan ruminoretiküler bir oluk (sulcus ruminoreticularis) ile ayrılmıştır (Colville & Bassert, 2008: 274-276). Reticulumun iç mukozasında keskin kenarlar (crista reticuli) ile bu kenarların sınırladığı retiküler hücreler (cellula reticuli) bulunur ve bu görünüm bir bal peteği görünümünü andırır (Şekil 3) (Sasan, Suri & Sarma, 2022: 363-370).

Reticulum 6-8 intercostal boşlukta median hat üzerinde bulunmaktadır (Dursun, 2005: 88-110).

1. Ostium esophagea, 2. Plica reticuli, 3. Crista reticuli, 4. Ostium reticulo-omasi

Şekil 3. Reticuum iç mukozası



Kaynak: By User: Uwe Gille - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1379382>

OMASUM

Kompartmanlı midelerin üçüncü bölümü olan omasum, median hattın sağ tarafında ve aynı zamanda 7. ve 11. Sırt omurların iz düşümünde bulunan elips şeklindeki kompartmandır (Habel, 1975). Lamina omasi denilen yapraklar yüzey alanını genişleterek su ve elektrolit emilimini arttıırırlar (Şekil 4) (Leek, 2004). Ayrıca omasum, büyük yem partiküllerini küçük boyutlara getirerek mekanik sindirime yardımcı olur (Brownlee & Elliot, 1960: 467-473).

Şekil 4. Omasum laminaları



Kaynak: del Ciervo, A. M. D. E. (2013). Gross Anatomy of the Stomach of the Cervus Elaphus barbarus. Int. j. morphol, 31(2), 388-391.

ABOMASUM

Yeni doğan ruminanatlarda abomasum, en büyük kompartman durumundadır, ancak bu durum yem alımıyla beraber yaklaşık 8 hafta sonrasında rumen ve reticulum ile eş büyüklüğe erişir ve erişkin bir geviş getiren abomasum, rumen ve reticulumun yaklaşık olarak 1/8'i kadardır. (Nickel, Schummer & Seiferle, 1973: 401)

Abomasum, bezsel mukozaya sahip olduğundan esas midenin karşılığı durumundadır. İç mukozal yüzeyinde kıvrımlar (plicae spirales abomasi) oluşturur (Şekil 5)(König & Bragulla, 2007: 332-350).

Abomasum median hat üzerinde, 8. kaburganın büküm kısmından başlar, pylorus kısmı median hattın hafif sağ tarafına kaymıştır (Dursun, 2005: 88-110).

Şekil 5. Abomasum plica'ları



Kaynak: del Ciervo, A. M. D. E. (2013). Gross Anatomy of the Stomach of the Cervus Elaphus barbarus. *Int. j. morphol*, 31(2), 388-391.

İNCE BAĞIRSAKLAR

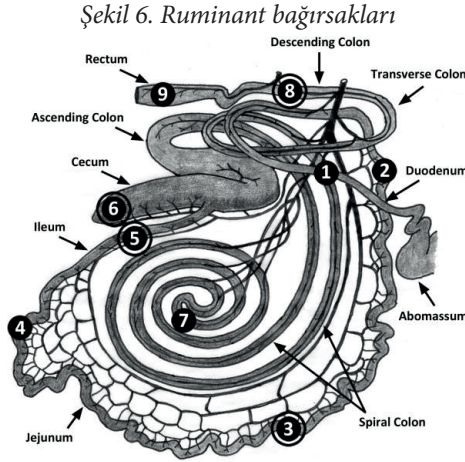
İnce bağırsaklar duodenum, jejunum ve ileumdan oluşur ve abomasumun pylorus kısmı ile cecum arasında lokalize olmuşlardır. Jejunum ve ileum birbirine yapışık durumda ve aralarında belirgin bir ayrım bulunmamaktadır (Smith, 1985: 81-277).

Duodenum pars cranialis, pars ascendens ve pars descendens olmak üzere 3 kısımda incelenir. Jejunum ise kısa bir kıvrım yapar ve bu kıvrık yapı mide-lerin doluluğu ile ilişkedir daha sonrasında kalın bağırsaklara doğru geçer (Şekil 6). Kısa bir yapı gösteren ileum ise ileocecal bir kıvrım (plica ileocecalis) ile sınırı belirlenir (Dyce, Sack & Wensing, 2009: 677-698).

KALIN BAĞIRSAKLAR

Cecum ve colondan oluşan kalın bağırsaklardan cecum, bel bölgesi üzerinde pelvis girişine doğru ilerleyen bir konumdadır. Colon kalın bağırsakların en uzun kısmı olan pars ascendens; pars transversa ve pars descendens adlı üç bölümde incelenir. Pars ascendens kısmında üç farklı yapı gösterir bu yapılar proximal, spiral ve distal kısımlardan oluşur (Şekil 6) (Imran & Tyagi, 2014).

Colonun proximal kısmı “S” harfine benzer şekilde bir kıvrım oluştur. Spiral kısımda colonun çevreden merkeze doğru bir seyir gösterir (gyri centripedales), merkezde bir kıvrım (flexura centralis) yapar ve sonrasında merkezden çevreye doğru bir seyir gösterir (gyri centrifugales) (Şekil 6) (Dursun, 2005: 57-63).



Kaynak: del Ciervo, A. M. D. E. (2013). Gross Anatomy of the Stomach of the Cervus Elaphus barbarus. *Int. j. morphol*, 31(2), 388-391.

KARACİĞER

Karaciğer sığırlarda kırmızı-kahverengi bir renkte olmakla beraber (Şekil 7) göğüs boşluğunda bulunan intrathoracal bir organdır. 6.-13. Kaburgalar arasında, karın boşluğunun regio hypochondrica dextra bölümünde bulunmaktadır (Aqeel, 2024:116-127). Çok çeşitli hayati fonksiyonları olan karaciğerin ağırlığı ruminantlarda vücut ağırlığının %1-1.5'i arasındadır (Madhan & Raju, 2014: 10-13). Karaciğer hücreleri sinuzoid adlı boşluklarla ayrılarak altıgen bir görünümde olup portal dolaşım adı verilen özel bir dolaşım sistemiyle aynı zamanda safra sıvısının üretilmesi ve salgılanmasında görev yapan karın organıdır (Standring, 2008: 1173-75).

Karaciğer dört ana lobda incelenir. Bunlar; sol lop (lobus hepatis sinister), sağ lop (lobus hepatis dexter), kaudat lop (lobus caudatus) ve quadrat loptan (lobus quadratus) oluşmuştur. Embriyonal toplardamarın kalıntısı olarak oluşan ligamentum falciforme ve ligamentum hepatoduodenale ile duodenuma ayrıca ligamentum hepatogastricum ile mideye bağlanır. İlave olarak karaciğeri anatomik konumunda tespit eden ligamentum triangulare sinistrum ve ligamentum triangulare dextrum ile ligamentum coronarium hepatis bulunmaktadır (König & Bragulla, 2007: 364-374).

Şekil 7. Ruminant karaciğeri



Kaynak: Yarpuzlu, B., Ayyildiz, M., Tok, O. E., Aktas, R. G., & Basdogan, C. (2014). Correlation between the mechanical and histological properties of liver tissue. journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 29, 403-416.

DALAK

Dalak, rumenin dorsal kesesinin ön ucuna doğru, karın boşluğunun alt bölgesi olan regio hypochondrica sinister olarak adlandırılan kısımda neredeyse dik bir pozisyonda yerleşmiştir. 7.-8. kaburgaların kırkırdak kesimleri boyunca uzanmış olarak bulunur (Nickel, Schummer & Seiferle, 1987: 213-218). Dalak extramedullar olarak kan yapıcı hücreleri üretme, birçok anormal kan hücreleri ile bazı bakteri ve parazitlerin elimine edilmesinde, lenfosit üretimi ayrıca septisemi gibi hastalıklarda spesifik antikorlar üretme gibi bir çok önemli fonksiyona sahiptir (Radostits & ark., 2000: 417-420).

Ruminantlarda dalağın yarısına kadar olan kısmı periton denilen karın organlarını saran zarın içerisindeyken, belli bir kısmı da rumenin dorsal kesesi ile diyafram arasında bulunur ve şekil olarak küçük ruminantlarda yaprak (Şekil 8) benzeriyken büyük ruminantlarda uzun bir kayış şeklindedir (König & Bragulla, 2007: 494-495).

Şekil 8. Ruminant dalağı

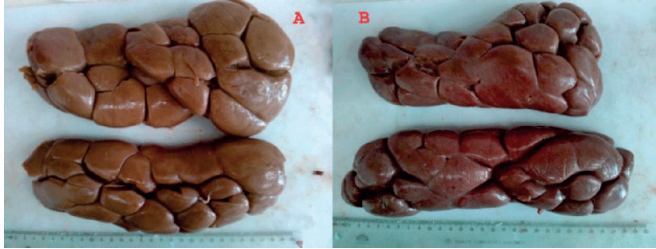


Kaynak: SHEEP, I. I. ANATOMICAL AND HISTOLOGICAL STUDY OF THE SPLEEN.

BÖBREKLER

Her iki böbrekte peritonun gerisinde olup karın boşluğunun dorsalinde bulunmaktadır. Sağ böbrek, sol böbreğe göre önde yer almaktadır. İki böbreğin etrafı yağ doku ile çevrili olup çok iyi bir kapsül ile çevrelenmiştir. Sağ böbrek 12. intercostal aralık ile 2.-3. lumbal omura kadar uzamış, yaklaşık olarak 18-25 cm uzunluğunda, 10-12 cm genişliğinde ve 5-6 cm kalınlığındadır (Floek, 2009: 651-667) (Budras & ark., 2011: 82-83). Sol böbreğin konumu, sağ böbreğe göre daha ventralde yer aldığı aynı zamanda rumenin kontraksiyonları sırasında yer değiştirip median hattın sağına geçebileceği düşünülmektedir (Floek, 2009: 651-667). Sol böbreğin boyutu sağ böbreğinkine benzer görüştü (Floek, 2009: 651-667) bulunsa da bazı bilim insanları tarafından 5-6 cm daha kısa olduğu belirtilmektedir (Sisson, Grossman & Getty, 1982: 1041-1042). Her iki böbrekteki hilus renalis böbreğin cranial kısmına doğru yerleşmiştir. Böbrekte iki ana calix renalis (cranialis et caudalis) ve sayıları 13-64 arasında değişen küçük calix renalisler bulunmaktadır (Şekil 9) (Pereira-Sampaio & ark., 2010: 1264-1269). Böbrek parankiminde renal piramitler (pyramides renales) görülür ve bu yapılar korteks ve medulla olmak üzere ikiye ayrılırlar. Renal piramitler arasında segmental arterler bulunur (Barreiro-Vázquez, Miranda & Barreiro-Lois, 2020: 63). Aorta abdominalisin her böbrek için iki arter çıkar. Sol böbreğe giden arter sağ böbreğin arterine göre daha uzun ve geride bulunur (Szymanski & ark., 2018: 63-72).

Şekil 9. Ruminant böbreği



Kaynak: Akosman, M. S., Türkmenoğlu, İ., Demirkan, A. Ç., Özdemir, V., & Akalan, M. A. (2018). Morphological effects of heat stress on cattle kidney. *Journal of Morphological Sciences*, 35(02), 122-124.

KAYNAKÇA

- Dehority, B. A. (2002). Gastrointestinal tracts of herbivores, particularly the ruminant: anatomy, physiology and microbial digestion of plants. *Journal of applied animal research*, 21(2), 145-160.
- Membrive, C. M. B. (2016). *Anatomy and Physiology of the Rumen*. In *Rumeno-logy* (pp. 1-38). Cham: Springer International Publishing.
- Harfoot, C. G. (1981). Anatomy, physiology and microbiology of the ruminant diges- tive tract. *Lipid metabolism in ruminant animals*, 1-19.
- Nickel, R. (2004). *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere: Eingeweide* (Vol. 2). Georg Thieme Verlag.
- Braun, U., Schweizer, A., & Trösch, L. (2013). Ultrasonography of the rumen of dairy cows. *BMC veterinary research*, 9(1), 44.
- Sasan, J. S., Suri, S., & Sarma, K. (2022). Anatomical studies on the reticulum and reti- cular groove of non-descript goats of Jammu region.
- Colville, T. P., & Bassert, J. M. (2015). *Clinical anatomy and physiology for veterinary technicians*. Elsevier Health Sciences.
- Dursun, N. (2005). *Veteriner topografik anatomi*. Medisan Yayınevi, Ankara, Türki- ye, 88-110.
- Habel RE. 1975. Digestive System. In: Getty R. (ed.) *Sisson and Grossman's The Ana- tomy of the Dometiic Animals*. 5th ed. London: W.B Saunders.
- Leek, B. F. (2004). Digestion in the ruminant stomach.
- Brownlee, A., & Elliot, J. (1960). Studies on the normal and abnormal structure and function of the omasum of domestic cattle. *British veterinary journal*, 116(12), 467-473.
- Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (1973). *The viscera of the domestic mam- mals* (pp. xiv+-401pp).
- Smith D F. 1985a. Bovine intestinal surgery. Part IV. *Modified Veterinary Practices* 66: 277- 81.
- Imran, S., & Tyagi, S. P. (2014). Reliability of ultrasonographic examination of the large intestine in healthy cows.
- Aqeel, A. M. (2024). Anatomical, radiological, and corrosion casting of the liver, gallb- ladder, and biliary duct system of local breed cattle (*Bos taurus*). *Wasit Journal for Pure sciences*, 3(1), 116-127.
- Madhan, K. E., & Raju, S. (2014). Comparative histology of human and cow, goat and sheep liver. *Journal of surgical academia*, 4(1), 10-13.
- Standring S. *Grays Anatomy- Anatomical Basis of Clinical Practice* 2008; 50th Ed:1173-75.

- Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (1987). Milz, Lien, Splen. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, 2, 213-218.
- Floeck, M. (2009). Ultrasonography of bovine urinary tract disorders. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 25(3), 651-667.
- Budras, K.D.; Wünsche, A. Lymphatic system, adrenal glands, and urinary organs. In *Bovine Anatomy. An Illustrated Text*; Budras, K.D., Habel, R.E., Mülling, K.W., Greenough, P.R., Wünsche, A., Buda, S., Eds.; Schlütersche: Hannover, Germany, 2011; pp. 82–83.
- Sisson, S. Sistema urogenital de los rumiantes. In *Anatomía de Los Animales Domésticos*; Sisson, S., Grossman, J.D., Getty, R., Eds.; Salvat Editores: Barcelona, Spain, 1982; pp. 1041–1042.
- Pereira-Sampaio, M. A., Bagetti Filho, H. J., Carvalho, F. S., Sampaio, F. J., & Henry, R. W. (2010). A proposed new classification for the renal collecting system of cattle. *American journal of veterinary research*, 71(11), 1264-1269.
- Barreiro-Vázquez, J. D., Miranda, M., & Barreiro-Lois, A. (2020). Transabdominal Renal Doppler Ultrasound in Healthy Adult Holstein-Friesian Cows: A Pilot Study. *Animals* 2021, 11, 63.
- Szymanski, J., Olewnik, L., Wysiadecki, G., Przygocka, A., Polguy, M., & Topol, M. (2018). Proposal for a new classification of the renal artery in the bovine kidney. *Veterinárni medicína*, 63(2).
- König, H. E., & Bragulla, H. (2007). *Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and colour atlas*. Schattauer Verlag.
- Akosman, M. S., Türkmenoğlu, İ., Demirkan, A. Ç., Özdemir, V., & Akalan, M. A. (2018). Morphological effects of heat stress on cattle kidney. *Journal of Morphological Sciences*, 35(02), 122-124.
- SHEEP, I. I. ANATOMICAL AND HISTOLOGICAL STUDY OF THE SPLEEN.
- Yarpuzlu, B., Ayyildiz, M., Tok, O. E., Aktas, R. G., & Basdogan, C. (2014). Correlation between the mechanical and histological properties of liver tissue. *journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 29, 403-416.
- del Ciervo, A. M. D. E. (2013). Gross Anatomy of the Stomach of the Cervus Elaphus barbarus. *Int. j. morphol*, 31(2), 388-391.
- By User: Uwe Gille - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1379382>
- Soltis, M. P., Moorey, S. E., Egert-McLean, A. M., Voy, B. H., Shepherd, E. A., & Myer, P. R. (2023). Rumen biogeographical regions and microbiome variation. *Microorganisms*, 11(3), 747.
- Grenager, N. S., Orsini, J. A., Desrochers, A., & de Lahunta, A. (2022). 5.0 Bovine Landscape Figures (1–9). In *Comparative Veterinary Anatomy* (pp. 991-1000). Academic Press.



ANATOMİ DERSİ ÇOKTAN SEÇMELİ SORULARIN (MCQ) BİLİŞSEL DÜZEYLERİ

“ ”

Esin ERBEK¹

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Yalova Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı, esinerbek89@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-0883-8532

1. Giriş

Anatomi eğitimi temel tıp bilimlerinin omurgasını oluşturan disiplinlerden biridir ve klinik becerilerin kazanılmasında kritik rol oynar (Drake et al., 2020; Standring, 2020). Öğrencilerin anatomik bilgiyi etkin biçimde öğrenmesi ve kullanabilmesi, ölçme-değerlendirme süreçlerinin niteliği ile doğrudan ilişkilidir. Çoktan seçmeli sorular (Multiple Choice Questions, MCQ), anatomi öğretiminde en yaygın kullanılan değerlendirme araçlarından biridir (Case & Swanson, 2002). Ancak MCQ'ların yalnızca bilgi hatırlama düzeyinde kalması öğrencinin üst düzey düşünme becerilerini ölçmede yetersiz olabilir. Bu nedenle Bloom Taksonomisi gibi bilişsel modeller soru hazırlamada rehber olarak kullanılmaya başlanmıştır (Bloom, 1956; Anderson & Krathwohl, 2001). Bu bölüm, anatomi MCQ'larının bilişsel düzeylerine göre sınıflandırılmasını, örnek soru yazımını ve klinik senaryoya dayalı soru geliştirme yöntemlerini ayrıntılı şekilde ele alır.

2. MCQ ve Bilişsel Düzey Kavramı

MCQ'lar uygun şekilde yazıldığında hatırlama dışında kavrama, uygulama, analiz ve değerlendirme basamaklarını da ölçebilir. Ölçme-değerlendirme literatürü, soru niteliğinin bilişsel düzeyle doğrudan ilişkili olduğunu vurgular (Attardi & Rogers, 2015; Harden, 1979). MCQ ve Bilişsel Düzey Kavramı MCQ'lar uygun düzenlendiğinde öğrencinin yalnızca hatırlama değil, kavrama, uygulama ve üst düzey düşünme basamaklarını ölçebilir. Çoktan seçmeli test maddeleri; ölçme kapsamını genişletebilmesi, kısa sürede çok sayıda öğrenciye uygulanabilmesi, puanlamada yüksek güvenilirlik ve objektiflik sağlaması gibi önemli avantajlara sahiptir (Haladyna & Downing, 1989; Turgut & Baykul, 2014). Bununla birlikte, bu maddelerin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Nitelikli bir madde yazımı belirli bir uzmanlık gerektirdiğinden hazırlama süreci zaman alıcıdır. Ayrıca, tahmine dayalı doğru cevaplama olasılığının bulunması, öğrencinin maddeyi gerçekten bilerek mi yoksa şans yoluyla mı doğru yanıtladığını ayırt etmeyi güçleştirebilir (Sim & Rasiah, 2006). Literatürde, çoktan seçmeli maddelerin öğrencinin bilgiyi organize etme, sentezleme ve ifade etme becerilerini sınırlı ölçüde değerlendirdiği de ifade edilmektedir (Balta & Coşkun, 2017).

Bu görüşler sonucunda çoktan seçmeli testlerin yalnızca bilgi hatırlama ve tanıma düzeyindeki bilişsel hedefleri ölçtüğüne dair yaygın bir algı oluşmuştur. Bazı eğitimciler bu maddelerin üst düzey düşünme becerilerini değerlendirmede yetersiz olduğunu düşünmektedir (Birenbaum & Feldman, 1998). Oysa dikkatli ve amaçlı biçimde hazırlanmış çoktan seçmeli sorular kavrama, uygulama ve analiz gibi üst düzey bilişsel basamakları da ölçebilir (Haladyna et al., 2002; Nicol, 2007). Bu nedenle madde yazımında senaryo temelli yaklaşım, klinik vaka entegrasyonu ve karmaşık problem çözme içeren soru yapılarına yer verilmesi, bu madde türünün etkililiğini önemli ölçüde

artırmaktadır. Bilişsel düzey, bir sorunun öğrenciden beklediği zihinsel işlem basamağını ifade eder. Bu bağlamda taksonomik sınıflama, soru hazırlayıcılarına yol gösterici bir çerçeve sunar.

3. Bloom Taksonomisi ve Anatomi MCQ'larına Yansımaları

Genel anlamda taksonomi, varlıkların basitten karmaşığa ve birbirinin ön koşulu olacak şekilde aşamalı olarak sınıflandırılması anlamına gelmektedir. Program geliştirmede taksonomi, istendik davranışların/ kazanımların basitten karmaşığa, kolaydan zora, somuttan soyuta, birbirinin önkoşulu olacak şekilde aşamalı sıralanması anlamına gelmektedir. Bu bağlamda, aralarında yatay ve dikey olarak sıkı bir ilişki olan öğrenilmiş davranışların sınıflandırılmasında Bloom Taksonomisi taksonomi kullanılmaktadır (Birgin, 2016). Bloom, Engelhart, Furst, Hill ve Krathwohl tarafından geliştirilen Bilişsel Alan Taksonomisi 1956 yılında yayımlanmış ve bilişsel alan bilgi, kavrama, uygulama, analiz, sentez ve değerlendirme olmak üzere altı basamakta tanımlanmıştır (Bloom, Engelhart, Furst, Hill, & Krathwohl, 1956). Bu sınıflandırmanın amacı, eğitimcilerin öğretim programlarını daha sistematik değerlendirmesine ve ölçme süreçlerini daha tutarlı biçimde planlamasına katkı sağlamaktır (Krathwohl, 2002). Ancak taksonominin hiyerarşik yapısı zamanla eleştirilmiş, özellikle sentezin değerlendirmeden daha üst düzey olduğu yönündeki tartışmalar sonucunda taksonomi yeniden düzenlenmiştir (Anderson & Krathwohl, 2001).

Yapılan revizyonla birlikte bazı basamaklar yeniden adlandırılmıştır. Bilgi Hatırlama, Kavrama Anlama, Sentez ise Yaratma olarak değiştirilmiştir. Uygulama, Analiz ve Değerlendirme ise fiil formunda ifade edilmiştir. Wilson'ın sınıflandırmasına göre revize taksonomide düzeyler şu şekilde özetlenebilir (Wilson, 2016):

Yaratma: yeni ve özgün bir ürün ortaya koyma süreci (üst düzey).

Değerlendirme: ölçütlere göre karar verme ve karşılaştırma yapabilme.

Analiz Etme: ilişkileri ve örüntüleri ayırt etme becerisi.

Uygulama: bilgiyi yeni durumlarda kullanabilme.

Anlama: bilgiyi ilişkilendirerek anlamlandırma.

Hatırlama: bilgiyi geri çağırma (en alt düzey).

Genel yaklaşımda uygulama, analiz etme, değerlendirme ve yaratma üst düzey; hatırlama ve anlama ise alt düzey beceriler olarak değerlendirilmektedir (Anderson & Krathwohl, 2001). Bununla birlikte bazı araştırmacılar yalnızca hatırlama basamağının alt düzey olduğunu, anlama basamağının yanlış şekilde alt düzey olarak kabul edildiğini ifade etmektedir (Airasian, 2001). Bu nedenle literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. Bu taksonomilerin oluşturulmasıyla birlikte, üst düzey düşünme becerilerini hedefleyen öğretim

programları geliştirmek ve bu becerileri ölçen sınav maddeleri yazmak daha mümkün hâle gelmiştir. Çünkü bilişsel basamakları tanımlayan fiiller, hedef davranışların belirlenmesini kolaylaştırmakta ve madde yazımında yol gösterici olmaktadır. Ancak bazı fiiller birden fazla basamakta yer alabileceğinden, çoktan seçmeli madde yazımında fiil seçimine dikkat edilmesi gerekmektedir (Çepni, 2014). Yine de bu fiiller, üst düzey bilişsel süreçleri ölçmeye yönelik madde hazırlamada önemli bir rehber niteliği taşımaktadır. (Forehand, 2010; Anderson & Krathwohl, 2001).

Tablo 1. Bloom'un Orijinal Bilişsel Alan Taksonomisi (1956) için Yaygın Fiiller (Bloom et al., 1956; Forehand, 2010)

Basamak	Kullanılan Fiiller (Örnekler)
Bilgi (Knowledge)	Tanımla, listele, belirt, adlandır, hatırla, sıralayarak yaz, tarif et, göster, tekrar et
Kavrama (Comprehension)	Açıkla, özetle, yorumla, örneklendir, sınıflandır, karşılaştır, tahmin et
Uygulama (Application)	Uygula, kullan, çöz, hesapla, göster, düzenle, değiştir, ilişkilendir
Analiz (Analysis)	Çözümle, ayırt et, ilişkilendir, sınıflandır, karşılaştır, organize et, neden-sonuç kur
Sentez (Synthesis)	Tasarla, üret, planla, birleştir, yapılandır, oluştur, önermede bulun
Değerlendirme (Evaluation)	Değerlendir, eleştir, yargıla, savun, ölçütlere göre karşılaştır, kanıtlarla

Tablo 2. Revize Edilmiş Bloom Taksonomisi (2001) için Yaygın Fiiller (Anderson & Krathwohl, 2001; Wilson, 2016)

Basamak	Kullanılan Fiiller (Örnekler)
Hatırlama (Remember)	Tanımla, listele, adlandır, hatırla, geri çağır, belirt
Anlama (Understand)	Açıkla, yorumla, sınıflandır, karşılaştır, tahmin et, örneklendir, özetle
Uygulama (Apply)	Uygula, kullan, hesapla, göster, gerçekleştir, değiştir, modelle
Analiz Etme (Analyze)	Çözümle, ayırt et, ilişkilendir, yapılandır, bileşenlerine ayır, sorgula
Değerlendirme (Evaluate)	Tartış, savun, eleştir, değerlendir, gerekçelendir, ölçütlerle karşılaştır
Yaratma (Create)	Tasarla, üret, oluştur, geliştirme yap, yeniden düzenle, model oluştur, planla

Bloom Taksonomisi bilişsel alanı altı basamakta tanımlar: Bilgi, Kavrama, Uygulama, Analiz, Sentez ve Değerlendirme. Tıp eğitiminde çoğunlukla ilk üç basamak baskın olmakla birlikte, güncel eğitim anlayışı klinik bağlam içeren üst düzey soruların da değerlendirme sürecine dahil edilmesini vurgular.

3.1 Bilgi Basamağı (Remembering)

Bu düzeyde öğrenci anatomik terminoloji, yapı isimleri, lokalizasyon ve temel fonksiyon gibi verileri hatırlamaya yönelik olarak ölçülür. Örnek MCQ:

Aşağıdaki yapılardan hangisi karaciğerin loblarından değildir? A) Sağ lob B) Sol lob C) Kaudat lob D) Quadratus lob E) Falx cerebri Doğru cevap: E

3.2 Kavrama Basamağı (Understanding)

Öğrencinin bilgiyi yorumlaması, ilişki kurması ve açıklaması istenir. Örnek MCQ:

Aşağıdaki ifadelerden hangisi duodenumun peritoneal ilişkisini en iyi açıklar? A) Tamamen intraperitonealdir. B) Çoğunluğu retroperitonealdir. C) Mezenter ile askıda bulunur. D) Sadece papilla major intraperitonealdir. E) Tümü retroperitonealdir. Doğru cevap: B

3.3 Uygulama Basamağı (Applying)

Bilginin klinik ya da senaryoya uyarlanması beklenir. Örnek MCQ:

Pankreas başında tümörü olan bir hastada hangi vasküler yapı baskıya bağlı olarak sarılık gelişimine neden olur? A) Portal ven B) Vena cava inferior C) Ductus choledochus D) A. hepatica propria E) A. mesenterica inferior Doğru cevap: C

3.4 Analiz Basamağı (Analyzing)

Öğrenciden bilginin parçalanması, neden-sonuç ilişkisi kurulması beklenir. Örnek MCQ:

Orta meningeal arterin foramen spinosumdan geçerken travma ile zedelenmesi en olası olarak hangi klinik tabloya yol açar? A) Subaraknoid kanama B) Subdural hematoma C) Epidural hematoma D) İntraserebral hemoraji E) Venöz sinüs trombozu Doğru cevap: C

3.5 Sentez ve Değerlendirme Basamağı (Evaluating & Creating)

Öğrenciden bilgileri birleştirme, klinik karar verme ve yeni ilişki kurma beklenir. Örnek MCQ:

Tiroid bezi cerrahisinde rekürren laringeal sinirin korunması kritik önemdedir. Aşağıdaki durumlardan hangisi sinir hasarı riskini artıran anatomik varyasyonlardan biridir? A) Sinirin trakeoesofageal oluğa girmemesi B) Sinirin direkt karotid bifurkasyonundan geçmesi C) Non-rekürren laringeal sinir bulunması D) Sinirin vagustan dallanmadan larinkse ilerlemesi E) Sinirin inferior tiroid arteri posteriorundan geçmesi Doğru cevap: C

4. Soru Yazımında Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Stem kısa, net ve tek bir soru içermelidir. Çeldiriciler (distraktörler) mantıklı ve konuya uygun olmalıdır. Tek doğru cevap içermeli, yanlış seçenekler açıkça yanlış fakat mantıklı görünmelidir. Klinik senaryo içeren sorular üst düzey bilişsel ölçüm için tercih edilmelidir. Terminoloji uluslararası anatomi standartlarına uygun olmalıdır.

5. Klinik Senaryo Ağırlıklı İleri Düzey MCQ Örnekleri

Üst düzey düşünmeyi teşvik etmenin ve değerlendirmenin en iyi yollarından biri, özellikle gerçek hayat deneyimlerine benzeyen, gerçekçi durumlara dayanan senaryolar içeren maddeler kullanmasıdır (Scully, 2017).

Senaryo Bazlı Sorular

Soru 1: 54 yaşındaki erkek hasta disfaji ve ses kısıklığı şikayetiyle başvurur. Yapılan görüntülemelerde tiroid bezinin sağ lobunda büyüme ve trakeaya bası saptanır. Ameliyat planlanan hastada hangi yapının yaralanması postoperatif ses değişikliğine en çok neden olur? A) N. glossopharyngeus B) N. hypoglossus C) N. laryngeus recurrens D) N. vagus E) N. accessorius Doğru cevap: C

Soru 2: Sol alt ekstremitede travmaya bağlı derin ven trombozu gelişen bir hastada pulmoner emboli şüphesi vardır. Embolinin en olası ilk geçtiği yapı aşağıdakilerden hangisidir? A) A. pulmonalis B) V. cava inferior C) Sol atrium D) Sol ventrikül E) Aort arkı Doğru cevap: B

6. Tartışma

Anatomi eğitiminde MCQ kullanımının yaygınlaşması, değerlendirme süreçlerinin objektif, tekrarlanabilir ve ölçülebilir olmasına olanak sağlamasıyla ilişkilidir. Literatürde MCQ'ların temel bilgi düzeyini ölçmede etkili olduğu, ancak üst düzey bilişsel becerileri tek başına değerlendirmede sınırlı kalabileceği belirtilmektedir (McHanwell et al., 2012; Bergman et al., 2013). Özellikle sadece hatırlama düzeyine yönelik sorular öğrencilerin ezbere yönelmesine yol açabilirken, klinik bağlantılı ve analiz gerektiren MCQ'lar öğrenmeyi derinleştirmektedir (Attardi & Rogers, 2015). Öğrencilerin anatomi bilgilerini klinik bağlama transfer edebilmeleri, MCQ içeriklerinin vaka temelli senaryolarla zenginleştirilmesini gerektirir. Harden (1979) değerlendirmenin öğrenme çıktıları ile uyumunun önemine dikkat çekerken, Case & Swanson (2002) MCQ yapısının doğru hazırlandığında klinik akıl yürütmeyi de ölçebileceğini savunur. Buna göre soru kökü net olmalı, çeldiriciler mantıklı ve konuyla ilişkili hazırlanmalı, tek doğru cevabı destekleyen bilimsel temeller olmalıdır. Anatomi eğitiminde MCQ kullanımının avantajları arasında uygulama kolaylığı, geniş öğrenci grubuna eş zamanlı uygulanabilirlik ve istatistiksel olarak analiz edilebilir sonuçlar elde edilmesi yer alır (Azer, 2013). Ancak yalnızca MCQ'ya dayalı bir değerlendirme sistemi öğrencinin

disseksiyon, üç boyutlu yapı algısı ve klinik karar verme becerilerini ölçme- de yetersiz kalabilir. Bu nedenle OSCE, yapılandırılmış kısa yanıt soruları ve pratik uygulama ölçütleri ile birlikte kullanılması önerilmektedir (Jozefowicz, 1999). Genel olarak literatür, MCQ'ların doğru tasarlandığında anatomi eğitiminde güçlü bir ölçme aracı olduğunu, fakat yüksek bilişsel düzey hedefleniyorsa senaryo temelli, problem çözmeye dayalı ve Bloom taksonomisinin üst basamaklarını hedefleyen sorularla desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda çalışmalardan elde edilen çıkarım, MCQ'nun tek başına değil, çok boyutlu değerlendirme yaklaşımlarının parçası olarak kullanıldığında en etkili sonuca ulaştığı yönündedir.

7. Sonuç

Anatomi MCQ'larının bilişsel düzeye göre planlanması öğrenme çıktı- larını güçlendirir ve öğrencilerin kavrama ile klinik ilişkilendirme becerisini artırır. Taksonomiye dayalı soru tasarımı, ölçme-değerlendirme sürecinin daha objektif ve kapsamlı yapılmasına katkı sağlar.

Kaynaklar

1. Drake RL, Vogl AW, Mitchell A. (2020). Gray's Anatomy for Students. 4th ed. Elsevier;
2. Standring S. (2020). Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. 42nd ed. Elsevier.
3. Bergman RA, Afifi AK, Miyauchi R. (1988). Compendium of Human Anatomical Variation.
4. Bloom BS, Engelhart MD, Furst EJ, Hill WH, Krathwohl DR. (1956). Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals. Handbook I: Cognitive Domain. Longmans, Green.
5. Anderson LW, Krathwohl DR. A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. (2001). New York: Longman.
6. Harden RM, Gleeson FA. (1979). Assessment of clinical competence using an objective structured clinical examination (OSCE). Medical Education.13(1):41-54.
7. Case SM, Swanson DB. (2002). Constructing Written Test Questions for the Basic and Clinical Sciences. 3rd ed. NBME.
8. Jozefowicz RF. (1999). Neuroanatomy and neurological examination: a new approach. Medical Education 33(7):493–497.
9. McHanwell S, et al. (2012). Anatomy teaching in medical education. Medical Science Education. 22(4):317–325.
10. Bergman EM, et al. (2013). The impact of assessment on anatomical learning. Anatomical Science Education. 6(4):205–215.
11. Choudhury B, et al. Use of MCQ in anatomical assessment. J Anat Soc India. 63(2):220–224.
12. Attardi SM, Rogers KA. (2015). Design and evaluation of anatomy MCQs based on Bloom taxonomy. Anatomical Science Education. 8(6):559–565.
13. Azer SA. (2013). Assessment strategies in anatomy education. Clinical Anatomy. 26(1):14–19.
14. Birgin, O. (2016). Bloom taksonomisi. Matematik Eğitiminde Teoriler (ss. 839-860). Ankara: Pegem Akademi.
15. Balta, N., & Coşkun, H. (2017). The effect of multiple-choice item formats on student performance. Education and Science, 42(190), 257-272.
16. Birenbaum, M., & Feldman, R. A. (1998). Relationships between learning patterns and attitudes towards two assessment formats. Educational Research, 40(1), 90-97.
17. Haladyna, T. M., & Downing, S. M. (1989). A taxonomy of multiple-choice item-writing rules. Applied Measurement in Education, 2(1), 37-50.
18. Haladyna, T. M., Downing, S. M., & Rodriguez, M. C. (2002). A review of multip-

- le-choice item-writing guidelines for classroom assessment. *Applied Measurement in Education*, 15(3), 309-333.
19. Nicol, D. (2007). E-assessment by design: Using multiple-choice tests to good effect. *Journal of Further and Higher Education*, 31(1), 53–64.
 20. Sim, J., & Rasiah, V. (2006). Relationship between item difficulty and discrimination indices in true/false-type multiple-choice questions. *Medical Education*, 40(6), 610.
 21. Turgut, M. F., & Baykul, Y. (2014). Eğitimde ölçme ve değerlendirme. Pegem Akademi.
 22. Airasian, P. W. (2001). *Classroom assessment: Concepts and applications*. McGraw-Hill.
 23. Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.) (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Addison Wesley Longman.
 24. Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals (Handbook I: Cognitive domain)*. Longman.
 25. Çepni, S. (2014). *Araştırma ve proje çalışmalarına giriş*. Celepler Matbaacılık.
 26. Forehand, M. (2010). Bloom's taxonomy. In M. Orey (Ed.), *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology* (pp. 41–47). University of Georgia.
 27. Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218.
 28. Wilson, L. O. (2016). Anderson and Krathwohl—Bloom's taxonomy revised. *Educational Learning Theories*, 1–14.
 29. Scully D. (2017) Constructing multiple-choice items to measure higher order thinking. *Pract Assess Res Eval*. 22(4):1-13.



ALT EKSTREMİTE EKLEMLERİ VE PATOLOJİLERİ

“ ”

Yusuf SEÇGİN¹

Melike TATLI²

Halil Şaban ERKARTAL³

Masum NURMAMMADOV⁴

1 Karabük Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, yusufsecgin@karabuk.edu.tr, Orcid: 0000-0002-0118-6711

2 İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, fztmeliketatl@gmail.com, Orcid: 0000-0001-8548-2421

3 İstanbul Okan Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, halilerkartal@gmail.com, Orcid: 0000-0002-6558-3265

4 Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Anatomi Anabilim Dalı, Karabük, Türkiye, masumkaradag@hotmail.com, Orcid: 0009-0002-1589-9007

Alt Ekstremit Eklemleri ve Patolojileri

Altektstremitenineklemyapıları,pelviskemerininineklemleri(articulationes cinguli membri inferioris) ve serbest kısım eklemler (articulationes membri inferioris liberi) olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir (Arıncı & Elhan, 2020).

Juncturae (Articulationes) Cinguli Membri Inferioris

Pelvis bölgesinin eklem bileşkeleri sakroiliak eklem (Articulatio (Art.) sacroiliaca), pubis simfizi (Symphysis pubica) ve sakrokoksigeal eklem (Art. sacrococcygea) yapılarından oluşur (Arıncı & Elhan, 2020).

Articulationes membri inferioris liberi

Alt tarafın serbest kısmında yer alan eklemler ise kalça eklemi (Art. coxae), diz eklemi (Art. genus), proksimal tibiofibular eklem (Art. tibiofibularis proximalis), distal tibiofibular eklem (Art. tibiofibularis distalis), talokrural eklem (Art. talocruralis), subtalar eklem (Art. subtalaris), transvers tarsal eklem (Art. tarsi transversa), talokal kaneonaviküler eklem (Art. talocalcaneonavicularis), kalkaneoküboid eklem (Art. calcaneocuboidea), küboidonaviküler eklem (Art. cuboidonavicularis), kuneonaviküler eklem (Art. cuneonavicularis), tarsometatarsal eklemler (Lisfranc eklemi), metatarsofalangeal eklemler ve interfalangeal eklemlerdir (Arifoğlu, 2021; Arıncı & Elhan, 2020; Waschke, Böckers, Paulsen, & Sargon, 2016).

Sakroiliak Eklem (Art. Sacroiliaca)

Sakroiliak eklem, sakrum ve ilium kemiklerinin facies auricularis adlı eklem yüzeyleri arasında oluşan oldukça sağlam bir yapıya sahiptir (Arifoğlu, 2021; Şahin, 2025). Bu eklem, vertebral kolondan gelen vücut ağırlığını pelvis kemiklerine aktarmak gibi önemli bir biyomekanik işlev üstlenirken, hareket kapasitesi oldukça sınırlıdır (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017). Yapısal olarak hem sinoviyal hem de sinkondroz grubunda değerlendirilebilen bu eklem, erişkinlik döneminde eklem yüzeylerindeki kıkırdak dokusunun değişimi nedeniyle art. plana olarak da sınıflandırılmaktadır (Şahin, 2025; Taner, 2017).

Eklemnin stabilitesi, güçlü ligament yapıları tarafından sağlanmaktadır. Temel bağlar arasında ligamentum (lig.) sacroiliacum anterius, lig. sacroiliacum posterius ve lig. sacroiliacum interosseum bulunur (Şahin, 2025; Taner, 2017). Eklemle doğrudan ilişkili olmayan fakat pelvis stabilitesine katkıda bulunan iki önemli bağ daha mevcuttur: lig. sacrotuberalis ve lig. sacrospinale (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017). Bu bağlar, foramen ischiadicum majus ve foramen ischiadicum minus adlı yapıların oluşumuna katkıda bulunurlar (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017).

Pubis Simfizi (Symphysis Pubica)

Pubis simfizi, sağ ve sol os pubis kemiklerinin facies symphysialis adlı eklem yüzeyleri arasında oluşan ve symphysis tipinde yapısal özellik gösteren bir eklemdir (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017). Bu eklemden, iki eklem yüzeyi arasında fibrokartilaginöz yapıda bir discus interpubicus bulunmakta olup, bu yapı kadınlarda erkeklere kıyasla daha kalındır (Arifoğlu, 2021; Şahin, 2025). Eklem yapısı, üstte lig. pubicum superius ve altta lig. arcuatum pubis olarak adlandırılan bağlarla desteklenmektedir (Şahin, 2025; Taner, 2017).

Eklem hareket kapasitesi oldukça sınırlı olmakla birlikte, gebelik döneminde hormonal değişikliklere bağlı olarak ligamentlerde meydana gelen gevşeme ile hareket miktarı artabilmektedir (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017). Bu fizyolojik süreç, özellikle doğum eylemi sırasında pelvik çapın genişlemesine katkıda bulunan fonksiyonel bir adaptasyon sağlamaktadır (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017).

Sakrokoksigeal Eklem (Art. Sacrococcygea)

Sakrokoksigeal eklem, sakrumun apeksi ile koksiksin basis'i arasında yer alan bir eklem yapısıdır. Bu eklem, symphysis tipinde sınıflandırılmakta ve eklem yüzeyleri arasında bir discus bulunmaktadır. Eklem stabilitesi, lig. sacrococcygeum posterius superficiale, lig. sacrococcygeum posterius profundum, lig. sacrococcygeum anterius ve lig. sacrococcygeum laterale gibi çeşitli bağ yapıları tarafından sağlanmaktadır. Bu ligamentlerden lig. sacrococcygeum posterius profundum, canalis sacralis'in anatomik devamlılığını tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Eklem hareket kapasitesi oldukça sınırlı olup, minimal düzeyde hareket imkânı bulunmakta veya hiç hareket yeteneği olmayabilmektedir (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025; Waschke et al., 2016).

Kalça eklemi (articulatio coxae)

Pelvis kemiklerinin birleşim yeri olan acetabulum ile femur başının (caput femoris) oluşturduğu, sinovyal tip bir eklem olarak sınıflandırılan ve üç ana eksenle hareket yeteneği gösteren bir yapıdır (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025). Eklem yüzeyinin stabilitesi, acetabulumun kenarını çevreleyen fibrokartilaginöz yapıdaki labrum acetabulare ile artırılmakta ve bu yapı eklem yüzey alanını genişleterek femur başının daha iyi kavranmasını sağlamaktadır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung, Chung, & Halliday, 2017). Acetabulumun alt kısmında bulunan çentik (incisura acetabuli), lig. transversum acetabuli adı verilen fibröz bir bant ile köprülenmekte ve bu sayede damar ve sinir geçişine olanak veren bir açıklık oluşturulmaktadır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017).

Eklem mekanik stabilitesi, eklemi saran kalın fibröz kapsül ve bu kapsülü güçlendiren üç ana ligament tarafından sağlanmaktadır.

Lig. iliofemorale, spina iliaca anterior inferior'dan başlayarak linea intertrochanterica'ya uzanan, ters Y şeklindeki konfigürasyonu ile vücudun en güçlü bağı olarak kabul edilmekte ve eklem hiperekstansiyonunu ve lateral rotasyonunu sınırlandırmaktadır. Lig. ischiofemorale, asetabulumun arka yüzünden origo alarak femur boynunu sarmalar ve ekstansiyon ile internal rotasyon hareketlerini frenleyici rol oynamaktadır. Lig. pubofemorale ise ramus superior ossis pubis'ten kaynaklanarak eklem inferior kısmında seyretmekte ve aşırı abduksiyon ile ekstansiyon hareketlerini kısıtlamaktadır (Arifoğlu, 2021; Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Gülekon & Peker, 2020).

Eklem kavitesi içerisinde, fossa acetabuli'den fovea capitis femoris'e uzanan lig. capitis femoris (lig. teres) bulunmaktadır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025). Bu ligament, özellikle çocukluk döneminde femur başının ossifikasyon merkezlerinin beslenmesinde hayati öneme sahip olan arteria ligamenti teretis için bir konduit görevi görmektedir (Chung et al., 2017; Şahin, 2025). Eklem kapsülünün iç yüzünü döşeyen sinovyal membran, lig. capitis femoris'i sarmalayarak onu eklem boşluğu ile ilişkilendirmekte ve aynı zamanda fossa acetabuli içindeki yağ yastıkçığını da örtmektedir (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017).

Kalça eklemine hareket kapasitesi, transvers ekseninde fleksiyon-ekstansiyon, sagittal ekseninde abduksiyon-adduksiyon ve vertikal ekseninde iç-dış rotasyon olmak üzere çok yönlüdür. Hareket genişliği, ligamentlerin gerilim durumuna ve ekstremitenin pozisyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örneğin, diz eklemine fleksiyonda olduğu durumlarda kalça fleksiyonu 120 dereceye ulaşabilirken, ekstansiyon hareketi ligamentöz kısıtlamalar nedeniyle yaklaşık 13 derece ile sınırlı kalmaktadır. Lokomasyon sırasında, ekstansiyonun terminal fazında ortaya çıkan zorunlu internal rotasyon hareketi, femur boynunun femur gövdesi ile yaptığı açıya bağlı olarak kişiler arasında farklılık göstermekte ve bu varyasyon özellikle kadın pelvis morfolojisinde daha belirgin olmaktadır (Arifoğlu, 2021; Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025).

Diz Eklemi (Art. Genus)

İnsan vücudundaki en büyük ve en kompleks synovial eklemlerden biri olan diz eklemi, femur, tibia ve patella kemiklerinin artikülasyonu ile oluşur. Yapısal olarak bir menteşe (ginglymus) eklemi özellikleri göstermekle birlikte, femur'un iki kondili ile tibia arasındaki ilişki nedeniyle bikondiler (bicondylar) bir eklem olarak da sınıflandırılır. Ayrıca, femur ile patella arasında oluşan eklem bölgesi ise eyer (sellar) tipi eklem karakteri taşımaktadır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025).

Eklem fibröz kapsül yapısı, ince ve tam olmayan bir özellik sergiler; femur ile tibia kondillerinin kenarlarına, patellaya ve lig. patellaya tutunarak

eklemin arka ve yan yüzlerini örter. Diz eklemi, temel olarak fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini gerçekleştirirken, fleksiyon pozisyonunda sınırlı kayma ve rotasyon hareketlerine de izin verir. Tam ekstansiyon durumunda, femur'un tibia üzerinde yaptığı medial rotasyona bağlı olarak tüm ligamentler gergin hale gelir (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025).

Diz Ekleminin Bağları

İntrakapsüler Bağlar;

- Lig. cruciatum anterius
- Lig. cruciatum posterius
- Meniscus medialis ve lateralis
- Lig. transversum genus

Ekstrakapsüler Bağlar;

- Lig. collaterale tibiale (mediale)
- Lig. collaterale fibulare (laterale)
- Lig. patellae
- Lig. popliteum obliquum ve arcuatum

Hareketler

Diz eklemi, transvers eksen etrafında fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini gerçekleştirir. Ekstansiyonun son 10-15 derecesinde, ayağın sabit olduğu durumlarda femur tibia üzerinde zorunlu bir iç rotasyon yapar; bu mekanizma “vidalanma hareketi” (screw-home mechanism) olarak adlandırılır ve eklemin stabilitesini artırır. Diz yaklaşık 30 derece fleksiyona getirildiğinde, kollateral bağların gevşemesiyle sınırlı miktarda içe ve dışa rotasyon hareketi de yapılabilir (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025).

Tibiofibular Eklem Kompleksi

Bacak iskeletini oluşturan tibia ile fibula kemikleri arasında üç ayrı bağlantı yapısı bulunur. Bu yapılar, eklem özelliği gösteren artikülasyonlar ve fibröz bağ dokudan oluşan bir zardan meydana gelmektedir (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025).

1. Proksimal Tibiofibular Eklem (Art. Tibiofibularis Proximalis)

Tibia'nın lateral kondilindeki facies articularis fibularis ile fibula başındaki (caput fibulae) facies articularis capitis fibulae arasında kurulan bir eklemdir. Yapısal sınıflandırmada düzlem (plana) tipi bir sinovyal eklem olarak kabul edilir (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025). Bu eklemin bağları şunlardır:

- Capsula articularis
- Lig. capitis fibulae anterioris ve posterioris

2. Membrana Interossea Cruris

Tibia ile fibula'nın birbirine bakan kenarları (margo interosseus'ları) arasında uzanan sağlam bir fibröz bağ doku tabakasıdır. Liflerin çoğunluğu aşağı-dışa, daha az bir kısmı ise aşağı-içe doğru seyredir. Bu zar, yukarıda proksimal tibiofibular eklem hemen altında, damar geçişine olanak tanıyan konkav bir serbest kenar ile sonlanır. Ayrıca, bacağın ön ve arka bölgelerinde yer alan kaslara başlangıç noktası oluşturması bakımından da fonksiyonel öneme sahiptir (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025; Waschke et al., 2016).

3. Distal Tibiofibular Eklem (Syndesmosis Tibiofibularis)

Tibia ile fibula'nın distal uçları arasında bulunan bu bağlantı, gerçek bir eklem boşluğu içermeyen fibröz bir eklem (syndesmosis) olarak tanımlanır. Eklem yüzeyleri pürüzlü bir yapıdadır ve tibia'daki çukur (konkav) fibula'daki tümsek (konveks) yapı ile uyumludur. Bu bölgenin en alt kısmındaki yaklaşık 4 mm'lik alan eklem kıkırdığı ile kaplı olup, ayak bileği (talocrural) eklem yüzeyi ile devamlılık gösterir (Arıncı & Elhan, 2020; Gülekon & Peker, 2020; Şahin, 2025; Taner, 2017). Başlıca bağları şunlardır:

- Lig. tibiofibulare anterioris ve posterioris
- Membrana interossea cruris

Ayak Bileği Eklemi (Art. Talocruralis)

Vücudun ağırlığını taşıyan ve yürüme fonksiyonunda kritik öneme sahip olan ayak bileği eklemi, tibia ile fibulanın distal uçlarının oluşturduğu bir kemik çatal (mortise) ile talus kemiğinin üst kısmındaki trochlea tali'nin artikülasyonu sonucu meydana gelir. Yapısal olarak bir menteşe (ginglymus) eklemi olarak sınıflandırılan bu yapı, esas olarak plantar fleksiyon ve dorsifleksiyon hareketlerinden sorumludur (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Eklem Yüzeylerinin Özellikleri

Konkav eklem yüzeyi, tibianın facies articularis inferior'u, malleolus medialis'teki eklem yüzü ile fibulanın malleolus lateralis'indeki facies articularis malleolaris'inin birleşiminden oluşur. Konveks eklem yüzeyi olan trochlea tali, ön-arka yönde konveks, medial-lateral yönde ise hafif konkav bir makara yapısındadır. Talus'un bu eklem yüzeyi önde daha geniş, arkaya doğru ise daralan bir morfoloji sergiler; tibiofibular çatal da bu anatomik yapıya uyum sağlayacak şekilde önde geniş ve arkada dardır. Tüm bu eklem yüzeyleri hyalin kıkırdak ile kaplıdır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilite

- Capsula Articularis
- Lig. Collaterale Mediale (Deltoid Bağ)
- Pars tibionavicularis
- Pars tibiocalcanea
- Pars tibiotalaris anterior ve posterior
- Lig. Collaterale Laterale
- Lig. talofibulare anterius
- Lig. calcaneofibulare
- Lig. talofibulare posterius

Hareketler ve Biyomekanik

Art. talocruralis, transvers bir eksen etrafında dorsifleksiyon (yaklaşık 20-30°) ve plantar fleksiyon (yaklaşık 40-50°) hareketleri yapar. Toplam hareket açıklığı bireyler arasında değişmekle birlikte genellikle 40° ile 90° arasında değişir. Dorsifleksiyon sırasında talus'un önündeki geniş kısmı, tibiofibular çatalın arka tarafındaki dar kısmı iter; bu mekanik etkileşim dorsifleksiyonun nispeten daha sınırlı olmasının temel nedenidir (A, B). Bu nedenle dik yamaçlarda yürürken topuk yükseltilecek denge sağlanır. Plantar fleksiyon ise daha geniş bir açıda gerçekleşebilir. Eklem, güçlü bağları sayesinde oldukça stabil olmasına rağmen, tibiofibular bağlardaki minimal esneklik sayesinde çok sınırlı yan hareketlere de izin verir (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017; Waschke et al., 2016).

Subtalar Eklem (Art. Talocalcanea / Art. Subtalaris)

Ayak bileğinin altında yer alan ve arka ayak kompleksinin önemli bir bileşeni olan subtalar eklem, talus kemiği ile calcaneus kemiğinin arka eklem yüzeyleri arasında kurulmuştur. Bu eklem, yapısal olarak düzlem (plana) tipi bir sinovyal eklem olarak sınıflandırılır. Talus ve calcaneus arasında iki ayrı eklem bulunur; öndeki eklem art. talocalcaneonavicularis'in bir parçasıyken, arkadaki eklem art. subtalaris olarak adlandırılır ve her iki eklem sinovyal boşlukları birbirinden bağımsızdır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Eklem Yüzeyleri ve Bağlar

Subtalar eklem konvex eklem yüzeyi calcaneus'un facies articularis talaris posterior'u, konveks yüzeyi ise talus'un facies articularis calcanea posterior'u tarafından oluşturulur (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017). Eklem stabilitesi aşağıdaki bağlar tarafından sağlanır:

- Capsula Articularis
- Lig. Talocalcaneum Interosseum
- Lig. Talocalcaneum Laterale ve Mediale

Fonksiyon ve Biyomekanik

Subtalar eklem, tek başına müstakil hareket edebilme kapasitesi sınırlı olan bir yapıdadır. Kuvvetli bağlarının engellemesi nedeniyle ancak çok az miktarda kayma hareketi yapabilir. Fonksiyonel olarak esas hareketleri, ön taraftaki art. talocalcaneonavicularis eklemi ile koordine bir şekilde gerçekleştirir. Bu iki eklem kombinasyonu, ayağın inversiyon (içe dönme) ve eversiyon (dışa dönme) olarak adlandırılan hareketlerine izin verir. Bu hareketler, düz olmayan yüzeylerde yürürken ayağın adaptasyonu ve dengenin sağlanması açısından hayati öneme sahiptir. Yürüme döngüsü sırasında bu eklemlere vücut ağırlığının 1-2 katı kadar dikey kuvvet, 4-5 katı kadar da çok yönlü kuvvetler etki eder; koşma, sıçrama ve iniş gibi aktivitelerde bu yükler katlanarak artar. Eklem, medial ve lateral uzunlamasına kemerlerin oluşumuna katkıda bulunarak ayağın destek ve esneklik fonksiyonlarını yerine getirmesine yardımcı olur (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Transvers Tarsal Eklem (Art. Tarsi Transversa - Chopart Eklemi)

Ayağın orta bölümünde fonksiyonel bir ünite oluşturan transvers tarsal eklem, iki ayrı anatomik oluşumun kombinasyonundan meydana gelir. Bu eklem kompleksi, medialde talus ile os naviculare arasındaki art. talonavicularis ve lateralde calcaneus ile os cuboideum arasındaki art. calcaneocuboidea eklemlerinden oluşur. Her iki eklem de kendine özgü bir sinovyal boşluğu ve kapsül yapısı bulunmakla birlikte, transvers bir hat boyunca aynı hizada yerleşimleri ve koordineli hareket etmeleri nedeniyle ortak bir isimle anılırlar (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilite

Bu eklem bölgesinin stabilitesi, özellikle iki önemli bağ tarafından sağlanır:

- Lig. Calcaneonaviculare Plantare (Spring Ligament)
- Lig. Calcaneonaviculare (Lig. Bifurcatum'un bir parçası)

Hareket ve Fonksiyonel Önem

Transvers tarsal eklem, ayağın ön ve arka kısımları arasında hareketin iletiminde ve adaptasyonunda kritik bir rol oynar. Bu eklem vasıtasıyla ayak, inversiyon ve eversiyon olarak bilinen, supinasyon ve pronasyon bileşenleri içeren karmaşık rotasyon hareketleri yapabilir. Ayağın düz olmayan yüzeylere

uyum sağlaması, yürüme döngüsünün farklı fazlarında rijidite ile esnekliğin sağlanması bu eklem koordineli çalışması sayesinde mümkün olur. Bu fonksiyonel uyum, yürüme verimliliği ve dengenin korunması açısından büyük önem taşır (Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Talokalkaneonaviküler Eklem (Art. Talocalcaneonavicularis)

Arka ayağın kompleks hareketlerinde görev alan bu eklem, talus kemiğinin başı (caput tali), calcaneus'un ön eklem yüzleri ve os naviculare'nin arka yüzeyi arasında kuruludur. Yapısal sınıflandırmada düzlem (plana) tipi bir eklem olarak tanımlanmakla birlikte, işlevsel olarak küresel (spheroid) eklem özellikleri de sergiler. Transvers tarsal eklem (Chopart eklemi) bir bileşenini oluşturan bu yapı, subtalar eklem ile fonksiyonel bir ünite halinde çalışır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Eklem Yapısı ve Destekleyici Bağlar

Eklem kapsülünün (capsula articularis) arka bölümü kalın bir yapıya sahiptir ve lig. talocalcaneum interosseum ile kaynaşmış durumdadır (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025). Eklem stabilitesi ve fonksiyonuna katkıda bulunan başlıca bağlar şunlardır:

- Lig. Talonaviculare
- Lig. Calcaneonaviculare Plantare (Spring Ligament)
- Lig. Calcaneonaviculare (Lig. Bifurcatum'un bir parçası)

Bu eklem, subtalar eklem (art. subtalaris) ile anatomik ve fizyolojik bir bütünlük içinde hareket eder. Eklem, yukarıdan-aşağıya, içten-dışa ve önden-arkaya doğru seyreden oblik bir eksen bulunur. Bu eksen talus boynundan başlayıp sinus tarsi'den geçerek calcaneus'un trochlea peronealis'i yakınında sonlanır. Bu eğik eksen etrafında, ayak bileğinin inversiyon (içe dönme) ve eversiyon (dışa dönme) olarak bilinen temel hareketleri gerçekleşir. Supinasyon hareketi genellikle adduksiyon (içe çekme) ile, pronasyon hareketi ise abduksiyon (dışa çevirme) ile kombine olur. Bu koordine hareketler, yürüme sırasında ayağın düz olmayan yüzeylere uyum sağlaması ve şok emilimi için esastır (Arifoğlu, 2021; Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Kalkaneokuboid Eklem (Art. Calcaneocuboidea)

Ayağın lateral kolonunda yer alan kalkaneokuboid eklem, calcaneus kemiğinin ön yüzündeki facies articularis cuboidea'sı ile os cuboideum'un arka yüzündeki facies articularis calcanea'sı arasında oluşur. Transvers tarsal eklem (Chopart eklemi) lateral bileşenini oluşturan bu yapı, yapısal olarak düzlem (plana) tipinde sınıflandırılmakla birlikte bazı kaynaklarda eyer (sellar) tipi eklem özellikleri de gösterebilir. Eklem, ayağın lateral uzunlamasına kemerinin devamlılığını sağlamada önemli bir rol oynar

(Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilite

Eklemin fibröz kapsülü (capsula articularis) tam olarak gelişmemiştir ve stabilitesi büyük ölçüde çevresindeki güçlü bağlar tarafından desteklenir (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017). Bu bağlar şunlardır:

- Lig. Bifurcatum
- Lig. Plantare Longum
- Lig. Calcaneocuboideum Plantare (Lig. Plantare Brevis)
- Lig. Calcaneocuboideum Dorsale

Hareket ve Fonksiyonel Önem

Kalkaneokuboid eklem, düzlem eklem yapısı nedeniyle esas olarak sınırlı kayma hareketlerine izin verir. Ancak transvers tarsal eklemin bir parçası olarak, ayağın pronasyon ve supinasyon hareketlerine uyum sağlayarak adaptif fonksiyonlara katkıda bulunur. Eklemin stabilitesi, özellikle lig. plantare longum ve m. fibularis longus tendonu tarafından sağlanır; bu yapılar lateral longitudinal kemerin bütünlüğünün korunmasında hayati öneme sahiptir. Ayağın medial kemerinin pasif desteği ise büyük ölçüde lig. calcaneonaviculare plantare (spring ligament) tarafından sağlanır; bu bağın yırtılması talus başının aşağı ve medial yönde kaymasına ve sonuçta düztabanlık (pes planus) deformitesinin gelişmesine yol açabilir. M. tibialis posterior tendonu da bu bağın altından geçerek medial kemere aktif destek verir (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Küboidonaviküler eklem (Art. cuboideonavicularis)

Os cuboideum ile os naviculare'nin eklem yüzleri arasında kurulu olup, bu yapıyı saran lig. interosseus gibi sağlam bağlar nedeniyle genellikle syndesmosis tipi bir eklem olarak sınıflandırılır. Fonksiyonel açıdan büyük ölçüde hareketsiz kabul edilen bir sinartroz olmakla birlikte, ligg. cuboideonaviculare dorsale ve plantare gibi bağların varlığına rağmen çok sınırlı bir kayma hareketine izin verir. Bu minimal hareket, ayağın yük dağılımı ve adaptasyon süreçlerinde önemli bir rol oynar (Arifoğlu, 2021; Taner, 2017).

Stabilize Eden Yapılar ve Biyomekanik

Eklemin stabilitesi, onu çevreleyen ve kemikleri birbirine kenetleyen kuvvetli ligamentler tarafından sağlanır. Bu ligamentler dorsal (üst) ve plantar (taban) olmak üzere iki ana grup altında incelenebilir (Taner, 2017):

- Ligg. cuboideonaviculare dorsale
- Ligg. cuboideonaviculare plantare

Kuneonaviküler Eklem (Art. Cuneonavicularis)

Ayağın medial ve orta kolonunun devamlılığını sağlayan kuneonaviküler eklem, os naviculare'nin ön yüzeyi ile üç adet kuneiform kemiğin (cuneiforme mediale, intermedium, laterale) arka eklem yüzleri arasında kuruludur. Os naviculare'nin ön yüzeyi transvers yönde hafif konveks bir yapı gösterse de bu oluşum yapısal olarak düzlem (plana) tipi bir sinovyal eklem olarak sınıflandırılır. Eklem boşluğu ön tarafta, kuneiform kemiklerin kendi aralarındaki eklemlerle, lateral kuneiform ile os cuboideum arasındaki eklemlerle ve ikinci ile üçüncü metatarsal kemiklerin kuneiform kemiklerle yaptığı eklem boşluklarıyla devamlılık gösterir; bu nedenle bu bölgedeki yapıların müstakil bir kapsülü bulunmaz ve tümünü kaplayan tek bir sinovyal zar mevcuttur (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilite

Eklem stabilizasyonu, dorsal ve plantar yüzeylerde uzanan bağlar tarafından sağlanır:

- Ligg. Cuneonavicularia Dorsalia
- Ligg. Cuneonavicularia Plantaria

Hareket ve Fonksiyonel İlişkiler

Kuneonaviküler eklem, düzlem eklem grubunda yer alması nedeniyle esas olarak sınırlı miktarda kayma hareketine izin verir. Bu minimal hareketlilik, yürüme sırasında ayağın medial longitudinal kemerinde ortaya çıkan küçük şekil değişikliklerine ve stres dağılımına olanak tanıyarak fonksiyonel bir esneklik sağlar. Eklem, tarsal tünel içindeki diğer eklemlerle sinovyal devamlılık içinde olduğu için, bu bölgedeki patolojilerin yayılımında potansiyel bir yol oluşturabilir (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017).

İnterkuneiform ve Kuneokuboid Eklemler (Artt. Intercuneiformes et Art. Cuneocuboida)

Ayağın distal tarsal sırasında yer alan bu eklem kompleksi, üç kuneiform kemik (cuneiforme mediale, intermedium, laterale) ile os cuboideum'un birbirleriyle yaptığı artikülasyonlardan meydana gelir. Tüm bu kemikler arasında oluşan eklemler, yapısal olarak düzlem (plana) tipi sinovyal eklemler olarak sınıflandırılır ve ortak bağ grupları tarafından desteklenir. Bu eklem boşlukları, ön tarafta ikinci ve üçüncü tarsometatarsal eklemlerin (Art. tarsometatarsea II ve III) sinovyal kavitesi ile, arka tarafta ise kuneonaviküler eklem (Art. cuneonavicularis) boşluğu ile devamlılık gösterir (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilite

Eklem stabilizasyonu üç ana ligament grubu tarafından sağlanır:

- Ligg. Intercuneiformia Dorsalia
- Ligg. Intercuneiformia Plantaria
- Ligg. Intercuneiformia Interossea

Hareket ve Fonksiyonel Önem

Bu eklem grubu, çevreleyen güçlü bağların oluşturduğu mekanik kısıtlama nedeniyle yalnızca çok sınırlı kayma hareketleri yapabilir. Bu minimal hareket kapasitesi, ayağın transvers kemerinin bütünlüğünün korunmasında ve yürüme sırasında oluşan kuvvetlerin distal tarsal kemikler arasında transfer edilmesinde işlevsel bir öneme sahiptir. Sınırlı hareketlilik, ayağın rijit bir kaldıraç olarak işlev görmesi gereken itme fazında stabilite sağlarken, aynı zamanda küçük uyum hareketleriyle stres dağılımına da katkıda bulunur (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017).

Tarsometatarsal Eklemler (Artt. Tarsometatarsales - Lisfrank Eklemi)

Ayağın orta kısmında distal tarsal kemikler ile metatarsal kemiklerin artikülasyonu sonucu oluşan tarsometatarsal eklemler, düzlem (plana) tipi sinovyal eklemler grubunda yer alır. Bu eklem kompleksi, üç kuneiform kemik (cuneiforme mediale, intermedium, laterale) ve os cuboideum'un ön yüzleri ile beş adet metatarsal kemiğin tabanlarının (ossis metatarsi I-V) birleşiminden meydana gelir. İkinci metatarsal kemik, orta kuneiform kemiğin kısa olması nedeniyle diğerlerine göre daha proksimale uzanır ve bu konumuyla medial ve lateral kuneiform kemiklerle de eklem yaparak Lisfrank ekleminin anahtar bir stabilizatörü haline gelir (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilite

Bu eklem hattının stabilitesi, özellikle transvers ayak kemerinin (arcus transversus pedis) bütünlüğünü güçlendiren üç ana ligament grubu tarafından sağlanır (Chung et al., 2017; Taner, 2017).

- Ligg. Tarsometatarsalia Dorsalia
- Ligg. Tarsometatarsalia Plantaria
- Ligg. Cuneometatarsalia Interossea

Sinovyal Boşluklar ve Hareket

Bu eklem grubunun sinovyal boşlukları üç ayrı kompartmanda organize olmuştur. Birinci tarsometatarsal eklem (art. tarsometatarsale I) kendine özgü müstakil bir sinovyal kavitesi bulunur. İkinci ve üçüncü metatarsal kemiklerin yaptığı eklemler ortak bir boşluk paylaşır ve bu boşluk arkada kuneiform, kuboid ve naviküler kemikler arasındaki eklem boşluklarıyla devamlılık gösterir. Tüm bu eklemler, güçlü bağ yapılarının kısıtlaması nedeniyle fonksiyonel olarak yalnızca sınırlı kayma hareketlerine izin verir.

Bu minimal hareket, yürüme sırasında ayağın uyum sağlayabilmesi ve yük aktarımı için yeterli esnekliği sağlarken, itme fazında gerekli rijitliğin korunmasına da katkıda bulunur (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Taner, 2017).

İntermetatarsal Eklemler (Artt. Intermetatarsales) ve Sinovyal Organizasyon

Metatarsal kemiklerin proksimal uçlarındaki (bazis) birbirine bakan yan yüzeyleri arasında düzlem (plana) tipi eklemler oluşur. Bu eklemler, ossa metatarsi'nin tabanlarının komşu yüzleri arasındaki artikülasyonlardan meydana gelir. Ayak iskeletindeki eklemlerin sinovyal kese organizasyonu altı ana müstakil boşluk şeklinde gruplanabilir (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Sinovyal Boşlukların Dağılımı

Birinci sinovyal kese, arka ayakta art. subtalaris eklemi için özelleşmiştir. İkinci boşluk, art. talocalcaneonavicularis eklemi içine alır. Üçüncü kesenin, art. calcaneocuboidea eklemi çevrelediği görülür. Dördüncü ve en geniş sinovyal boşluk, art. cuneonavicularis, artt. intercuneiformes, art. cuneocuboidea ile ikinci ve üçüncü tarsometatarsal eklemleri (art. tarsometatarsea II ve III) ortak bir kavitede birleştirir. Bu geniş boşluk, öne doğru üç, arkaya doğru ise tek uzantı gönderir. Beşinci müstakil kese, birinci tarsometatarsal eklem (art. tarsometatarsea I) aittir. Altıncı ortak boşluk ise, os cuboideum'un dördüncü ve beşinci metatarsal kemiklerle yaptığı eklemleri (art. tarsometatarsea IV ve V) kapsar (Arifoğlu, 2021; Arıncı & Elhan, 2020; Waschke et al., 2016).

Hareket ve Fonksiyonel İlişkiler

İntermetatarsal eklemler, yapısal olarak sadece sınırlı kayma hareketine izin verir. Bu minimal hareketlilik, metatarsal kemikler arasında esnek bir bağlantı sağlayarak yürüme sırasında oluşan kuvvetlerin dağıtılmasına katkıda bulunur. Eklemlerin stabilitesi, plantar ve kollateral ligamentler tarafından desteklenir. Bu ligamentöz yapılar, metatarsofalangeal eklemlerin bağları ile fonksiyonel bir bütünlük içinde çalışır (Arıncı & Elhan, 2020; Chung et al., 2017; Taner, 2017).

Metatarsofalangeal Eklemler (Artt. Metatarsophalangeales)

Metatarsal kemiklerin başları (caput metatarsale) ile proksimal falankların tabanları arasında kurulan bu eklemler, şekil olarak küremsi eklemlere benzese de fonksiyonel olarak elipsoid (kondiler) tip hareket özelliği sergiler. Konveks eklem yüzünü oluşturan metatarsal başlar, konkav eklem yüzeyi olan proksimal falankların hafif çukur yüzeyleri ile artikülasyon yapar. Konkav yüzeyin konveks olana göre daha küçük olması, hareket

açıklığını belirli bir derecede sınırlandıran bir faktördür. Eklem kırırdağı, metatarsal kemiklerin distal uçlarını kaplar ve plantar yönde devam eder; birinci metatarsal kemikte bu bölgede iki ayrı oluk bulunur ve bu oluklar içinde eklem kapsülüne gömülü iki sesamoid kemik yer alır (Arıncı & Elhan, 2020; Şahin, 2025; Taner, 2017).

Bağlar ve Stabilitite

- Capsula Articularis
- Ligg. Collateralia
- Ligg. Plantaria
- Lig. Metatarsale Transversum Profundum

Hareketler ve Fonksiyonel Adaptasyonlar

Bu eklemlerdeki hareketler eldekine benzer olmakla birlikte, ayakta daha sınırlı bir şekilde gerçekleşir. Ayakta ekstansiyon hareketi (50-60°), fleksiyondan (30-40°) daha geniş bir açıda yapılabilir ve bu durum yürüme fonksiyonunun bir gereğidir. Bu fark özellikle baş parmakta belirgindir; burada fleksiyon birkaç derece ile sınırlıyken, ekstansiyon 90°'ye ulaşabilir. Fleksiyon sırasında hafif bir adduksiyon, ekstansiyon sırasında ise hafif bir abduksiyon hareketi eşlik eder. Ayrıca eldekine benzer şekilde, minimal kayma hareketleri ile sınırlı bir rotasyon da yapılabilir (Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017).

Ayak İnterfalangeal Eklemleri (Articulationes Interphalangeales Pedis)

Ayak parmaklarının hareket sisteminde önemli bir rol üstlenen interfalangeal eklemler, ginglimus (makara) tipi sinovyal eklem yapısına sahiptir. Bu eklemler, proksimal falanksın başları (caput) ile orta ve distal falanksın tabanları (basis) arasında kurulmuştur. Ayak iskeletinde, proksimal interfalangeal eklem (PIP) ve distal interfalangeal eklem (DIP) olmak üzere iki ayrı seviye bulunurken, başparmakta ise sadece tek bir interfalangeal eklem yer almaktadır. Eklem mekanik stabilitesi, eklem kapsülünü (capsula articularis) güçlendiren ligg. collateralia ve ligg. plantaria gibi sağlam bağ yapıları tarafından temin edilir (Arifoğlu, 2021; Arıncı & Elhan, 2020; Taner, 2017).

Patolojiler

Konjenital Kalça Çıkığı (Gelişimsel Kalça Displazisi)

Konjenital kalça çıkığı, femur başının (caput femoris) doğuştan itibaren acetabulum içinde olmaması veya bu yuvadan çıkması durumu olarak tanımlanır. Bu durumun etyolojisinde, anne vücudundaki ligament gevşetici hormonların fetüs dolaşımına geçmesi, intrauterin malpozisyon ve

femur başı ile acetabulumun yetersiz gelişimi (hipoplazi) gibi faktörlerin rol oynadığı düşünülmektedir. Karakteristik klinik bulgular arasında, uyluğun abduksiyon hareketinde belirgin kısıtlılık ve etkilenen ekstremitede göreceli bir kısalık yer alır. Zamanında müdahale edilmeyen olgularda, yürüme döneminde hasta tarafa doğru eğilme ile karakterize tipik bir yürüyüş paterni (Trendelenburg yürüyüşü) gözlemlenir (Arifoğlu, 2021; Kulcu, Orak, Gerenli, Sari, & Say, 2015; Taner, 2017).

Travmatik Kalça Çıkıkları ve Komplikasyonları

Kalça eklemi güçlü bağ yapılarına sahip olduğu için, travmatik çıkıkları nispeten nadir görülür. Özellikle trafik kazalarında, araç içinde oturur pozisyondayken (uyluk fleksiyon, adduksiyon ve iç rotasyondayken) dize gelen direkt darbeler sonucu posterior çıkıklar meydana gelebilir. Bu tür çıkıklara sıklıkla eklem kapsülü yırtıkları ve acetabulum kırıkları eşlik eder. Lig. capitis femoris'in kopması durumunda, bu bağ içinden geçen ve femur başının beslenmesinde kritik rol oynayan arter de hasar görebilir; bu durum femur başında avasküler nekroza (Perthes benzeri) yol açabilir. Posterior dislokasyonlarda ayrıca n. ischiadicus yaralanması riski de bulunmaktadır. Kalça eklemi, primer osteoartrit, romatoid artrit ve gelişimsel displazi gibi yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyen patolojilerin sık görüldüğü bir lokalizasyondur (Arifoğlu, 2021; Clegg, Roberts, Greene, & Prather, 2010; Dawson-Amoah, Raszewski, Duplantier, & Waddell, 2018; Foulk & Mullis, 2010; Taner, 2017).

Femoral Açı Bozuklukları

Kalça eklemine normal biyomekaniğinde femur boynu ile femur gövdesinin uzun eksenleri arasında yaklaşık 135 derecelik bir açı bulunur. Bu anatomik ilişkiadaki değişiklikler iki temel deformiteye yol açar (Carroll, Coleman, & Stevens, 1997; Veklich & Veklich, 2022);

Coxa Valga

Femur boynu ile gövde eksenindeki açının fizyolojik değerlerin üzerine çıktığı durumdur. Bu deformitede femur boynu dikeye yaklaşarak daha dik bir konum alır, bu da eklem yük dağılımında bozulmaya neden olur (Veklich & Veklich, 2022).

Coxa Vara

Femur boynu ile gövde eksenindeki açının normalden küçük olduğu durumu ifade eder. Bu patolojide femur boynu yatay düzleme yaklaşır ve mekanik avantajın kaybına yol açar. Her iki durum da yürüme paterni üzerinde önemli fonksiyonel kısıtlılıklar oluşturabilir (Carroll et al., 1997; Chung et al., 2017).

Kalça Eklemi Çıkıklarının Sınıflandırılması ve Klinik Özellikleri

Kalça eklemi çıkıkları, femur başının yer değiştirme yönüne göre sınıflandırılır ve her bir tip karakteristik klinik bulgularla kendini gösterir (Dawson-Amoah et al., 2018).

Posterior Çıkık

En sık görülen çıkık tipidir. Femur başının arkaya doğru yer değiştirmesiyle oluşur. Genellikle eklem kapsülünün arka bölümündeki yırtıkla birlikte seyreder. Bu durumda femur başı acetabulum veya işkiyum kemiğinin arkasında konumlanır. Siyatik sinir hasarı sıklıkla eşlik edebilir. Etkilenen bacakta belirgin kısılma, fleksiyon, addüksiyon ve iç rotasyon pozisyonu gözlemlenir (Clegg et al., 2010; Dawson-Amoah et al., 2018; Foulk & Mullis, 2010).

Anterior Çıkık

Daha nadir görülen bu çıkık tipinde femur başı öne doğru yer değiştirir. Eklem kapsülünün ön bölümündeki yırtık sonucu gelişir. Femur başı asetabulumun ön-alt kısmına veya pubis kemiği yakınına yerleşir. Etkilenen bacak hafif fleksiyon, abdüksiyon ve dış rotasyon pozisyonunda kalır (Clegg et al., 2010; Dawson-Amoah et al., 2018; Foulk & Mullis, 2010).

Medial (Merkezi) Çıkık

En nadir görülen çıkık formudur. Eklem kapsülünün medial yırtığıyla birlikte femur başı pelvik boşluğa doğru yer değiştirir. Asetabulum kırığı ve mesane yaralanmaları bu çıkık tipine eşlik edebilen ciddi komplikasyonlardır (Chung et al., 2017; Clegg et al., 2010; Dawson-Amoah et al., 2018; Foulk & Mullis, 2010).

Hemarthrosis

Diz ekleminde ani gelişen şişlikler, genellikle eklem boşluğu içine kanama olduğunu düşündürür. Buna karşılık, enfeksiyon veya romatolojik hastalıklar gibi iltihabi durumlarda eklem sıvısının artışına bağlı şişlik daha yavaş bir seyir izler (Chung et al., 2017; Lombardi & Cardenas, 2018).

Mutsuz üçlü

Futbol gibi temas sporlarında gözlenen yaralanma kompleksi, sporcunun ayağı sabitlenmiş durumdayken dize yandan gelen bir darbe sonucu oluşur. Bu mekanizma, ayağın yere sıkıca basılı olduğu ve vücut ağırlığının üzerinde dönme hareketi gerçekleştiği durumlarda ortaya çıkar (Ferretti et al., 2019; Hoveidaei, Sattarpour, Dadgostar, Razi, & Razi, 2023).

Bu üçlü yaralanma paterni şu yapıların kombinasyonundan oluşur:

1. Aşırı dışı açılma kuvvetine bağlı medial kollateral ligament yırtığı
2. Tibianın anormal öne yer değiştirmesiyle sonuçlanan ön çapraz bağ kopması
3. Medial kollateral ligamente sıkı bağlantısı nedeniyle medial menisküste oluşan hasar

Klinik tabloda diz bölgesinde hızlı şişme gelişir ve medial eklem hattında belirgin hassasiyet gözlemlenir. Lateral menisküs yaralanmaları ise daha çok ani yön değiştirme hareketi yapan atletlerde izole olarak görülme eğilimindedir (Chung et al., 2017; Ferretti et al., 2019; Hoveidaei et al., 2023).

Diz ekleminde frontal düzlemde gelişen açısal deformiteler iki temel şekilde ortaya çıkar. Birinci deformite türü, tibianın dış yana doğru açılmasıyla karakterizedir. Bu durum medial destek yapılarının yetersizliği ve eklem dış bölmesindeki yüklenme artışı sonucu oluşur.

İkinci deformite patterni ise tibianın iç yana doğru eğilmesiyle kendini gösterir. Bu durumda lateral stabilizatörlerde fonksiyon kaybı ve eklem iç kısmında aşırı yüklenme söz konusudur. Her iki deformite türü de eklem kıkırdağında asimetrik basınç dağılımına ve ilerleyici dejeneratif değişikliklere yol açabilmektedir (Chung et al., 2017; Ferretti et al., 2019; Hoveidaei et al., 2023).

Bursit

Diz bölgesinde görülen bursa iltihaplanmaları farklı klinik tablolar oluşturabilir. Patella önündeki kesenin enflamasyonu, ön diz bölgesinde şişlik ve ağrıyla karakterize bir tabloya yol açar. Patellar tendon üzerindeki yüzeysel bursanın tutulumu ise diz altında benzer inflamatuvar bulgularla kendini gösterir (Aaron, Patel, Kayiaros, & Calfee, 2011; Le Manac'h, Ha, Descatha, Imbernon, & Roquelaure, 2012; Price, 2008).

Kist

Popliteal fossada gelişen sinovyal kistler, genellikle altta yatan eklem patolojileriyle ilişkilidir. Bu kitleler diz hareket açıklığını kısıtlayarak özellikle tam ekstansiyon sırasında ağrıya neden olabilir. Tedavi yaklaşımı olarak, kist içeriğinin boşaltılması ve basıncın azaltılması semptomların hafiflemesinde etkili olmaktadır (Chung et al., 2017; Herman & Marzo, 2014).

Halluks valgus

Ayak başparmağının metatarsofalangeal ekleminde gelişen yapısal bozukluklar arasında halluks valgus önemli bir yer tutar. Bu deformitede birinci parmak lateral yöne doğru açılma gösterirken, birinci metatarsal kemik medial tarafa doğru yer değiştirir. Bu anatomik değişiklik, eklem medial kenarında bursa iltihaplanmasına bağlı şişlik oluşumuna (bunyon)

yol açabilmektedir. Klinik tabloya genellikle ağrı ve ayakkabı giymede zorluk eşlik eder (Chung et al., 2017; Doty & Harris, 2018; Hecht & Lin, 2014; Ray et al., 2019; Taner, 2017).

Halluks varus

Nadir görülen halluks varus deformitesinde ise başparmak medial yönde sapma gösterir. Bu durum cerrahi müdahale sonrası komplikasyon olarak da ortaya çıkabilmektedir. Bunyon tedavisinde uygulanan bunyonektomi işlemi, metatarsal kemikteki anormal çıkıntının cerrahi olarak çıkarılmasını içerir (Bevernager & Leemrijse, 2009; Chung et al., 2017; Mohan, Dhotare, & Morgan, 2021).

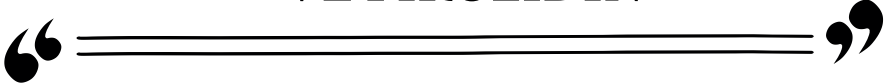
Kaynaklar

- Aaron, D. L., Patel, A., Kayiaros, S., & Calfee, R. (2011). Four common types of bursitis: diagnosis and management. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 19(6), 359-367.
- Arifoğlu, Y. (2021). *Her Yönüyle Anatomi* (3 ed.).
- Arıncı, K., & Elhan, A. (2020). *Anatomi 1. Cilt* (7 ed. Vol. 1). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri.
- Bevernage, B. D., & Leemrijse, T. (2009). Hallux varus: classification and treatment. *Foot and Ankle Clinics*, 14(1), 51-65.
- Carroll, K., Coleman, S., & Stevens, P. M. (1997). Coxa vara: surgical outcomes of valgus osteotomies. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 17(2), 220-224.
- Chung, K. W., Chung, H. M., & Halliday, N. L. (2017). *BRS Gross Anatomi* (Y. Arifoğlu, Trans. Y. Arifoğlu Ed. 8 ed.). İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevleri.
- Clegg, T. E., Roberts, C. S., Greene, J. W., & Prather, B. A. (2010). Hip dislocations—epidemiology, treatment, and outcomes. *Injury*, 41(4), 329-334.
- Dawson-Amoah, K., Raszewski, J., Duplantier, N., & Waddell, B. S. (2018). Dislocation of the hip: a review of types, causes, and treatment. *Ochsner Journal*, 18(3), 242-252.
- Doty, J. F., & Harris, W. T. (2018). Hallux Valgus Deformity and Treatment: A Three-Dimensional Approach. *Foot and Ankle Clinics*, 23(2), 271-280.
- Ferretti, A., Monaco, E., Ponzo, A., Dagget, M., Guzzini, M., Mazza, D., . . . Conteduca, F. (2019). The unhappy triad of the knee re-revisited. *International orthopaedics*, 43(1), 223-228.
- Foulk, D. M., & Mullis, B. H. (2010). Hip dislocation: evaluation and management. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 18(4), 199-209.
- Gülekon, İ., & Peker, T. (2020). Moore Temel Klinik Anatomisi.
- Hecht, P. J., & Lin, T. J. (2014). Hallux valgus. *Medical Clinics of North America*, 98(2), 227-232.
- Herman, A. M., & Marzo, J. M. (2014). Popliteal cysts: a current review. *Orthopedics*, 37(8), e678-e684.
- Hoveidaei, A. H., Sattarpour, R., Dadgostar, H., Razi, S., & Razi, M. (2023). Unhappy triad of the knee: What are the current concepts and opinions? *World Journal of Orthopedics*, 14(5), 268.
- Kulcu, N. U., Orak, M. M., Gerenli, N., Sari, E., & Say, A. (2015). The Knowledge of Pediatricians About Developmental Hip Dysplasia in a Training Hospital/Bir Eğitim Hastanesinde Çocuk Hekimlerinin Gelisimsel Kalça Displazisi ile İlgili Bilgi Düzeyleri. *The Journal of Current Pediatrics*, 13(2), 89-97.
- Le Manac'h, A., Ha, C., Descatha, A., Imbernon, E., & Roquelaure, Y. (2012). Preva-

- lence of knee bursitis in the workforce. *Occupational medicine*, 62(8), 658-660.
- Lombardi, M., & Cardenas, A. C. (2018). Hemarthrosis.
- Mohan, R., Dhotare, S. V., & Morgan, S. S. (2021). Hallux varus: A literature review. *The Foot*, 49, 101863.
- Price, N. (2008). Prepatellar bursitis. *emergency nurse*, 16(3).
- Ray, J. J., Friedmann, A. J., Hanselman, A. E., Vaida, J., Dayton, P. D., Hatch, D. J., . . . Santrock, R. D. (2019). Hallux valgus. *Foot & ankle orthopaedics*, 4(2), 2473011419838500.
- Şahin, B. (2025). *Sağlık bilimleri için resimli temel anatomi* (3 ed.): Ankara Nobel Tıp Kitabevleri.
- Taner, D. (2017). Fonksiyonel Anatomi. 11. Baskı. Ankara: HYB Basım.
- Veklich, V., & Veklich, V. (2022). COXA VALGA. Paper presented at the Orthopaedic Proceedings.
- Waschke, J., Böckers, T. M., Paulsen, F., & Sargon, M. F. (2016). *Sobotta Anatomi Konu Kitabı*: Güneş Tıp Kitabevleri.



**RENAL İSKEMİ/
REPERFÜZYON HASARINDA
ANTİOKSİDAN
YAKLAŞIMLAR: DENEYSEL BİR
MODEL OLARAK MELATONİN
VE PİROLİDİN**



*Semih ÖZ¹
Hilmi ÖZDEN²*

1 <https://orcid.org/0000-0002-1543-2223>

2 <https://orcid.org/0000-0003-2466-2757>

Bu kitap bölümü, Dr. Öğr. Üyesi Semih Öz tarafından hazırlanan “Nefrektomili Ratlarda Melatonin ve Piroolidin Uygulamasının İskemi/Reperfüzyon’da Antioksidan Sistem ve Histolojik Yapı Üzerine Etkileri” başlıklı doktora tezinden türetilmiştir. Danışman: Prof. Dr. Hilmi Özden. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Anatomi Anabilim Dalı, 2012.

GİRİŞ

Akut böbrek hasarı, modern yoğun bakım ve cerrahi tekniklerdeki ilerlemelere rağmen, günümüzde hâlen yüksek morbidite ve mortalite oranları ile seyreden önemli bir klinik sorun olmaya devam etmektedir. Bu tablonun gelişiminde en kritik patofizyolojik mekanizmalardan biri renal iskemi/reperfüzyon (I/R) hasarıdır. Özellikle böbrek transplantasyonu, parsiyel veya total nefrektomi, büyük damar cerrahisi, kardiyopulmoner baypas uygulamaları ve şiddetli sepsis gibi klinik durumlarda renal I/R hasarı kaçınılmaz bir risk faktörü olarak karşımıza çıkmaktadır.

İskemi, bir organa gelen kan akımının azalması ya da tamamen kesilmesi sonucu hücrel hipoksi ile karakterizedir. Bu süreçte oksijen ve besin maddelerinin yetersizliği, hücrel enerji metabolizmasını bozar ve ATP düzeylerinde ciddi azalmaya yol açar. Ancak paradoksal olarak, dokunun yeniden kanlandırılması anlamına gelen reperfüzyon, hücrel hasarı tamamen ortadan kaldırmak yerine çoğu zaman hasarı daha da derinleştiren bir süreci başlatır. Reperfüzyon sırasında artan serbest oksijen radikalleri, inflamatuvar hücre infiltrasyonu ve endotel disfonksiyonu, renal parankimde yaygın yapısal ve fonksiyonel bozulmalara neden olur.

Renal iskemi/reperfüzyon hasarının temelinde oksidatif stres yer almaktadır. Serbest oksijen türleri (ROS), fizyolojik koşullarda hücrel sinyal iletimi ve savunma mekanizmalarında rol oynarken, aşırı üretimleri durumunda lipidler, proteinler ve nükleik asitler üzerinde geri dönüşümsüz hasarlara yol açmaktadır. Özellikle renal tübüler epitel hücreleri, yüksek metabolik aktiviteleri ve yoğun mitokondri içeriği nedeniyle oksidatif hasara karşı oldukça duyarlıdır. Bu durum, akut tübüler nekroz ve glomerüler filtrasyon hızında belirgin azalma ile sonuçlanmaktadır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Vücudun oksidatif strese karşı geliştirdiği savunma sistemi, enzimatik ve non-enzimatik antioksidan mekanizmalar üzerinden yürütülmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi enzimler, reaktif oksijen türlerini daha az zararlı moleküllere dönüştürerek hücrel bütünlüğün korunmasına katkı sağlar. Ancak renal I/R hasarı sırasında bu savunma sistemleri çoğu zaman yetersiz kalmakta ve antioksidan kapasitenin desteklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Bu noktada, eksojen antioksidan ajanlar deneysel ve klinik çalışmalarda büyük ilgi görmektedir. Özellikle endojen bir hormon olan melatonin, güçlü serbest radikal süpürücü etkisi, mitokondriyal stabilizeyi artırıcı özellikleri ve inflamatuvar yanıtı baskılayıcı mekanizmaları ile renal I/R hasarına karşı potansiyel bir koruyucu ajan olarak öne çıkmaktadır. Melatoninin yalnızca doğrudan antioksidan etkileri değil, aynı zamanda antioksidan enzimlerin ekspresyonunu artırıcı dolaylı etkileri de dikkat çekmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Bunun yanında, pirolidin ditiyokarbamat (PDTC) gibi sentetik antioksidanlar, özellikle nükleer faktör kappa B (NF- κ B) yollarını inhibe edici etkileri sayesinde inflamasyon ve oksidatif stresin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. PDTC'nin redoks denge üzerindeki düzenleyici etkileri, renal dokuda hücrel hasarın sınırlandırılmasında umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Zhang et al., 2010)

Mevcut literatürde melatonin ve pirolidin renal I/R hasarı üzerindeki etkileri ayrı ayrı incelenmiş olmakla birlikte, bu iki ajanın birlikte kullanımının potansiyel sinerjik etkileri sınırlı sayıda çalışmada ele alınmıştır. Özellikle nefrektomi sonrası gelişen artmış oksidatif stres ortamında bu ajanların kombinasyonunun sağlayabileceği koruyucu mekanizmalar, hâlen aydınlatılmayı bekleyen önemli bir araştırma alanıdır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Büyükokuroğlu, Tayşi & Polat, 2002)

Bu kitap bölümünde, renal iskemi/reperfüzyon hasarının oksidatif stres temelli patofizyolojisi ele alınacak; melatonin ve pirolidin moleküler, hücrel ve dokusal düzeydeki koruyucu etkileri güncel literatür ışığında değerlendirilecektir. Böylece deneysel veriler temel alınarak, renal cerrahi ve transplantasyon pratiğinde antioksidan yaklaşımlara dair bütüncül bir bakış açısı sunulması amaçlanmaktadır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Büyükokuroğlu, Tayşi & Polat, 2002)

Renal İskemi/Reperfüzyon Hasarında Oksidatif Stres: Deneysel Yaklaşım

Renal iskemi/reperfüzyon (I/R) hasarı, deneysel modellerde zamana bağımlı, çok basamaklı ve geri beslemeli bir hücrel hasar süreci olarak tanımlanmaktadır. Bu süreçte ortaya çıkan doku hasarı yalnızca iskemi süresine değil; reperfüzyonun başlatılmasıyla aktive olan oksidatif ve inflamatuvar yanıtların şiddetine de bağlıdır. Deneysel çalışmalarda renal I/R hasarının patogenezi incelendiğinde, reaktif oksijen türleri (ROS) üretiminin merkezi bir rol üstlendiği görülmektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

İskemi döneminde oksijen yokluğu nedeniyle mitokondriyal elektron transport zinciri sekteye uğrar ve hücrel enerji metabolizması anaerobik yollara kayar. Bu süreçte ATP düzeyleri hızla azalırken, hücre içi kalsiyum konsantrasyonu artar ve hücrel membran bütünlüğü bozulmaya başlar. Reperfüzyonun başlamasıyla birlikte ise mitokondriyal fonksiyonların ani yeniden aktive olması, süperoksit anyonu (O_2^-) başta olmak üzere çok sayıda serbest oksijen türünün aşırı üretimine yol açar. Deneysel renal I/R modellerinde bu ani ROS artışı, hücrel hasarın ana tetikleyicisi olarak kabul edilmektedir.

Reaktif oksijen türlerinin aşırı üretimi, özellikle lipid peroksidasyonu yoluyla hücre zarında ciddi yapısal bozulmalara neden olur. Bu sürecin deneysel göstergelerinden biri olan malondialdehit (MDA) düzeyi, renal I/R hasarının

biyokimyasal şiddetini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir parametredir. Deneysel çalışmalarda, I/R uygulanan rat böbrek dokularında MDA düzeylerinin belirgin şekilde arttığı; bu artışın tübüler epitel hücre hasarı ve vasküler endotel disfonksiyonu ile korele olduğu gösterilmiştir. (Aydin, Yilmaz & Uz, 2004)

Renal I/R hasarında yalnızca lipid yapılar değil, aynı zamanda proteinler ve nükleik asitler de oksidatif modifikasyona uğramaktadır. Okside proteinlerin birikimi, enzimatik aktivitelere azalma ve hücresel sinyal yollarında bozulma ile sonuçlanırken; DNA hasarı ise hücresel apoptoz ve nekroz süreçlerini hızlandırmaktadır. Bu nedenle deneysel modellerde oksidatif stres yalnızca bir yan etki değil, doğrudan hücre ölümü mekanizmasını yönlendiren temel faktör olarak değerlendirilmektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Organizmanın oksidatif hasara karşı geliştirdiği savunma mekanizmaları, deneysel renal I/R çalışmalarının odak noktalarından birini oluşturmaktadır. Bu savunma sistemlerinin başında enzimatik antioksidanlar gelmektedir. Süperoksit dismutaz (SOD), süperoksit anyonlarını hidrojen peroksit dönüştürerek ilk savunma hattını oluşturur. Ortaya çıkan hidrojen peroksit ise katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPx) enzimleri aracılığıyla su ve oksijene indirgenerek etkisiz hale getirilir.

Deneysel renal I/R modellerinde sıklıkla gözlenen bulgulardan biri, iskemi ve reperfüzyon sonrası antioksidan enzim aktivitelerinde dengesiz değişimler meydana gelmesidir. Bazı çalışmalarda SOD aktivitesinin kompanساتuar olarak arttığı, ancak CAT ve GPx aktivitelerinin yetersiz kaldığı; bazı modellerde ise tüm antioksidan enzim sistemlerinin baskılandığı rapor edilmiştir. Bu durum, oksidatif stresin şiddeti ve süresine bağlı olarak antioksidan savunma kapasitesinin hızla tükenebileceğini göstermektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Özellikle nefrektomi sonrası oluşturulan renal I/R modellerinde, kalan böbreğin artmış metabolik yük altında olması oksidatif stresi daha da belirgin hale getirmektedir. Deneysel olarak tek böbrekli ratlarda uygulanan I/R protokollerinde, oksidatif hasarın hem biyokimyasal hem de histolojik olarak daha ağır seyrettiği bildirilmiştir. Bu durum, nefrektomili modellerin antioksidan ajanların koruyucu etkilerini değerlendirmek açısından daha duyarlı ve anlamlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Bu deneysel zemin üzerinde, oksidatif stresin farklı basamaklarına müdahale edebilen ajanların kullanımı önem kazanmaktadır. Serbest radikalleri doğrudan süpürebilen, mitokondriyal fonksiyonları stabilize eden ve antioksidan enzim ekspresyonunu artırabilen moleküller, renal I/R hasarının sınırlandırılmasında potansiyel terapötik adaylar olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, hem endojen bir hormon olan melatonin hem de sentetik bir antioksidan olan pirolidin ditiyokarbamat, deneysel renal I/R çalışmalarında dik-

kat çeken ajanlar arasında yer almaktadır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

· **Melatonin'ın Renal İskemi/Reperfüzyon Hasarında Deneysel Kullanımı: Doz, Süre ve Uygulama Yolu**

Melatonin (N-asetil-5-metoksitriptamin), endojen bir indolamin olmasının yanı sıra, deneysel çalışmalarda doz bağımlı güçlü antioksidan etkiler gösteren bir molekül olarak dikkat çekmektedir. Renal iskemi/reperfüzyon (I/R) modellerinde melatoninin koruyucu etkisi, büyük ölçüde uygulanan doz, uygulama süresi ve uygulama yolu ile ilişkilidir. Bu parametreler, elde edilen biyokimyasal ve histolojik sonuçların yorumlanmasında belirleyici rol oynamaktadır. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Deneysel Modellerde Melatonin Dozu

Deneysel renal I/R çalışmalarında melatonin genellikle 5–20 mg/kg aralığında uygulanmaktadır. Düşük dozlarda melatoninin antioksidan kapasitesi sınırlı kalabilirken, orta ve yüksek dozlarda serbest oksijen türlerinin doğrudan süpürülmesi ve antioksidan enzimlerin aktivasyonunda belirgin artış gözlenmektedir. Rat modellerinde 10 mg/kg/gün dozunun, oksidatif hasarı azaltmada etkili ve güvenli bir doz aralığı sunduğu bildirilmiştir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Nefrektomili ratlarda uygulanan I/R modellerinde, kalan böbreğin artmış metabolik ve oksidatif yük altında olması nedeniyle melatonin dozunun yeterli antioksidan yanıt oluşturacak düzeyde seçilmesi önem taşımaktadır. Bu bağlamda, 10 mg/kg dozunun lipid peroksidasyonunu azalttığı, MDA düzeylerini düşürdüğü ve antioksidan savunma sistemlerini desteklediği gösterilmiştir. Daha yüksek dozların ise bazı çalışmalarda antioksidan etkiyi artırmakla birlikte, fizyolojik dengeyi bozabileceği bildirilmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Uygulama Süresi ve Zamanlama

Melatoninin renal I/R hasarındaki etkileri yalnızca dozla değil, uygulama süresi ve zamanlamasıyla da yakından ilişkilidir. Deneysel modellerde melatonin; (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

- İskemiden önce (pre-treatment),
- İskemi sırasında,
- Reperfüzyon öncesi veya sonrası

şeklinde farklı protokollerle uygulanmaktadır.

Pre-treatment yaklaşımı, melatoninin hücresel antioksidan savunma sistemlerini önceden aktive etmesine olanak tanır. Bu stratejide melatonin, iskemik hasar başlamadan önce antioksidan enzim ekspresyonunu artırarak

hücreleri oksidatif strese karşı daha dirençli hale getirir. Özellikle çoklu doz uygulamaları, tek doz uygulamalara kıyasla daha belirgin koruyucu etki sağlamaktadır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Nefrektomili rat modellerinde melatoninin iyileşme dönemini takiben 7 gün süreyle uygulanması, antioksidan sistem üzerinde kümülatif bir etki oluşturmaktadır. Bu sürenin sonunda uygulanan iskemi ve reperfüzyon, melatoninin koruyucu kapasitesini değerlendirmek için uygun bir deneysel zemin oluşturmaktadır. Kısa süreli uygulamaların ise antioksidan enzim aktivitesinde sınırlı etki oluşturduğu bildirilmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

• **Uygulama Yolu: İntraperitoneal Enjeksiyon**

Deneysel renal I/R çalışmalarında melatonin çoğunlukla intraperitoneal (i.p.) yol ile uygulanmaktadır. Bu yol, melatoninin sistemik dolaşıma hızlı ve güvenilir şekilde geçmesini sağlarken, oral uygulamaya kıyasla biyoyararlanım farklılıklarını ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca i.p. uygulama, deneysel hayvanlarda doz kontrolünü kolaylaştırması nedeniyle tercih edilmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

İntraperitoneal melatonin uygulaması sonrası molekül hızla hücre membranlarını geçebilmekte ve özellikle mitokondriyal kompartımana kolaylıkla ulaşabilmektedir. Bu özellik, melatoninin mitokondri kaynaklı serbest oksijen türlerinin üretimini baskılamasında önemli rol oynamaktadır. Deneysel çalışmalarda, i.p. melatonin uygulamasının SOD, CAT ve GPx aktiviteleri üzerinde düzenleyici etki oluşturduğu ve bu etkinin reperfüzyon sonrası dönemde daha belirgin hale geldiği gösterilmiştir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

• **Biyokimyasal ve Histolojik Yansımalar**

Uygun doz, süre ve uygulama yolu ile verilen melatonin, deneysel renal I/R modellerinde MDA düzeylerinde anlamlı azalma, antioksidan enzim aktivitelerinde düzenlenme ve histolojik olarak tübüler dejenerasyonun sınırlandırılması ile ilişkilendirilmiştir. Işık mikroskopik incelemelerde, melatonin uygulanan gruplarda tübüler epitel hücre bütünlüğünün daha iyi korunduğu, interstisyel ödem ve hücresel dökülmenin azaldığı rapor edilmiştir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Bu deneysel bulgular, melatoninin renal I/R hasarında yalnızca serbest radikal süpürücü değil, aynı zamanda hücresel adaptasyon mekanizmalarını güçlendiren bir ajan olarak işlev gördüğünü göstermektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Pirolidin Ditiyokarbamat (PDTC): Deneysel Kullanım, Dozlama ve Moleküler Etki Mekanizmaları

Pirolidin ditiyokarbamat (PDTC), deneysel çalışmalarda özellikle redoks

denge düzenleyicisi ve NF- κ B sinyal yolak inhibitörü olarak tanımlanan sentetik bir antioksidan ajandır. Renal iskemi/reperfüzyon (I/R) hasarı modellerinde PDTC'nin koruyucu etkileri, melatonininden farklı olarak yalnızca serbest oksijen türlerinin doğrudan süpürülmesine değil; aynı zamanda inflamatuvar gen ekspresyonunun baskılanmasına dayanmaktadır. Bu özellik, PDTC'yi deneysel renal hasar çalışmalarında önemli bir tamamlayıcı ajan hâline getirmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002) (Zhang et al., 2010)

• **Deneysel Modellerde PDTC Dozu**

Renal I/R modellerinde PDTC genellikle 50–100 mg/kg doz aralığında uygulanmaktadır. Düşük dozlarda PDTC'nin antioksidan etkisi sınırlı kalırken, 100 mg/kg/gün dozunun hem oksidatif stres belirteçleri hem de inflamatuvar yanıt üzerinde anlamlı baskılayıcı etki oluşturduğu bildirilmiştir. Bu doz, deneysel çalışmalarda toksisite oluşturmadan biyolojik etki sağlayan üst güvenli doz olarak kabul edilmektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Nefrektomili rat modellerinde, tek böbreğin artmış fonksiyonel yükü ve oksidatif stres düzeyi göz önünde bulundurulduğunda, PDTC'nin yeterli dozda uygulanması kritik öneme sahiptir. Deneysel veriler, 100 mg/kg dozunda uygulanan PDTC'nin lipid peroksidasyonunu azalttığını, MDA düzeylerini düşürdüğünü ve özellikle glutatyon peroksidaz (GPx) aktivitesini desteklediğini göstermektedir. Bu durum, PDTC'nin antioksidan savunma sisteminin belirli basamakları üzerinde seçici bir etki oluşturduğunu düşündürmektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

• **Uygulama Süresi ve Deneysel Zamanlama**

PDTC'nin renal I/R hasarındaki etkileri, uygulama süresi ve zamanlamasına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Deneysel protokollerde PDTC genellikle çoklu doz rejimleri ile uygulanmakta; kısa süreli tek doz uygulamaların sınırlı etki gösterdiği bildirilmektedir. Özellikle 7 günlük uygulama süresi, NF- κ B yolaklarının baskılanması ve oksidatif stresin kümülatif olarak azaltılması açısından yeterli bir zaman aralığı olarak değerlendirilmektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Zhang et al., 2010)

Pre-treatment yaklaşımı ile uygulanan PDTC, iskemik sürece girilmeden önce hücresel savunma mekanizmalarının aktive edilmesini sağlamaktadır. Bu strateji, reperfüzyon döneminde ortaya çıkan ani inflamatuvar yanıtın ve ROS üretiminin sınırlandırılmasında etkilidir. Nefrektomili rat modellerinde PDTC'nin iyileşme dönemini takiben uygulanması, kalan böbreğin adaptif yanıtını destekleyen bir deneysel zemin oluşturmaktadır.

• **Uygulama Yolu: İntraperitoneal Enjeksiyon**

PDTC'nin deneysel renal I/R çalışmalarında en sık tercih edilen uygulama yolu intraperitoneal (i.p.) enjeksiyondur. Bu uygulama yolu, PDTC'nin

sistemik dolaşıma hızlı geçişini sağlarken, doku dağılımında homojenlik sunmaktadır. İntraperitoneal uygulama ayrıca dozun hassas şekilde ayarlanması-na olanak tanıdığı için deneysel güvenilirliği artırmaktadır.

İntraperitoneal PDTC uygulaması sonrasında molekülün hücre içine kolaylıkla girdiği ve özellikle sitozolik sinyal yolları üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. PDTC'nin metal iyonları ile şelat oluşturabilme özelliği, redoks reaksiyonlarını modüle ederek hücresel oksidatif yanıtı baskılamaktadır. Bu özellik, PDTC'nin klasik serbest radikal süpürücülerden ayrılan önemli bir yönüdür.

• NF-κB İnhibisyonu ve Oksidatif-İnflamatuvar Yanıt

PDTC'nin deneysel renal I/R hasarındaki en dikkat çekici etkisi, NF-κB sinyal yolunun inhibisyonudur. NF-κB, iskemi ve reperfüzyon sonrası aktive olan proinflamatuvar sitokinlerin (TNF-α, IL-1β gibi) transkripsiyonunda merkezi rol oynayan bir transkripsiyon faktörüdür. PDTC'nin NF-κB aktivasyonunu baskılaması, inflamatuvar hücre infiltrasyonunun ve ikincil doku hasarının azaltılmasını sağlamaktadır. (Zhang et al., 2010)

Deneysel çalışmalarda PDTC uygulanan gruplarda, renal dokuda inflamatuvar hücre yoğunluğunun azaldığı, interstisyel ödemin sınırlı kaldığı ve tübüler yapının daha iyi korunduğu bildirilmiştir. Bu histolojik bulgular, PDTC'nin yalnızca antioksidan değil, aynı zamanda antiinflamatuvar bir ajan olarak da işlev gördüğünü ortaya koymaktadır.

• Biyokimyasal ve Histolojik Yansımalar

PDTC uygulaması sonrası renal dokuda gözlenen biyokimyasal değişiklikler, ajanının etki mekanizmasını destekler niteliktedir. MDA düzeylerinde belirgin azalma, GPx aktivitesinde artış ve SOD-CAT dengesinde düzenlenme, PDTC'nin oksidatif stres üzerindeki modülatör etkisini göstermektedir. Histolojik olarak ise tübüler epitel bütünlüğünün daha iyi korunduğu, hücresel dökülme ve nekrotik alanların azaldığı gözlenmiştir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Bu deneysel bulgular, PDTC'nin renal I/R hasarında inflamasyon-oksidatif stres eksenini birlikte hedefleyen bir ajan olduğunu ve bu yönüyle melatonin gibi doğrudan antioksidanlardan farklı bir etki profili sunduğunu göstermektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000) (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

5. Melatonin ve Pirolidin Ditiyokarbamatın Kombine Kullanımı: Deneysel Sinerji ve Mekanistik Yaklaşım (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Renal iskemi/reperfüzyon (I/R) hasarı, tek bir biyokimyasal yolak üzerinden ilerleyen basit bir süreç değildir; aksine oksidatif stres, inflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon ve hücresel ölüm yollarının eş zamanlı olarak aktive olduğu çok boyutlu bir hasar modelidir. Bu nedenle, deneysel çalışmalarda tek

bir antioksidan ajanın tüm patofizyolojik basamakları yeterli düzeyde baskılaması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu gerçeklik, farklı etki mekanizmalarına sahip ajanların kombine kullanımını rasyonel bir deneysel yaklaşım hâline getirmektedir. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

Melatonin ve pirolidin ditiyokarbamat (PDTC), renal I/R hasarında farklı ancak tamamlayıcı biyolojik hedeflere etki eden iki ajan olarak öne çıkmaktadır. Melatonin, esas olarak serbest oksijen türlerini doğrudan süpüren, mitokondriyal fonksiyonları stabilize eden ve antioksidan enzim sistemlerini destekleyen bir molekül iken; PDTC, redoks dengeyi düzenleyen ve özellikle NF- κ B aracılı inflamatuvar yanıtı baskılayan bir ajan olarak etki göstermektedir. Bu farklılık, iki ajanın birlikte kullanımında potansiyel bir sinerjik koruyucu etki oluşturabileceğini düşündürmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002) (Zhang et al., 2010)

• **Kombinasyonun Deneysel Gerekçesi**

Deneysel renal I/R modellerinde oksidatif hasarın erken fazında mitokondri kaynaklı serbest radikal üretimi baskınken, reperfüzyonun ilerleyen dönemlerinde inflamatuvar yanıt ve sitokin aracılı hasar ön plana çıkmaktadır. Melatonin, erken fazda mitokondriyal ROS üretimini azaltarak hücrel hasarın başlangıç basamağını sınırlandırırken; PDTC, geç fazda aktive olan NF- κ B yollarını inhibe ederek inflamatuvar yanıtın dokuya verdiği ikincil hasarı azaltmaktadır. Bu zamanlamaya bağlı etki farklılığı, kombinasyon yaklaşımının deneysel temelini oluşturmaktadır. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002) (Zhang et al., 2010)

Nefrektomili rat modellerinde kalan böbreğin artmış hemodinamik ve metabolik yük altında olması, hem oksidatif stresin hem de inflamatuvar yanıtın daha belirgin hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durum, kombine antioksidan stratejilerin etkilerini daha görünür kılmakta ve deneysel duyarlılığı artırmaktadır. (Reiter, Tan, Osuna & Gitto, 2000)

• **Dozların Birlikte Kullanım Mantığı**

Kombinasyon protokollerinde melatonin ve PDTC'nin birbirinin dozu- nu artırmadan, kendi etkin dozlarında uygulanması önemlidir. Melatoninin 10 mg/kg/gün dozunda mitokondriyal ve sitozolik antioksidan etki sağladığı; PDTC'nin ise 100 mg/kg/gün dozunda NF- κ B baskılanması ve redoks denge regülasyonu oluşturduğu bilinmektedir. Bu dozlar, farklı biyokimyasal hedeflere yöneldiği için farmakodinamik çakışma oluşturmaz, aksine tamamlayıcı bir etki profili sunar. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002) (Zhang et al., 2010)

Deneysel çalışmalarda kombine uygulamada, tek başına melatonin veya PDTC verilen gruplara kıyasla lipid peroksidasyonunun daha belirgin şekilde baskılandığı, antioksidan enzim aktivitelerinin daha dengeli seyrettiği bildirilmiştir. Özellikle GPx aktivitesindeki artış ve MDA düzeylerindeki belirgin

azalma, kombine tedavinin biyokimyasal üstünlüğünü desteklemektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

• **5.3. Biyokimyasal Sinerji: MDA, SOD ve GPx Üzerinden Değerlendirme**

Kombine melatonin-PDTC uygulamasının deneysel etkileri değerlendirildiğinde, antioksidan savunma sisteminin farklı basamaklarında eş zamanlı düzenleme sağlandığı görülmektedir. Melatonin, süperoksit ve hidroksil radikallerini doğrudan süpürerek ROS yükünü azaltırken; PDTC, serbest radikal üretimini tetikleyen inflamatuvar sinyal yollarını baskılamaktadır. Bu çift yönlü etki, lipid peroksidasyonunun son ürünü olan MDA düzeylerinde anlamlı bir düşüşle sonuçlanmaktadır. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

SOD aktivitesindeki değişimler, kombine uygulamanın adaptif yanıt üzerindeki etkisini yansıtmaktadır. Bazı deneysel modellerde kombine gruplarda SOD aktivitesinin baskılandığı gözlenmiş; bu durum, ROS yükünün azalmasına bağlı olarak kompanseuar SOD ihtiyacının ortadan kalkması şeklinde yorumlanmıştır. Buna karşın GPx aktivitesindeki artış, hidrojen peroksitin etkisiz hale getirilmesinde kombine tedavinin etkinliğini ortaya koymaktadır.

• **Histolojik Düzeyde Kombinasyonun Etkileri**

Histolojik incelemeler, kombine melatonin-PDTC uygulamasının renal I/R hasarını sınırlandırmadaki üstünlüğünü destekler niteliktedir. Tek ajan uygulanan gruplarda kısmi tübüler dejenerasyon ve interstisyel ödem gözlenirken, kombine uygulama yapılan gruplarda tübüler epitel bütünlüğünün daha iyi korunduğu, hücresel dökülmenin ve nekrotik alanların daha sınırlı olduğu bildirilmektedir. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

Nefrektomili rat modellerinde kombine tedavi, özellikle kortikal ve juxtamedullar bölgelerde histolojik hasar skorlarını anlamlı şekilde düşürmektedir. Bu bulgu, kombine yaklaşımın yalnızca biyokimyasal parametreler üzerinde değil, dokusal mimarinin korunması üzerinde de etkili olduğunu göstermektedir.

• **DeneySEL Bulguların Klinik Çıkarımları**

Melatonin ve PDTC'nin kombine kullanımına ait deneysel bulgular, renal cerrahi ve transplantasyon pratiği açısından önemli ipuçları sunmaktadır. Özellikle geçici iskemi uygulamalarının kaçınılmaz olduğu klinik durumlarda, çok hedefli antioksidan stratejilerin doku hasarını azaltabileceği düşünülmektedir. Deneysel modellerden elde edilen bu veriler, kombine antioksidan tedavilerin gelecekte klinik çalışmalara aktarılabilmesi için güçlü bir bilimsel zemin oluşturmaktadır. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

• **Genel Değerlendirme**

Bu kitap bölümünde ele alınan deneysel veriler, renal iskemi/reperfüz-

yon hasarının çok yönlü patofizyolojisine karşı tek hedefli değil, çok basamaklı yaklaşımların daha etkili olabileceğini göstermektedir. Melatonin ve pirolidin ditiyokarbamatın farklı ancak tamamlayıcı etki mekanizmaları, kombine kullanımda biyokimyasal ve histolojik düzeyde daha güçlü bir koruma sağlamaktadır. Nefrektomili rat modeli, bu sinerjik etkinin ortaya konulması açısından uygun ve duyarlı bir deneysel platform sunmaktadır. (Büyükokuroğlu, Taysi & Polat, 2002)

KAYNAKLAR

- Aydin, S., Yilmaz, O., & Uz, E. (2004). Protective effect of melatonin against renal ischemia/reperfusion injury in rats. *Journal of Pineal Research*, 37(1), 16–23.
- Büyükokuroğlu, M. E., Taysi, S., & Polat, F. (2002). Antioxidant effects of melatonin in renal ischemia–reperfusion injury. *Free Radical Research*, 36(5), 467–473.
- Hall, E. D., & Braugher, J. M. (1989). Free radicals in CNS injury. *Research Publications – Association for Research in Nervous and Mental Disease*, 67, 81–105.
- Reiter, R. J., Tan, D. X., Osuna, C., & Gitto, E. (2000). Actions of melatonin in the reduction of oxidative stress. *Journal of Biomedical Science*, 7(6), 444–458.
- Zhang, X., Shan, P., Jiang, D., et al. (2010). Pyrrolidine dithiocarbamate attenuates renal ischemia/reperfusion injury via inhibition of NF- κ B. *American Journal of Nephrology*, 32(6), 547–556.