ANATOMİ BİLİMİNDE TARİHSEL, YAPISAL VE KLİNİK YAKLAŞIMLAR

EDİTÖR
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYLA TEKİN





BİDGE Yayınları

BİDGE Yayınları

Anatomi Biliminde Tarihsel, Yapısal ve Klinik Yaklaşımlar

Editör: DR. ÖĞR. ÜYESİ AYLA TEKİN

ISBN: 978-625-5057-78-5

1. Baskı
Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL
Yayınlama Tarihi: 2026-10-25
BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374
Yayın hakları © BİDGE Yayınları
www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com
Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.
Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya / Ankara

İÇİNDEKİLER

LEONARDO DA VİNCİ'NİN KADAVRA İNCELEMELERİ: ANATOMİK GÖZLEM, DİSEKSİYON VE GÖRSELLEŞTİRME 1
NAZLI GÜLRİZ ÇERİ, BURAK AYYILDIZ

İNSAN HAREKET TERMİNOLOJİSİ: ANATOMİK ADLANDIRMA, BİYOMEKANİK ÖLÇÜM VE DİSİPLİNLER ARASI KULLANIM 11
NAZLI GÜLRİZ ÇERİ, BURAK AYYILDIZ

İNSAN TESTİSİNİN ANATOMİSİ VE SPERMATOGENEZİN YAPISAL TEMELLERİ 21
AYŞE GİZEM ŞAHMELİKOĞLU, GİZEM SAKALLI

KADIN ÜREME SİSTEMİ KLİNİK ANATOMİSİ 42
OĞUZHAN HARMANDAOĞLU, OĞUZHAN ÖZTÜRK

ANATOMICAL FOUNDATIONS AND CLINICAL LOCALIZATION OF CROSSED BRAINSTEM SYNDROMES 58
DAMLA ŞAHİN

LEONARDO DA VİNCİ'NİN KADAVRA İNCELEMELERİ: ANATOMİK GÖZLEM, DİSEKSİYON VE GÖRSELLEŞTİRME

NAZLI GÜLRİZ ÇERİ[1]

BURAK AYYILDIZ[2]

GİRİŞ

Leonardo da Vinci (1452–1519), insan bedenini görme, anlama ve anlatma çabasını sanat ile bilim arasında buluşturan Rönesans'ın en dikkat çekici isimlerinden biridir. Onun insanı tanıma merakı, resimde görünür kıldığı bedenin sınırlarını aşarak bu bedenin iç yapısına, hareketine ve işleyişine yönelmiştir (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021). Ressamlığının kazandırdığı gözlem ve çizim becerileri; mühendislik, mekanik ve doğa araştırmalarına duyduğu ilgiyle birleşmiş, anatomik çalışmalarına çok yönlü bir nitelik kazandırmıştır (Wolach & Wolach, 2021). İnsan bedenini oluşturan yapıların birbirleriyle ilişkilerini araştırması, Leonardo'nun anatomik çizimlerini aynı zamanda yaşamın nasıl işlediğini anlamaya yönelik bir düşünsel çabanın kayıtları hâline getirmiştir (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021). Bu çalışmalarda sanatçının ayrıntıya duyarlılığı ile araştırmacının açıklama arayışı yan yana görülebilmektedir (Wolach & Wolach, 2021).

[1] Doç. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi Anatomi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0000-0001-5486-1824

[2] Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi Anatomi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0009-0009-6272-784X

Leonardo'nun anatomik merakı, insan bedeninin sanatsal temsilinin önem kazandığı ve kadavra diseksiyonlarının Kuzey İtalya'da giderek yaygınlaştığı bir ortamda gelişmiştir (Carroll, 2025). Verrocchio'nun atölyesindeki sanat eğitimi, insan figürünü incelemesine zemin hazırlarken, Galenos, İbn Sînâ ve Mondino de' Liuzzi gibi yazarların eserleri de anatomik düşüncesini besleyen kaynaklar arasında yer almıştır (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021). İnsan ve hayvan bedenleri üzerinde yürüttüğü incelemeler, bu birikimi doğrudan gözlemleriyle birlikte değerlendirmesine olanak sağlamıştır (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021). Böylece Leonardo'nun araştırmalarında sanatsal deneyim, önceki anatomik bilgi ve diseksiyonla edinilen bulgular birbirini etkileyen unsurlar olarak bir araya gelmiştir (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021).

Bu araştırma sürecinde kadavra, Leonardo'nun bedenin görünmeyen yapılarıyla karşılaşmasını sağlayan temel çalışma materyallerinden biri olmuştur. İncelemeleri kas-iskelet sistemiyle sınırlı kalmamış; kalp ve damarlar, sinir sistemi ve üreme organları gibi farklı yapılara uzanmıştır (Wolach & Wolach, 2021). Aynı yapıyı farklı yönlerden çizmesi, kesitler kullanması ve görsellerini açıklayıcı notlarla desteklemesi, anatomik ilişkileri anlaşılır biçimde kaydetme çabasını yansıtmaktadır (Wolach & Wolach, 2021). Bununla birlikte, özellikle üreme anatomisi çizimlerinde insan ve hayvan diseksiyonlarından elde edilen bilgilerin geleneksel kabullerle birleşmesi, bazı yapıların hatalı yorumlanmasına neden olmuştur (Carroll, 2025). Leonardo'nun anatomik çalışmalarının tarihsel değeri, bu nedenle başarılı gözlemleri ve özgün anlatım yöntemleriyle birlikte, içinde geliştiği bilgi ortamı ve uygulama koşulları dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Bu kitap bölümünün amacı, Leonardo da Vinci'nin kadavra incelemelerine yaklaşımını tarihsel bağlamı içinde ele alarak diseksiyon, anatomik gözlem, görsel kayıt ve işlevsel yorum arasındaki ilişkileri incelemektir. Bu doğrultuda kadavraya erişim ve çalışma koşulları, insan ve hayvan diseksiyonlarının araştırmalarındaki yeri, anatomik yapıların çizim yoluyla ifade edilmesi ve seçilmiş organ sistemlerine ilişkin gözlemleri değerlendirilecektir. Ayrıca Leonardo'nun anatomik

gözlemleri ve görselleştirme yöntemleri günümüz anatomik bilgisi ışığında incelenerek, çalışmalarının anatomik yapıların anlaşılması ve temsil edilmesi bakımından taşıdığı değer ortaya konulacaktır. Bu değerlendirmede, çalışmalarının sonraki dönemlerdeki tarihsel etkisi ile bugün onlara atfedilen bilimsel ve eğitsel değer birbirinden ayrılacak; başarıları ve sınırlılıkları birlikte ele alınacaktır.

Sanatsal İlgiden Anatomik Araştırmaya

Leonardo'nun anatomik araştırmalarına uzanan yol, insan figürünü dikkatle incelemeyi gerektiren sanat eğitimiyle şekillenmiştir. Andrea del Verrocchio'nun Floransa'daki atölyesinde edindiği çizim ve uygulama deneyimi, bedenin görünür biçimlerini tanıması için önemli bir zemin oluşturmuştur (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021). Dönemin sanatçı eğitiminde temel anatomi bilgisi, deri ve kasların oluşturduğu yüzey biçimlerini gerçeğe uygun biçimde yansıtabilmek açısından değer taşımaktaydı (Schuez & Alt, 2022). Leonardo'nun ilgisi ise zamanla bedenin dış görünüşünden, bu görünüşü meydana getiren yapıların birbirleriyle ilişkilerine ve işleyişine doğru genişlemiştir (Carroll, 2025; Schuez & Alt, 2022).

Bu genişleyen merakın somut örneklerinden biri, 1489 tarihli kafatası çizimleridir. Leonardo bu çalışmalarda kafatasını farklı kesitlerle açarak iç boşlukları, dişleri ve çevredeki kemik yapıları görünür hâle getirmiştir (Schuez & Alt, 2022). Yüzün dış biçiminin ötesine geçen bu incelemeler, insan başının iç düzenini araştırma çabasını ortaya koymaktadır (Schuez & Alt, 2022). Böylece sanatsal temsil için önem taşıyan bir bölge, aynı zamanda anatomik ilişkilerin sorgulandığı bir araştırma alanına dönüşmüştür.

Leonardo için çizim, yalnızca inceleme sonunda ortaya çıkan bir ürün değil, bilgiyi edinmenin ve düzenlemenin de bir yoluydu. Anatomik metinlerden okuduklarını eskizlere dönüştürmesi, çizimi anlamayı kolaylaştıran bir düşünme aracı olarak kullandığını göstermektedir (Schuez & Alt, 2022). Diseksiyonlarda karşılaştığı yapıları görsel kayıtlarla işlemesi de bu yaklaşımın başka bir yönünü oluşturmuştur (Schuez & Alt, 2022). Bununla birlikte, araştırmalarında doğrudan

gözlem kadar geçmişten aktarılan açıklamalar da etkili olmuş; Galenos ve İbn Sînâ'nın görüşleri özellikle erken anatomik çalışmalarında iz bırakmıştır (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021).

Sanatsal ilginin anatomik araştırmaya dönüşmesi, Leonardo'nun diğer uğraşlarıyla da beslenmiştir. Mekanik ve doğa olaylarına yönelik ilgisi, bedenin hareketini ve organların işleyişini açıklama çabalarına eşlik etmiş; insan bedeni ile doğa arasında kurduğu benzetmeler düşüncesinde önemli bir yer tutmuştur (Wolach & Wolach, 2021). Araştırmalarının kalp, sinir sistemi ve üreme organlarına uzanması, insan figürünü doğru çizme hedefini aşan bir merakı yansıtmaktadır (Carroll, 2025; Wolach & Wolach, 2021). Bu süreçte sanatı ile anatomik araştırmaları birbirinden kopmamış; gözlem, çizim ve açıklama arayışı çalışmalarında birlikte gelişmiştir (Wolach & Wolach, 2021).

Kadavraya Erişim ve Diseksiyonun Çalışma Koşulları

Leonardo'nun yaşadığı dönemde insan bedenini incelemek, kadavraya ulaşmayı ve belirli kurallar içinde çalışmayı gerektiriyordu. Rönesans İtalya'sında bedenler, ölüm nedenini araştırmak ve anatomi öğretmek amacıyla açılabiliyordu; ancak bu uygulamaların kabulü, incelemenin amacı ve cenaze gelenekleriyle yakından ilişkiliydi (Park, 1994). Üniversitelerdeki diseksiyonlarda yerel yönetimlerin sağladığı, idam edilmiş kişilere ait bedenler kullanılabiliyor; incelemeler belirli zamanlarda ve sınırlı sayıda gerçekleştiriliyordu (Park, 1994). Dolayısıyla diseksiyona izin verilmesi, kadavraya serbestçe ulaşılabildiği anlamına gelmiyordu. Anatomik araştırmalar, bedenlerin sağlanmasını mümkün kılan kurumsal olanaklara bağlıydı (Brenna, 2022; Park, 1994).

Leonardo'nun hastaneler ve hekimlerle kurduğu ilişkiler, bu koşullar içinde yürüttüğü araştırmaların önemli bir parçasını oluşturmuştur. Floransa'daki Santa Maria Nuova Hastanesi'nde yaptığı incelemeler ve Pavia'da Marcantonio della Torre ile çalışması, anatomik araştırmalarının tıp çevreleriyle bağlantısını göstermektedir (Carroll, 2025). Dönemin bazı üniversite diseksiyonlarında anatomik metni

okuyan öğretici ile bedeni açan görevliler farklı kişilerdi (Brenna, 2022). Leonardo ise organ ve beden bölümleri üzerinde bizzat çalışmış, gözlemlerini çizim ve notlarla kaydetmiştir (Schuez & Alt, 2022). Kendi bildirimine göre yaklaşık otuz insan kadavrasını diseke etmiş olması, bu araştırmalara ayırdığı emeğin kapsamı hakkında fikir vermektedir (Schuez & Alt, 2022).

Kadavraya ulaşmak, incelemenin tamamlanabilmesi için tek başına yeterli değildi; dokular bozulmadan çalışmayı bitirmek de gerekiyordu. Dokuları uzun süre diseksiyona uygun durumda tutacak güvenilir yöntemlerin bulunmaması, inceleme için kullanılabilecek süreyi sınırlıyordu (Brenna, 2022). Bu nedenle diseksiyonlar birbirini izleyen gün ve geceler boyunca sürebiliyor, inceleme sırası organların bozulma hızına göre belirlenebiliyordu (Brenna, 2022). Daha hızlı çürüyen organları içeren karın boşluğuna öncelik verilmesi ve çalışmaların kış aylarında yapılması, bu zaman baskısını azaltmaya yönelik uygulamalardı (Carroll, 2025). Ancak soğuk hava bile dokuların bozulmasını bütünüyle engelleyemiyordu (Carroll, 2025).

Bu koşullarda çalışmak, teknik becerinin yanında, ölümün ve bedenin bozulmasının yarattığı duygusal güçlüklerle yüzleşmeyi de gerektiriyordu. Leonardo, notlarında parçalanmış ve derisi kaldırılmış bedenlerle gece saatlerinde çalışmanın yaratabileceği ürpertiye değinmiştir (Carroll, 2025). Aynı notlarda, bu koşullara dayanabilmenin yanı sıra, görülen yapıları doğru biçimde çizebilmek için gerekli beceriyi de vurgulamıştır (Carroll, 2025). Güç çalışma koşullarına rağmen ayrıntılı incelemelerini sürdürmesi ve gözlemlerini çizimlerle kaydetmesi, anatomik araştırmalarına verdiği önemi göstermektedir (Carroll, 2025; Schuez & Alt, 2022).

Çalışmaların kapsamını belirleyen bir başka etken ise ulaşılabilen kadavraların çeşitliliğiydi. Özellikle kadın üreme organlarına ait bazı çizimlerdeki ayrıntı eksikliklerinin, kadın kadavralarına sınırlı erişim ve elverişsiz diseksiyon koşullarıyla ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Carroll, 2025). Kesin bir neden olarak kabul edilemese de bu olasılık, çizimlerdeki eksikliklerin çalışma olanaklarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Dolayısıyla Leonardo'nun anatomik

çalışmalarını anlamak için gözlem ve çizim becerisinin yanında, hangi bedenleri inceleyebildiğini, dokuların durumunu ve incelemeye ayırabildiği süreyi de dikkate almak gerekir.

Diseksiyondan Görsel Kayda: Anatomik Araştırma Yöntemi

Diseksiyon sırasında görülen yapıların kaydedilmesi, kısa sürede bozulabilen dokulardan edinilen bilginin korunmasını sağlıyordu. Leonardo için çizim, bu bilginin kaydı olmanın yanında, anatomik ilişkileri anlamanın ve açıklamanın da bir yoluydu (Schuez & Alt, 2022). Kemik, eklem ve kasları hem ayrı ayrı hem de birbirleriyle ilişkileri içinde incelemiş; aynı yapıyı farklı yönlerden göstererek biçiminin daha iyi anlaşılmasını amaçlamıştır (Tsafrir & Ohry, 2001). Böylece tek bir görünüşte birbirini örten ya da seçilemeyen yapılar, farklı çizimler birlikte incelendiğinde daha anlaşılır hâle gelmiştir.

Bu yaklaşımın önemli araçlarından biri kesit kullanımıydı. Leonardo'nun 1489 tarihli kafatası çalışmalarında, dış yüzey ile kesilerek açılmış iç yapı yan yana gösterilmiştir. Bu çizimlerde kafatası boşluğu, burun çevresindeki sinüsler ve diş kökleri gibi dışarıdan görülemeyen yapılar arasındaki ilişkiler izlenebilmektedir (Schuez & Alt, 2022). Bir başka yöntem olan ayrıştırılmış görünümde ise parçalar birbirinden uzaklaştırılarak gösterilmiş, böylece normalde temas eden yüzeylerin ve birleşme noktalarının anlaşılması kolaylaştırılmıştır (Tsafrir & Ohry, 2001). Yapıların katmanlar hâlinde açılması da bu görsel anlatımın bir parçasıdır. Örneğin fetüs çizimlerinde uterus ve çevresindeki zarların açılmış biçimde gösterilmesi, içerideki yapıları görünür kılmak için kullanılmıştır (Carroll, 2025).

Çizimlere eşlik eden notlar da yalnızca yapıların adlarını belirtmekle sınırlı değildi. Leonardo, gözlemlediği biçimlerin ne işe yaradığını ve hareketle nasıl ilişkili olduğunu açıklamaya çalışmıştır (Schuez & Alt, 2022). Dişler üzerine 1508 tarihli notlarında, dişlerin biçimini ve çiğneme kuvvetini çene eklemine olan uzaklıklarıyla birlikte değerlendirmiştir. Bu ilişkiyi göstermek için kullandığı basit çizgiler ve noktalar, anatomik görünümü mekanik bir açıklamaya dönüştürme

çabasını yansıtmaktadır (Schuez & Alt, 2022). Dolayısıyla notlar ve çizimler birlikte okunduğunda, görülen yapıların yanında Leonardo'nun bu yapılara ilişkin yorumları da ortaya çıkmaktadır.

Bedenin içindeki boşlukların biçimini anlamak için çizimin yanında fiziksel modellerden de yararlanmıştır. Sığır beyninin ventriküllerine erimiş mum enjekte ederek bu boşlukların kalıbını elde etmesi, doğrudan görülmesi güç bir yapıyı üç boyutlu olarak inceleme olanağı sağlamıştır (Schuez & Alt, 2022). Bu işlemde boşluğun kendisi, çevresindeki dokudan ayrılarak değerlendirilebilen somut bir biçime dönüştürülmüştür. Böylece diseksiyonla açığa çıkarılan yapıların çizilmesine, iç boşlukların kalıp yoluyla gösterilmesi de eklenmiştir (Schuez & Alt, 2022).

Modelleme düşüncesi, kalpteki kan akışını açıklama çabasında da görülmektedir. Leonardo'nun notlarında, aort kökü ve kapak bölgesini temsil eden cam bir düzenek hazırlanması ve içinden su ile bitki tohumları geçirilerek akışın izlenmesi tarif edilmektedir (Gharib et al., 2002). Burada amaç, saydam bir model içinde hareketi görünür kılmak ve akışın kapak çevresindeki biçimle ilişkisini araştırmaktır.

Leonardo'nun Anatomik Mirası: Günümüz Anatomi Eğitimine Bir Bakış

Günümüz yöntemleriyle karşılaştırıldığında, Leonardo'nun çalışmalarının dikkat çekici yönü yapıyı farklı açılardan gösterme, iç boşlukları modelleme ve hareketi görünür hâle getirme çabasıdır. Bu yaklaşım, modern anatomik görselleştirmenin üç boyutlu ilişkileri anlaşılır kılma amacıyla benzerlik taşımaktadır (Tsafrir & Ohry, 2001). Ayrıca Leonardo'nun çizimine göre hazırlanan bir aort modelinde, modern akış görüntüleme yöntemleriyle elde edilen örüntülerin onun çizdiği girdaplarla belirgin benzerlikler gösterdiği bildirilmiştir (Gharib et al., 2002). Bu bulgu, belirli çizimlerinin açıklayıcı değerini destekler; ancak bütün anatomik yorumlarının doğrulandığı anlamına gelmez. Buradaki yakınlık, görünmeyen yapı ve hareketleri anlaşılır bir temsile dönüştürme çabasında aranmalıdır.

Bu görselleştirme çabasının arkasında, anatomik biçimi işlevle birlikte anlama isteği bulunmaktadır. Leonardo'nun notlarında yapıların görünümü, hareket ve kuvvetle ilişkileri üzerinden de ele alınmıştır (Schuez & Alt, 2022). Günümüz açısından bu yaklaşımın değeri, anatomik ayrıntılardan bedenin işleyişine ilişkin sorular üretmesidir. Bir yapının nasıl göründüğünü kaydetmek, onun nasıl çalışabileceğini araştırmanın başlangıcı hâline gelmiştir (Gharib et al., 2002; Schuez & Alt, 2022). Bununla birlikte, biçimden hareketle yapılan bir açıklamanın doğruluğu ayrıca sınanmalıdır. Leonardo'nun çalışmalarına bugünden bakıldığında, gözlemlerinin isabeti ile bunlardan çıkardığı sonuçların doğruluğunu ayrı değerlendirmek, başarısını daha açık biçimde ortaya koyar.

Çizim ve notların birlikte kullanılması da bu çalışmaların günümüzdeki değerini artırmaktadır. Bu kayıtlar, Leonardo'nun hangi ayrıntıları gördüğünü ve bunları nasıl yorumladığını birlikte incelememize olanak tanır (Schuez & Alt, 2022). Aort akışına ilişkin çizimlerinin yüzyıllar sonra deneysel bir modelle karşılaştırılabilmesi, ayrıntılı görsel kaydın yeniden değerlendirmeye açık bir bilgi taşıyabildiğini göstermektedir (Gharib et al., 2002). Bu açıdan onun çalışmalarının önemi, ulaştığı sonuçlarla birlikte, sorularını ve açıklamalarını sonraki incelemelere açık bırakmış olmasında da görülebilir.

Bu özellikler, anatomi eğitimi açısından da anlamlı bir bağlantı kurmaktadır. Günümüzde çizimle öğrenme, öğrencinin anatomik bilgiyi düzenlemesine ve yapılar arasındaki ilişkileri nasıl anladığını ortaya koymasına yardımcı olabilecek bir yöntem olarak ele alınmaktadır (Amin, 2020). Üç boyutlu görselleştirme araçları da benzer biçimde, bedenin konum ve derinlik ilişkilerinin anlaşılmasını desteklemeyi amaçlamaktadır; ancak eğitimde sağladıkları yarar kullanılan yönteme ve araştırmanın koşullarına göre değişmektedir (Triepels et al., 2020). Leonardo'nun yaklaşımıyla kurulabilecek ortaklık, öğrenenin anatomik yapıyı dikkatle incelemesi ve gördükleri arasında ilişki kurmasıdır. Bu nedenle onun çalışmalarının eğitimdeki yeri değerlendirilirken, çizimlerin

görsel etkileyiciliği kadar hangi anatomik soruyu açıklamaya çalıştıkları da önem taşır.

Sonuç

Leonardo da Vinci'nin anatomi çalışmaları, insan bedenini anlama merakının sanat, gözlem ve araştırmayla buluştuğu önemli bir tarihsel örnektir. Kadavraya erişimin ve dokuların korunmasının getirdiği güçlükler içinde yürüttüğü diseksiyonları, ayrıntılı çizimler ve notlarla kaydetmiş; bedenin yapısını işleyişiyle birlikte açıklamaya çalışmıştır. Çalışmalarında döneminin düşüncelerini yansıtan hatalar bulunsa da bazı gözlemlerinin günümüz bilgisiyle örtüşmesi, incelemelerinin değerini ortaya koymaktadır.

Leonardo'nun anatomik mirası, doğru tanımladığı yapıların yanında, insan bedenine yönelttiği sorularda ve bu soruları araştırmak için geliştirdiği yöntemlerde yaşamaktadır. Gözlemi çizime, çizimi açıklamaya dönüştürme çabası, çalışmalarını bugün de anlamlı kılmaktadır. Onun defterleri, dönemin olanakları içinde bedenin bilinmeyen yönlerini anlamaya çalışan bir insanın merakını, emeğini ve bilgi arayışını günümüze taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Amin, A. (2020). ‘Drawing’ to learn anatomy: Exploring the theoretical underpinning and conditions favouring drawing based learning. *Journal of the Pakistan Medical Association, 70*(11), 2017–2022. https://doi.org/10.5455/JPMA.34788

Brenna, C. T. A. (2022). Bygone theatres of events: A history of human anatomy and dissection. *The Anatomical Record, 305*(4), 788–802. https://doi.org/10.1002/ar.24764

Carroll, M. (2025). The renaissance of reproductive science: Leonardo da Vinci’s anatomical contributions. *Reproductive Sciences, 32*(3), 575–599. https://doi.org/10.1007/s43032-024-01772-9

Gharib, M., Kremers, D., Koochesfahani, M. M., & Kemp, M. (2002). Leonardo’s vision of flow visualization. *Experiments in Fluids, 33*, 219–223. https://doi.org/10.1007/s00348-002-0478-8

Park, K. (1994). The criminal and the saintly body: Autopsy and dissection in Renaissance Italy. *Renaissance Quarterly, 47*(1), 1–33. https://doi.org/10.2307/2863109

Schuez, I., & Alt, K. W. (2022). Leonardo da Vinci and dental anatomy. *Journal of Anatomy, 240*(2), 183–196. https://doi.org/10.1111/joa.13561

Triepels, C. P. R., Smeets, C. F. A., Notten, K. J. B., Kruitwagen, R. F. P. M., Futterer, J. J., Vergeldt, T. F. M., & Van Kuijk, S. M. J. (2020). Does three-dimensional anatomy improve student understanding? *Clinical Anatomy, 33*(1), 25–33. https://doi.org/10.1002/ca.23405

Tsafrir, J., & Ohry, A. (2001). Medical illustration: From caves to cyberspace. *Health Information & Libraries Journal, 18*(2), 99–109. https://doi.org/10.1046/j.1471-1842.2001.d01-16.x

Wolach, B., & Wolach, O. (2021). Science, anatomy, and art: Revisiting Leonardo da Vinci, pioneer of modern anatomy. *The Israel Medical Association Journal, 23*(10), 676–680.

BÖLÜM 2
İNSAN HAREKET TERMİNOLOJİSİ: ANATOMİK ADLANDIRMA, BİYOMEKANİK ÖLÇÜM VE DİSİPLİNLER ARASI KULLANIM

NAZLI GÜLRİZ ÇERİ[1]

BURAK AYYILDIZ[2]

GİRİŞ

Anatomik terminoloji, anatomik yapıların tanımlanmasını ve bu yapılara ilişkin bilginin aktarılmasını sağlayarak tıp ve sağlık bilimlerinde ortak bir iletişim dilinin oluşmasına katkıda bulunur. Bununla birlikte, tarihsel süreçte aynı anatomik yapı için farklı adların kullanılması, ortak bir adlandırma sistemine duyulan gereksinimi artırmıştır [1,2]. Anatomik terminolojinin kurumsal standardizasyonundaki önemli dönüm noktalarından biri, Anatomische Gesellschaft tarafından 1895'te Basel'de kabul edilen Basiliensia Nomina Anatomica (BNA) olmuştur. Bunu, 1935'te Jenaiensia Nomina Anatomica (JNA) ve 1955'te uluslararası kabul gören Parisiensia Nomina Anatomica (PNA) izlemiştir. Sonraki yıllarda yapılan revizyonlar, anatomik adlandırmanın geliştirilmesine katkı sağlamış ancak farklı terimlerin kullanımı bütünüyle ortadan kalkmamıştır [3]. International Federation of Associations of Anatomists (IFAA) bünyesinde oluşturulan

[1] Doç. Dr.,Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi Anatomi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0000-0001-5486-1824

[2] Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi Anatomi Ana Bilim Dalı, Orcid: 0009-0009-6272-784X

Federative Committee on Anatomical Terminology (FCAT) tarafından hazırlanan ve 1998'de yayımlanan Terminologia Anatomica (TA), uluslararası anatomik adlandırmanın gelişiminde önemli bir aşama oluşturmuştur. Latince terimleri İngilizce karşılıklarıyla birlikte sunan TA, anatomik yapıların adlandırılmasında ortak bir referans sağlamayı amaçlamıştır [1]. Bununla birlikte TA, bütün eşanlamlıları dışlayan bir liste değildir; bazı alternatif adları korurken tercih edilen kullanımları da belirtmektedir [3]. Standardizasyon süreci sonraki yıllarda devam etmiş ve 2019 tarihli ikinci baskı, Terminologia Anatomica 2 (TA2), IFAA tarafından 2020'de kabul edilmiştir. Anatomik bilgi birikiminin ve klinik gereksinimlerin gelişmesi, terminolojinin güncellenmesini gerektirmeye devam etmektedir [12].

Anatomik yapıların adlandırılmasında ortak bir sistemin bulunması, insan hareketlerinin tanımlanması ve ölçülmesindeki bütün belirsizlikleri kendiliğinden ortadan kaldırmamaktadır. Bu bağlamda, hareket adlarının anlamları ile hareketin hangi eklem, segment veya referans sistemi üzerinden değerlendirildiği birlikte ele alınmalıdır. Greiner'in ayak hareketlerine ilişkin araştırması, biyomekanik, klinik anatomi ve podiatri alanlarında pronasyon–supinasyon ve inversiyon–eversiyon terimlerinin farklı, bazı durumlarda birbiriyle çelişen tanımlarla kullanılabildiğini göstermiştir [13]. Aynı yazarın daha sonraki kongre sunumu, tek bir eklemin hareketi ile bütün ayağın hareketinin aynı terimlerle ifade edilmesinin oluşturabileceği belirsizliklere dikkat çekmiştir [6]. Bu nedenle, hareket terminolojisindeki kullanım farklılıkları değerlendirilirken terimin kapsamı ve hareketin tanımlandığı anatomik düzey açıkça belirtilmelidir. Biyomekanik ölçümlerde ortak raporlama ilkelerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar da bulunmaktadır. International Society of Biomechanics'in (ISB) omuz, dirsek, el bileği ve el için önerdiği eklem koordinat sistemleri, hareketlerin tanımlanması ve araştırma sonuçlarının

karşılaştırılabilirliğini artırmaya yönelik standardizasyon çabalarına örnek oluşturmaktadır [7]. Hareket terminolojisinin bir başka boyutu olan motor beceri literatüründe ise Logan ve arkadaşları, temel motor beceri kavramının kullanımını ve tanımlarını inceleyerek araştırmalarda açık, işlemsel tanımların, beceri kategorilerinin ve somut örneklerin belirtilmesini önermiştir [4]. Dolayısıyla eklem hareketlerinin adlandırılması, kinematik ölçümlerin raporlanması ve motor becerilerin sınıflandırılması, birbiriyle ilişkili ancak farklı açıklama düzeyleri gerektiren konular olarak değerlendirilmelidir.

Bu bölümün amacı, insan hareketlerinin tanımlanmasında kullanılan terimleri anatomik ve biyomekanik bağlamlarıyla incelemek, disiplinler arasındaki kullanım farklılıklarını literatürden örneklerle değerlendirmek ve eğitim, araştırma ve klinik iletişimde açık ve tutarlı bir terminoloji kullanımına yönelik öneriler sunmaktır.

Terminologia Anatomica'ya Göre Hareket Terminolojisi

Terminologia Anatomica (TA), anatomik yapıların adlarının yanı sıra yön, düzlem ve hareket bildiren terimleri de içeren uluslararası bir adlandırma sistemidir. TA'nın 1998 tarihli baskısında flexio, extensio, abductio, adductio, rotatio interna, rotatio externa, pronatio ve supinatio gibi hareket adları yer almaktadır [6,14]. Bu terimlerin ortak bir terminoloji içerisinde sunulması, anatomi eğitiminde ve bilimsel iletişimde adlandırma birliğine katkı sağlamaktadır [1]. Bununla birlikte, hareket adlarının standart bir listede bulunması ile bu hareketlerin farklı eklemlerdeki kinematik özelliklerinin ve ölçüm yöntemlerinin ayrıntılı biçimde tanımlanması birbirinden ayrı değerlendirilmelidir. TA'nın sağladığı adlandırma çerçevesi, hareket analizinde kullanılan koordinat sistemlerinin ve ölçüm protokollerinin yerini tutmamaktadır [6,7].

TA'nın dilbilimsel yapısı değerlendirilirken, hareket sistemiyle ilişkili anatomik yapıların adları ile doğrudan hareket bildiren terimler arasında ayrım yapılması gerekir. Esersoy ve Unur, TA'nın 1998 tarihli baskısının hareket sistemiyle ilişkili bölümlerindeki 2.282 terimi inceleyerek bu terimlerde bulunan sıfatları köken, derece ve biçim açısından değerlendirmiştir. Araştırmada, Latince kökenli sıfatların Grekçe kökenli sıfatlardan daha fazla olduğu; biçim bakımından iki şekilli sıfatların daha yaygın olduğu bildirilmiştir. Derece bakımından ise yalın dereceli (positivus) sıfatların daha yaygın olduğu, karşılaştırma derecesindeki sıfatların tekrar sıklığının yüksek olduğu belirtilmiştir [5]. Bu bulgular, incelenen anatomik adlandırmaların dilbilimsel özelliklerini açıklamakta; hareket terimlerinin biyomekanik tanımlarının standardizasyonunu doğrudan değerlendirmemektedir.

TA'nın düzenlenmesinde terimlerin anatomik sistemler ve alt başlıklar altında sıralanması ve kodlarla tanımlanması da önem taşımaktadır [3]. Örneğin, 1998 tarihli baskıda flexio terimi A03.0.00.058 koduyla gösterilmektedir [14]. Kodların terim adları ve dil karşılıklarıyla birlikte kullanılması, dijital ortamlarda ilgili kaydın açık biçimde tanımlanmasını destekleyebilir. Ancak kodlama tek başına kavramsal belirsizlikleri gidermez. Hareketin hangi eklem veya segment için kullanıldığının ve hangi referans sistemine göre değerlendirildiğinin ayrıca belirtilmesi gerekir [6,7]. Bu nedenle hareket terminolojisinin aktarımında, standart terim adlarının anatomik bağlam ve ölçüm yaklaşımıyla birlikte sunulması uygun olacaktır.

Farklı Disiplinler, Farklı Yaklaşımlar

İnsan hareketinin incelenmesinde kullanılan terminoloji, araştırmanın amacına ve değerlendirilen anatomik düzeye göre farklı düzeylerde ayrıntı gerektirmektedir. Anatomik adlandırma,

hareketin ve ilgili yapıların ortak terimlerle ifade edilmesini sağlarken; kinematik değerlendirme, hareketin hangi segmentler arasında, hangi eksenler ve referans sistemi temelinde ölçüldüğünün belirtilmesini gerektirir. Bu nedenle biyomekanik araştırmalarda TA'nın sağladığı adlandırma çerçevesi, eklem koordinat sistemleri ve ölçüm yöntemlerine ilişkin tanımlarla tamamlanmalıdır [6,7,15].

Bu gereksinim, hareket analizine yönelik uluslararası standardizasyon çalışmalarının bulunmadığı anlamına gelmemektedir. International Society of Biomechanics'in ayak bileği, kalça ve omurga ile omuz, dirsek, el bileği ve el için yayımladığı öneriler, eklem hareketlerinin ortak referans sistemleriyle raporlanmasını amaçlamaktadır [7,15]. Bununla birlikte, kullanılan hareket teriminin anatomik kapsamının ve ölçülen değişkenin açıkça belirtilmesi önemini korumaktadır. Aynı terimin farklı anatomik düzeyler veya ölçüm yaklaşımları için kullanılması, araştırma sonuçlarının yorumlanmasını güçleştirebilir [6,13].

Lumbopelvik Ritim: Hareket Adından Segmentler Arası Koordinasyona

Lumbopelvik ritim, gövdenin öne eğilmesi ve başlangıç konumuna dönmesi sırasında lomber omurga ile pelvis hareketlerinin birlikte değerlendirilmesini ifade eder. Bu kavram, tek bir hareket yönünü adlandırmanın ötesinde, iki bölgenin toplam harekete göreli katkılarını ve hareket boyunca gösterdikleri koordinasyonu ele alır. Vazirian ve arkadaşlarının derlemesi, lumbopelvik ritmin yaş, cinsiyet ve bel ağrısı gibi katılımcı özelliklerinin yanı sıra hareket hızı, dış yük ve kas yorgunluğu gibi görev koşullarına göre değişebildiğini göstermektedir [9].

Dolayısıyla "gövde fleksiyonu" ile "lumbopelvik ritim" birbirinin yerine kullanılabilecek iki hareket adı olarak

değerlendirilmemelidir. İlki hareketin yönünü belirtirken, ikincisi bu hareketin farklı bölgeler arasındaki dağılımını ve koordinasyonunu inceleyen işlevsel bir kavramdır. Araştırmalarda lumbopelvik ritmin nasıl hesaplandığının ve hangi hareket evresinin değerlendirildiğinin açıklanması, bulguların karşılaştırılabilmesi açısından önem taşımaktadır [9].

Ayak Pronasyonu: Terimin Kapsamı ve Ölçülen Değişken

Ayak pronasyonu ve supinasyonu, hareket terminolojisindeki kullanım farklılıklarını gösteren örnekler arasındadır. Greiner, ayak hareketlerini inceleyen çalışmalarda pronasyon–supinasyon ve inversiyon–eversiyon terimlerinin farklı ve kimi durumlarda birbiriyle çelişen tanımlarla kullanıldığını bildirmiştir [13]. Bu nedenle, bir çalışmada "pronasyon" ifadesinin kullanılması, değerlendirilen eklem veya segment ile ölçüm yöntemini tek başına açıklamamaktadır.

Mousavi ve arkadaşlarının yürüyüş ve koşu biçiminin yeniden eğitilmesine ilişkin sistematik derlemesinde, ayak pronasyonuyla ilişkili değerlendirmeler arasında arka ayak eversiyonu, pronasyon ölçümleri ve ayak arkına ilişkin değişkenler yer almaktadır [11]. Bu değişkenler birbiriyle ilişkili olmakla birlikte, aynı anatomik veya işlevsel özelliğin eşdeğer ölçümleri olarak kabul edilmemelidir. Fujishita ve arkadaşları ise arka ayak hizalanmasını bacak-topuk açısıyla sınıflandırmış; yürüyüş sırasında plantar basıncı ayakkabı içi basınç ölçüm sistemiyle, hareket parametrelerini de giyilebilir ataletsel sensörle değerlendirmiştir [10]. Bu örnek, statik hizalanma, dinamik hareket ve yük dağılımının ayrı değişkenler olarak tanımlanması gerektiğini göstermektedir.

Bu bağlamda arka ayak eversiyonu, ayak pronasyonu ve plantar basınç dağılımı gibi ifadeler kullanılırken, ölçülen anatomik özellik ve kullanılan yöntem açıkça belirtilmelidir. Yalnızca bir açı

veya basınç değerine dayanarak ayağın bütün segmentlerinin hareketi hakkında doğrudan çıkarım yapılmasından kaçınılmalıdır.

Terminolojik Açıklık İçin Öneriler

Bu örnekler doğrultusunda, insan hareketini konu alan eğitim materyallerinde ve bilimsel yayınlarda hareket adıyla birlikte ilgili eklem veya segmentin belirtilmesi; nicel ölçümlerde ise referans pozisyonunun, koordinat sisteminin, anatomik referans noktalarının ve hesaplama yönteminin açıklanması önerilebilir. Statik duruş ile dinamik hareket ölçümleri birbirinden ayrılmalı; lumbopelvik ritim gibi işlevsel kavramlar, kullanılan değerlendirme yaklaşımıyla birlikte tanımlanmalıdır. Ayrıca esas alınan TA baskısının ve yararlanılan biyomekanik raporlama önerilerinin belirtilmesi, terminolojik izlenebilirliği destekleyebilir. Böyle bir yaklaşım, anatomik adlandırma ile disipline özgü ölçüm dilinin birlikte ve tutarlı kullanılmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç

İnsan hareketlerinin açık ve tutarlı biçimde tanımlanması, anatomik adlandırmanın yanı sıra biyomekanik modellerin, ölçüm yöntemlerinin ve klinik kullanım bağlamının birlikte değerlendirilmesini gerektiren disiplinler arası bir konudur. Terminologia Anatomica, ortak anatomik dilin oluşturulmasında temel bir referans sunarken, hareketlerin nicel olarak değerlendirilmesi koordinat sistemlerinin, referans pozisyonlarının ve ölçüm protokollerinin ayrıca belirtilmesini gerektirir. Bu nedenle anatomik terminoloji ile biyomekanik raporlama standartlarının birbirini tamamlayacak biçimde kullanılması önem taşımaktadır.

Bölümde ele alınan örnekler, aynı hareket adının kullanılmasının ölçülen değişkenlerin her zaman aynı olduğu anlamına gelmediğini göstermektedir. Eğitim materyallerinde, bilimsel yayınlarda ve klinik değerlendirmelerde ilgili eklem veya

segmentin, terimin kullanım kapsamının ve ölçüm yaklaşımının açıkça belirtilmesi, kavramsal belirsizliklerin azaltılmasına ve bulguların karşılaştırılabilirliğine katkı sağlayabilir. Bu doğrultuda, IFAA bünyesinde anatomik terminoloji çalışmalarını yürüten FIPAT ile ISB gibi ilgili kuruluşlar arasında iş birliğinin geliştirilmesi önerilebilir. Böyle bir yaklaşımın temel hedefi, anatomik adlandırma ile disipline özgü hareket tanımlarını uyumlu hâle getirerek eğitim, araştırma ve klinik iletişimde anlaşılabilirliği güçlendirmek olmalıdır.

KAYNAKÇA

[1] Whitmore I. (1999). Terminologia anatomica: new terminology for the new anatomist. The Anatomical record, 257(2), 50–53. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0185(19990415)257:2<50::AID-AR4>3.0.CO;2-W

[2] Sakai T. (2007). Historical evolution of anatomical terminology from ancient to modern. Anatomical science international, 82(2), 65–81. https://doi.org/10.1111/j.1447-073X.2007.00180.x

[3] Kachlik, D., Baca, V., Bozdechova, I., Cech, P., & Musil, V. (2008). Anatomical terminology and nomenclature: past, present and highlights. Surgical and radiologic anatomy : SRA, 30(6), 459–466. https://doi.org/10.1007/s00276-008-0357-y

[4] Logan, S. W., Ross, S. M., Chee, K., Stodden, D. F., & Robinson, L. E. (2018). Fundamental motor skills: A systematic

review of terminology. Journal of sports sciences, 36(7), 781–796. https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1340660

[5] Esersoy, S., & Unur, E. (2020). TERMINOLOGIA ANATOMICA'DA YER ALAN HAREKET SİSTEMİ İLE İLGİLİ TERİMLERDE BULUNAN SIFATLARIN İNCELENMESİ. Sağlık Bilimleri Dergisi, 29(3), 192-204. https://doi.org/10.34108/eujhs.774399

[6] Greiner, T. M. (2013, April). Terms that Move Us: Striding Through the Intersection of Anatomy and Biomechanics. In The FASEB Journal.

[7] Allard, P. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. Journal of Biomechanics. https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2004.05.042

[8] O'Grady, M., He, S., & Wu, W. L. (2024). Three-dimensional motion analysis of the knee and ankle in adolescent runners with and without patellofemoral pain: A case-control study. Journal of Biomechanics, 173, 111451. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2024.111451

[9] Vazirian, M., Van Dillen, L. R., & Bazrgari, B. (2016). Lumbopelvic rhythm in the sagittal plane: A review of the effects of participants and task characteristics. International musculoskeletal medicine, 38(2), 51–58. https://doi.org/10.1080/17536146.2016.1241525

[10] Fujishita, H., Ikuta, Y., Maeda, N., Komiya, M., Morikawa, M., Arima, S., Sakamitsu, T., Obayashi, H., Fukuhara, K., Ushio, K., & Adachi, N. (2023). Effects of Rearfoot Eversion on Foot Plantar Pressure and Spatiotemporal Gait Parameters in

Adolescent Athletes. Healthcare (Basel, Switzerland), 11(13), 1842. https://doi.org/10.3390/healthcare11131842

[11] Mousavi SH, Khorramroo F, Jafarnezhadgero A (2024) Gait retraining targeting foot pronation: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE 19(3): e0298646. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298646

[12] Chmielewski, P. P. (2024). Exploring the uncharted: Missing anatomical names in the Terminologia Anatomica. *Clinical Anatomy, 37*(2), 193–200. https://doi.org/10.1002/ca.24109

[13] Greiner, T. M. (2007). The jargon of pedal movements. *Foot & Ankle International, 28*(1), 109–125. https://doi.org/10.3113/FAI.2007.0020

[14] Federative Committee on Anatomical Terminology. (1998). *Terminologia anatomica: International anatomical terminology*. Thieme.

[15] Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O., & Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—Part I: Ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics, 35*(4), 543–548. https://doi.org/10.1016/S0021-9290(01)00222-6

BÖLÜM 3

İNSAN TESTİSİNİN ANATOMİSİ VE SPERMATOGENEZİN YAPISAL TEMELLERİ

AYŞE GİZEM ŞAHMELİKOĞLU[1]
GİZEM SAKALLI[2]

Giriş

Testisler, skrotum içerisinde bulunan ve spermatozoon üretimi ile androjen sentezini gerçekleştiren çift organlardır. Spermatozoonların gelişimi seminifer tübüllerde gerçekleşirken testosteron, tübüller arasındaki interstisyel dokuda yer alan Leydig hücreleri tarafından üretilir. Sertoli hücreleri ise germ hücrelerinin gelişimini destekleyerek spermatogenezin düzenlenmesine katkıda bulunur. Bu işlevlerin sürdürülmesi, testisin tübüler ve interstisyel bileşenlerinin birlikte çalışmasına bağlıdır (O'Donnell & Smith, 2026).

Bu bölümde insan testisinin makroskopik anatomisi ve histolojik organizasyonu, spermatogenezin yapısal temelleriyle birlikte ele alınmaktadır. Organın yerleşimi, örtüleri, damarları,

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Anatomi Anabilim Dalı, ORCID: 0000-0003-3761-9491, aysegizempolat@gmail.com
[2] Dr., Bağımsız araştırmacı, Anatomi, Aydın, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3435-386X, gizem.sakalli7@gmail.com

lenfatik drenajı ve innervasyonunun ardından seminifer epitel, peritübüler bölge ve interstisyel doku incelenmektedir. Böylece testisin anatomik düzeni ile germ hücrelerinin geliştiği mikroçevre arasındaki ilişkinin açıklanması amaçlanmaktadır.

Testisin Yerleşimi ve Dış Anatomisi

Testisler, penis kökünün aşağısında ve arkasında bulunan skrotum içerisinde yer alan çift organlardır. Skrotal septum, sağ ve sol testisin bulunduğu kompartımanları birbirinden ayırır. Her testis üst tarafta funiculus spermaticus ile asılı dururken alt tarafta gubernaculum'un kalıntısı olan skrotal ligament aracılığıyla skrotuma bağlanır. İki testis genellikle aynı seviyede bulunmaz; sol testis çoğunlukla sağ testisten daha aşağıda yer alır (Tiwana & Leslie, 2023).

Oval biçimli testisin dış anatomisi; medial ve lateral yüzler, anterior ve posterior kenarlar ile üst ve alt kutuplar üzerinden tanımlanır. Bu yüzey özellikleri, organın skrotum içerisindeki yöneliminin ve epididymis ile komşuluklarının açıklanmasını kolaylaştırır. Özellikle posterior kenar, epididymis ile ilişkisi nedeniyle anterior kenardan farklı bir anatomik düzen gösterir (Ghannouchi et al., 2024).

Erişkin testisi için yaklaşık 5 × 3 × 2 cm boyutları bildirilmektedir. Bu ölçüler, organın büyüklüğünü tanımlamak için kullanılan yaklaşık değerlerdir. Epididymis testisin posterior kenarı boyunca uzanır; caput epididymidis üst kutup üzerinde yer alırken corpus epididymidis posterior kesim boyunca devam eder ve cauda epididymidis alt kutup yakınında bulunur. Bu komşulukların bilinmesi, testis parankimi ile testis dışındaki yapıların anatomik olarak ayırt edilmesinde önem taşır (Kühn et al., 2016).

Testisin posterolateral bölümü ile corpus epididymidis arasında sinus epididymidis adı verilen bir girinti bulunur. Bu nedenle epididymis, testisin bütün posterior yüzüne kesintisiz

biçimde yapışmış bir yapı olarak değerlendirilmemelidir. Tunica vaginalis'in testis ve epididymis çevresindeki uzanımı, bu bölgedeki seröz ilişkilerin anlaşılmasını sağlar (Tiwana & Leslie, 2023).

Testis ile epididymis arasındaki bağlantı, dış komşuluğun yanı sıra kanal devamlılığıyla da kurulur. Testis içindeki rete testis'ten çıkan ductuli efferentes, spermatozoonları epididymis kanalına iletir. Yoğun biçimde kıvrılmış ductus epididymidis, organın baş, gövde ve kuyruk bölümleri boyunca devam ederek cauda epididymidis'te ductus deferens'e geçer. Böylece testiste üretilen hücrelerin, olgunlaşma ve iletim yollarına aktarılmasını sağlayan anatomik devamlılık oluşur (O'Donnell & Smith, 2026).

Testisin Örtüleri ve İç Organizasyonu

Tunica Vaginalis ve Testiküler Kapsül

Testisin seröz örtüsü olan tunica vaginalis, parietal ve visseral yapraklardan oluşan, mezotelle döşeli bir kesedir. Embriyolojik olarak processus vaginalis ile ilişkilidir; bu yapının üst bölümünün kapanması, testis çevresindeki seröz kesenin abdominal boşluktan ayrılmasını sağlar (Garriga et al., 2009). Visseral yaprak testis yüzeyini örterken parietal yaprak skrotal duvarın iç tarafını döşer. Yapraklar arasında normalde az miktarda sıvı bulunur. Testis ve epididymis çevresindeki bu seröz düzen, organların birbirleriyle ve skrotal duvarla ilişkilerinin anlaşılmasında önemlidir (Kühn et al., 2016).

Visseral yaprağın derininde bulunan tunica albuginea, testisi çevreleyen yoğun fibröz bağ dokusu kapsülüdür. Bu tabaka, seröz örtüden farklı olarak testis parankiminin çevresinde dayanıklı bir sınır oluşturur ve iç bölmelere uzanan bağ dokusuyla devamlılık gösterir. Kapsülün iç tarafındaki damardan zengin tabaka tunica vasculosa olarak adlandırılır. Böylece testisin çevresinde seröz örtü, fibröz kapsül ve iç vasküler tabaka birbirinden ayırt edilebilir (University of Leeds, n.d.).

Mediastinum Testis ve Lobüler Düzen

Tunica albuginea, testisin posterior kesiminde kalınlaşarak organın içine uzanan mediastinum testis'i oluşturur. Kapsül ile mediastinum arasında uzanan bağ dokusu septumları, testis parankimini lobüllere böler. Septumların oluşturduğu sınırlar tam değildir; bu nedenle lobüller birbirinden bütünüyle yalıtılmış kompartımanlar olarak değerlendirilmemelidir. Lobüllerin içerisinde kıvrımlı seminifer tübüller bulunur; tübüller arasındaki interstisyel doku ise bu tübüler düzeni tamamlar (O'Donnell & Smith, 2026).

Testis İçi Kanal Sistemi ve Efferent Kanallar

Seminifer tübüller, spermatozoonların geliştiği epitelin yanı sıra üretilen hücrelerin testis dışına taşındığı kanal sisteminin başlangıcını oluşturur. Kıvrımlı tübüllerin terminal bölümleri tubuli recti ile devam eder ve mediastinum testis içerisindeki rete testis'e açılır. Rete testis, birbiriyle bağlantılı kanallardan oluşan bir ağdır. Bu ağdan çıkan ductuli efferentes, testis içindeki kanal sistemi ile ductus epididymidis arasındaki bağlantıyı kurar (O'Donnell & Smith, 2026).

Ductuli efferentes'in epiteli, silyalı prizmatik hücreler ile silyasız kübik hücrelerin bir arada bulunmasıyla karakterizedir. Hücre yüksekliklerindeki farklılık, kanal lümeninin histolojik kesitlerde dalgalı görünmesine neden olur. Silyasız hücreler testis kaynaklı sıvının geri emilmesiyle, silyalı hücreler ise lümen içeriğinin hareketiyle ilişkilidir. Dolayısıyla seminifer tübüllerden epididymis kanalına geçiş, yalnızca anatomik bir bağlantı değil, epitel özelliklerinin ve lümen içeriğinin değiştiği bir geçiş bölgesidir (Gocht et al., 2025).

Testisin Damarları

Arteriyel Beslenme

Testisin arteriyel beslenmesinde a. testicularis temel damardır. Arter, aorta abdominalis'in renal arterlerin aşağısında kalan bölümünden köken alır ve funiculus spermaticus içerisinde testise ulaşır. Funiculus spermaticus'un diğer arteriyel bileşenleri arasında ductus deferens'e eşlik eden a. ductus deferentis ile a. epigastrica inferior'dan ayrılan a. cremasterica bulunur. Bu damarların kökenlerinin ve birbirleriyle ilişkilerinin bilinmesi, inguinal bölge ve funiculus spermaticus anatomisinin değerlendirilmesinde önem taşır (Karbasian et al., 2022).

Testisin parankim içindeki damar dağılımı, lobüler organizasyonuyla yakın ilişki gösterir. İnsan testisinde seri kesitler ve üç boyutlu rekonstrüksiyonla yapılan incelemelerde, sentripetal arterlerden ayrılan rekürren arterlerin testiküler lobüllerin merkezî ekseni boyunca ilerlediği gösterilmiştir. Bu arterlerden çıkan segmental dallar, lobülün uzun eksenine dik yönde uzanan parankim bölgelerini besler. Oluşan mikrovasküler ağın bazı bölümleri Leydig hücreleriyle çevriliyken bazı bölümleri seminifer tübüllerin duvarlarıyla yakın komşuluk gösterir. Böylece damar organizasyonu, testisin tübüler ve interstisyel bileşenlerinin yerleşimiyle birlikte değerlendirilmesi gereken bir yapı oluşturur (Ergün et al., 1994).

Venöz Drenaj

Testisin venöz drenajı, birbiriyle bağlantılı venlerden oluşan plexus pampiniformis aracılığıyla gerçekleşir (Wishahi, 1991). Funiculus spermaticus içerisinde bulunan bu venöz ağın drenajında sağ ve sol taraf arasında farklılık vardır. Sağ v. testicularis doğrudan v. cava inferior'a açılırken sol v. testicularis, v. renalis sinistra'ya dökülür. Böylece testislerin venöz kanı, sağda doğrudan, solda ise

renal ven aracılığıyla sistemik dolaşıma katılır (Karbasian et al., 2022).

Lenfatik Drenaj

Testisin lenfatik drenajı, skrotal duvarın lenfatik drenajından farklıdır. Testise ait lenf yolları retroperitoneal bölgedeki lumbar lenf düğümlerine yönelirken skrotal duvarın lenfi yüzeyel inguinal lenf düğümlerine taşınır. Bu farklılık, testisin embriyolojik gelişim sırasında karın bölgesinden skrotuma inmesi ve bu süreçte damarları ile lenfatik bağlantılarını beraberinde taşımasıyla ilişkilidir (Garcia & Sajjad, 2023).

Testis ile retroperitoneal lenf düğümleri arasındaki bağlantı, insanlarda gerçekleştirilen lenfosintigrafik incelemelerle de gösterilmiştir. Yeh ve arkadaşları, testise uygulanan radyofarmasötiğin retroperitoneal lenf düğümlerine ulaştığını ve funiculus spermaticus boyunca paraaortik lenf düğümleriyle bağlantının görüntülenebildiğini bildirmiştir. Bu bulgular, testisin lenfatik drenajının skrotal yerleşimine rağmen abdominal bölgedeki bağlantılarını koruduğunu desteklemektedir (Yeh et al., 1986).

Damar Düzeni ve Testiküler Isı Düzenlenmesi

Testisin skrotum içerisindeki yerleşimi, spermatogenezin vücut merkez sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta sürdürülmesine katkı sağlar. Bu sıcaklık farkının korunmasında skrotal yüzeyden gerçekleşen ısı kaybı ile testiküler arter ve plexus pampiniformis arasındaki ısı alışverişi birlikte rol oynar. Testise gelen daha sıcak arteriyel kan ile testisten dönen daha serin venöz kanın yakın komşuluğu, karşı akım mekanizmasıyla ısı aktarılmasını mümkün kılar. Böylece arteriyel kanın testis parankimine ulaşmadan önce soğumasına katkıda bulunulur (De Toni et al., 2023).

Testiküler ısı düzenlenmesinin işlevsel önemi, insanlarda gerçekleştirilen kontrollü ısı maruziyeti çalışmalarında da

görülmektedir. Garolla ve arkadaşlarının normal semen parametrelerine sahip 10 gönüllüyü izlediği çalışmada, üç aylık tekrarlayan sauna maruziyetinin ardından sperm sayısı ve hareketliliğinde azalma; kromatin paketlenmesi ve mitokondri işlevinde değişiklikler saptanmıştır. Bildirilen değişikliklerin maruziyetin sonlandırılmasından altı ay sonraki değerlendirmede geri döndüğü gösterilmiştir. Bu bulgular, testisin uygun sıcaklık ortamının korunmasının önemini desteklemekle birlikte, küçük bir örneklemde ve belirli bir maruziyet düzeninde elde edildiğinden bütün ısı maruziyetlerine genellenmemelidir (Garolla et al., 2013).

Testisin İnnervasyonu

Testisin otonom innervasyonunda, testiküler arterlere eşlik eden sinir ağları önemli bir yer tutar. Erkek kadavralarında yapılan anatomik incelemelerde, plexus aorticus'tan ayrılan dalların testiküler arterler çevresindeki plexus spermaticus'a katıldığı gösterilmiştir. Aynı çalışmada plexus aorticus'un lumbar splanknik sinirlerden ve bazı örneklerde aortikorenal ve üst mezenterik ganglionlardan gelen bağlantılarla beslendiği saptanmıştır. Bu anatomik düzen, testise yönelen otonom sinirlerin abdominal sinir ağları ve damarlarla yakın ilişkisini ortaya koymaktadır (Beveridge et al., 2015).

Testis içerisindeki sinir liflerinin dağılımı, damarlar ve hücresel yapılarla ilişkileri üzerinden de incelenmiştir. Yaşları 21–32 arasında değişen 15 donörden alınan 30 testisin değerlendirildiği immünohistokimyasal çalışmada, PGP 9.5 ile işaretlenen sinir lifleri özellikle Leydig hücre grupları, kan damarları ve seminifer tübüllerle yakın ilişkili bulunmuştur. Nöropeptid Y içeren liflerin ise büyük ölçüde damar çevresinde yerleştiği gösterilmiştir. Bu bulgular, genç erişkin insan testisinde sinir liflerinin interstisyel ve perivasküler dağılımını ortaya koymakla birlikte, işlevsel etkilerinin

yalnızca morfolojik bulgularla kesinleştirilemeyeceği dikkate alınmalıdır (Gong et al., 2009).

Testisin Histolojik Organizasyonu

Seminifer Epitel ve Peritübüler Doku

Seminifer tübüllerin duvarı, germ hücrelerinin geliştiği seminifer epitel ile onu dıştan çevreleyen peritübüler dokudan oluşur. Epitelde spermatogonyumlar, primer ve sekonder spermatositler ile farklılaşmakta olan spermatidler, Sertoli hücrelerinin sitoplazmik girintileri ve uzantılarıyla yakın ilişki içerisinde bulunur. Bu hücresel düzenin dışında yer alan peritübüler bölge ise seminifer tübül ile çevresindeki interstisyel doku arasındaki sınırı oluşturur. Dolayısıyla tübülün histolojik değerlendirilmesinde epiteldeki germ hücresi toplulukları ve dış duvarın yapısı birlikte incelenmelidir (Holstein et al., 2003).

Seminifer epitelin dışında bulunan peritübüler bölge, tübüler ve interstisyel kompartımanlar arasında yer alır. Erişkin insanda bu bölge, birkaç tabaka hâlinde düzenlenmiş ince ve uzun peritübüler hücreler ile hücre dışı matriksten oluşur; ayrıca az sayıda kapiller, sinir lifleri ve bağışıklık hücreleri içerir. Düz kas özellikleri gösteren peritübüler hücreler, yalnızca tübül duvarının yapısal bileşenleri değildir. İnsan hücre kültürlerinden elde edilen veriler, bu hücrelerin spermatogenezi destekleyen mikroçevreye, bağışıklıkla ilişkili süreçlere ve testiküler mikrodolaşımın düzenlenmesine katkı sağlayabileceğini göstermektedir (Mayerhofer, 2025).

İnterstisyel Doku ve Leydig Hücreleri

Seminifer tübüller arasındaki interstisyel doku; kan damarları, lenfatik kapillerler, makrofajlar, mast hücreleri ve Leydig hücrelerini içeren gevşek bağ dokusundan oluşur. İnsan testisinde Leydig hücreleri tek tek veya küçük gruplar hâlinde bulunabilir. Bu hücrelerin sitoplazmasında gelişmiş düz endoplazmik retikulum ve

tübüler kristalı mitokondriler yer alır. Steroid sentezleyen hücrelere özgü bu organel düzenine ek olarak insan Leydig hücrelerinde Reinke kristalleri görülebilir; ancak bu yapıların işlevi tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır (Kerr, 1991).

Leydig hücrelerinin başlıca endokrin işlevi testosteron sentezidir. Erişkinde luteinizan hormonun (LH) hücre yüzeyindeki reseptörlerine bağlanması, hücre içi siklik adenozin monofosfat (cAMP) aracılı sinyal yolunu etkinleştirir. Bu uyarı, steroid sentezinin başlangıç maddesi olan kolesterolün mitokondriye taşınmasını artırır. Kolesterol, iç mitokondri zarındaki CYP11A1 enzimi aracılığıyla pregnenolona dönüştürülür; sonraki enzimatik basamaklar sonucunda testosteron oluşur. Böylece Leydig hücrelerinin mitokondri ve düz endoplazmik retikulumdan zengin yapısı, steroid sentezindeki görevleriyle doğrudan ilişkilidir (Zirkin & Papadopoulos, 2018).

Sertoli Hücreleri ve Kan-Testis Bariyeri

Sertoli hücreleri, seminifer epitelin bazal laminası üzerine yerleşen ve lümene doğru uzanan destek hücreleridir. Bazal bölgede bulunan çekirdeklerinin girintili konturu ve belirgin çekirdekçikleri, bu hücrelerin morfolojik olarak tanınmasına yardımcı olur. Sitoplazmik uzantıları, farklı gelişim basamaklarındaki germ hücreleri arasında ilerleyerek bu hücrelerle yakın ilişkiler kurar. Bu nedenle Sertoli hücresinin biçimi, yalnızca çekirdeğin konumu üzerinden değil, germ hücreleriyle oluşturduğu üç boyutlu ilişki içerisinde değerlendirilmelidir (O'Donnell & Smith, 2026).

Sertoli hücreleri, germ hücreleriyle yakın yapısal ilişkiler kurarak seminifer epitelin organizasyonuna katılır. Germ hücrelerinin gelişimi için gerekli desteğin sağlanması, hücreler arası bağlantıların düzenlenmesi ve yerel sinyallerin iletilmesi bu hücrelerin temel görevleri arasındadır. Sertoli hücreleri ile germ hücreleri arasındaki ilişki karşılıklıdır; gelişmekte olan germ

hücrelerinden gelen sinyaller de Sertoli hücrelerinin özelliklerini etkiler. Dolayısıyla spermatogenezin sürdürülmesi, bu iki hücre topluluğu arasındaki yapısal ve işlevsel iş birliğine bağlıdır (Griswold, 2018).

Komşu Sertoli hücreleri arasında, seminifer epitelin bazal laminasına yakın bölgede bulunan bağlantı kompleksleri kan-testis bariyerinin yapısal temelini oluşturur. Sıkı bağlantıların önemli bir bileşen olduğu bu bariyer, seminifer epiteli bazal ve adluminal kompartımanlara ayırarak hücreler arasından madde geçişini sınırlar. Böylece mayotik ve postmayotik germ hücrelerinin geliştiği adluminal bölgenin kendine özgü mikroçevresinin korunmasına katkı sağlar. Bariyer durağan bir yapı değildir; gelişen germ hücrelerinin bazal kompartımandan adluminal kompartımana geçişi sırasında Sertoli hücreleri arasındaki bağlantılar yeniden düzenlenir (Mruk & Cheng, 2015).

Spermatogenez

Spermatogenez, spermatogonyumların birbirini izleyen çoğalma ve farklılaşma basamaklarından geçerek spermatozoonlara dönüştüğü süreçtir. Bu süreç; spermatogonyumların mitotik çoğalmasını, spermatositlerin mayotik bölünmelerini ve oluşan spermatidlerin spermiyogenez yoluyla biçimsel farklılaşmasını kapsar. Farklılaşan hücrelerin seminifer tübül lümenine bırakılması ise spermiasyon olarak adlandırılır. Sürecin düzenli biçimde yürütülmesi, germ hücreleri ile somatik hücreler arasındaki etkileşimlerin yanı sıra hormonal, parakrin ve genetik düzenleyicilere bağlıdır (Neto et al., 2016).

Spermatogoniyal Evre

Spermatogoniyal evrede, germ hücresi topluluğunun devamlılığını sağlayan kendini yenileme ile spermatozoon üretimine yönelen farklılaşma süreçleri arasında denge kurulur. İnsan spermatogonyumları klasik histolojik değerlendirmede

çekirdeklerinin boyanma özelliklerine göre koyu A (A dark, Ad), açık A (A pale, Ap) ve B tipleriyle tanımlanır (Kerr, 1991). Bununla birlikte, morfolojik sınıflandırma bu hücrelerin moleküler çeşitliliğini bütünüyle yansıtmaz. Erişkin insan testisinde yapılan tek hücreli RNA dizileme çalışmaları, spermatogonyumlar arasında farklı transkripsiyonel durumların bulunduğunu göstermiştir. Bu nedenle morfolojik hücre tipleri ile moleküler olarak tanımlanan hücre durumları bire bir eşdeğer kabul edilmemelidir (Guo et al., 2018).

Germ hücrelerinin gelişimindeki bir diğer yapısal özellik, hücreler arasında sitoplazmik köprülerin bulunmasıdır. Spermatogonyumların bölünmelerinde sitoplazmik ayrılmanın tamamlanmaması sonucunda oluşan yavru hücreler, bu köprüler aracılığıyla bağlantılı kalabilir. Bağlantılar spermatosit evreleri boyunca sürer ve spermatid gelişiminin ileri basamaklarında çözülür. Böylece aynı hücreden köken alan germ hücreleri, birbirinden bütünüyle bağımsız hücreler yerine bağlantılı bir topluluk oluşturur. Bu klonal düzenin, germ hücrelerinin eş zamanlı gelişimine katkı sağladığı düşünülmektedir (Holstein et al., 2003).

Mayotik Evre

Mayoz, germ hücrelerinin kromozom takımı sayısının diploidden haploide indirgenmesini sağlayan, birbirini izleyen iki bölünmeden oluşur. Mayoz I öncesinde DNA eşlenir; profaz I sırasında homolog kromozomlar eşleşir ve aralarında genetik materyal değişiminin gerçekleştiği rekombinasyon süreci yürütülür. Rekombinasyon sonucunda oluşan krossing-over bağlantıları, homolog kromozomların ilk mayotik bölünmede doğru biçimde ayrılmasına katkıda bulunur. Böylece mayoz, kromozom sayısının azaltılmasının yanı sıra genetik çeşitliliğin oluşmasında da rol oynar (Gray & Cohen, 2016).

DNA eşlenmesini tamamlamış insan primer spermatositi, 46 kromozom ve 4C DNA içeriğine sahiptir (2n, 4C). Mayoz I sırasında homolog kromozomların ayrılmasıyla oluşan iki sekonder spermatositin her biri, iki kardeş kromatitten oluşan 23 kromozom taşır (n, 2C). Arada yeniden DNA eşlenmesi gerçekleşmeden başlayan mayoz II'de kardeş kromatitler ayrılır ve her biri 23 kromozom ile 1C DNA içeren haploid spermatidler oluşur. Dolayısıyla bölünmeleri tamamlayan bir primer spermatositten dört spermatid meydana gelir. Bu hücreler henüz spermatozoonun biçimsel özelliklerini kazanmamıştır; sonraki spermiyogenez evresinde farklılaşmalarını sürdürürler (Alberts et al., 2002).

Spermiyogenez ve Spermiasyon

Spermiyogenez, mayoz sonucunda oluşan haploid spermatidlerin yeni bir hücre bölünmesi geçirmeden spermatozoonun yapısal özelliklerini kazandığı farklılaşma sürecidir. Bu süreçte akrozom gelişir, çekirdek yoğunlaşarak biçim değiştirir ve flagellumun temelini oluşturan aksonem ile ona eşlik eden yapılar düzenlenir. Çekirdek kromatininin yeniden yapılanması sırasında histonların yerini önce geçiş proteinleri, ardından büyük ölçüde protaminler alır. Böylece genetik materyal daha yoğun biçimde paketlenirken hücrenin baş ve kuyruk bölgeleri belirginleşir (O'Donnell, 2014).

Spermiasyon, farklılaşmanın son aşamasındaki spermatidlerin Sertoli hücreleriyle bağlantılarının yeniden düzenlenmesi ve seminifer tübül lümenine bırakılması sürecidir. Bu sırada hücrenin kalan sitoplazması yeniden biçimlendirilir, fazla sitoplazma uzaklaştırılır ve Sertoli hücresi ile spermatid arasındaki özel tutunma yapıları çözülür. Dolayısıyla spermiasyon, yalnızca hücrenin epitelden ayrıldığı son anı değil, bu ayrılmayı hazırlayan birbiriyle ilişkili yapısal değişiklikleri de kapsar. Lümene salınma,

hücrelerin epididymis'e geçişinden önce gerçekleşir (O'Donnell et al., 2011).

Spermatozoonun Yapısal Özellikleri

Spermatozoon, genetik materyalin taşınmasına ve hücrenin hareketine özelleşmiş bölümlerden oluşur. Baş bölgesinde yoğun biçimde paketlenmiş haploid çekirdek ile çekirdeğin ön kısmını örten akrozom bulunur. Akrozom, spermiyogenez sırasında gelişen ve döllenme sürecinde görev alan enzimleri içeren zarla çevrili bir yapıdır. Baş ile flagellum arasındaki bağlantı bölgesi, bu iki bölümün yapısal bütünlüğünü sağlar (Alberts et al., 2002).

Flagellumun organizasyonu; bağlantı parçası, orta parça, esas parça ve son parça üzerinden incelenir. Orta parçada aksonemin çevresinde dış yoğun lifler ve mitokondriyal kılıf bulunur. Orta parça ile esas parça arasındaki sınırı annulus oluşturur. Esas parçanın proksimal bölümünde dış yoğun lifler ve fibröz kılıf aksoneme eşlik ederken distal bölümünde dış yoğun lifler sonlanır. Son parçada ise bu yardımcı kılıflar bulunmaz. Flagellum boyunca görülen bu bölgesel farklılıklar, hareketi sağlayan hücresel yapının yalnızca tek tip bir mikrotübül demetinden oluşmadığını gösterir (Pereira & Sousa, 2023).

Testis Sonrası Olgunlaşma ile İlişkisi

Spermatozoonların testiste yapısal özelliklerini kazanması, işlevsel olgunlaşmalarının tamamlandığı anlamına gelmez. Seminifer epitelden salınan hücreler, epididymis boyunca ilerlerken lümendeki mikroçevreyle etkileşerek hareket ve döllenmeyle ilişkili özellikler kazanır. Epididymal epitelin salgılama ve emilim faaliyetleri, bu olgunlaşmayı destekleyen bölgesel ortamların oluşmasını sağlar. Olgunlaşan spermatozoonların ejakülasyon öncesinde depolanmasında ise özellikle cauda epididymidis görev alır (Zhou et al., 2018).

Epididymal olgunlaşma ile kapasitasyon birbirinden farklı süreçlerdir. Kapasitasyon, ejakülasyon sonrasında kadın üreme yollarında veya uygun laboratuvar koşullarında gerçekleşebilen ve spermatozoonun döllenmeye hazırlanmasını sağlayan işlevsel değişiklikler bütünüdür. Bu süreçte hücre zarının özellikleri, iyon dengesi ve hücre içi sinyal yolları yeniden düzenlenir. Dolayısıyla testisteki spermiyogenez ve spermiasyon, epididymis'teki olgunlaşma ve kapasitasyon, erkek gametinin gelişiminde birbirini tamamlayan ancak farklı anatomik ortamlarda gerçekleşen basamaklar olarak değerlendirilmelidir (Puga Molina et al., 2018).

Seminifer Epitelin Döngüsel Organizasyonu

Seminifer epitelde farklı gelişim basamaklarındaki germ hücreleri, belirli hücresel birliktelikler oluşturur. Tübülün belirli bir bölgesinde bu birlikteliklerin zaman içerisinde birbirini izleyerek yeniden ortaya çıkması, seminifer epitel döngüsü olarak tanımlanır. Bu döngü, tek bir germ hücresinin bütün gelişim süreciyle aynı değildir; aynı bölgede bulunan farklı hücre kuşaklarının birlikte değişimini ifade eder. Bu nedenle spermatogenezin değerlendirilmesinde hücrelerin tek tek tanınmasının yanı sıra hangi gelişim basamaklarının birlikte bulunduğunun belirlenmesi de önemlidir (Amann, 2008).

İnsan seminifer tübüllerinde farklı hücresel birliktelikler aynı enine kesitin farklı bölgelerinde görülebilir. Bu görünüm, spermatogenezin düzensiz olduğu anlamına gelmez; germ hücrelerinin tübül içerisindeki mekânsal organizasyonunu yansıtır. İnsan seminifer epitelinin ultrastrüktürel ve topografik değerlendirmeleri, hücrelerin gelişim basamaklarının düzenli bir dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla tek bir tübül kesitindeki bütün epitelin aynı gelişim evresini temsil ettiği varsayılmamalıdır (Kerr, 1991).

Klinik Anatomi ile İlişkiler

Testisin örtüleri ve funiculus spermaticus ile ilişkisi, testis torsiyonunun anatomik temelini anlamada önemlidir. Funiculus spermaticus'un kendi ekseni etrafında dönmesi, testisin dolaşımını bozarak iskemiye yol açabilir. Tunica vaginalis'in testis ve epididymis çevresindeki tutunma düzeninin değiştiği çan tokmağı deformitesi, testisin kese içerisinde daha serbest hareket etmesine ve intravajinal torsiyona yatkınlık oluşturur. Bu örnek, organın yalnızca damar yapısının değil, skrotum içerisindeki hareketliliğini sınırlayan anatomik ilişkilerin de işlevin korunmasında önemli olduğunu göstermektedir (Laher et al., 2020).

Venöz drenajın klinik açıdan önemli örneklerinden biri, plexus pampiniformis venlerinin genişlemesiyle karakterize varikoseldir (Karbasian et al., 2022). Varikoselin testis işlevleri üzerindeki etkileri tek bir mekanizmayla açıklanamamaktadır. Skrotal sıcaklık artışı, oksidatif stres ve hipoksi, sperm üretimi ve niteliğindeki bozulmayla ilişkilendirilen olası mekanizmalar arasındadır. Bununla birlikte, varikoseli bulunan her erkekte aynı düzeyde işlev kaybı veya infertilite gelişmez. Dolayısıyla venöz yapıdaki değişiklikler ile üreme işlevi arasındaki ilişki, bireysel farklılıklar dikkate alınarak değerlendirilmelidir (Su et al., 2021).

Sonuç

İnsan testisinin anatomik ve histolojik organizasyonu, spermatozoon üretimi ile endokrin işlevlerin birlikte sürdürülmesini sağlayan yapısal bir bütünlük oluşturur. Organın örtüleri ve iç kanal sistemi, seminifer tübüllerin yerleşimini ve üretilen hücrelerin iletim yollarını belirlerken damarları, lenfatik bağlantıları ve innervasyonu çevre dokularla ilişkisini kurar. Seminifer epitel, peritübüler bölge ve interstisyel doku arasındaki etkileşimler ise germ hücrelerinin geliştiği mikroçevrenin temelini oluşturur.

Spermatogenez boyunca gerçekleşen mitotik çoğalma, mayotik bölünmeler ve spermiyogenez, bu doku organizasyonu içerisinde birbirini tamamlayan basamaklardır. Testisteki yapısal farklılaşmayı epididymal olgunlaşma ve ardından kapasitasyonun izlemesi, spermatozoonun biçimsel gelişimi ile döllenmeye yönelik işlevsel hazırlığının farklı süreçler olduğunu gösterir. Bu nedenle insan testisinin değerlendirilmesinde makroskopik anatomi, hücresel yapı ve üreme işlevi birlikte ele alınmalıdır. Böyle bir yaklaşım, normal yapının anlaşılmasının yanı sıra torsiyon ve varikosel gibi klinik durumların anatomik temellerinin yorumlanmasına da katkı sağlar.

Kaynakça/References

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). *Molecular biology of the cell* (4th ed.). Garland Science. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21054/

Amann, R. P. (2008). The cycle of the seminiferous epithelium in humans: a need to revisit? *Journal of Andrology, 29*(5), 469–487. https://doi.org/10.2164/jandrol.107.004655

Beveridge, T. S., Johnson, M., Power, A., Power, N. E., & Allman, B. L. (2015). Anatomy of the nerves and ganglia of the aortic plexus in males. *Journal of Anatomy, 226*(1), 93–103. https://doi.org/10.1111/joa.12251

De Toni, L., Finocchi, F., Jawich, K., & Ferlin, A. (2023). Global warming and testis function: A challenging crosstalk in an equally challenging environmental scenario. *Frontiers in Cell and Developmental Biology, 10*, 1104326. https://doi.org/10.3389/fcell.2022.1104326

Ergün, S., Stingl, J., & Holstein, A. F. (1994). Segmental angioarchitecture of the testicular lobule in man. *Andrologia, 26*(3), 143–150. https://doi.org/10.1111/j.1439-0272.1994.tb00778.x

Garcia, R. A., & Sajjad, H. (2023). Anatomy, abdomen and pelvis, scrotum. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK549893/

Garolla, A., Torino, M., Sartini, B., Cosci, I., Patassini, C., Carraro, U., & Foresta, C. (2013). Seminal and molecular evidence that sauna exposure affects human spermatogenesis. *Human Reproduction, 28*(4), 877–885. https://doi.org/10.1093/humrep/det020

Garriga, V., Serrano, A., Marin, A., Medrano, S., Roson, N., & Pruna, X. (2009). US of the tunica vaginalis testis: anatomic relationships and pathologic conditions. *RadioGraphics, 29*(7), 2017–2032. https://doi.org/10.1148/rg.297095040

Ghannouchi, S.-E., Dahmane, R., Boc, A., Salah Jarrar, M., & Mougou Zrelli, S. (2024). *General anatomy: Introduction to clinical practice*. Založba Univerze v Ljubljani. https://doi.org/10.55295/9789612973971

Gocht, A., Merseburger, A. S., Ergün, S., & Roesch, M. C. (2025). The ductal network in the human testis and epididymis: What belongs to which? *Clinical Anatomy, 38*(8), 809–815. https://doi.org/10.1002/ca.24248

Gong, Y. G., Feng, M. M., Hu, X. N., Wang, Y. Q., Gu, M., Zhang, W., & Ge, R. S. (2009). Peptidergic not monoaminergic fibers profusely innervate the young adult human testis. *Journal of Anatomy, 214*(3), 330–338. https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.01038.x

Gray, S., & Cohen, P. E. (2016). Control of meiotic crossovers: from double-strand break formation to designation. *Annual Review of Genetics, 50*(1), 175–210. https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120215-035111

Griswold, M. D. (2018). 50 years of spermatogenesis: Sertoli cells and their interactions with germ cells. *Biology of Reproduction, 99*(1), 87–100. https://doi.org/10.1093/biolre/ioy027

Guo, J., Grow, E. J., Mlcochova, H., Maher, G. J., Lindskog, C., Nie, X., Guo, Y., Takei, Y., Yun, J., Cai, L., Kim, R., Carrell, D. T., Goriely, A., Hotaling, J. M., & Cairns, B. R. (2018). The adult human testis transcriptional cell atlas. *Cell Research, 28*(12), 1141–1157. https://doi.org/10.1038/s41422-018-0099-2

Holstein, A.-F., Schulze, W., & Davidoff, M. (2003). Understanding spermatogenesis is a prerequisite for treatment. *Reproductive Biology and Endocrinology, 1*, Article 107. https://doi.org/10.1186/1477-7827-1-107

Karbasian, N., Segaran, N., Solomon, N., Pellerito, J. S., Katz, D. S., Moshiri, M., & Revzin, M. V. (2022). Pathologic conditions at imaging of the spermatic cord. *RadioGraphics, 42*(3), 741–758. https://doi.org/10.1148/rg.210161

Kerr, J. B. (1991). Ultrastructure of the seminiferous epithelium and intertubular tissue of the human testis. *Journal of Electron Microscopy Technique, 19*(2), 215–240. https://doi.org/10.1002/jemt.1060190208

Kühn, A. L., Scortegagna, E., Nowitzki, K. M., & Kim, Y. H. (2016). Ultrasonography of the scrotum in adults. *Ultrasonography, 35*(3), 180–197. https://doi.org/10.14366/usg.15075

Laher, A., Ragavan, S., Mehta, P., & Adam, A. (2020). Testicular torsion in the emergency room: a review of detection and management strategies. *Open Access Emergency Medicine, 12*, 237–246. https://doi.org/10.2147/OAEM.S236767

Mayerhofer, A. (2025). Human testicular peritubular cells: novel insights into an underestimated testicular somatic cell. *Reproduction, 169*(6), e250040. https://doi.org/10.1530/REP-25-0040

Mruk, D. D., & Cheng, C. Y. (2015). The mammalian blood-testis barrier: its biology and regulation. *Endocrine Reviews, 36*(5), 564–591. https://doi.org/10.1210/er.2014-1101

Neto, F. T. L., Bach, P. V., Najari, B. B., Li, P. S., & Goldstein, M. (2016). Spermatogenesis in humans and its affecting factors. *Seminars in Cell & Developmental Biology, 59*, 10–26. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2016.04.009

O'Donnell, L. (2014). Mechanisms of spermiogenesis and spermiation and how they are disturbed. *Spermatogenesis, 4*(2), e979623. https://doi.org/10.4161/21565562.2014.979623

O'Donnell, L., Nicholls, P. K., O'Bryan, M. K., McLachlan, R. I., & Stanton, P. G. (2011). Spermiation: The process of sperm release. *Spermatogenesis, 1*(1), 14–35. https://doi.org/10.4161/spmg.1.1.14525

O'Donnell, L., & Smith, L. B. (2026). Endocrinology of the Testis and Spermatogenesis. In *Endotext*. MDText.com, Inc. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279031/

Pereira, R., & Sousa, M. (2023). Morphological and molecular bases of male infertility: a closer look at sperm flagellum. *Genes, 14*(2), 383. https://doi.org/10.3390/genes14020383

Puga Molina, L. C., Luque, G. M., Balestrini, P. A., Marín-Briggiler, C. I., Romarowski, A., & Buffone, M. G. (2018). Molecular basis of human sperm capacitation. *Frontiers in Cell and Developmental Biology, 6*, 72. https://doi.org/10.3389/fcell.2018.00072

Su, J. S., Farber, N. J., & Vij, S. C. (2021). Pathophysiology and treatment options of varicocele: an overview. *Andrologia, 53*(1), e13576. https://doi.org/10.1111/and.13576

Tiwana, M. S., & Leslie, S. W. (2023). Anatomy, abdomen and pelvis: Testes. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470201/

University of Leeds. (n.d.). *Testis*. The Histology Guide. Retrieved October 20, 2026, from https://histology.leeds.ac.uk/home/male/testis/

Wishahi, M. M. (1991). Anatomy of the venous drainage of the human testis: Testicular vein cast, microdissection and radiographic demonstration. A new anatomical concept. *European Urology, 20*(2), 154–160. https://doi.org/10.1159/000471687

Yeh, S. D., Morse, M. J., Grando, R., Kleinert, E. L., & Whitmore, W. F., Jr. (1986). Lymphoscintigraphic studies of lymphatic drainage from the testes. *Clinical Nuclear Medicine, 11*(12), 823–827. https://doi.org/10.1097/00003072-198612000-00004

Zhou, W., De Iuliis, G. N., Dun, M. D., & Nixon, B. (2018). Characteristics of the epididymal luminal environment responsible for sperm maturation and storage. *Frontiers in Endocrinology, 9*, 59. https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00059

Zirkin, B. R., & Papadopoulos, V. (2018). Leydig cells: formation, function, and regulation. *Biology of Reproduction, 99*(1), 101–111. https://doi.org/10.1093/biolre/ioy059

BÖLÜM 4

KADIN ÜREME SİSTEMİ VE KLİNİK ANATOMİSİ

OĞUZHAN HARMANDAOĞLU[1], OĞUZHAN ÖZTÜRK[2]

Giriş

İnsan neslinin devamlılığı, üreme işlevinin gerçekleşmesi ile sağlanır. Bu işlevin gerçekleştirilmesini sağlayan organ ve yapılardan oluşan sistem, üreme sistemi (systema genitale) olarak adlandırılır. Üreme sistemi, anatomik ve işlevsel özellikleri bakımından kadın üreme sistemi ve erkek üreme sistemi olmak üzere ikiye ayrılır. Kadın üreme sistemi (systema genitale femininum); kadın iç üreme organları (organa genitalia feminina interna) ve kadın

[1] Öğr. Gör. Dr., Kastamonu Üniversitesi Çatalzeytin Meslek Yüksekokulu,Terapi ve Rehabilitasyon, Orcid: 0000-0002-4991-5696
[2] Öğr. Gör. Dr., Kastamonu Üniversitesi Çatalzeytin Meslek Yüksekokulu,Terapi ve Rehabilitasyon, Orcid: 0000-0001-7518-0331

dış üreme organları (organa genitalia feminina externa) olmak üzere iki bölümde incelenir. Kadın iç üreme organları; ovarium, tuba uterina, uterus ve vagina'dan oluşur. Kadın dış üreme organları; mons pubis, labium majus pudendi, labium minus pudendi, vestibulum vaginae, clitoris, bulbus vestibuli, glandulae vestibulares majores ve glandulae vestibulares minores'den oluşur. Bu yapıların tümü vulva olarak adlandırılır (Arifoğlu, 2021).

1. KADIN İÇ ÜREME ORGANLARI

1.1. Ovarium

Erkekte testisin (**testis**) kadın üreme sistemindeki karşılığı ovarium**'**dur. Ovariumlar, pelvis boşluğunda fossa ovarica içerisinde yerleşir. Kadında sağda ve solda olmak üzere iki adet ovarium bulunur. Ovariumlar, dişi gamet hücresi olan ovumun gelişimini ve olgunlaşmasını sağlar; ayrıca başlıca östrojen ve progesteron hormonlarının üretiminde ve salgılanmasında rol oynar. Ovarium yaklaşık 4 cm uzunluğunda, 2 cm genişliğinde ve 1 cm kalınlığındadır**.** Ovariumun komşulukları arasında posteriorunda ureter**,** superiorunda ise a. iliaca externa bulunur. Ovarium; facies medialis ve facies lateralis olmak üzere iki yüz, extremitas tubaria ve extremitas uterina olmak üzere iki uç ile margo liber ve margo mesovaricus olmak üzere iki kenar içerir (Acer, N., 2024).

Sağ ve sol ovariumun arteriyel beslenmesi, aorta abdominalis'in lateral yüzünden çıkan a. ovarica tarafından sağlanır. Venöz drenajı, plexus venosus ovaricus aracılığıyla

gerçekleşir. V. ovarica dextra**,** v. cava inferior'a; v. ovarica sinistra ise v. renalis sinistra'ya drene olur. Ovariumun lenfatik drenajı, nodi lymphoidei lumbales'e, özellikle nodi lymphoidei paraaortici'ye gerçekleşir. Otonom innervasyonu plexus ovaricus ve plexus uterovaginalis aracılığıyla sağlanır. Ovariuma ulaşan sempatik lifler başlıca nn. splanchnici lumbales ve plexus aorticus abdominalis üzerinden; parasempatik lifler ise n. vagus aracılığıyla taşınır (Yılmaz vd., 2022).

Klinik Bilgi

- Over kistleri özellikle follikül ve corpus luteum kistleri sık görülen benign oluşumlardır ve kistlerin büyümesi pelvik bölgede ağrıya sebep olabilir (Mobeen & Apostol, 2020)**.**

- Over torsiyonu: Overin genellikle tuba uterina ile beraber kendisini destekleyen ligamentler (özellikle ligamentum suspensorium ovarii) etrafında dönmesi sonucu venöz dolaşımın ve ileriki aşamalarda arteriyel dolaşımın bozulmasına yol açar. En önemli bulgu şiddetli başlayan pelvik ağrıdır (Huang vd., 2017).

- Over kanseri: Jinekolojik kansere bağlı ölümlerin en yaygın olanıdır. Belirtisi, menopoz sonrası kadınlarda birkaç ay süren karın ağrısı ve şişkinliktir. Çoğu bireyde ileri evrede teşhis edilir (Jayson vd., 2014)**.**

1.2. Tuba Uterina

Tuba uterinalar Fallop tüpleri olarak adlandırılır. Tuba uterinalar, mesosalpinx adı verilen yapı içerisinde konumlanmıştır. Tuba uterinalar dört kısımda incelenir.

Infundibulum tubae uterinae: Çevresinde fimbriae tubae uterinae adı verilen saçaklı yapılar yer alır. Bu yapılardan fimbria ovarica adı verilen yapı, diğerlerinden farklı olarak daha uzundur ve ovulasyon sırasında oositleri tutarak tuba uterinalaya doğru yönlendirir.

Ampulla tubae uterinae**:** Tuba uterinanın en geniş ve en uzun kısmıdır. Döllenme genellikle burada gerçekleşir.

Isthmus tubae uterinae**:** Ampulla ile uterus arasında yer alan, çapı en dar kısımdır ve uterus ile birleşerek sonlanır.

Pars uterina: Tuba uterinanın uterus duvarı içerisinde devam eden en kısa bölümüdür. Ostium uterinum tubae uterinae aracılığıyla uterusa açılır (Anne M. R. Agur & Arthur F. Dalley, 2020).

Klinik Bilgi

- Ektopik gebeliğin en yaygın yeri tuba uterinadır ve en sık ampulla parçasında görülür (Dick vd., 2025)**.**
- Salpenjit ve pelvik inflamatuvar hastalık; tuba uterina ve diğer üst genital sistem yapılarının enfeksiyonudur (Holmes vd., 1980).

1.3. Uterus

Uterus, anteriorunda mesane ve posteriorunda rectum bulunan, kalın kas duvarına sahip boşluklu bir organdır. Abdominal bölümü tuba uterinalar ile, pelvik bölümü ise vagina ile birleşir. Gebelik döneminde hacmi değişirken doğum sonrasında tekrar eski haline döner. Anatomik olarak uterus; fundus, corpus, isthmus ve cervix uteri olmak üzere dört bölümde incelenir (Arıncı & Elhan, 2014).

Fundus uteri, tuba uterinaların uterusa açıldığı yerlerin üst kısmında yer alan uterus bölümüdür.

Corpus uteri, uterusun yaklaşık üçte ikisini kapsayan gövde kısmıdır. Uterus gövdesinin anterior yüzü vesica urinaria, posterior yüzü ise colon sigmoideum ile komşudur.

Isthmus uteri, uterusun corpus uteri ile cervix uteri arasında yer alan yaklaşık 1 cm uzunluğundaki bölümüdür.

Cervix uteri, uterusun yaklaşık üçte birlik alt kısmını oluşturur. Bu yapı içerisinde canalis cervicis uteri adı verilen bir kanal bulunur. Canalis cervicis uteri, cavitas uteri ile ostium uteri internum, vagina ile ise ostium uteri aracılığıyla bağlantı kurar. Portio vaginalis, cervix uteri'nin vagina içerisinde kalan bölümüdür (Yılmaz vd., 2022). Uterus; m. levator ani, lig. latum uteri, lig. teres uteri, lig. cardinale, lig. pubocervicale ve lig. rectouterinum tarafından desteklenir (Arifoğlu, 2021). Bu yapılardan m. levator ani, lig. transversum cervicis (lig. cardinale, Mackenrodt bağı), lig. pubocervicale ve lig. sacrocervicale uterusun desteklenmesinde rol oynar. Lig. latum uteri ve lig. teres uteri

gevşek bağ dokusundan oluşmaları nedeniyle uterusun taşınmasında doğrudan destekleyici bir rol üstlenmez. Uterusun şekli ve pozisyonu, yaşamın çeşitli dönemlerinde değişkenlik gösterir. Uterusun cervix uteri ve corpus uteri bölümleri arasında, açıklığı öne ve aşağıya bakan, yaklaşık 100–170°'lik antefleksiyon açısı bulunur. Uterus ile vagina arasında ise açıklığı öne bakan, yaklaşık 90–110°'lik anteversiyon açısı bulunur. Uterusun arteriyel beslenmesini a. uterina ve a. ovarica sağlar. Venöz drenajı plexus venosus uterinus aracılığıyla vv. uterinae'ye, buradan da vv. uterinae aracılığıyla v. iliaca interna'ya gerçekleşir. Uterusun sempatik innervasyonu plexus hypogastricus inferior ve plexus uterovaginalis aracılığıyla, parasempatik innervasyonu ise S2–S4 spinal segmentlerinden çıkan nn. splanchnici pelvici aracılığıyla sağlanır (Acer, N., 2024). Uterus duvarı, dıştan içe doğru perimetrium (tunica serosa), myometrium (tunica muscularis) ve endometrium (tunica mucosa) olmak üzere üç katmandan meydana gelir. Ovulasyon döneminde döllenme gerçekleşirse, döllenmiş ovum endometriuma tutunarak gebelik başlar. Döllenmenin gerçekleşmemesi durumunda ise endometriumun fonksiyonel tabakası, kan ve doku parçalarıyla birlikte uterus kasılmaları sonucunda vagina yoluyla dışarı atılır. Bu olaya menstruasyon denir. Gebelik döneminde belirgin şekilde büyüyen uterus, doğum sonrasında involüsyon adı verilen süreçle büyük ölçüde gebelik öncesi boyutlarına geri döner (Arifoğlu, 2021).

Klinik Bilgi

- Pelvik organ prolapsusu: Uterus, vajinanın ön ve arka duvarlarının normal konumundan aşağıya doğru yer değiştirmesine denir. Lig. cardinale, lig. uterosacrale, lig. pubocervicale yapılarının bütünlüğünün bozulması patogenezde etkilidir. Sistosel; mesanenin vajinae ön duvarına doğru, rektosel;rektumun vajinae arka duvarına doğru bombeleşmesidir. Uterusun aşağıya doğru yer değiştirmesi uterin prolapsus denir (Hoare vd., 2025).
- Serviks uterinin malign tümörü sonucu serviks kanseri meydana gelir. Tümör dağılım gösterdiğinde komşu pelvik yapılara ve lenf sistemlerine yayılır (Stjernholm-Vladic vd., 2004).
- Uterusta en sık karşılaşılan benign tümör leiomyomadır. Leiomyomaların büyüklüğü gebelik döneminde artış gösterirken menopoz sonrasında genellikle küçülür (Dick vd., 2025).
- Endometrial dokunun uterus dışında yer almasına endometriozis denir (Alimi vd., t.y.).
- Nabothian kistleri: Canalis cervicis uteri'nin mukozasında yer alan glandulae cervicales bezlerinin kanallarının tıkanması sonucu oluşur.
- En çok görülen jinekolojik malign tümör endometrial karsinomdur.
- İsthmus uterideki yumuşama erken gebelik belirtisi olabilir (Hasan O., 2005).

1.4. Vagina

Vagina, yukarıda cervix uteri ile aşağıda vulva arasında uzanan, kadın üreme sisteminin cinsel birleşme organıdır. Aynı zamanda menstruasyon kanının dışarı atıldığı ve doğum sırasında fetüsün geçtiği kanal olarak görev yapar. Vaginal sekresyonlar, başta cervix uteri olmak üzere genital sistemdeki çeşitli bez ve yapılardan kaynaklanır. Vaginanın normal ortamı asidiktir ve bu özellik, bakteriyel mikroorganizmaların yerleşmesini ve çoğalmasını sınırlandırmada rol oynar. Vaginanın alt ucundaki açıklığa ostium vaginae adı verilir. Hymen, ostium vaginae çevresinde yer alan ve vestibulum vaginae ile vagina arasındaki geçiş bölgesinde bulunan mukozal bir kıvrımdır. Vagina ile cervix uteri'nin vaginal bölümü arasında fornix vaginae adı verilen boşluk bulunur. Fornix vaginae; fornix anterior, fornix posterior ve fornix lateralis olmak üzere bölümlere ayrılır. Bu bölümler arasında fornix posterior daha derindir. Vaginanın arteriyel beslenmesi başlıca a. vaginalis tarafından sağlanır. Venöz drenajı ise plexus venosus vaginalis aracılığıyla gerçekleşir (Acer, N., 2024; Yılmaz vd., 2022).

Klinik Bilgi

- M. bulbospongiosus ile m. transversus perinei superficialis ve m. transversus perinei profundus kaslarında meydana gelen istem dışı kasılmaların vajinal penetrasyonu engellemesi vajinismus olarak tanımlanır (Reissing vd., 2004).
- Vajinit: Vajinanın mukoza yapısında meydana gelen inflamasyondur (Gold & Vadakekut, 2026).

2. KADIN DIŞ GENİTAL ORGANLARI

Vulvayı oluşturan kadın dış genital yapılar arasında mons pubis, labium majus pudendi, labium minus pudendi, vestibulum vaginae, clitoris, bulbus vestibuli ile glandulae vestibulares majores ve glandulae vestibulares minores yer alır (Yılmaz vd., 2022).

2.1. Mons pubis

Mons pubis, pubis'in anteriorunda yer alan, deri altı yağ dokusunun oluşturduğu kabarıklıktır. Mons pubis, kadında ters üçgen şeklinde olup pubik kıllarla kaplıdır. (Arifoğlu, 2021).

2.2. Labium majus pudendi

Labium majus pudendi, mons pubis ile perineum arasında uzanan ve yaklaşık 8 cm uzunluğunda, 2–2,5 cm yüksekliğinde olan bir dış genital yapıdır. Erkekteki scrotum ile homolog kabul edilir. Commissura labiorum anterior**,** labium majus pudendi'lerin ön uçlarının birleşmesiyle oluşur. Arka uçlar ise birleşmeyerek deriye tutunur ve bu yapıya commissura labiorum posterior denir. Labium majus pudendi'lerin arasında rima pudendi adı verilen aralık bulunur ve bu aralık içerisinde labium minus pudendi yer alır. Posterior tarafta, anüs ile birleşme yerindeki yaklaşık 3 cm'lik bölümde perineum yer alır. Sulcus genitofemoralis, labium majus pudendi'lerin dış tarafında bulunan oluğun adıdır (Acer, N., 2024).

2.3. Labium minus pudendi

Labium minus pudendi, vestibulum vaginae'nin her iki tarafında, labium majus pudendi'lerin medialinde yer alan ve erkekteki penisi örten derinin karşılığı olan yapıdır. Labium minus pudendi ile labium majus pudendi arasında yer alan oluk sulcus nympholabialis, labium minus pudendi ile hymen arasındaki oluk ise sulcus nymphohymenalis olarak adlandırılır. Dış yüzünde kıl ve ter bezleri bulunmazken yağ bezleri bulunur (Arifoğlu, 2021).

2.4. Vestibulum vaginae

Vestibulum vaginae, iki labium minus pudendi arasında bulunan boşluk şeklindeki anatomik bölgedir. Bu bölgeye ostium vaginae ve ostium urethrae externum ile birlikte glandula vestibularis major (Bartholin bezi) ve glandulae vestibulares minores (Skene bezleri, paraüretral bezler) kanalları açılır (Acer, N., 2024).

2.5. Clitoris

Clitoris, labium minus pudendi'lerin birleşme yerinde, vulvanın üst ucunda yer alan, erektil yapıya sahip ve erkekteki penisin karşılığı olan bir organdır. Üç kısımda incelenir. Konik şekilli serbest ucuna glans clitoridis, gövde kısmına corpus clitoridis, pelviste ramus ischiopubicus'a tutunan kısmına ise crus clitoridis denir. Clitoris, ısı, basınç ve dokunmaya karşı duyarlıdır (Yılmaz vd., 2022).

2.6. Bulbus vestibuli

Bulbus vestibuli, ostium vaginae'nin iki yanında bulunan ve yaklaşık 2,5–3 cm uzunluğa sahip çift taraflı bir yapıdır. Erkekteki corpus spongiosum penisin posterior bölümüne homologdur (Arıncı & Elhan, 2014).

2.7. Gl. vestibulares majores (Bartholin bezi)

Glandulae vestibulares majores, ostium vaginae'nin her iki yanında bulunan çift taraflı bezlerdir ve erkekteki glandulae bulbourethrales ile homolog kabul edilir. Cinsel uyarılma ile salgıladıkları mukus, kanalları aracılığıyla sulcus nymphohymenalis'e açılır (Hasan O., 2005).

Klinik Bilgi

- Bartholin kisti: Gl. vestibulares majores'in kanalının tıkanması sonucu bezde meydana gelen enfeksiyondur (Lee vd., 2015).

2.8. Gl. vestibulares minores

Glandulae vestibulares minores, vestibulum vaginae'nin duvarında yer alan ve erkekteki prostat bezinin karşılığı olan yapılardır. Mukus salgılayarak vestibulum vaginae'nin ıslak kalmasını sağlar (Özbağ Davut, 2023).

Vulvanın arteriyel beslenmesi a. pudenda interna (rr. labiales posteriores, a. bulbi vestibuli, a. dorsalis clitoridis ve a. profunda clitoridis) ve aa. pudendae externae tarafından sağlanır. Venöz drenajı ise vv. pudendae externae ve vv. pudendae internae aracılığıyla gerçekleşir. Lenfatik drenajı nodi lymphoidei inguinales superficiales'e gerçekleşir.

Vulvanın duyusal innervasyonu başlıca n. genitofemoralis, n. ilioinguinalis, n. cutaneus femoris posterior ve n. pudendus aracılığıyla sağlanır (Yılmaz vd., 2022).

Kaynakça

Acer, N. (2024). Sağlık Bilimleri İçin Temel Anatomi. İstanbul Tıp Kitapevi.

Alimi, Y., Iwanaga, J., Loukas, M., & Tubbs, R. S. (t.y.) (2018). The Clinical Anatomy of Endometriosis: A Review. Cureus, 10(9), e3361. https://doi.org/10.7759/cureus.3361

Anne M. R. Agur & Arthur F. Dalley. (2020). Moore Temel Klinik Anatomisi. Nobel Tıp Kitabevleri.

Arıncı, K., & Elhan, A. (2014). Anatomi 1. Cilt. Kemikler, Eklemler, Kaslar, İç organlar. Güneş Tıp Kitabevleri.

Arifoğlu, Y. (2021). Her Yönüyle ANATOMİ. İstanbul Tıp Kitabevi

Dick, E. A., Blanco, A., De La Hoz Polo, M., & Basilico, R. (2025). ESR Essentials: Gynaecological causes of acute pelvic pain in women: a primer for emergent evaluation—practice recommendations by the European Society of Emergency Radiology. European Radiology, 35(11), 6682-6695. https://doi.org/10.1007/s00330-025-11539-8

Gold, J. M., & Vadakekut, E. S. (2026). Physiology, Vaginal Structure and Function. In: StatPearls. StatPearls Publishing. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK545147/

Hasan O. (2005). Ozan Anatomi. Nobel Tıp Kitabevleri.

Hoare, B. S., Mikes, B. A., & Khan, Y. S. (2025). Anatomy, Abdomen and Pelvis: Female Internal Genitals.In: StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK554601/

Holmes, K. K., Eschenbach, D. A., & Knapp, J. S. (1980). Salpingitis: Overview of etiology and epidemiology. American Journal of Obstetrics and Gynecology, International Symposium on Pelvic Inflammatory Disease, 138 (7, Part 2), 893-900. https://doi.org/10.1016/0002-9378(80)91078-9

Huang, C., Hong, M.-K., & Ding, D.-C. (2017). A review of ovary torsion. Tzu-Chi Medical Journal, 29(3), 143-147. https://doi.org/10.4103/tcmj.tcmj_55_17

Jayson, G. C., Kohn, E. C., Kitchener, H. C., & Ledermann, J. A. (2014). Ovarian cancer. The Lancet, 384(9951), 1376-1388. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62146-7

Lee, M. Y., Dalpiaz, A., Schwamb, R., Miao, Y., Waltzer, W., & Khan, A. (2015). Clinical Pathology of Bartholin's Glands: A Review of the Literature. Current Urology, 8(1), 22-25. https://doi.org/10.1159/000365683

Mobeen, S., & Apostol, R. (2020). Ovarian cyst. https://europepmc.org/article/nbk/nbk560541

Özbağ Davut. (2023). "'İnsan'" Anatomi. İstanbul Tıp Kitapevi.

Reissing, E. D., Binik, Y. M., Khalifé, S., Cohen, D., & Amsel, R. (2004). Vaginal Spasm, Pain, and Behavior: An Empirical Investigation of the Diagnosis of Vaginismus. Archives of Sexual Behavior, 33(1), 5-17. https://doi.org/10.1023/B:ASEB.0000007458.32852.c8

Stjernholm-Vladic, Y., Stygar, D., Mansson, C., Masironi, B., Akerberg, S., Wang, H., Ekman-Ordeberg, G., & Sahlin, L. (2004). Factors involved in the inflammatory events of cervical ripening in humans. Reproductive Biology and Endocrinology, 2(1), 74. https://doi.org/10.1186/1477-7827-2-74

Yılmaz, M. T., Aydın Kabakçı, A. D., & Akın Saygın, D. (2022). Adım Adım Anatomi. İstanbul Tıp Kitabevleri.

BÖLÜM 5

ANATOMICAL FOUNDATIONS AND CLINICAL LOCALIZATION OF CROSSED BRAINSTEM SYNDROMES

DAMLA ŞAHİN[1]

Introduction

The brainstem is the most anatomically and functionally dense region of the central nervous system (CNS), and the most critical from a clinical perspective (Arıncı & Elhan, 2014). Although it accounts for only approximately 2.6% of total brain weight, structures supporting vital functions coexist within this limited volume (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018). All descending and ascending pathways connecting the cerebral cortex with the medulla spinalis must traverse the brainstem (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). In addition to this gateway function, the brainstem houses the cranial nerve nuclei, vital autonomic reflex control centers (respiration, cardiovascular regulation, and swallowing), and the reticular activating system that maintains consciousness (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Splittgerber, 2019). Consequently, millimetric parenchymal damage in the

[1] Lecturer, Dr., Bandırma Onyedi Eylül University,Department of Anatomy, Orcid: 0000-0003-4031-8315

brainstem can produce dramatic, multisystem, life-threatening neurological presentations compared with much larger lesions in the cerebral hemispheres (Arıncı & Elhan, 2014).

The millimetric proximity of these structures within the brainstem parenchyma produces a highly characteristic clinical presentation following unilateral focal damage, such as vascular occlusions, tumors, or demyelinating plaques: crossed (alternating) brainstem syndromes (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018).

This chapter examines the anatomical foundations of crossed brainstem syndromes and their application to clinical localization. It follows the organization of cranial nerve nuclei, the course and decussation of major pathways, and the relationship between ipsilateral cranial nerve findings and contralateral body deficits. The aim is to connect bedside findings with the rostrocaudal level and medial-lateral position of a lesion before considering individual named syndromes.

General Anatomical and Functional Organization of the Brainstem

Along its vertical axis, the brainstem consists of three main segments: the mesencephalon, pons, and medulla oblongata (bulbus) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). As emphasized in Splittgerber's Clinical Neuroanatomy, the pons is approximately 2.5 cm long (Splittgerber, 2019). As Hasan Ozan states in Ozan Anatomi, the medulla oblongata (bulbus) accounts for only 0.5% of CNS weight, the pons for 1.3%, and the mesencephalon for a much smaller proportion (Ozan, 2014). Despite this small mass, the subarachnoid cisterns surrounding the brainstem (particularly the cisterna interpeduncularis, prepontine cistern, cisterna pontocerebellaris, and posterior (magna) and lateral cerebellomedullary cisterns), together with the course of the cranial nerves passing through them, provide

vital anatomical landmarks for identifying clinical compression caused by intracranial masses or vascular dilatations (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018). Throughout these segments, the following four functional groups exhibit extremely close anatomical relationships within a narrow parenchymal area (Moore et al., 2018; Haines & Mihailoff, 2018):

Cranial Nerve Nuclei and Fibers: The nuclei of cranial nerves III through XII and the intra-axial fibers originating from them (Arıncı & Elhan, 2014).

Ascending and Descending Pathways: The tractus corticospinalis lateralis and anterior and fibrae corticonucleares, which provide skeletal muscle motor control; the lemniscus medialis system, which carries deep sensation (proprioception, vibration, and discriminative touch); and the anterolateral system (ALS), which transmits pain, temperature, and crude touch (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019).

Cerebellar Connections: The pedunculus cerebellaris superior, medius, and inferior, which connect the brainstem with the cerebellum, and their associated nuclei (e.g., the nucleus ruber, inferior olivary complex, and pontine nuclei) (Arıncı & Elhan, 2014).

Autonomic and Reticular Structures: The reticular formation nuclei containing the cardiovascular and respiratory centers, the ascending reticular activating system (ARAS) regulating consciousness, and the sympathetic pathways descending from the hypothalamus to the spinal cord (hypothalamospinal fibers) (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019; Moore et al., 2018).

General Vascular Organization

All brainstem segments (mesencephalon, pons, and medulla oblongata) receive their blood supply from the **vertebrobasilar**

arterial system, which constitutes the posterior circulation (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018; Salerno et al., 2022) (Table 1). Understanding the brainstem's perfusion pattern is fundamental to understanding, pathophysiologically, why crossed syndromes present with specific clinical patterns and sharply defined boundaries (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). At all three brainstem levels, vascular distribution is generally divided into two main groups: medial (paramedian) perforating branches and lateral (short and long circumferential) branches (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022; Haines & Mihailoff, 2018).

Table 1. Brainstem levels and their general vascular supply.

Brainstem level	**Vascular territory**	**Principal arterial supply**
Mesencephalon (midbrain)	Paramedian	Posterior cerebral artery (PCA), P1 segment, and posterior communicating artery penetrating branches
Mesencephalon (midbrain)	Lateral/dorsal	Superior cerebellar artery (SCA) and quadrigeminal branches
Pons	Paramedian	Basilar artery paramedian perforating branches
Pons	Lateral	Basilar artery short and long circumferential branches and anterior inferior cerebellar artery (AICA)
Medulla oblongata (bulbus)	Paramedian	Anterior spinal artery (ASA) and vertebral artery branches
Medulla oblongata (bulbus)	Lateral	Posterior inferior cerebellar artery (PICA) and lateral vertebral artery branches
Medulla oblongata (bulbus)	Dorsal (caudal)	Posterior spinal artery (PSA)

Rostrocaudal Organization of Cranial Nerve Nuclei

Understanding exactly which syndrome develops in a brainstem lesion and its location along the vertical and horizontal axes requires thorough anatomical knowledge of the brainstem's internal morphology and the course of its pathways (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Shepherd & Hoch, 2022). The first and most important step in understanding this anatomical foundation is to grasp the rostrocaudal arrangement and functional columns of the cranial nerve nuclei(Arıncı & Elhan, 2014).

Functional Nuclear Columns and Rostrocaudal Distribution

The cranial nerve nuclei are not randomly distributed throughout the brainstem; they follow the vertical extensions of the embryological columns established during development (somatic motor, pharyngeal/branchial motor, parasympathetic efferent, general sensory, special sensory, and visceral sensory) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). The three vertical levels of the brainstem (mesencephalon, pons, and medulla oblongata) house their own characteristic groups of cranial nerve nuclei (Arıncı & Elhan, 2014; Haines, 2012; Moore et al., 2018).

Identifying the affected cranial nerve provides the most sensitive clinical landmark for determining the vertical (rostrocaudal) level of the lesion (Arıncı & Elhan, 2014) (Table 2).

Table 2. Rostrocaudal distribution of cranial nerves in the brainstem.

Brainstem level	**Cranial nerve**	**Principal function**
Mesencephalon (midbrain)	CN III (N. oculomotorius)	Extraocular motor and parasympathetic functions
Mesencephalon (midbrain)	CN IV (N. trochlearis)	Motor innervation of M. obliquus superior
Pons	CN V (N. trigeminus)	Mastication and facial sensation

Brainstem level	Cranial nerve	Principal function
Pons	CN VI (N. abducens)	Motor innervation of M. rectus lateralis
Pons	CN VII (N. facialis)	Facial expression, tears, saliva, and taste
Pons	CN VIII (N. vestibulocochlearis)	Balance and hearing
Medulla oblongata (bulbus)	CN IX (N. glossopharyngeus)	Swallowing, parotid secretion, and taste
Medulla oblongata (bulbus)	CN X (N. vagus)	Laryngeal/pharyngeal motor and parasympathetic functions
Medulla oblongata (bulbus)*	CN XI (N. accessorius)*	Motor innervation of M. trapezius and M. sternocleidomastoideus
Medulla oblongata (bulbus)	CN XII (N. hypoglossus)	Motor innervation of tongue muscles

** In current publications, the motor nucleus of CN XI (spinal accessory nucleus) is located in the upper cervical spinal cord (Haines & Mihailoff, 2018; Ozan, 2014; Splittgerber, 2019). It receives no fiber contribution from the medulla; however, because it exits the skull through the foramen jugulare together with the bulbar nerves (CN IX and X), and its clinical syndromes are directly associated with bulbar pathologies, it is practically classified in this group (Splittgerber, 2019).*

Mesencephalon (Midbrain) Nuclei

The levelsof mesencephalon contains the somatic motor column nuclei controlling eye movements and the autonomic centers governing pupillary reflexes (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014):

N. Oculomotorius (CN III) Nuclear Complex: Located near the midline within the periaqueductal gray matter ventral to the aqueductus mesencephali (cerebri), in the rostral mesencephalic

tegmentum (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Splittgerber, 2019). This complex consists of two main components:

Nucleus nervi oculomotorii (Somatic Motor / GSE): Sends somatic motor fibers innervating the m. rectus superior, m. rectus inferior, m. rectus medialis, m. obliquus inferior, and m. levator palpebrae superioris (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Nucleus accessorius nervi oculomotorii /Edinger-Westphal Nucleus (General Visceral Efferent / GVE - Parasympathetic): The source of preganglionic parasympathetic fibers providing pupillary constriction (miosis) and lens accommodation (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018). These fibers travel within the oculomotor nerve and synapse in the ganglion ciliare in the orbit (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).

Clinical Anatomical Information: After the root fibers of the n. oculomotorius emerge from the ventral mesencephalon into the cisterna interpeduncularis, they pass between the a. cerebri posterior and a. superior cerebelli (SCA) (vascular fork) (Moore et al., 2018). Aneurysms in these arteries, particularly at the a. basilaris bifurcation or in the a. communicans posterior, directly compress the nerve fibers, causing ipsilateral eye movement palsy and abnormalities of miosis/mydriasis (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Ozan, 2014).

N. Trochlearis (CN IV) Nucleus: The nucleus nervi trochlearis is a small, ovoid general somatic efferent (GSE) nucleus located in the caudal mesencephalic tegmentum at the level of the colliculus inferior, immediately dorsal to the fasciculus longitudinalis medialis (MLF) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). This nucleus: Belongs to the only cranial nerve whose fibers leave the brainstem through the **dorsal (posterior) surface** (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Moore et al., 2018).

Immediately before leaving the brainstem, fibers emerging from the nucleus exit by **crossing to the opposite side** within the velum medullare superior (decussatio nervorum trochlearium) a*nd innervate the contra*lateral m. obliquus superior (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018). Consequently, an intraparenchymal n. trochlearis lesion causes contralateral eye movement impairment, whereas a peripheral nerve lesion causes ipsilateral impairment (inability to direct the eye inward and downward) (Moore et al., 2018).

Pontine Nuclei

The pons houses key nuclei responsible for facial sensory and motor control and horizontal eye movements (Arıncı & Elhan, 2014):

N. Trigeminus (CN V) Nuclear Complex: The trigeminal system, which has the most extensive nuclear column among the cranial nerves, is represented in the pons by two important nuclei (Arıncı & Elhan, 2014):

*Nucleus motorius nervi trigemini (Special Visceral Efferent / SVE): L*ocated deep in the midpontine tegmentum, it sends motor fibers innervating the muscles of mastication derived from the first pharyngeal arch (m. masseter, m. temporalis, and m. pterygoideus medialis and lateralis)(Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

*Nucleus principalis nervi trigemini (General Somatic Afferent / GSA): Loc*ated immediately dorsolateral to the motor nucleus (Splittgerber, 2019). It receives fine, discriminative touch and pressure sensations from the face (the functional analogue of the dorsal column nuclei in the posterior horn of the spinal cord) (Splittgerber, 2019). (Note: The nucleus mesencephalicus nervi trigemini, which receives proprioceptive sensation within the trigeminal system, extends into the mesencephalon (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019), whereas the nucleus spinalis nervi

trigemini, which receives pain and temperature sensation, extends as a caudal column into the medulla oblongata and upper cervical spinal cord (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019; Moore et al., 2018).) As Snell notes, the substantia gelatinosa layer in the posterior gray horn of the spinal cord shows uninterrupted anatomical continuity with the inferior end of the nucleus spinalis nervi trigemini in the medulla above (Splittgerber, 2019).

N. Abducens (CN VI) Nucleus: The nucleus nervi abducentis is a GSE nucleus located near the midline in the caudal pontine tegmentum, immediately beneath the floor of the fourth ventricle (fossa rhomboidea) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Snell, 2019). Motor fibers emerging from this nucleus traverse the pontine parenchyma ventrally, exit at the pontomedullary junction, and innervate the m. rectus lateralis, which abducts the eye (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

N. Facialis (CN VII) Nucleus: The nucleus nervi facialis is an SVE nucleus located in the ventrolateral tegmentum of the caudal pons (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).It innervates the muscles of facial expression derived from the second pharyngeal arch (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). Fibers emerging from the nucleus follow an interesting course: they first travel dorsomedially and loop around the abducens nucleus (this loop is called the internal genu and forms the colliculus facialis prominence in the fossa rhomboidea), then turn ventrolaterally to leave the brainstem (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). In addition, parasympathetic (GVE) fibers stimulating the lacrimal and submandibular/sublingual glands originate from the nucleus salivatorius superior in this region(Arıncı & Elhan, 2014).

N. Vestibulocochlearis (CN VIII) Nuclei: Special somatic afferent (SSA) nuclei located at the most lateral aspect of the pontomedullary junction (Arıncı & Elhan, 2014):

Nuclei vestibulares (Superior and Medial in the Pons; Lateral and Inferior in the Medulla): Integration centers for maintaining balance and posture and coordinating eye movements with head movements (vestibulo-ocular reflex) (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).

*Nuclei cochleares (Anterior and Posterior):*The first brainstem relay station of the auditory pathways destined for the auditory cortex in the lobus temporalis (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).

Medulla Oblongata Nuclei

In addition to vital autonomic centers, the medulla contains the motor and sensory nuclei of the lower cranial nerves (CN IX-XII) (Arıncı & Elhan, 2014):

N. Glossopharyngeus (CN IX) and N. Vagus (CN X) Nuclear Groups: These two mixed nerves share common nuclear columns in the medulla (Arıncı & Elhan, 2014):

Nucleus Ambiguus (SVE): A diffusely arranged motor nucleus located deep in the ventrolateral medullary tegmentum (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). It controls swallowing and voice production (phonation) by sending motor fibers innervating the striated muscles of the pharynx and larynx (derivatives of arches III and IV) through CN IX and CN X (Arıncı & Elhan, 2014).

*Nucleus posterior nervi vagi (GVE-Parasympathetic): Lo*cated in the floor of the fourth ventricle, immediately lateral to the hypoglossal nucleus, it forms the trigonum nervi vagi prominence in the fossa rhomboidea (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019). It is the primary source of preganglionic vagal parasympathetic fibers to the thoracic and abdominal organs (Arıncı & Elhan, 2014).

Nucleus Solitarius (Special/General Visceral Afferent-SVA/GVA): A long sensory column receiving taste sensation (SVA

from the CN VII chorda tympani, CN IX, and CN X) and visceral sensory inputs from the cardiovascular/respiratory systems (baroreceptor and chemoreceptor - GVA)(Arıncı & Elhan, 2014).

N. Accessorius (CN XI)-Nucleus spinalis nervi accessorii: Although known as the eleventh cranial nerve, the motor neurons innervating the trapezius and sternocleidomastoid muscles are not located directly in the medulla; they occupy the lateral motor column of the anterior gray horn in the upper cervical spinal cord (C1-C5 segments) (nucleus spinalis nervi accessorii) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). Fibers emerging here ascend vertically and enter the cranium through the foramen magnum, then join the vagal fibers at the medullary level and leave the cranium through the jugular foramen (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

N. Hypoglossus (CN XII) Nucleus: The nucleus nervi hypoglossi is a long GSE nucleus located ventromedially (immediately beside the midline) in the tegmentum of the rostral medulla (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019). It forms the trigonum nervi hypoglossi prominence in the fossa rhomboidea (Arıncı & Elhan, 2014). It sends somatic motor fibers innervating all intrinsic and extrinsic muscles of the tongue (except the m. palatoglossus) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). These fibers leave the medulla ventrally as cranial nerve roots through the sulcus preolivaris between the oliva and pyramis(Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Major Brainstem Pathways in Clinical Localization

Accurately localizing the clinical presentation and intraparenchymal position of crossed brainstem syndromes requires knowledge of the anatomical course, vertical arrangement, and decussation levels of the long motor and sensory pathways traversing the brainstem (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018). The major pathways involved in understanding crossed syndromes

and most frequently damaged in clinical practice are as follows (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018):

Tractus Corticospinalis (Pyramidal Tract)

Function: Provides conscious and voluntary motor control of skeletal muscles, particularly coordinating fine, skilled motor movements of the distal extremity muscles (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).

Location in the Brainstem: Follows a ventral (anterior) course (Arıncı & Elhan, 2014). In the mesencephalon, it occupies the middle three-fifths of the crus cerebri (Arıncı & Elhan, 2014). In the pons, it extends as scattered longitudinal bundles between the pontine nuclei and fibrae pontocerebellares in the basis pontis (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018). In the medulla oblongata, it reconverges to form the pyramis, a thick, vertical white matter column (Arıncı & Elhan, 2014).

Decussation Level: At the boundary between the medulla oblongata and spinal cord (cervicomedullary junction), at the level of the foramen magnum, approximately 85-90% of the fibers cross to form the decussatio pyramidum (motor decussation) and descend in the spinal cord as the tractus corticospinalis lateralis (Arıncı & Elhan, 2014). The remaining 10-15% continue without crossing in the anterior column as the tractus corticospinalis anterior(Arıncı & Elhan, 2014).

Lesion Findings: Unilateral brainstem lesions above the motor decussation produce contralateral spastic hemiplegia/hemiparesis, a positive Babinski sign, increased deep tendon reflexes (hyperreflexia), and spasticity (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Corticonuclear (Corticobulbar) Pathways

Corticonuclear (corticobulbar) fibers provide motor control to cranial nerve nuclei, including VII, IX, X, and XII (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022). Damage to these descending fibers must be distinguished from direct damage to a cranial nerve nucleus or its intra-axial root fibers.

Unilateral damage to crossed corticonuclear fibers supplying facial motor neurons that innervate the lower face produces contralateral lower facial paralysis (central facial palsy). The upper face is spared because it receives bilateral cortical innervation, and forehead creases remain normal (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Damage to the contralateral corticonuclear fibers innervating the genioglossus causes the protruded tongue to deviate toward the weak contralateral side, away from the brainstem lesion (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022). These supranuclear findings differ from the ipsilateral tongue weakness associated with direct hypoglossal nuclear or root-fiber damage.

Lemniscus Medialis (ML)

Function: Carries conscious proprioception (position and joint posture sense), vibration, and discriminative (fine/two-point) touch sensations from the trunk and extremities to the thalamus (VPL) (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).

Location in the Brainstem: In the medulla oblongata, it is arranged along a sagittal (vertical) axis in the most medial part of the tegmentum, immediately behind the pyramids (the "homunculus stands upright") (Arıncı & Elhan, 2014). As it ascends through the pons, it assumes a horizontal (transverse) orientation (the "homunculus liesdown") (Arıncı & Elhan, 2014). In the mesencephalon, the space occupied by the nucleus ruber displaces it

into an oblique dorsolateral and posterolateral position (Arıncı & Elhan, 2014).

Note: The classic analogy of a "little person standing upright and lying on their side," used to describe the somatotopic rotations of the lemniscus medialis as it ascends through the brainstem, refers entirely to the somatosensory (somatic sensory) homunculus. This pathway, which carries conscious proprioception, vibration, and two-point discrimination (fine touch) from the periphery to the ventral posterolateral (VPL) nucleus of the thalamus, forms the basis of the sensory projection areas in the primary somatosensory cortex (gyrus postcentralis / Brodmann areas 3, 1, and 2). Accordingly, this metaphorical figure, "standing upright" in the sagittal (vertical) plane at the medullary level because the leg fibers lie most ventrally, and "lying on its side" at the pontine level as it rotates into the transverse (horizontal) axis and the leg fibers shift laterally, should not be confused with the motor homunculus of the tractus corticospinalis originating from the gyrus precentralis (Haines, 2012). This knowledge of somatosensory somatotopy offers clinicians invaluable localization capability at the bedside, particularly for identifying which extremity will develop sensory loss in partial vascular lesions of the brainstem.

Decussation Level: The axons of second-order sensory neurons emerging from the nucleus gracilis (legs) and nucleus cuneatus (arms) in the caudal medulla (fibrae arcuatae internae) curve anteriorly and medially to form the sensory decussation (decussatio lemniscorum) at the midline (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Lesion Findings: Unilateral brainstem lesions above the sensory decussation cause contralateral loss of position sense, vibration, and two-point discriminative touch (Arıncı & Elhan, 2014).

Tractus Spinothalamicus (Anterolateral System - ALS)

Function: Transmits pain, temperature (hot/cold), and crude (poorly localized) touch sensations from the trunk and extremities to the thalamus (VPL) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019).

Location in the Brainstem: Follows a remarkably constant, circumferential course within the ventrolateral/lateral tegmentum throughout the brainstem (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines, 2012). In the mesencephalon, it becomes immediately adjacent to the lateral side of the lemniscus medialis (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018).

Decussation Level: Long before reaching the brainstem, this pathway has already crossed to the opposite side through the commissura alba anterior of the spinal cord at its entry segment (or 1-2 segments above) (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018; Splittgerber, 2019). Therefore, ALS fibers in the brainstem belong entirely to the opposite side (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Lesion Findings: A unilateral brainstem lesion produces contralateral loss of pain and temperature sensation (analgesia and thermoanesthesia) in the trunk and extremities (body) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019).

Trigeminothalamic Pathways and the Spinal Trigeminal System

Function: Carries pain, temperature, and crude touch sensations from the contralateral half of the face, oral cavity, and cranial structures to the ventral posteromedial (VPM) nucleus, the somatotopic relay station in the thalamus (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018; Blumenfeld, 2022).

Location in the Brainstem: Ascends deep within the brainstem tegmentum, closely adjacent to the lemniscus medialis

and anterolateral system (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines, 2012).

Decussation Level: Second-order sensory fibers emerging from the tractus spinalis nervi trigemini in the medulla oblongata (particularly the pars caudalis), which receives facial pain and temperature sensation, immediately cross within the brainstem to form the ventral trigeminothalamic tract (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018; Blumenfeld, 2022).

Lesion Findings: Unilateral intraparenchymal brainstem damage may cause contralateral loss of pain and temperature sensation in one half of the face (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

(Critical Difference: The nucleus spinalis nervi trigemini, which carries the primary facial pain and temperaturefibers that have not yet crossed, is located laterally; its damage causes pain and temperature loss in the ***ipsilateral face*** *(Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019). This explains thecrossed sensory loss in Wallenberg syndrome: ipsilateral in the face and contralateral in the body.)*

Fasciculus Longitudinalis Medialis (MLF)

Function: Coordinates horizontal conjugate eye movements, governing the simultaneous action of the n. abducens (m. rectus lateralis) and contralateral n. oculomotorius (m. rectus medialis) during horizontal gaze (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). It also conveys the vestibulo-ocular reflex (VOR), which maintains eye position in response to head movements (Arıncı & Elhan, 2014; Splittgerber, 2019).

Location in the Brainstem: A small, densely myelinated fiber bundle extending vertically on both sides of the midline, ventromedially throughout the brainstem, immediately ventral to the

ventricular floor or aqueductus cerebri(Arıncı & Elhan, 2014; Haines, 2012; Moore et al., 2018).

Decussation Level: Internuclear neurons in the abducens nucleus immediately cross into the MLF and ascend to the subgroup of the contralateral oculomotor nucleus supplying the m. rectus medialis (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Lesion Findings: Produces internuclear ophthalmoplegia (INO) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019). The eye on the side of gaze exhibits nystagmus during abduction, while the opposite eye cannot adduct (look inward) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019).

Spinocerebellar Pathways and Cerebellar Peduncles

Function: Maintains movement coordination, posture, and tone by carrying unconscious proprioceptive and locomotor somatic information from the trunk and extremities to the cerebellum(Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Splittgerber, 2019).

Location in the Brainstem: The tractus spinocerebellaris posterior and tractus cuneocerebellaris enter the cerebellum as a thick bundle along the dorsolateral surface of the medulla, forming the restiform body (pedunculus cerebellaris inferior) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines, 2012). The tractus spinocerebellaris anterior ascends laterally at the pontine level and enters the cerebellum through the pedunculus cerebellaris superior (brachium conjunctivum) (Haines & Mihailoff, 2018; Moore et al., 2018).

Decussation Level: The tractus spinocerebellaris posterior does not cross (it is entirely ipsilateral) (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Splittgerber, 2019).The tractus spinocerebellaris anterior crosses in the spinal cord, then crosses again at the pedunculus cerebellaris superior as it enters the cerebellum, thus undergoing a

"double crossing" (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018; Splittgerber, 2019). Therefore, all cerebellar inputs terminate in the cerebellar hemisphere on the same side of the body from which they originated(Arıncı & Elhan, 2014).

Lesion Findings: Cerebellar findings ipsilateral to the lesion: ataxia, a wide-based gait, impaired coordination, dysmetria, and dysdiadochokinesia (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Ozan, 2014).

Descending Sympathetic Fibers

Function: Provides the sympathetic innervation controlling eyelid smooth muscle tone (m. tarsalis superior), pupillary dilatation (m. dilator pupillae), and facial sweating (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Moore et al., 2018).

Location in the Brainstem: Descends through the lateral/posterolateral tegmentum, in extrem*ely close proximity to the anterolateral*system and nucleus/tractus spinalis nervi trigemini (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines, 2012).

Decussation Level: Descends continuously without crossing (ipsilaterally) from the hypothalamus to the intermediolateral horn of the upper thoracic spinal cord (T1-T2)(Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018; Splittgerber, 2019).

Lesion Findings: Ipsilateral Horner syndrome: mild ptosis (drooping eyelid), miosis (pupillary constriction/anisocoria), and anhidrosis (loss of facial sweating)(Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019).

The relationships between pathway function, decussation level, and the side of the resulting deficit are summarized in Table 3 (Arıncı & Elhan, 2014; Haines, 2012; Haines & Mihailoff, 2018; Splittgerber, 2019).

Table 3. Major pathways, their functions, decussation levels, and lesion findings.

Pathway	*Function*	*Decussation*	*Lesion findings*
Corticospinal tract	Voluntary skeletal muscle control	Pyramidal decussation in the caudal medulla	Contralateral spastic hemiparesis or hemiplegia above the decussation
Corticonuclear fibers	Motor control of cranial nerve nuclei	Crossed input to the lower facial muscles and genioglossus	Contralateral lower facial weakness or tongue deviation with damage to the relevant crossed fibers
Medial lemniscus	Conscious proprioception, vibration, and discriminative touch	Internal arcuate fibers cross in the caudal medulla	Contralateral loss of these sensory modalities above the decussation
Anterolateral system	Body pain, temperature, and crude touch	Anterior white commissure of the spinal cord	Contralateral body pain and temperature loss
Spinal trigeminal system	Facial pain and temperature input	Primary fibers descend ipsilaterally before synapsing	Ipsilateral facial pain and temperature loss
Ventral trigeminothalamic tract	Facial sensory transmission to the VPM	Second-order fibers cross within the brainstem	Contralateral facial pain and temperature loss
Medial longitudinal fasciculus	Coordination of horizontal conjugate gaze	Abducens internuclear neurons cross into the opposite MLF	Internuclear ophthalmoplegia with impaired ipsilateral adduction
Spinocerebellar pathways	Unconscious proprioception and movement coordination	Posterior pathway uncrossed; anterior pathway double crossed	Ipsilateral ataxia, dysmetria, and dysdiadochokinesia
Descending sympathetic fibers	Eyelid tone, pupillary dilatation, and facial sweating	Uncrossed descent from the hypothalamus	Ipsilateral Horner syndrome

Mechanism of Crossed Neurological Findings

The concept of a crossed syndrome describes the manifestations of lesion-induced damage in two different anatomical planes (Arıncı & Elhan, 2014; Haines & Mihailoff, 2018):

Ipsilateral (Same-Side) Findings: Because cranial nerve nuclei or their emerging root fibers are directly damaged within the brainstem before crossing to the opposite side (decussating), cranial nerve palsies are always observed in the facial and head structures ipsilateral to the lesion (Arıncı & Elhan, 2014).

Contralateral (Opposite-Side) Findings: The long motor pathways to the body (tractus corticospinalis) have not yet decussated at the brainstem level; therefore, brainstem damage interrupts signals to the opposite side of the body. Sensory pathways from the body (anterolateral system), however, ascend after crossing before reaching the brainstem (Arıncı & Elhan, 2014). Thus, unilateral brainstem damage affecting these fibers causes motor (hemiplegia/hemiparesis) or sensory (hemianesthesia) loss in the trunk and extremities contralateral to the lesion (Arıncı & Elhan, 2014).

In clinical neurology, this mechanism provides a golden rule of localization (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Ozan, 2014):

Ipsilateral cranial nerve finding + Contralateral extremity/trunk finding -> Brainstem Lesion

The combination of an ipsilateral cranial nerve palsy, such as impaired eye abduction or paralysis of one half of the face, with contralateral weakness or sensory loss provides a key clinical pattern for localizing a lesion to the brainstem (Arıncı & Elhan, 2014; Schneider et al., 2023). Understanding which fibers have already

crossed and which have not is central to interpreting the side of each finding.

Anatomical Explanation Through an Example Lesion

To understand how a crossed finding (alternating deficit) develops, consider a concrete clinical scenario:**a unilateral focal lesion in the left ventral mesencephalon (midbrain)**(Splittgerber, 2019; Blumenfeld, 2022).

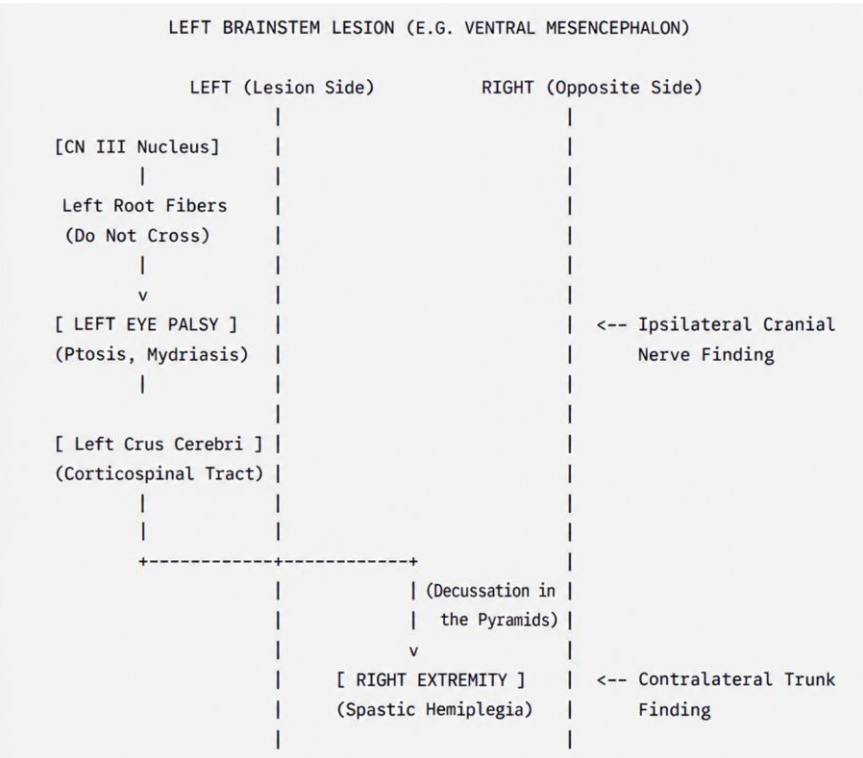
This focal lesion damages two principal structures within the mesencephalic parenchyma(Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022):

Left n. oculomotorius (CN III) root fibers (fascicles): These fibers emerge from the left nucleus nervi oculomotorii and leave the mesencephalon ventrally on their own side, without having crossed (Moore et al., 2018). Because the lesion destroys these fibers on the left, **a complete third cranial nerve palsy occurs ipsilateral to the lesion (in the left eye)** (ptosis, pupillary dilatation, and outward/downward deviation of the eye) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Descending tractus corticospinalis within the left crus cerebri: These motor fibers originate in the left cerebral cortex and descend through the left crus cerebri (Arıncı & Elhan, 2014). They have not yet crossed; however, farther down, at the motor decussation (decussatio pyramidum) at the medulla-spinal cord boundary, they will **cross to the right and innervate the skeletal muscles of the right half of the body** (Arıncı & Elhan, 2014). Because the left mesencephalic lesion affects these as-yet-uncrossed fibers, the clinical presentation is **spastic hemiplegia (loss of strength) on the opposite side of the body (right extremities and trunk)** (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Consequently, the crossed clinical presentation is: **Left brainstem lesion -> Cranial nerve palsy in the left eye (ipsilateral finding) + Paralysis of the right half of the body (contralateral finding)** (Figure 1).

Figure 1. Formation of crossed findings in a left ventral mesencephalic lesion.



From Clinical Findings to Lesion Localization

Before becoming immersed in the complex nomenclature of brainstem lesion syndromes, clinicians can use logical principles to establish localization in two simple geometric dimensions (vertical and horizontal) (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018). This reasoning helps define lesion boundaries with millimetric precision (Arıncı & Elhan, 2014).

Rostrocaudal (Vertical) Localization

Localization in the vertical dimension is based directly on identifying the affected cranial nerve (Arıncı & Elhan, 2014). Each brainstem segment is the exit site of its characteristic cranial nerves (Arıncı & Elhan, 2014):

- Mesencephalon: Findings involving the n. oculomotorius (CN III) and n. trochlearis (CN IV) indicate this level(Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018).
- Pons: Findings involving the n. trigeminus (CN V), n. abducens (CN VI), n. facialis (CN VII), and n. vestibulocochlearis (CN VIII) establish pontine pathology (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).
- Medulla Oblongata (Bulbus): Findings involving the n. glossopharyngeus (CN IX), n. vagus (CN X), n. accessorius (CN XI), and n. hypoglossus (CN XII) indicate medullary localization (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). Clinical–radiological assessment of medial medullary infarction also uses rostrocaudal and ventrodorsal lesion classification, providing a clinical application of these anatomical axes (Sezgin et al., 2024).

Medial-Lateral (Horizontal) Localization and the Rule of 4

Functionally, a horizontal section of the brainstem is divided into two main vascular and anatomical territories: a medial (paramedian) group and a lateral (circumferential) group (Arıncı & Elhan,2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022). The Rule of 4, frequently used in neurology to facilitate clinical localization and popularized by Gates, categorizes brainstem structures as follows:

Four Principal Medial (Paramedian) Structures (Beginning with M):

Motor Tract (tractus corticospinalis): Damage causes contralateral spastic hemiparesis/hemiplegia (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Medial Lemniscus (lemniscus medialis): Damage causes contralateral loss of deep sensation (proprioception and vibration) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Medial Longitudinal Fasciculus (MLF/fasciculus longitudinalis medialis): Damage causes ipsilateral internuclear ophthalmoplegia (inability to adduct the eye during horizontal gaze and nystagmus) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Motor Cranial Nerve Nuclei: Among the twelve cranial nerves, those designated somatic motor and numbered as multiples of three, the nuclei of cranial nerves **III, IV, VI, and XII**, lie medially near the midline (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). Damage causes the corresponding motor nerve palsy ipsilateral to the lesion (Arıncı &Elhan, 2014; Moore et al., 2018).

Four Principal Lateral (Circumferential) Structures (Beginning with S):

Spinothalamic Tract (Anterolateral System - ALS): Damage causes contralateral loss of pain and temperature sensation in the body (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Sensory Trigeminal (Nucleus spinalis nervi trigeminiand Tractus spinalis nervi trigemini): Damage causes loss of pain and temperature sensation in the face ipsilateral to the lesion (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Splittgerber, 2019).

Spinocerebellar Pathways and Cerebellar Peduncles (tractus spinocerebellaris and pedunculus cerebellaris): Damage produces cerebellar ataxia and impaired coordination ipsilateral to the lesion (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Haines, 2012).

Sympathetic Pathway (Descending Sympathetic Fibers): Damage causes Horner syndrome (ptosis, miosis, and anhidrosis) ipsilateral to the lesion (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Knowledge of these two principal columns in clinical localization allows the combination of the patient's cranial and systemic manifestations to identify the precise brainstem location of the lesion (e.g., medial pons or lateral medulla) within seconds (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018; Blumenfeld, 2022).

Table 4 brings together the major medial and lateral structures used in this localization framework (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Table 4. Medial and lateral brainstem structures and their principal lesion findings.

Territory	*Structure*	*Principal lesion finding*
Medial (M)	Motor tract (corticospinal tract)	Contralateral spastic hemiparesis or hemiplegia
Medial (M)	Medial lemniscus	Contralateral proprioceptive and vibration loss
Medial (M)	Medial longitudinal fasciculus	Ipsilateral internuclear ophthalmoplegia
Medial (M)	Motor cranial nerve nuclei	Palsy of the corresponding cranial nerve
Lateral (S)	Spinothalamic tract	Contralateral body pain and temperature loss
Lateral (S)	Sensory trigeminal nucleus and tract	Ipsilateral facial pain and temperature loss
Lateral (S)	Spinocerebellar pathways and cerebellar peduncles	Ipsilateral cerebellar ataxia and impaired coordination
Lateral (S)	Sympathetic pathway	Ipsilateral Horner syndrome

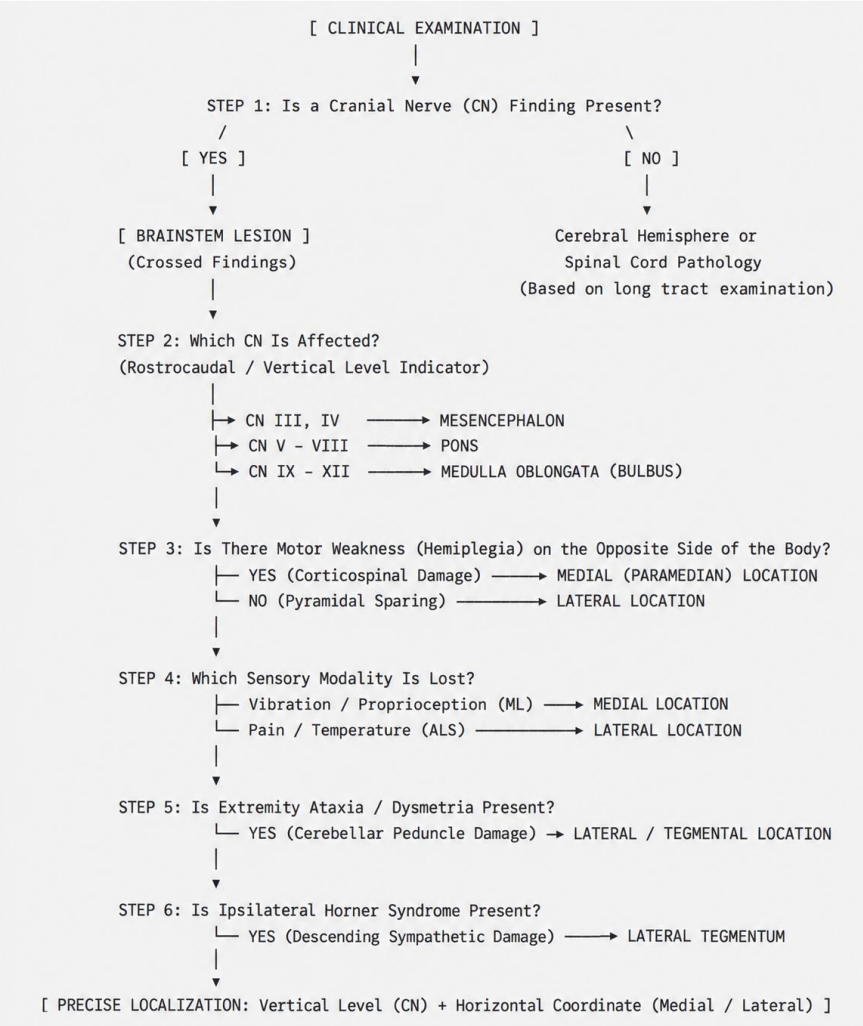
Stepwise Localization Algorithm

When assessing brainstem syndromes in clinical neurology, the most practical approach is to apply a logical, stepwise

localization algorithm based on the neurological deficits identified during bedside examination rather than memorize complex eponyms (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). This algorithm allows the vertical (rostrocaudal) and horizontal (medial-lateral) boundaries of the lesion to be identified at a millimetric level(Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

The following flowchart illustrates how clinical examination findings lead to the precise coordinates of a brainstem lesion (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022) (Figure 2):

Figure 2. A stepwise algorithm for localizing brainstem lesions from clinical findings.



Clinical Interpretation of the Algorithm

Steps 1 and 2 (Vertical Level Indicators): A cranial nerve finding establishes the vertical (rostrocaudal) level (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). For example, unilateral ptosis and pupillary dilatation accompanying diplopia (CN III) definitively

indicate a mesencephalic lesion;peripheral facial palsy (CN VII) or restricted horizontal abduction (CN VI) indicates a pontine lesion; difficulty swallowing (dysphagia), hoarseness (dysphonia) (CN IX and X), or tongue atrophy/deviation (CN XII) indicates a medullary lesion (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Steps 3 and 4 (Horizontal Territory Indicators):

Medial (Paramedian) Column: If a cranial nerve finding is accompanied by marked contralateral motor weakness (hemiplegia/hemiparesis), the lesion is ventral/medial, because transverse sections show the descending corticospinal motor fibers entirely within the medial basilar territory (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). Contralateral loss of vibration and proprioception (deep sensation) also confirms involvement of the medial ascending course of the lemniscus medialis (Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Lateral (Circumferential) Column: If motor strength is entirely preserved (motor sparing), the lesion is definitively in the lateral parenchyma, because the corticospinal motor tract is not located in the lateral brainstem (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022). In this situation, contralateral trunk pain and temperature loss indicates damage to the laterally situated anterolateral system (ALS)(Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019).

Step 5 (Cerebellar Coordination Assessment): Extremity ataxia, dysmetria, dysdiadochokinesia, and nystagmus confirm damage in the lateral tegmental regions to the SCP in the mesencephalon (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022), MCP in the pons (Blumenfeld, 2022), and ICP in the medulla (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Step 6 (Sympathetic System Assessment): Horner syndrome, characterized by ipsilateral facial ptosis, miosis, and anhidrosis, reinforces lateral localization by demonstrating

interruption of the hypothalamospinal sympathetic fibers descending through the lateral tegmentum (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Splittgerber, 2019).

Classic Eponyms and the Importance of Anatomical Localization

The classic eponyms used to describe brainstem syndromes in clinical neurology (Weber, Benedikt, Wallenberg, Millard-Gubler, etc.) are part of neurology's historical clinical heritage (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014). The following important observations should be made regarding their role in modern medical education and clinical practice:

Value in Neuroanatomy Education: Eponyms provide medical students with invaluable mental maps and educational models for understanding the cross-sectional anatomical relationships between cranial nerve nuclei and long motor and sensory pathways within a limited area (Arıncı & Elhan, 2014; Ozan, 2014).

Rarity of the "Complete Syndrome" in Actual Patients: In real clinical cases, the "classic complete syndromes" described in textbooks (e.g., a complete Benedikt or Foville syndrome with every manifestation) are exceptionally rare (Arıncı & Elhan, 2014). Most patients present with "partial" or "overlapping" syndrome variants (Arıncı & Elhan, 2014).

Vascular Variations and Lesion Size: The diameters, branching angles, and collateral networks of the penetrating arteries supplying the brainstem exhibit substantial anatomical variation between individuals (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Vlašković et al., 2022). Moreover, the millimetric intraparenchymal extent of a pathology (e.g., an ischemic stroke or hemorrhagic focus) can completely alter the clinical presentation (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). For example, extension of a lateral medullary

lesion only 1-2 mm toward the medial pyramid adds contralateral hemiplegia to the motor-sparing Wallenberg presentation, transforming it into Babinski-Nageotte syndrome (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Modern Imaging Technology: High-resolution magnetic resonance imaging (particularly DWI-MRI and T2-weighted MR sections) can now identify the precise location of brainstem damage at a millimetric level (Arıncı& Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). Consequently, attempts to attach an artificial eponymous label to a patient's presentation are diagnostically insufficient (Blumenfeld, 2022; Arıncı & Elhan, 2014). Advanced MRI techniques can improve visualization of brainstem nuclei and tracts (Shepherd & Hoch, 2022); a pilot study combining in vivo 7-T MRI with ex vivo imaging and histology demonstrated selected structures, including the oculomotor nucleus and medial longitudinal fasciculus, that are difficult to delineate with conventional imaging (Donatelli et al., 2023).

The objective when assessing brainstem syndromes is to anatomically localize the lesion by identifying the affected nuclei and tracts from clinical findings, rather than to find the syndrome's name (memorize an eponym) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Conclusion

Crossed (alternating) brainstem syndromes are among the most elegant, logically satisfying, and rational examples of localization in clinical neurology (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022). Understanding their underlying pathophysiology requires mastery of the three-dimensional anatomical architecture of the nervous system(Ozan, 2014; Blumenfeld, 2022).

The essence of these clinical correlations rests on two fundamental dimensions (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018):

Vertical (Rostrocaudal) Dimension: Identifying the affected cranial nerve palsy accurately determines the vertical level of the lesion (mesencephalon, pons, or medulla oblongata) (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022).

Horizontal (Medial-Lateral) Dimension: The modality of the body's motor and sensory deficits (hemiplegia, vibration/position loss, or pain and temperature loss) establishes whether the lesion lies in the medial or lateral parenchyma (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018; Blumenfeld, 2022).

Integrating bedside neurological findings with cross-sectional neuroanatomy allows the clinician to relate cranial nerve deficits to the vertical level of a lesion and motor, sensory, cerebellar, and autonomic findings to its horizontal position. This framework also supports identification of the likely vascular territory involved (Arıncı & Elhan, 2014; Moore et al., 2018; Blumenfeld, 2022; Salerno et al., 2022).

Modern MR imaging can confirm and refine clinical-anatomical localization. The anatomical reasoning that precedes imaging remains central to evaluating brainstem lesions, particularly in acute stroke assessment and emergency care (Arıncı & Elhan, 2014; Blumenfeld, 2022; Ahmed et al., 2023; Schneider et al., 2023).

References

Ahmed, R. A., Dmytriw, A. A., Regenhardt, R. W., Leslie-Mazwi, T. M., & Hirsch, J. A. (2023). Posterior circulation cerebral infarction: A review of clinical, imaging features, management, and outcomes. *European Journal of Radiology Open, 11*, Article 100523. https://doi.org/10.1016/j.ejro.2023.100523

Arıncı, K., & Elhan, A. (2014). *Anatomi* (5th ed., Vol. 2). Güneş Tıp Kitabevleri.

Blumenfeld, H. (2022). *Neuroanatomy through clinical cases* (3rd ed.). Oxford University Press.

Donatelli, G., Emmi, A., Costagli, M., Cecchi, P., Macchi, V., Biagi, L., Lancione, M., Tosetti, M., Porzionato, A., De Caro, R., & Cosottini, M. (2023). Brainstem anatomy with 7-T MRI: In vivo assessment and ex vivo comparison. *European Radiology Experimental, 7*, Article 71. https://doi.org/10.1186/s41747-023-00389-y

Haines, D. E. (2012). *Neuroanatomy: An atlas of structures, sections, and systems* (8th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Haines, D. E., & Mihailoff, G. A. (2018). *Fundamental neuroscience for basic and clinical applications* (5th ed.). Elsevier.

Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. R. (2018). *Clinically oriented anatomy* (8th ed.). Wolters Kluwer.

Ozan, H. (2014). *Ozan anatomi* (3rd ed.). Klinisyen Tıp Kitabevleri.

Salerno, A., Strambo, D., Nannoni, S., Dunet, V., & Michel, P. (2022). Patterns of ischemic posterior circulation strokes: A clinical, anatomical, and radiological review. *International Journal of Stroke, 17*(7), 714–722. https://doi.org/10.1177/17474930211046758

Schneider, A. M., Neuhaus, A. A., Hadley, G., Balami, J. S., Harston, G. W., DeLuca, G. C., & Buchan, A. M. (2023). Posterior circulation ischaemic stroke diagnosis and management. *Clinical Medicine, 23*(3), 219–227. https://doi.org/10.7861/clinmed.2022-0499

Sezgin, M., Aliyeva, G., Ekizoğlu, E., Yeşilot, N., & Çoban, O. (2024). Medial medullary infarction: Clinical, radiological findings and long-term prognosis. *Acta Neurologica Belgica, 124*(3), 813–820. https://doi.org/10.1007/s13760-023-02427-3

Shepherd, T. M., & Hoch, M. J. (2022). MRI-visible anatomy of the brainstem. *Neuroimaging Clinics of North America, 32*(3), 553–564. https://doi.org/10.1016/j.nic.2022.04.003

Splittgerber, R. (2019). *Snell's clinical neuroanatomy* (8th ed.). Wolters Kluwer.

Vlašković, T., Georgievski Brkić, B., Stević, Z., Vukićević, M., Đurović, O., Kostić, D., Stanisavljević, N., Marinković, I., Kapor, S., & Marinković, S. (2022). Anatomic and MRI bases for pontine infarctions with patients presentation. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases, 31*(8), Article 106613. https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2022.106613


BİDGE