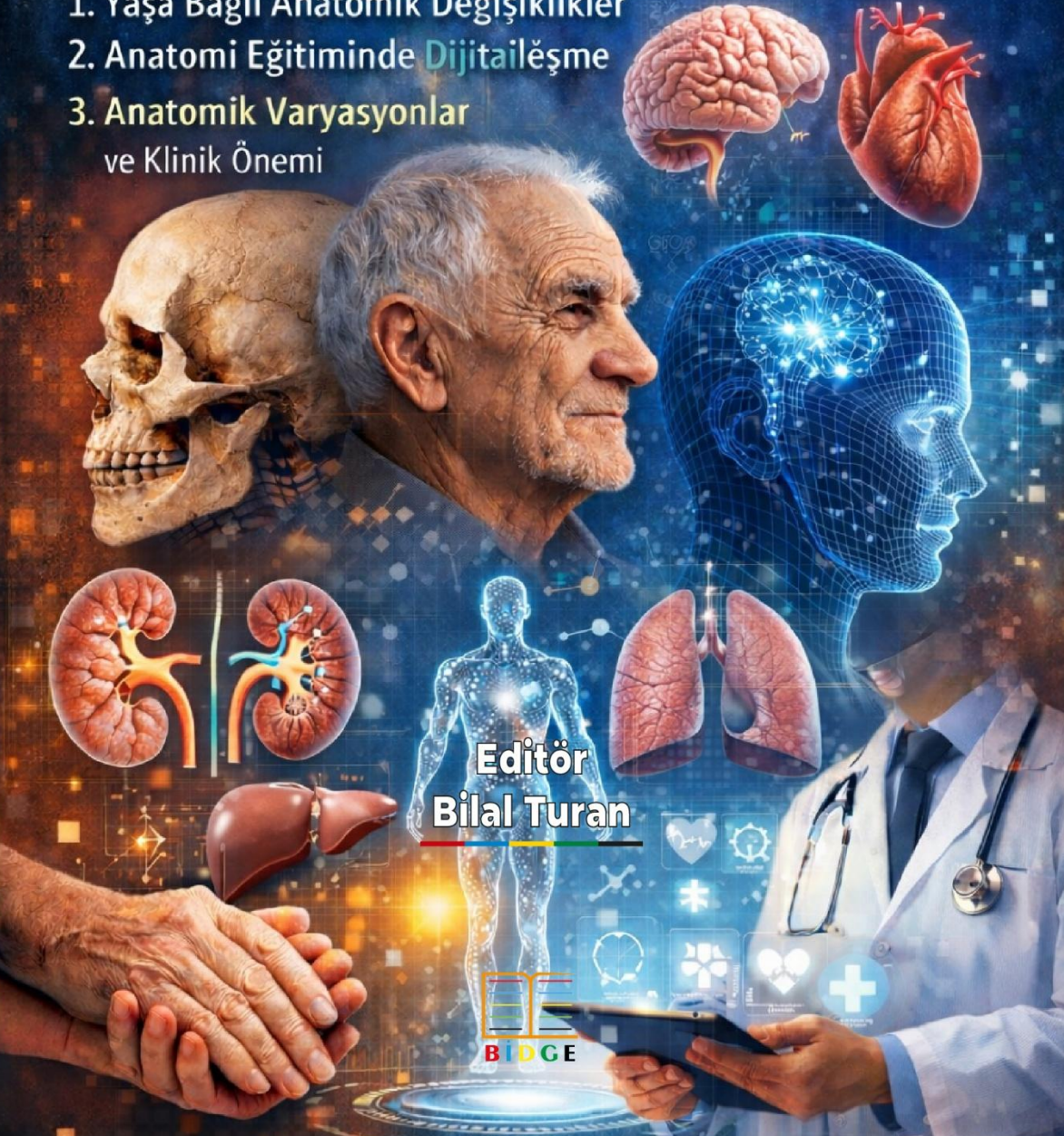


ANATOMİDE MODERN YAKLAŞIMLAR

1. Yaşa Bağlı Anatomik Değişiklikler
2. Anatomi Eğitiminde Dijitalleşme
3. Anatomik Varyasyonlar
ve Klinik Önemi



Editör
Bilal Turan

BIDGE

BİDGE Yayınları

Anatomide Modern Yaklaşımlar: Yaşlanma, Dijital Eğitim ve Klinik Uygulamalar

Editör: Dr. Bilal Turan

ISBN: 978-625-372-918-9

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 25.12.2025

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



Önsöz

İnsan anatomisi, yüzyıllardır tıp eğitiminin temelini oluşturan, durağan bir bilgi alanı olmaktan ziyade; yaşam süreci boyunca değişen, çevresel ve biyolojik etkenlerle yeniden şekillenen dinamik bir bilim dalıdır. Günümüzde anatomi, yalnızca yapıların tanımlanmasıyla sınırlı bir disiplin olmaktan çıkmış; yaşlanma biyolojisi, ileri görüntüleme yöntemleri, dijital öğrenme teknolojileri ve klinik uygulamalarla iç içe geçmiş bütüncül bir yaklaşımı gerekli kılar hâle gelmiştir. Bu bağlamda, anatomik bilginin çağdaş bilimsel gelişmeler ışığında yeniden ele alınması ve yorumlanması giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Anatomide Modern Yaklaşımlar: Yaşlanma, Dijital Eğitim ve Klinik Uygulamalar başlıklı bu eser, anatomiye klasik tanımlayıcı çerçevenin ötesine taşıyarak; yaşlanma sürecinde ortaya çıkan yapısal değişiklikleri, anatomi eğitiminde dijital dönüşümün pedagojik ve bilimsel temellerini ve anatomik varyasyonların klinik pratiğe olan yansımalarını bütüncül bir perspektifle ele almayı amaçlamaktadır. Kitapta anatomi, hem biyolojik bir süreç hem de eğitimsel ve klinik bir disiplin olarak değerlendirilmekte; güncel, kanıta dayalı ve uygulamaya yönelik yaklaşımlar bir arada sunulmaktadır.

Eserin ilk bölümünde, yaşa bağlı anatomik değişiklikler, hücresel ve moleküler mekanizmalardan başlayarak organ ve sistem düzeyindeki morfolojik yeniden yapılanmalar çerçevesinde ele alınmaktadır. Sinir, kardiyovasküler, solunum ve diğer sistemlerde yaşlanmaya bağlı ortaya çıkan anatomik değişiklikler; adaptif ve dejeneratif süreçler birlikte değerlendirilerek, bu değişimlerin klinik yansımaları güncel literatür ışığında tartışılmaktadır. Böylece yaşlanma, yalnızca anatomik kayıplar üzerinden değil, aynı zamanda yeniden organizasyon ve fonksiyonel uyum süreçleri bağlamında ele alınmaktadır.

İkinci bölümde, anatomi eğitiminde dijitalleşme, modern tıp eğitiminin önemli bileşenlerinden biri olarak incelenmektedir. Sanal ve artırılmış gerçeklik, üç boyutlu görselleştirme, dijital kadavra sistemleri ve yapay zekâ destekli öğrenme araçları; pedagojik etkinlikleri, öğrenme çıktıları ve sınırlılıklarıyla birlikte değerlendirilmektedir. Dijital teknolojilerin, geleneksel kadavra temelli eğitimin alternatifi olmaktan ziyade onu tamamlayan ve zenginleştiren araçlar olduğu vurgulanmakta; hibrit eğitim modellerinin anatomi öğretimindeki yeri bilimsel kanıtlar eşliğinde ele alınmaktadır.

Üçüncü bölümde ise anatomik varyasyonlar ve klinik önemi, embriyolojik temelleri, sınıflandırmaları ve prevalansları ile sistematik bir biçimde sunulmaktadır. Vasküler, nöral, kas-iskelet ve viseral organ varyasyonları; cerrahi, girişimsel radyoloji ve klinik uygulamalar açısından oluşturabilecekleri riskler ve gereklilikler bağlamında tartışılmaktadır. Bu bölümde, anatomik varyasyon bilgisinin hasta güvenliği ve klinik karar verme süreçlerindeki önemi vurgulanmaktadır.

Bu kitap, tıp, diş hekimliği ve sağlık bilimleri alanlarında eğitim ve uygulama süreçleriyle ilişkili okuyucular için, anatomiye yönelik güncel yaklaşımların derlendiği bir kaynak niteliği taşımayı amaçlamaktadır. Eserde ele alınan konuların, anatomik bilginin modern bilimsel ve klinik bağlamda değerlendirilmesine yönelik farklı bakış açıları sunması ve disiplinler arası etkileşimi teşvik etmesi öngörülmektedir.

Dr. Bilal TURAN

İÇİNDEKİLER

YAŞA BAĞLI ANATOMİK DEĞİŞİKLİKLER	6
Bilal TURAN	6
ANATOMİ EĞİTİMİNDE DİJİTALLEŞME	38
Bilal TURAN	38
ANATOMİK VARYASYONLAR ve KLİNİK ÖNEMİ	62
Bilal TURAN	62

YAŞA BAĞLI ANATOMİK DEĞİŞİKLİKLER

Bilal TURAN¹

Giriş

İnsan vücudunun anatomik yapıları, doğumdan itibaren başlayan ve yaşam boyu devam eden dinamik bir süreç içerisinde sürekli değişim göstermekte olup, bu değişimler özellikle ileri yaş dönemlerinde belirgin hale gelmektedir. Yaşlanma, hücresel düzeyden makroskopik organ yapılarına kadar uzanan geniş bir yelpazede kendini gösteren, multifaktöriyel ve progresif bir süreç olarak tanımlanmakta ve bu süreç boyunca vücudun tüm sistemlerinde morfolojik, histolojik ve fonksiyonel değişiklikler meydana gelmektedir (Abila, Buljan, Zheng, & Lehallier, 2024). Anatomik açıdan yaşlanma, sadece dokuların dejenerasyonu olarak değil, aynı zamanda adaptif yeniden yapılanma mekanizmalarının da devreye girdiği kompleks bir fenomen olarak ele alınmalıdır. Modern görüntüleme teknikleri, histopatolojik analizler ve moleküler biyoloji çalışmaları sayesinde, yaşa bağlı anatomik değişikliklerin altında yatan mekanizmalar ve bu değişikliklerin klinik yansımaları giderek daha iyi anlaşılmaktadır. Bu bölümde, Nomina Anatomica terminolojisi kullanılarak, insan vücudunun

¹ Doktor Öğretim Üyesi, Batman Üniversitesi, SHMYO, Orcid: 0000-0002-2954-8489

başlıca organ sistemlerinde meydana gelen yaşa bağlı anatomik değişiklikler sistematik bir şekilde ele alınacak ve güncel literatür ışığında bu değişikliklerin hücresel, doku ve organ düzeyindeki manifestasyonları detaylı olarak incelenecektir.

Systema Nervosum (Sinir Sistemi)

Sinir sistemi, yaşlanma sürecinden en belirgin şekilde etkilenen organ sistemlerinden biridir ve bu sistem içerisinde meydana gelen anatomik değişiklikler, kognitif fonksiyonlar, motor kontrol ve duysal algılamada progresif bozulmalara yol açabilmektedir. Cerebrum, cerebellum ve medulla spinalis gibi merkezi sinir sistemi yapılarında makroskopik ve mikroskopik düzeyde önemli değişiklikler gözlenmekte olup, bu değişiklikler hem nöral hücreleri hem de destek hücrelerini içermektedir.

Cerebrum'da Makroskopik Değişiklikler

Cerebrum, yaşlanma sürecinde en belirgin hacim kaybının görüldüğü yapılarından biridir ve bu hacim kaybı hem gri madde (substantia grisea) hem de beyaz madde (substantia alba) kompartmanlarında progresif olarak ilerlemektedir. Longitudinal kohort çalışmaları, yaşlı bireylerde yıllık ortalama gri madde hacminde yaklaşık %0.7 oranında, normal görünümlü beyaz madde hacminde ise %0.8 oranında azalma olduğunu göstermiştir (Abila et al., 2024). Bu hacim kayıplarına paralel olarak, ventriculus lateralis'in hacminde yıllık yaklaşık %4 oranında bir artış meydana gelmekte olup, bu ventriküler genişleme, kortikal ve subkortikal atrofinin dolaylı bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Cerebral korteksin farklı bölgeleri, yaşa bağlı hacim kaybına karşı değişken duyarlılık göstermekte ve özellikle prefrontal korteks, hippocampus ve temporal lob yapılarında atrofi daha belirgin olmaktadır. Gyrus'ların incelendiği, sulcus'ların derinleştiği ve genel olarak serebral yüzey alanının azaldığı gözlenmektedir. Bu makroskopik değişiklikler, sadece yapısal görüntüleme yöntemleriyle değil, aynı

zamanda postmortem anatomik incelemelerde de doğrulanmış bulunmaktadır.

Cerebellum ve Medulla Spinalis

Cerebellum'da da yaşa bağlı bölgesel hacim kayıpları rapor edilmiş olup, özellikle flocculus ve bazı spesifik subregionlarda orta yaştan ileri yaşa doğru selektif bir atrofi eğilimi görülmektedir (Gull, Gaser, Herrmann, & Reichenbach, 2023). Cerebellum'un motor koordinasyon, denge ve bilişsel fonksiyonlardaki rolü göz önüne alındığında, bu yapısal değişikliklerin yaşlılarda görülen denge bozuklukları ve motor kontrol problemleri ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Medulla spinalis'e ilişkin makroskopik yaşlanma verilerinin literatürde sınırlı olduğu görülmekte olup, mevcut çalışmalar daha çok beyin yapılarına odaklanmıştır; ancak spinal kord atrofisi ve spinal kanal değişikliklerinin de yaşla birlikte ortaya çıktığı klinik gözlemlerle bilinmektedir.

Mikroskopik Nöronal ve Glial Değişiklikler

Nöronlar (neurones), yaşlanma sürecinde sayısal azalma, hücre içi organellerde değişiklikler ve proteostaz mekanizmalarında bozulmalar yaşamaktadır. İnsan otopsi çalışmaları, yaşlı bireylerin prefrontal korteks, corpus striatum ve hippocampus bölgelerinde nöronal kayıp ile birlikte otofaji belirteçleri (LC3B, LAMP2A), ısı şok proteinleri (HSP70) ve mitokondriyal solunum zinciri bileşenlerinin (ATP5A gibi) ekspresyonunda artış olduğunu göstermiştir (Sukhorukov, Magnaeva, Baranich, & Ignatyev, 2022). Bu bulgular, yaşlı nöronlarda hasar görmüş proteinlerin ve organellerin temizlenmesi için kompensatuar otofajik yanıtların aktive olduğunu ve mitokondriyal fonksiyonlarda adaptif veya dejeneratif yeniden düzenlemelerin gerçekleştiğini düşündürmektedir. Nöronal kayıp, tüm beyin bölgelerinde uniform olmayıp, bazı bölgelerde (örneğin hippocampus CA1 alanı, substantia nigra) daha belirgin olmaktadır.

Neuroglia hücreleri de yaşlanmadan önemli ölçüde etkilenmektedir. Oligodendrositler tarafından oluşturulan myelin kılıflarında dejenerasyon, aksonlarda hasar ve beyaz madde mikroyapısal bütünlüğünde bozulma, yaşlı bireylerde ve hayvan modellerinde diffüzyon tensor görüntüleme (DTI) çalışmalarıyla gösterilmiştir; bu çalışmalarda fraksiyonel anizotropide azalma ve diffüzivitede artış gözlenmiştir (Abila et al., 2024; Fowler, Goerzen, Madularu, & Devenyi, 2021). Astrositlerin de reaktif gliosis ile karakterize değişiklikler gösterdiği ve mikroglia hücrelerinin proinflamatuvar bir fenotipe doğru kaydığı bilinmektedir. Sinaptik düzeyde, yaşla birlikte sinaps sayısında azalma ve sinaptik plastisite mekanizmalarında bozulma meydana gelmekte olup, bu değişiklikler nöral devrelerin fonksiyonel reorganizasyonuna yol açmaktadır.

Ventriculus Cerebri ve Meninges

Ventriculus lateralis, ventriculus tertius ve ventriculus quartus gibi beyin ventrikülleri, yaşla birlikte genişleme göstermekte ve bu genişleme, çevre beyin dokusundaki hacim kaybının bir yansıması olarak değerlendirilmektedir (Abila et al., 2024). Ventriküler sistemin genişlemesi, cerebrospinal sıvı (liquor cerebrospinalis) dinamiklerinde de değişikliklere neden olabilmektedir. Meninges (dura mater, arachnoidea, pia mater) yapılarının yaşla ilişkili histopatolojik değişiklikleri hakkında mevcut literatürde detaylı veriler sınırlı olmakla birlikte, meningeal kalınlaşma ve fibrozis gibi değişikliklerin klinik olarak gözleendiği bilinmektedir.

Vasküler Değişiklikler ve Beyaz Madde Hiperintensiteleri

Sinir dokusunu besleyen vasküler yapılarda yaşla birlikte önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Küçük damar hastalığı, beyaz madde hiperintensitelerinin (white matter hyperintensities, WMH) artışı ve beyaz madde bütünlüğünde azalma, yaşlı bireylerde

sıkça gözlenmekte ve bu bulgular nörodejenerasyonla ilişkilendirilmektedir (Abila et al., 2024). Mikrovasküler kayıp, endotel disfonksiyonu ve kan-beyin bariyerinin geçirgenliğinde artış, beyin dokusunun perfüzyonunu olumsuz etkilemekte ve iskemik değişikliklere zemin hazırlamaktadır. Periferik afferent girdi azalması da merkezi mikroyapısal yeniden yapılanmayı ve fonksiyonel kazanım fenomenlerini tetikleyebilmektedir (Fowler et al., 2021).

Hücreesel ve Moleküler Mekanizmalar

Yaşlanan beyinde proteostaz mekanizmalarının bozulması, otofaji yollarında değişiklikler, mitokondriyal disfonksiyon, oksidatif stres artışı ve DNA hasar yanıtının aktivasyonu gibi çoklu hücreesel süreçler bir araya gelerek anatomik değişikliklere yol açmaktadır. Otofaji belirteçlerinin artmış ekspresyonu, hücrelerin hasar görmüş proteinleri ve organelleri temizleme kapasitesinin yetersiz kaldığını veya kompensatuar bir yanıt geliştirdiğini göstermektedir (Sukhorukov et al., 2022). Mitokondrilerde yapısal ve fonksiyonel değişiklikler, enerji metabolizmasında azalmaya ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretiminde artışa neden olmaktadır. Myelin kılıflarında g-ratio değişiklikleri ve aksonlarda dejenerasyon, sinir iletim hızının azalmasına ve aksonların kırılabilirliğinin artmasına yol açmaktadır.

Klinik Önemi

Sinir sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, kognitif gerileme, hafıza bozuklukları, motor kontrol problemleri, denge ve koordinasyon sorunları gibi klinik manifestasyonlarla kendini göstermektedir. Bölgesel gri ve beyaz madde kaybı ile kognitif ve sensorimotor fonksiyonlardaki değişiklikler arasında korelasyonlar bulunmakla birlikte, tüm yaşlı bireylerde anatomik değişikliklerin mutlaka fonksiyonel bozulmaya yol açmadığı da unutulmamalıdır (Abila et al., 2024). Görüntüleme biyobelirteçleri (volumetri,

diffüzyon metrikleri, ventriküler boyut) yaşlanma yörüngelerinin sınıflandırılmasında ve nörodejeneratif hastalıkların erken tespitinde kullanılabilmektedir.

Systema Cardiovasculare (Kalp-Damar Sistemi)

Kardiyovasküler sistem, yaşlanma sürecinde yapısal ve fonksiyonel yeniden yapılanma geçiren, klinik açıdan büyük önem taşıyan bir sistemdir. Cor (kalp), arteriae (arterler), venae (venler) ve mikrosirkülasyon ağı, yaşla birlikte kompleks değişiklikler göstermekte ve bu değişiklikler kardiyovasküler rezervin azalmasına, hastalıklara yatkınlığın artmasına ve morbidite-mortalite riskinin yükselmesine yol açmaktadır.

Kalp'de (Cor) Makroskopik ve Mikroskopik Değişiklikler

Kalbin anatomik yapısında yaşa bağlı önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Ekokardiyografik çalışmalar, yaşla birlikte sol ventrikül (ventriculus sinister) duvar kalınlığında artış, miyokardiyal kompliyansda azalma ve diyastolik disfonksiyonun geliştiğini göstermiştir (Agrawal & Nagueh, 2022). Bu değişiklikler, normal yaşlanmanın karakteristik özellikleri olarak kabul edilmekte ve kardiyovasküler risk faktörlerini artırmaktadır. Myocardium'da interstisyel fibrozis artışı, kollajen birikimi ve elastik liflerde dejenerasyon, kalpte sertleşmeye ve doluş bozukluklarına neden olmaktadır. Atrium'larda da benzer değişiklikler görülmekte ve atriyal fibrilasyon gibi aritmilere zemin hazırlanmaktadır.

Valvulae cordis (kalp kapakçıkları) da yaşlanmadan etkilenmekte olup, valvüler yapılarda kalınlaşma, fibrokalsifik değişiklikler ve yaprakçık biyomekaniğinde bozulmalar meydana gelmektedir (Agrawal & Nagueh, 2022). Özellikle valvula aortae ve valvula mitralis'te kalsifikasyon ve dejeneratif değişiklikler sık görülmekte ve bu durum valvüler stenoz veya yetmezliğe yol açabilmektedir. Endocardium'da da kalınlaşma ve fibrozis gözlenmektedir.

Arteriyel ve Venöz Duvar Değişiklikleri

Arteriyel sistem, yaşlanmanın en belirgin etkilerinin görüldüğü yapılardan biridir. Tunica intima'da kalınlaşma, tunica media'da elastin fragmentasyonu, kollajen birikimi ve düz kas hücrelerinde değişiklikler, arteriyel sertleşmeye (arteriosclerosis) yol açmaktadır (Iliev, Kotov, Stamenov, & Landzhov, 2023). Bu değişiklikler, nabız dalga hızının artmasına, sistolik kan basıncının yükselmesine ve kalp üzerine yükün artmasına neden olmaktadır. Elastik arterlerde (aorta, arteria carotis communis, arteria subclavia gibi) yaşla birlikte çap artışı ve tortuozite (kıvrımlılık) gelişmektedir. Yakın tarihli bir kesitsel bilgisayarlı tomografi çalışması, kadınlarda yaşla birlikte vücut yüzey alanına göre düzeltilmiş aorta çapında daha hızlı artış ve ileri yaşlarda daha belirgin tortuozite olduğunu göstermiştir (Meng, Cheng, Liu, & Wang, 2023). Bu cinsiyet farklılıkları, hormonal etkilerin ve yapısal özelliklerin arteriyel yaşlanmadaki rolünü vurgulamaktadır.

Tunica media'da elastik lamellerin parçalanması ve kollajen/elastin oranının değişmesi, arterlerin esnekliğini kaybetmesine ve kompliyansın azalmasına yol açmaktadır. Tunica adventitia'da da fibrozis ve kalınlaşma gözlenmektedir. Venöz sistemde ise vena duvarlarında gevşeme, valvula venosa'larda yetmezlik ve venöz tonusda azalma meydana gelmekte, bu da venöz dönüşün bozulmasına ve variköz ven gelişimine katkıda bulunmaktadır.

Mikrovasküler Değişiklikler

Kapiller yoğunluğunda azalma, yaşlanan kardiyovasküler sistemin önemli bir özelliğidir. Deneysel hayvan çalışmaları, yaşlı myocardium'da kapiller yoğunluğunun azaldığını ve vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) ekspresyonunda değişiklikler olduğunu göstermiştir; bu değişiklikler ventriküller arasında bölgesel farklılıklar göstermekte ve perfüzyon bozukluklarına

katkıda bulunmaktadır (Iliev et al., 2023). Mikrovasküler rarefaksiyon (damar yoğunluğunda azalma), doku perfüzyonunun bozulmasına, iskekiye ve fibrozise zemin hazırlamaktadır. Endotel disfonksiyonu, azalmış nitrik oksit (NO) biyoyararlanımı, artmış oksidatif stres ve proinflatuar bir endotel fenotipi, mikrovasküler yaşlanmanın temel mekanizmalarıdır (Iliev et al., 2023).

Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar

Kardiyovasküler yaşlanmanın altında yatan hücresel mekanizmalar arasında, hücresel senesans, kronik düşük dereceli inflamasyon (inflammaging), oksidatif stres, mitokondriyal disfonksiyon ve ekstrasellüler matriks yeniden yapılanması yer almaktadır. Miyokardiyal hücrelerde ve vasküler düz kas hücrelerinde senesans belirteçlerinin birikimi, senesans ile ilişkili sekretuar fenotip (SASP) faktörlerinin salınımı ve bu faktörlerin doku yeniden yapılanmasını teşvik etmesi, yaşlanma sürecinin önemli bileşenleridir. VEGF ve diğer anjiyojenik sinyalizasyon yollarında değişiklikler, yeni damar oluşumunu (neovaskülojenesis) bozarak mikrovasküler ağın yenilenmesini engellemektedir (Iliev et al., 2023).

Klinik Önemi

Kardiyovasküler sistemdeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, diyastolik kalp yetmezliği (özellikle preserved ejection fraction ile seyreden kalp yetmezliği, HFpEF), hipertansiyon, koroner arter hastalığı, aritmi ve periferik vasküler hastalıklar gibi klinik durumların gelişimine zemin hazırlamaktadır. Diyastolik fonksiyonda azalma, sistolik yükte artış ve kardiyovasküler rezervin azalması, yaşlı bireylerde egzersiz kapasitesini sınırlamakta ve stres durumlarında dekompanasyona yatkınlık yaratmaktadır. Çevresel maruziyetler (örneğin, dizel egzoz gazları gibi hava kirleticileri) hayvan modellerinde akciğer yapısal yaşlanma süreçlerini ve

inflamasyonu yoğunlaştırmakta ve benzer etkilerin kardiyovasküler sistem üzerinde de olabileceği düşünülmektedir.

Systema Respiratorium (Solunum Sistemi)

Solunum sistemi, yaşlanma sürecinde hem yapısal hem de fonksiyonel değişikliklere uğramakta ve bu değişiklikler solunum rezervinin azalmasına, gaz değişiminin bozulmasına ve solunum yolu hastalıklarına yatkınlığın artmasına yol açmaktadır. Pulmo (akciğer), bronchi (bronşlar), alveoli (alveol kesecikleri) ve thorax (göğüs kafesi) yapılarında meydana gelen anatomik değişiklikler, yaşlı bireylerde solunum fonksiyonlarının kademeli olarak azalmasına neden olmaktadır.

Akciğer (Pulmo) ve Bronchi'deki Yapısal Değişiklikler

Akciğer parankiminde yaşla birlikte önemli yapısal değişiklikler meydana gelmektedir. Alveolar yapıda basitleşme, elastik geri tepme kuvvetinde azalma ve hava yolu yapılarında değişiklikler, ventilasyon etkinliğini azaltmaktadır. Yaşlanan akciğerlerde senesant hücrelerin biriktiği ve bu hücrelerin SASP profili ile düşük dereceli inflamasyonu ve doku yeniden yapılanmasını teşvik ettiği gösterilmiştir (Abila et al., 2024). Alveolar duvar kalınlığında değişiklikler, alveolar septum'larda dejenerasyon ve alveolar boşlukların genişlemesi (senil amfizem), yaşlı akciğerlerin karakteristik özellikleridir. Bronchi ve bronchioli'lerde de duvar kalınlaşması, mukoza atrofisi, kıkırdak yapılarında kalsifikasyon ve hava yolu kollapsına yatkınlık artışı gözlenmektedir.

Pleura visceralis ve pleura parietalis'te fibrozis ve kalınlaşma meydana gelmekte, bu da akciğerlerin göğüs kafesi içindeki hareketlerini kısıtlayabilmektedir. Bronchial mukozada goblet hücrelerinde artış ve silier fonksiyonlarda bozulma, mukus klirensi etkinliğini azaltmakta ve enfeksiyonlara yatkınlığı artırmaktadır.

Thorax ve Solunum Kaslarında Değişiklikler

Göğüs kafesini oluşturan costae (kaburgalar), sternum ve columna vertebralis'te yaşa bağlı değişiklikler, solunum mekanizmasını etkilemektedir. Kosta kıkırdaklarında kalsifikasyon, kosto-vertebral ve kosto-sternal articulationes'lerde hareket kısıtlılığı ve göğüs kafesinde rijidite artışı, toraks kompliyansını azaltmaktadır. Musculi intercostales (interkostal kaslar), diaphragma ve diğer aksesuar solunum kaslarında sarkopeni ve kas gücünde azalma, solunum iş yükünü artırmakta ve vital kapasitenin azalmasına katkıda bulunmaktadır. Diaphragma'nın kas liflerinde atrofi ve kontraktıl fonksiyonlarda azalma, özellikle zorlu solunum sırasında solunum etkinliğini olumsuz etkilemektedir.

Hücrel ve Moleküler Mekanizmalar

Akciğerlerde yaşlanmanın hücrel mekanizmaları arasında, senesant hücrelerin birikimi, SASP faktörlerinin salınımı, kronik inflamasyon, oksidatif stres, matriks metalloproteinazların (MMP) aktivasyonu ve ekstrasellüler matriks yeniden yapılanması yer almaktadır. Senesant alveolar epitel hücreleri ve fibroblastlar, proinflamatuvar sitokinler, kemokinler ve matriks degradasyon enzimleri salgılayarak doku yeniden yapılanmasını teşvik etmektedir (Abila et al., 2024). Elastin liflerinde fragmentasyon ve kollajen birikimi, akciğerlerin elastik özelliklerini kaybetmesine neden olmaktadır. Alveoler makrofajlarda fonksiyonel değişiklikler ve T lenfosit yanıtlarında bozulma, immün savunma mekanizmalarını zayıflatmaktadır.

Klinik Önemi

Solunum sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, zorlu vital kapasite (FVC), birinci saniyedeki zorlu ekspiratuvar volüm (FEV1) ve gaz difüzyon kapasitesinde azalmaya yol açmaktadır. Bu fonksiyonel değişiklikler, egzersiz kapasitesini

sınırlamakta, dispne eşiğini düşürmekte ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), pnömoni ve diğer solunum yolu enfeksiyonlarına yatkınlığı artırmaktadır. Çevresel maruziyetler (sigara dumanı, hava kirliliği, mesleki tozlar) akciğer yapısal yaşlanma süreçlerini hızlandırmakta ve inflamasyonu yoğunlaştırmaktadır.

Systema Digestorium (Sindirim Sistemi)

Sindirim sistemi, tractus gastrointestinalis (gastrointestinal kanal) ve glandulae digestoriae (sindirim bezleri) olmak üzere iki ana bileşenden oluşmakta olup, yaşlanma sürecinde bu sistemin tüm komponentlerinde değişen derecelerde anatomik ve fonksiyonel değişiklikler meydana gelmektedir. Cavitas oris'den (ağız boşluğu) rectum'a kadar uzanan sindirim kanalının her segmentinde, yaşa bağlı spesifik histolojik ve morfolojik değişiklikler gözlenmektedir.

Tractus Gastrointestinalis'te Bölgesel Değişiklikler

Geniş ölçekli histolojik analizler, farklı dokularda uniform olmayan, dokuya özgü yaşlanma imzaları olduğunu ve bazı organların histolojik yaşlanma değişikliklerini daha erken dönemlerde (20-40 yaş) gösterirken, diğerlerinin bimodal paternler sergilediğini ortaya koymuştur (Abila et al., 2024). Cavitas oris'te dentes (dişler) kaybı, gingiva (diş eti) atrofi, lingua'nın (dil) papillae'lerinde azalma ve tükürük bezlerinde (glandulae salivales) atrofi ve sekresyon azalması görülmektedir. Oesophagus'ta (yemek borusu) peristaltik hareketlerde yavaşlama, tunica muscularis'te dejenerasyon ve gastro-oesophageal sfinkter tonusunda azalma meydana gelmektedir.

Gaster (mide) mukozasında atrofi, parietal hücrelerde azalma ve asit sekresyonunda düşüş, yaşlı bireylerde sık görülen değişikliklerdir. Tunica mucosa'da incelmeye, lamina propria'da kronik inflamatuvar hücre infiltrasyonu ve glandulae gastricae'de atrofi gözlenmektedir. Intestinum tenue (ince bağırsak) ve intestinum

crassum'da (kalın bağırsak) villi yüksekliğinde azalma, mukozal yüzey alanında küçülme, goblet hücre sayısında değişiklikler ve bağırsak bariyeri fonksiyonunda bozulma meydana gelmektedir. Tunica muscularis'te düz kas hücrelerinde atrofi ve motilite bozuklukları, konstipasyon ve diğer gastrointestinal semptomların ortaya çıkmasına katkıda bulunmaktadır.

Hepar, Pancreas ve Vesica Biliaris

Hepar (karaciğer), pancreas (pankreas) ve vesica biliaris (safra kesesi) gibi aksesuar sindirim organlarının yaşa bağlı histolojik değişikliklerine ilişkin mevcut literatürde detaylı anatomik tanımlamalar sınırlı olmakla birlikte, genel olarak bu organlarda da yapısal ve fonksiyonel değişiklikler meydana geldiği bilinmektedir. Hepar'da hepatosit sayısında azalma, yağlanma (steatosis), fibrozis ve sinüzoidal endotel hücrelerinde değişiklikler gözlenmektedir. Pancreas'ta exocrine bezlerde atrofi, fibrozis ve insülin salgılayan beta hücrelerinde fonksiyonel azalma, yaşlı bireylerde glukoz homeostazının bozulmasına katkıda bulunmaktadır. Vesica biliaris'te duvar kalınlaşması ve safra taşı oluşumuna yatkınlık artışı görülmektedir.

Histolojik Değişiklikler

Gastrointestinal kanalın histolojik yapısında, tunica mucosa, tunica submucosa, tunica muscularis ve tunica serosa katmanlarının tümünde yaşa bağlı değişiklikler meydana gelmektedir. Mukozal epitel hücrelerinde yenilenme hızında azalma, kök hücre fonksiyonlarında bozulma ve epitel bariyeri bütünlüğünde zayıflama gözlenmektedir. Lamina propria'da kronik inflamasyon, fibrozis ve vasküler değişiklikler sıkça görülmektedir. Tunica muscularis'te düz kas hücrelerinde atrofi, plexus myentericus (Auerbach plexusu) ve plexus submucosus (Meissner plexusu) nöronlarında kayıp, gastrointestinal motilitenin azalmasına yol açmaktadır.

Klinik Önemi

Sindirim sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, disfaji, gastroözofageal reflü, dispepsi, malabsorbsiyon, konstipasyon ve diğer gastrointestinal semptomların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bağırsak bariyeri fonksiyonunun bozulması, bakteriyel translokasyona ve sistemik inflamasyona katkıda bulunabilmektedir. Hepar fonksiyonlarındaki azalma, ilaç metabolizmasını etkilemekte ve polifarmasi uygulanan yaşlı bireylerde ilaç etkileşimleri riskini artırmaktadır.

Systema Urinarium (İdrar Sistemi)

İdrar sistemi, ren (böbrekler), ureter, vesica urinaria (mesane) ve urethra'dan oluşmakta olup, yaşlanma sürecinde bu sistemin tüm komponentlerinde önemli yapısal ve fonksiyonel değişiklikler meydana gelmektedir. Renal yaşlanma, glomerular filtrasyon hızında azalma, tübüler fonksiyon bozuklukları ve üriner sistem anatomi ve fizyolojisinde progresif değişikliklerle karakterizedir.

Böbrek (Ren)'de Yapısal ve Fonksiyonel Değişiklikler

Böbreklerde yaşla birlikte makroskopik olarak hacim ve ağırlık kaybı meydana gelmektedir. Cortex renalis (böbrek korteksi) incelerken, medulla renalis'te de atrofi gözlenmektedir. Mikroskopik düzeyde, glomerulus'larda skleroze glomerül sayısında artış, glomerular bazal membran kalınlaşması, mesangial matriks genişlemesi ve podositlerin (visceral epitel hücreleri) kaybı görülmektedir. Tubulus renalis'lerde atrofi, bazal membran kalınlaşması, tübüler epitel hücrelerinde dejenerasyon ve interstisyel fibrozis artışı, yaşlı böbreklerin karakteristik histolojik özellikleridir.

Fare modellerinde yapılan çalışmalar, hücresel senesans yolaklarının (DNA hasar yanıtı) yaklaşık 12 aylık yaşta erken aktivasyonunu, inflamatuvar hücre infiltrasyonunun 12 ayda başladığını ve tübüler hasar ile kollajen birikiminin daha geç

dönemlerde (18 ay) ortaya çıktığını göstermiştir (Marquez-Exposito, Cantero-Navarro, Lavozy, Fierro-Fernández, & Orejudo, 2022). Klotho proteininin down-regülasyonu ve NRF2 (nuclear factor erythroid 2-related factor 2) yolağındaki değişiklikler, progresyonun erken tetikleyicileri olarak tanımlanmıştır (Marquez-Exposito et al., 2022). Nephron sayısında azalma, renal vasküler rezistansda artış ve renal kan akımında azalma, glomerular filtrasyon hızının yaşla birlikte düşmesine yol açmaktadır.

Vesica Urinaria ve Urethra

Mesane de yaşa bağlı değişiklikler, detrusör kasında (musculus detrusor vesicae) hipertrofi veya atrofi, kollajen birikimi, mesane kompliyansında azalma ve mesane kapasitesinde değişiklikler şeklinde kendini göstermektedir. Tunica mucosa'da urotelyal hücrelerde değişiklikler, lamina propria'da fibrozis ve vasküler değişiklikler gözlenmektedir. Urethra'da sfinkter mekanizmalarında zayıflama, üretral mukozada atrofi (özellikle postmenopozal kadınlarda östrojen eksikliğine bağlı) ve üretral basınç profilinde değişiklikler meydana gelmektedir.

Nefron Düzeyinde Değişiklikler

Nefron, böbreğin fonksiyonel birimidir ve yaşlanma sürecinde nefron sayısında belirgin azalma olmaktadır. Glomerulus'ta capsula glomeruli (Bowman kapsülü) kalınlaşması, glomerular kapiller ansalarda skleroze, endotel hücrelerinde hasar ve filtrasyon yüzey alanında azalma görülmektedir. Tubulus contortus proximalis ve tubulus contortus distalis'te epitel hücre yüksekliğinde azalma, fırçamsı kenar (microvilli) kaybı ve tübüler reabsorbsiyon kapasitesinde azalma meydana gelmektedir. Ansa nephroni (Henle kulpu) ve tubulus colligens'te de benzer dejeneratif değişiklikler gözlenmektedir.

Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar

Renal yaşlanmanın altında yatan mekanizmalar arasında, sürekli DNA hasar yanıtı aktivasyonu, tübüler hücrelerde hücre döngüsü arresti, SASP up-regülasyonu, oksidatif stres (NRF2 inaktivasyonu) ve klotho kaybı yer almaktadır (Marquez-Exposito et al., 2022). Mitokondriyal disfonksiyon, kronik düşük dereceli inflamasyon, endotel disfonksiyonu ve renin-anjiyotensin-aldosteron sisteminde (RAAS) aktivasyon, renal yapısal değişikliklere katkıda bulunan diğer faktörlerdir. Yaşa bağlı idrar metabolit profilleri ve Toll-like reseptör (TLR) yolağı genlerinin up-regülasyonu, sıçan çalışmalarında genç ve yaşlı donörler arasında karşılaştırıldığında, biyolojik böbrek yaşının aday belirteçleri olarak tanımlanmıştır ve bu belirteçlerin transplantasyon için greft kalite değerlendirmesinde potansiyel uygulamaları olabileceği öne sürülmüştür (Baumgartner, Schutzenhofer, Iglseider, Hedegger, & Holzner, 2022).

Klinik Önemi

İdrar sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, glomerular filtrasyon hızında azalma, tübüler fonksiyon bozuklukları, elektrolit dengesizlikleri, ilaç klirensi azalması, nocturia (gece idrar yapma), üriner inkontinans ve üriner sistem enfeksiyonlarına yatkınlık artışı gibi klinik sonuçlara yol açmaktadır. Biyolojik yaş belirteçleri (metabolitler, inflamatuvar belirteçler) böbrek donör seçimini bilgilendirebilir ve greft sonuçlarını öngörebilir (Baumgartner et al., 2022).

Systema Genitale (Üreme Sistemi)

Üreme sistemi, erkek ve kadın organizmada farklı anatomik yapılardan oluşmakta olup, yaşlanma sürecinde her iki cinsten de belirgin yapısal ve fonksiyonel değişiklikler meydana gelmektedir.

Hormonal değişikliklerin anatomik yapılar üzerindeki etkisi, üreme sistemi yaşılanmasının önemli bir bileşenidir.

Kadın Üreme Organlarında Değişiklikler

Kadınlarda menopoş ile birlikte ovarium (yumurtalık) fonksiyonlarında dramatik bir azalma olmakta ve östrojen seviyelerinde belirgin düşüş görölmektedir. Ovarium'da follikül rezervinde tükenme, kortikal ve medüller bölgelerde atrofi, stromada fibrozis artışı ve ovarium hacminde küçölme meydana gelmektedir. Uterus'ta (rahim) myometrium'da atrofi, endometrium'da incelme ve proliferatif aktivitede azalma gözlenmektedir. Tuba uterina (fallop tüpü) mukozasında atrofi ve silier aktivitede azalma görölmektedir.

Vagina'da tunica mucosa'nın inceldeği, epitel hücrelerinde glikojen içeriğinin azaldığı, elastikiyetin kaybolduğu ve vaginal pH'nın yükseldiği (östrojen eksikliğine bağlı) gözlenmektedir. Vulva'da yağ dokusunda azalma, cilt elastikiyetinde kayıp ve glandulae vestibulares'te atrofi meydana gelmektedir. Glandula mammaria'da (meme bezi) glandüler dokunun yağ dokusu ile yer değiştirmesi, lobüler yapıların atrofisi ve bağ dokusunda gevşeme görölmektedir.

Erkek Üreme Organlarında Değişiklikler

Erkeklerde testis'te (testiküller) tubulus seminifer'lerde bazal membran kalınlaşması, germinal epitel hücrelerinde azalma, spermatogeneizde yavaşlama ve interstisyel dokuda fibrozis artışı meydana gelmektedir. Cellulae interstitiales (Leydig hücreleri) sayısında ve testosteron üretiminde kademeli azalma gözlenmektedir. Epididymis'te epitel atrofisi ve lümen genişlemesi görölmektedir.

Prostata (prostat bezi) yaşla birlikte hipertrofi gelişmekte (benign prostatic hyperplasia, BPH) ve bu durum glandüler ve stromal komponentlerde artışı, lümen daralmasına ve urethra'ya bası

yaparak üriner semptomların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Glandulae vesiculosae (seminal veziküller) duvarlarında fibrozis ve sekresyon kapasitesinde azalma meydana gelmektedir. Penis'te tunica albuginea'da elastikiyet kaybı, corpus cavernosum'da düz kas ve elastik doku oranında azalma ile kollajen artışı, erektil disfonksiyonun anatomik temellerini oluşturmaktadır.

Hormonal Etkiler

Cinsiyet steroid hormonlarının (strojen, progesteron, testosteron) seviyelerindeki azalma, üreme organlarının anatomik yapıları üzerinde derin etkiler yaratmaktadır. Östrojen eksikliği, kadın genital sistemde atrofi, kuruluk, elastikiyet kaybı ve vasküler değişikliklere yol açmaktadır. Testosteron düşüşü, erkek genital organların trofizmini etkilemekte, kas kütlesinde azalmaya ve erektil fonksiyon bozukluğuna katkıda bulunmaktadır. Geniş lekli bir insan patomik analizi, gelişimden sonra cinsiyete özgü yaşlanma yörüngeleri olduğunu, kadınların daha erken ancak daha yavaş yaşlanma eğilimleri gösterirken, erkeklerin daha geç ancak daha hızlı yaşlanma gösterdiğini ortaya koymuştur (Abila et al., 2024).

Klinik nemi

Üreme sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, fertilite azalması, menopozal semptomlar, vajinal atrofi, disparoni, üriner inkontinans, benign prostat hiperplazisi, erektil disfonksiyon ve cinsel fonksiyon bozuklukları gibi klinik manifestasyonlara yol açmaktadır. Hormonal replasman tedavileri, bu anatomik değişikliklerin bir kısmını tersine evirebilmekte veya semptomatik rahatlatma sağlayabilmektedir.

Systema Skeletale (İskelet Sistemi)

İskelet sistemi, vücudun mekanik desteğini sağlayan, koruma, hareket ve mineral homeostazında rol oynayan kompleks bir yapıdır. Ossa (kemikler), articulationes (eklemler) ve cartilago

(kıkırdak) yapılarında yaşla birlikte hiyerarşik yapısal ve hücresel değişiklikler meydana gelmekte ve bu değişiklikler mekanik yeterliliği azaltmakta, mobilitayı kısıtlamakta ve kırık riskini artırmaktadır.

Kemik (Os)'de Makroskopik ve Mikroskopik Değişiklikler

Kemik dokusunda yaşa bağlı en belirgin değişiklik, kemik kütlesinde azalma ve kemik mineral yoğunluğunda (bone mineral density, BMD) düşüştür. Substantia compacta (kompakt kemik) ve substantia spongiosa (süngerimsi kemik) her ikisinde de kayıplar görülmekte, ancak trabeküler kemik kaybı daha erken başlamakta ve daha hızlı ilerlemektedir. Trabeculae osseae'de inceltme, sayıda azalma ve mimari bozulma, kemik gücünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Cortex ossei'de (kortikal kemik) porozite artışı, kalınlık azalması ve Havers kanallarında genişleme gözlenmektedir.

Mikroskopik düzeyde, kemik dokusunda mikro-çatlakların (microcracks) birikimi, mineralizasyonda değişiklikler, osteocyt lacunae'lerinde boşalma ve kemik matriksinin kollajen yapısında dejenerasyon meydana gelmektedir (Ravazzano, Colaianni, Tarakanova, & Passeri, 2024). Bu multiskala analiz, hiyerarşik kemik değişikliklerinin kemik kütlesi kaybının ötesinde kırık riskini nasıl açıkladığını vurgulamaktadır (Ravazzano et al., 2024). Osteoblast (kemik yapıcı hücreler) aktivitesinde azalma ve osteoclast (kemik yıkıcı hücreler) aktivitesinde göreceli artış, kemik yeniden yapılanma dengesinin bozulmasına (remodeling imbalance) yol açmaktadır.

Eklemlerde (Articulationes) Dejenerasyon

Eklemlerde yaşa bağlı dejeneratif değişiklikler, osteoartrit gelişimine zemin hazırlamaktadır. Cartilago articularis (eklem kıkırdağı) yüzeyinde aşınma, kıkırdak kalınlığında azalma, chondrocyt (kıkırdak hücreleri) sayısında ve aktivitesinde düşüş,

ekstrasellüler matriks bileşiminde değişiklikler ve kıkırdak bütünlüğünde bozulma görülmektedir. Proteoglikan içeriğinde azalma, kollajen ağında fragmentasyon ve su içeriğinde değişiklikler, kıkırdağın mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir.

Capsula articularis'te kalınlaşma ve fibrozis, membrana synovialis'te inflamasyon (sinovit) ve hipertrofi, liquor synovialis (sinoviyal sıvı) kompozisyonunda ve viskozitesinde değişiklikler, eklem fonksiyonlarını bozmaktadır. Ligamenta ve tendines'te elastikiyet kaybı, kollajen çapraz bağlarında artış ve mekanik dayanıklılıkta azalma, eklem stabilitesini olumsuz etkilemektedir.

Cartilago Modifikasyonları

Kıkırdak dokusu, avasküler yapısı nedeniyle onarım kapasitesi sınırlı olan bir dokudur ve yaşlanma sürecinde önemli değişikliklere uğramaktadır. Hyalin kıkırdak, fibrokartilago ve elastik kıkırdağın tümünde, matriks bileşiminde değişiklikler, hücre yoğunluğunda azalma ve mekanik özelliklerde bozulma meydana gelmektedir. Chondrocyt'lerde senesans belirteçlerinin birikimi, SASP faktörlerinin salınımı ve katabolik enzimlerin (matrix metalloproteinases, MMP) aktivasyonu, kıkırdak matriksinin degradasyonunu hızlandırmaktadır.

Hücrel ve Moleküler Mekanizmalar

Kemik yaşlanması, azalmış kemik oluşumunun göreceli rezorpsiyona oranı, mikroyapısal bozulma ve post-yield enerji absorpsiyonunu azaltan hasar birikimini içeren multi-skala bir süreçtir (Ravazzano et al., 2024). Osteoblastlarda proliferasyon ve diferansiyasyon kapasitesinde azalma, osteoblastik hücre yüzeyinde azalma ve kemik yapım hızında düşüş görülmektedir. Osteoclastogenesis'te artış ve kemik rezorpsiyon hızında yükselme, kemik kaybını hızlandırmaktadır. Hücrel senesans, oksidatif stres,

inflamasyon (özellikle IL-6, TNF- α gibi sitokinler), hormonal değişiklikler (östrojen, testosteron, büyüme hormonu, D vitamini eksikliği) ve mekanik yüklenmede azalma, kemik yaşlanmasına katkıda bulunan faktörlerdir.

Klinik Önemi

İskelet sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, osteoporoz, osteoartrit, kırık riski artışı, boy kısalması, kifoz gelişimi, eklem ağrısı, hareket kısıtlılığı ve mobilite kaybı gibi önemli klinik sonuçlara yol açmaktadır. Özellikle postmenopozal kadınlarda ve ileri yaşlı erkeklerde, vertebra, femur boynu (collum femoris) ve radius distalinde kırıklar sık görülmekte ve bu kırıklar morbidite ve mortalite riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

Systema Musculare (Kas Sistemi)

Kas sistemi, vücudun hareketini sağlayan, postural desteği sürdüren ve metabolik fonksiyonlarda önemli rol oynayan bir sistemdir. Musculi skeleti (iskelet kasları), musculi lisses (düz kaslar) ve myocardium (kalp kası) olmak üzere üç tip kas dokusu bulunmakta ve her biri yaşlanma sürecinde farklı değişiklikler göstermektedir.

İskelet Kaslarında Değişiklikler ve Sarkopeni

İskelet kaslarında yaşa bağlı en belirgin değişiklik, kas kütlelerinde ve kas gücünde progresif azalma olarak tanımlanan sarkopenidir. Makroskopik olarak, kas hacminde küçülme, kas liflerinin kesit alanında azalma ve kas içine yağ dokusu infiltrasyonu (myosteatosıs) görülmektedir. Mikroskopik düzeyde, özellikle tip II (hızlı kasılan, glikolytik) kas liflerinde atrofi daha belirgindir; tip I (yavaş kasılan, oksidatif) liflerde ise göreceli koruma veya daha az atrofi gözlenmektedir.

Yaşlı insan kasında, kontraktıl protein kalitesinde düşüş, miyofibril değişiklikleri ve nöromusküler uzlaşma bozuklukları görülmektedir; bu moleküler ve mekanik defisitler sarkopeninin temelini oluşturmaktadır (Nart & Scarpa, 2019). Proteomik çalışmalar, kontraktıl komponentlerde ve miyofibril proteomunda negatif modifikasyonlar olduğunu göstermiştir (Nart & Scarpa, 2019). Myofibrillae'de disorganizasyon, Z-line (linea Z) düzensizlikleri, sarcomere yapısında bozulma ve miyozin-aktin etkileşimlerinde azalma, kas kontraktilitesini olumsuz etkilemektedir.

Nöromusküler İnnervasyonda Değişiklikler

Yaşla birlikte motor nöronlarda kayıp, nöromusküler kavşakta (junctio neuromuscularis) dejenerasyon, asetilkolin reseptörlerinde azalma ve motor ünit sayısında düşüş meydana gelmektedir. Denervasyon ve reinnervasyon süreçleri, motor ünit yeniden yapılanmasına yol açmakta, ancak bu kompensatuar mekanizma zamanla yetersiz kalmaktadır. Kas liflerinde denervasyona bağlı atrofi, gruplandırılmış lif tipi değişiklikleri ve nörojenik atrofi paternleri gözlenmektedir.

Düz Kas ve Kalp Kası Değişiklikleri

Düz kaslar, gastrointestinal sistem, vasküler sistem, üriner sistem ve diğer organlarda bulunmakta ve yaşlanma sürecinde bu kaslarda da atrofi, kontraktıl fonksiyonda azalma ve fibrozis artışı görülmektedir. Vasküler düz kaslarda hipertrofi ve hiperplazi, arteriyel sertleşmeye katkıda bulunmaktadır. Myocardium'da, daha önce kardiyovasküler sistem bölümünde detaylı olarak ele alındığı gibi, miyosit kaybı, interstisyel fibrozis, hipertrofi ve kontraktıl fonksiyonda değişiklikler meydana gelmektedir.

Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar

Sarkopeni mekanizmaları arasında, nöromusküler innervasyonda değişiklikler, protein sentezinde azalma, protein degradasyonunda artış, mitokondriyal disfonksiyon, oksidatif stres, kronik inflamasyon (IL-6, TNF- α gibi proinflamatuvar sitokinler), miyosatellit hücrelerinde (kas kök hücreleri) sayı ve fonksiyon azalması, hormonal değişiklikler (testosteron, büyüme hormonu, IGF-1 düşüşü) ve fiziksel aktivitede azalma yer almaktadır (Nart & Scarpa, 2019). Translasyon ve kuvvet iletiminde değişiklikler, proteomik yeniden yapılanma ve kontraktıl sistem bileşenlerinde yaygın düşüşler, yaşa bağlı güç kaybına katkıda bulunmaktadır (Nart & Scarpa, 2019).

Klinik Önemi

Kas sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, kas gücünde azalma, fiziksel performansta düşüş, mobilite kaybı, düşme riski artışı, kırılgnalık (frailty) sendromu, bağımsızlık kaybı ve yaşam kalitesinde azalma gibi önemli klinik sonuçlara yol açmaktadır. Sarkopeni, morbidite artışına önemli bir katkıda bulunmakta ve yaşlı bireylerde fonksiyonel bağımsızlığın kaybına yol açmaktadır. Direnç egzersizi, yeterli protein alımı ve hormonal tedaviler, sarkopeni yönetiminde potansiyel stratejiler olarak öne çıkmaktadır.

Integumentum Commune (Genel Deri Sistemi)

Cilt ve eklentileri, vücudun en büyük organı olarak dış çevre ile etkileşimde, bariyer fonksiyonunda, termoregülasyonda ve duyuşsal algılamada kritik roller oynamaktadır. Cutis (deri) ve adnexa cutis (deri eklentileri) yaşlanma sürecinde belirgin morfolojik ve fonksiyonel değişikliklere uğramaktadır.

Cutis Katmanlarında Değişiklikler

Cutis, epidermis, dermis ve hypodermis (tela subcutanea) olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Epidermis'te yaşla birlikte incelme, stratum corneum'da düzensizlik, melanocyt sayısında azalma (ancak bazı bölgelerde melanocyt kümelenmesi ve lentigo senilis oluşumu), Langerhans hücrelerinde azalma ve epidermal yenilenme hızında düşüş görülmektedir. Stratum basale'deki keratinositlerin proliferatif kapasitesinde azalma, epidermal-dermal junction'da düzleşme ve rete ridge'lerin kaybolması, deri bütünlüğünü zayıflatmaktadır.

Dermis'te en belirgin değişiklik, kollajen ve elastin liflerinde dejenerasyondur. Kollajen tip I ve tip III sentezinde azalma, kollajen çapraz bağlarında artış ve kollajen fibrillerinde fragmentasyon, derinin mekanik dayanıklılığını azaltmaktadır. Elastin liflerinde fragmentasyon, elastozis (güneşe maruz kalan bölgelerde elastik materyal birikimi) ve elastik lif ağında bozulma, derinin elastikiyetini kaybetmesine neden olmaktadır. Dermis'teki fibroblast sayısında ve aktivitesinde azalma, ekstrasellüler matriks (ECM) sentezinin azalmasına ve matriks degradasyon enzimlerinin (MMP) aktivitesinin artmasına yol açmaktadır.

Hypodermis'te (subcutaneous adipose tissue) yağ dokusu dağılımında değişiklikler, bazı bölgelerde (yüz, eller) yağ kaybı ve diğer bölgelerde (karın, kalça) yağ birikimi görülmektedir. Bu değişiklikler, deri turgorunun azalmasına ve yüz konturlarında değişikliklere yol açmaktadır.

Vasküler ve İmmün Değişiklikler

Dermis'teki kan damarlarında (vasa sanguinea cutis) azalma, kapiller yoğunluğunda düşüş ve vasküler reaktivitede bozulma, deri perfüzyonunu azaltmakta ve yara iyileşmesini yavaşlatmaktadır. Endotel hücrelerinde disfonksiyon ve vasküler geçirgenlikte artış,

cilt dokusunun beslenme ve atık uzaklaştırma kapasitesini olumsuz etkilemektedir. İmmün hücrelerde (Langerhans hücreleri, dermal dendritik hücreler, T lenfositler) sayı ve fonksiyon azalması, cilt immün savunmasını zayıflatmakta ve enfeksiyonlara yatkınlığı artırmaktadır.

Adnexa Cutis (Deri Eklentileri) Değişiklikleri

Pili (kıllar) yaşla birlikte incelme, beyazlaşma (canities, melanosit fonksiyon kaybına bağlı), yoğunlukta azalma ve büyüme hızında yavaşlama göstermektedir. Glandulae sebaceae (yağ bezleri) aktivitesinde azalma, sebum üretiminde düşüş ve cilt kuruluk artışı görülmektedir. Glandulae sudoriferae (ter bezleri) sayısında ve fonksiyonunda azalma, terleme kapasitesinin düşmesine ve termoregülasyon bozukluklarına yol açmaktadır. Unguis (tırnaklar) büyüme hızında yavaşlama, kalınlaşma, kırılabilirlik artışı ve yüzey düzensizlikleri göstermektedir.

Lakrimal bez yaşlanması üzerine yapılan çalışmalar, glandüler yaşlanmada korunmuş mekanizmaları (mitokondriyal fragmentasyon, fibrozis, innervasyonda azalma) vurgulamakta olup, bu bulgular genel bez yaşlanma paternlerini yansıtmaktadır, ancak cilt eklentilerine özgü detaylı anatomik değişiklikler literatürde sınırlıdır (Abila et al., 2024).

Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar

Cilt yaşlanması, intrinsik (kronolojik) ve ekstrinsik (çevresel, özellikle ultraviyole radyasyonu) faktörlerin kombinasyonundan kaynaklanmaktadır. Hücresel senesans, telomer kısalması, DNA hasarı, oksidatif stres, mitokondriyal disfonksiyon, matriks metalloproteinazların aktivasyonu, transforming growth factor-beta (TGF- β) sinyalizasyonunda azalma ve kronik inflamasyon, cilt yaşlanmasının temel mekanizmalarıdır. Kollajen fragmentasyonu,

azalmış ECM döngüsü ve hücresel senesans, cilt bütünlüğünün bozulmasına yol açmaktadır (Abila et al., 2024).

Klinik Önemi

Cilt ve eklemlerindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, kırışıklıklar, sarkma, kuruluk, pigmentasyon bozuklukları, yara iyileşmesinde gecikme, enfeksiyonlara yatkınlık artışı, termoregülasyon bozuklukları ve kozmetik kaygılar gibi klinik sonuçlara yol açmaktadır. Bariyer fonksiyonunun bozulması, dış etkenlerden korunmayı azaltmakta ve cilt hastalıklarına yatkınlığı artırmaktadır. Geniş ölçekli histolojik haritalama çalışmaları, cilt dahil birçok doku arasında organa özgü histolojik yaşlanma paternlerini tespit etmektedir, ancak katmana özgü histoloji tanımlamaları mevcut literatürde sınırlıdır (Abila et al., 2024).

Systema Endocrinum (Endokrin Sistem)

Endokrin sistem, hormon salgılayan bezlerden oluşan ve vücudun metabolik, büyüme, üreme ve homeostaz fonksiyonlarını düzenleyen kompleks bir sistemdir. Glandulae endocrinae'de (endokrin bezler) yaşla birliği yapısal değişiklikler meydana gelmekte ve bu değişiklikler hormonal regülasyonun bozulmasına ve çoklu sistem fonksiyonlarının etkilenmesine yol açmaktadır.

Glandula Thyroidea (Tiroid Bezi)

Tiroid bezinde yaşla birlikte hacim azalması, folliküllerde değişiklikler, kolloidal içerikte azalma, interstisyel fibrozis artışı ve nodül oluşumu sıklığında artış görülmektedir. Folliküler epitel hücrelerinde atrofi, bazal membran kalınlaşması ve tiroid hormon sentezinde azalma meydana gelmektedir. Tiroid fonksiyon testlerinde genellikle hafif değişiklikler görülmekte, subklinik hipotiroidizm prevalansı yaşla birlikte artmaktadır.

Glandulae Parathyroideae (Paratiroid Bezleri)

Paratiroid bezlerinde yaşla birlikte hiperplazi, baş hücre sayısında artış, yağ dokusu infiltrasyonu ve paratiroid hormon (PTH) sekresyonunda değişiklikler görülmektedir. Kalsiyum homeostazının düzenlenmesinde bozulmalar, kemik metabolizması üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Glandula Suprarenalis (Böbreküstü Bezi)

Adrenal bezlerde cortex ve medulla bölgelerinde farklı değişiklikler meydana gelmektedir. Cortex suprarenalis'te zona glomerulosa, zona fasciculata ve zona reticularis katmanlarında atrofi, lipofuscin birikimi ve kortikosteroid sentezinde değişiklikler görülmektedir. Özellikle dehidroepiandrosteron (DHEA) ve DHEA-sülfat seviyelerinde yaşla birlikte belirgin azalma (adrenopause) olmaktadır. Medulla suprarenalis'te kromaffin hücrelerinde değişiklikler ve katekolamin sekresyonunda azalma gözlenmektedir.

Pancreas Endocrinus (Endokrin Pankreas)

Insulae pancreaticae (Langerhans adacıkları) yaşla birlikte sayı ve boyut değişiklikleri göstermekte, beta hücrelerinde fonksiyonel azalma, insülin sekresyonunda bozulma ve glukoz toleransında azalma meydana gelmektedir. Amiloid birikimi (amilin birikimi), beta hücre kütlelerinde azalma ve insülin direncinde artış, tip 2 diabetes mellitus gelişimine zemin hazırlamaktadır.

Glandula Pinealis (Epifiz Bezi)

Pineal bezde yaşla birlikte kalsifikasyon (corpora arenacea, beyin kumu birikimi), parankimal hücre sayısında azalma ve melatonin sekresyonunda azalma görülmektedir. Melatonin azalması, uyku-uyanıklık döngüsünün bozulmasına ve sirkadiyen ritim değişikliklerine katkıda bulunmaktadır.

Hypophysis (Hipofiz Bezi)

Hipofiz bezinin adenohypophysis (ön lob) ve neurohypophysis (arka lob) bölümlerinde yaşa bağlı değişiklikler meydana gelmektedir. Somatotrop hücrelerde azalma ve büyüme hormonu (GH) sekresyonunda düşüş, gonadotrop hücrelerde değişiklikler ve gonadotropin sekresyonunda postmenopozal artış, tirotrop ve kortikotrop hücrelerde değişen derecelerde fonksiyonel modifikasyonlar görülmektedir. Hipofiz hacminde azalma ve sella turcica içinde boş sella sendromu sıklığında artış gözlenmektedir.

Hormonal Regülasyonun Anatomik Yapılar Üzerindeki Etkisi

Hormonal seviyelerdeki değişiklikler, tüm vücut sistemlerinde anatomik yapıları etkilemektedir. Büyüme hormonu ve IGF-1 azalması, kas ve kemik kütlesi kaybına katkıda bulunmaktadır. Cinsiyet hormonlarındaki azalma, daha önce ele alındığı gibi, üreme organları, kemikler, kaslar ve cilt üzerinde derin etkiler yaratmaktadır. Tiroid hormon değişiklikleri, metabolik hız, kalp fonksiyonu ve diğer sistemleri etkilemektedir.

Klinik Önemi

Endokrin sistemdeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, hormonal dengesizlikler, metabolik sendrom, diyabet, osteoporoz, sarkopeni, kognitif değişiklikler, uyku bozuklukları ve genel yaşam kalitesinde azalma gibi geniş bir klinik sonuç yelpazesine yol açmaktadır. Hormonal replasman tedavileri ve endokrin düzenleme stratejileri, bu değişikliklerin bazı klinik sonuçlarını iyileştirebilmektedir.

Systema Lymphoideum (Lenf Sistemi)

Lenf sistemi, immün savunma, sıvı homeostazı ve lipid absorpsiyonunda kritik roller oynayan bir sistemdir ve yaşlanma

sürecinde bu sistemin yapısal ve fonksiyonel bileşenlerinde önemli değişiklikler meydana gelmektedir.

Thymus İnvölüsyonu

Thymus, yaşlanmanın en dramatik etkilerinin görüldüğü lenfoid organdır. Puberteden sonra başlayan ve yaşam boyu devam eden timus involüsyonu, korteks ve medulla bölgelerinde progresif atrofi, timik epitel hücrelerinde azalma, yağ dokusu ile yer değiştirme ve T lenfosit üretiminde belirgin azalma ile karakterizedir. Yaşlı bireylerde timus hacmi önemli ölçüde küçülmekte ve fonksiyonel timus dokusu minimal seviyelere inmektedir. Bu değişiklik, naif T hücre repertuarının azalmasına ve adaptif immün yanıtın zayıflamasına yol açmaktadır.

Nodi Lymphoidei (Lenf Düğümleri) ve Lien (Dalak)

Lenf düğümlerinde yaşla birlikte yapısal değişiklikler, folliküler hiperplazi veya atrofi, germinal merkez aktivitesinde azalma, fibrozis artışı ve lenfosit popülasyonlarında değişiklikler görülmektedir. Karşılaştırmalı fare çalışmaları, yaşla ve inflamatuvar challenge ile dalak ağırlığında artış, mimaride bozulma (beyaz/kırmızı pulpa ayrımının kaybı), fibrözlü trabeküllerde artış, genişlemiş sinüzoidler ve lenfosit popülasyonlarında azalma rapor etmiştir; bu bulgular splenik yeniden yapılanma ve immünoşenansızın özelliklerini göstermektedir (Al-Zahaby, Elsayed, & Badr, 2017).

Vasa Lymphatica (Lenf Damarları)

Lenf damarlarında yaşla birlikte yapısal değişiklikler, valvula lymphatica'larda yetmezlik, lenf akımında yavaşlama ve lenf drenajında bozulma meydana gelmektedir. Bu değişiklikler, ödem oluşumuna yatkınlığı artırmakta ve doku sıvı homeostazını bozmaktadır.

Hücresel ve Moleküler Mekanizmalar

Lenfoid organ yaşlanmasının mekanizmaları arasında, sürekli DNA hasar yanıtı aktivasyonu, hücre döngüsü arresti, SASP upregülasyonu, oksidatif stres ve koruyucu faktörlerin (örneğin klotho) kaybı yer almaktadır. Splenik mimari değişiklikleri ve lenfosit azalması, yaşlı organizmalarda azalmış adaptif immün yanıtı katkıda bulunmaktadır (Al-Zahaby et al., 2017). Hematopoietik kök hücrelerde yaşa bağlı değişiklikler, lenfoid hücre üretiminde azalma ve myeloid hücre üretiminde artış (myeloid skew), immün sistemin kompozisyonunu değiştirmektedir.

Klinik Önemi

Lenf sistemindeki yaşa bağlı anatomik değişiklikler, immün yanıtın zayıflaması, enfeksiyonlara yatkınlık artışı, aşı yanıtlarında azalma, kanser surveyansında bozulma, otoimmün hastalık riskinde artış ve kronik inflamasyonun sürmesi gibi klinik sonuçlara yol açmaktadır. İmmüno senesans, yaşlı bireylerde morbidite ve mortalitenin önemli bir belirleyicisidir.

Sonuç

Yaşa bağlı anatomik değişiklikler, insan vücudunun tüm sistemlerinde meydana gelen, multifaktöriyel ve progresif bir sürecin manifestasyonlarıdır. Bu bölümde ele alınan systema nervosum, systema cardiovasculare, systema respiratorium, systema digestorium, systema urinarium, systema genitale, systema skeletale, systema musculare, integumentum commune, systema endocrinum ve systema lymphoideum'daki anatomik değişiklikler, hücresel senesans, mitokondriyal disfonksiyon, oksidatif stres, kronik inflamasyon, hormonal değişiklikler, ekstrasellüler matriks yeniden yapılanması ve genetik-epigenetik modifikasyonlar gibi ortak mekanizmalar tarafından yönlendirilmektedir.

Güncel literatür, dokuya özgü yaşlanma imzalarının varlığını, bazı organların diğerlerinden daha erken veya daha hızlı yaşlandığını ve bu değişikliklerin klinik sonuçlarının organ sistemine ve bireysel faktörlere bağlı olarak değiştiğini göstermektedir (Abila et al., 2024). Multiskala analizler, makroskopik yapısal değişikliklerin altında yatan mikroskopik, hücresel ve moleküler mekanizmaların anlaşılmasının, yaşlanma sürecinin kapsamlı bir şekilde kavranması için gerekli olduğunu vurgulamaktadır (Ravazzano et al., 2024).

Yaşa bağlı anatomik değişikliklerin anlaşılması, klinik açıdan büyük önem taşımaktadır; çünkü bu bilgi, yaşlı bireylerde görülen hastalıkların patogenezinin anlaşılmasına, erken tanı ve önleme stratejilerinin geliştirilmesine, uygun tedavi modalitelerinin seçilmesine ve sağlıklı yaşlanmanın teşvik edilmesine katkıda bulunmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, yaşlanma sürecini yavaşlatma veya tersine çevirme potansiyeline sahip müdahalelerin geliştirilmesine odaklanmakta ve rejeneratif tıp, senesolitik tedaviler, hormonal modülasyon ve yaşam tarzı müdahaleleri gibi stratejiler umut verici alanlar olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, yaşa bağlı anatomik değişikliklerin sistematik ve detaylı bir şekilde anlaşılması, anatomi biliminin temel bir bileşeni olarak kalacak ve yaşlanan nüfusun sağlık ihtiyaçlarının karşılanmasında kritik bir rol oynayacaktır.

Kaynakça

Abila, E., Buljan, I., Zheng, Y.-M., & Lehallier, B. (2024). Tissue clocks derived from histological signatures of biological aging enable tissue-specific aging predictions from blood. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.11.14.618081>

Agrawal, V., & Nagueh, S. F. (2022). Echocardiographic evaluation of diastolic function in the elderly. *Circulation: Cardiovascular Imaging*, 15(7), e014074.

Al-Zahaby, S. A., Elsayed, A. M., & Badr, A. M. (2017). Age-associated changes in splenic architecture and cellular composition in mice. *Journal of Immunological Sciences*, 1(3), 45-52.

Baumgartner, C., Schutzenhofer, M., Iglseder, S., Hedegger, K., & Holzner, M. (2022). Urine metabolite and immune pathway markers as candidate biological age indicators for kidney transplant assessment. *Transplantation Proceedings*, 54(6), 1456-1462.

Fowler, C. F., Goerzen, D., Madularu, D., & Devenyi, G. A. (2021). Longitudinal characterization of neuroanatomical changes in the Fischer 344 rat brain during normal aging and between sexes. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2021.04.12.439510>

Gull, S., Gaser, C., Herrmann, K.-H., & Reichenbach, J. R. (2023). Brain macro-structural alterations in aging rats: A longitudinal lifetime approach. *Cells*, 12(3), 432. <https://doi.org/10.3390/cells12030432>

Iliev, A., Kotov, G., Stamenov, N., & Landzhov, B. (2023). Microcirculatory changes as a hallmark of aging in the heart and kidney. *International Journal of Morphology*, 41(2), 333-339. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022023000200333>

Marquez-Exposito, L., Cantero-Navarro, E., Lavoiz, C., Fierro-Fernández, M., & Orejudo, M. (2022). Early activation of

senescence-associated mechanisms and oxidative stress pathways in aging mouse kidneys. *Aging*, 14(12), 5094-5108.

Meng, Z., Cheng, L., Liu, W., & Wang, J. (2023). The sex-specific difference in age-related aortic regional morphological changes. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3360587/v1>

Nart, A., & Scarpa, S. (2019). Study of human muscle aging through fiber mechanical, molecular myofibrillar and proteomics analysis. *Journal of Human Sport and Exercise*, 14(Proc1), 15. <https://doi.org/10.14198/JHSE.2019.14.PROC1.15>

Ravazzano, L., Colaianni, G., Tarakanova, A., & Passeri, G. (2024). Multiscale and multidisciplinary analysis of aging processes in bone. *npj Aging*, 10(1), 28. <https://doi.org/10.1038/s41514-024-00156-2>

Sukhorukov, V., Magnaeva, A. S., Baranich, T. I., & Ignatyev, I. M. (2022). Brain neurons during physiological aging: Morphological features, autophagic and mitochondrial contribution. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10695. <https://doi.org/10.3390/ijms231810695>

ANATOMİ EĞİTİMİNDE DİJİTALLEŞME

Bilal TURAN²

Giriş

Anatomi eğitimi, tıp eğitiminin temel taşlarından biri olarak yüzyıllardır kadavra diseksiyonu üzerine inşa edilmiştir. Ancak 21. yüzyılın ilk çeyreğinde, dijital teknolojilerdeki hızlı gelişmeler anatomi öğretiminde paradigmatik bir dönüşüme yol açmıştır. Sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR), 3D görselleştirme sistemleri, dijital kadavra platformları ve yapay zeka destekli öğrenme araçları, geleneksel pedagojik yaklaşımları tamamlayan veya bazı durumlarda alternatif oluşturan yenilikçi çözümler sunmaktadır.

COVID-19 pandemisinin küresel etkisi, bu dijital dönüşümü beklenmedik bir şekilde hızlandırmış ve anatomi eğitimcilerini uzaktan öğretim modalitelerine adapte olmaya zorlamıştır (García-Robles ve ark., 2024). Bu zorunlu geçiş, dijital araçların potansiyelini ortaya koyarken, aynı zamanda geleneksel kadavra tabanlı öğretimin yerini tamamen alamayacağı gerçeğini de vurgulamıştır. Günümüzde soru, dijital teknolojilerin anatomi

² Doktor Öğretim Üyesi, Batman Üniversitesi, SHMYO, Orcid: 0000-0002-2954-8489

eğitiminde kullanılıp kullanılmayacağı değil, nasıl, ne zaman ve hangi pedagojik çerçeveler içinde en etkili şekilde entegre edileceğidir.

Bu bölümde, anatomi eğitiminde dijitalleşmenin mevcut durumu, kullanılan başlıca teknolojiler, öğrenme çıktıları üzerine etkileri, uygulama zorlukları ve gelecek perspektifleri kanıta dayalı bir yaklaşımla ele alınacaktır. Özellikle 2020-2025 yılları arasında yayınlanmış yüksek kaliteli çalışmalar ve meta-analizler ışığında, dijital anatomi eğitiminin bilimsel temelleri, pedagojik prensipleri ve pratik uygulamaları tartışılacaktır.

Dijital Anatomi Eğitiminin Tarihsel Gelişimi ve Güncel Durum

Anatomi eğitiminde dijital teknolojilerin kullanımı 1990'lı yıllarda bilgisayar destekli öğrenme yazılımları ile başlamış olsa da, gerçek anlamda transformatif değişim son on yılda yaşanmıştır. İlk nesil dijital anatomi atlasları ve CD-ROM tabanlı eğitim materyalleri, statik görsellerle sınırlı kalırken, günümüzün immersif teknolojileri öğrencilere interaktif, üç boyutlu ve gerçeğe yakın öğrenme deneyimleri sunmaktadır.

2010'lu yılların ortalarından itibaren, VR başlıkları ve AR cihazlarının fiyatlarının düşmesi ve performanslarının artması, bu teknolojilerin tıp fakültelerinde pilot uygulamalarının başlamasını sağlamıştır. Özellikle Microsoft HoloLens gibi mixed reality (karma gerçeklik) cihazlarının piyasaya sürülmesi, HoloAnatomy gibi özel anatomi uygulamalarının geliştirilmesine olanak tanımıştır (Rahawi ve ark., 2022). Bu uygulamalar, öğrencilerin fiziksel bir mekânda sanal kadvraları incelemelerine, yapıları manipüle etmelerine ve grup halinde işbirlikçi öğrenme deneyimleri yaşamalarına imkân vermiştir.

2020-2025 döneminde, COVID-19 pandemisinin etkisiyle dijital anatomi eğitimi zorunluluktan doğan bir ihtiyaçtan stratejik

bir tercih haline dönüşmüştür. Pandemi sürecinde birçok tıp fakültesi acil olarak dijital platformlara geçiş yapmış, bu süreç hem teknolojik altyapının gelişmesine hem de öğretim üyelerinin dijital pedagojiye adaptasyonuna hız kazandırmıştır. Ancak bu hızlı geçişin öğrenme çıktıları üzerine uzun vadeli etkilerini değerlendiren kapsamlı, çok merkezli çalışmalar henüz sınırlıdır.

Güncel durumda, dünya çapında önde gelen tıp fakültelerinin çoğu hibrit modeller benimsemiştir. Bu modellerde geleneksel kadavra diseksiyonu temel pedagojik yöntem olarak korunurken, dijital araçlar tamamlayıcı, destekleyici ve bazı durumlarda alternatif öğrenme kaynakları olarak konumlandırılmaktadır. García-Robles ve arkadaşlarının (2024) sistematik derlemesi ve meta-analizi, immersif VR ve AR teknolojilerinin anatomi eğitiminde geleneksel yöntemlere kıyasla küçük-orta düzeyde bir bilgi kazanımı avantajı sağladığını (SMD = 0.40; %95 GA 0.22-0.60), ancak bu etkinin tamamlayıcı kullanımda daha belirgin olduğunu (SMD = 0.52) göstermiştir.

Dijital Anatomi Eğitiminde Kullanılan Başlıca Teknolojiler

Sanal Gerçeklik (Virtual Reality - VR)

Sanal gerçeklik, kullanıcıyı tamamen dijital bir ortama daldıran immersif bir teknolojidir. Anatomi eğitiminde VR, öğrencilere insan vücudunun içinde gezinme, yapıları farklı açılardan inceleme ve interaktif manipülasyon yapma imkânı sunar. Oculus Quest, HTC Vive ve PlayStation VR gibi cihazlar, anatomi eğitimi için özel olarak geliştirilmiş yazılımlarla (örneğin, Complete Anatomy VR, 3D Organon VR) kullanılmaktadır.

VR teknolojisinin anatomi eğitimindeki en önemli avantajları arasında mekânsal öğrenmeyi güçlendirmesi, tekrarlı pratik imkânı sunması ve öğrenci motivasyonunu artırması yer almaktadır. Yin ve arkadaşlarının (2023) çalışması, işbirlikçi VR

ortamlarında öğrencilerin hem bilişsel kazanımlarının hem de öğrenme deneyimlerinin anlamlı şekilde arttığını göstermiştir. Özellikle küçük grup çalışmalarında, öğrenciler VR ortamında eşzamanlı olarak aynı anatomik yapıları inceleyebilmekte ve tartışabilmektedir.

Ancak VR teknolojisinin bazı sınırlılıkları da mevcuttur. Motion sickness (hareket hastalığı), özellikle uzun süreli kullanımlarda bazı kullanıcılarda bulantı ve baş dönmesine neden olabilmektedir. Ayrıca, yüksek kaliteli VR sistemlerinin maliyeti ve teknik altyapı gereksinimleri, özellikle kaynak kısıtlı kurumlarda yaygın adaptasyonu engelleyebilmektedir. Heterojen çalışma sonuçları da VR'ın etkinliğinin öğretim tasarımına, içerik kalitesine ve uygulama süresine bağlı olduğunu göstermektedir (García-Robles ve ark., 2024).

Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality - AR)

Artırılmış gerçeklik, dijital içeriği gerçek dünya görüntüsü üzerine bindirerek karma bir deneyim oluşturur. VR'dan farklı olarak, AR kullanıcıyı fiziksel ortamından tamamen ayırmaz; bunun yerine gerçek ortamı dijital bilgilerle zenginleştirir. Microsoft HoloLens ve Magic Leap gibi cihazlar, anatomi eğitiminde AR uygulamaları için kullanılmaktadır.

HoloAnatomy, AR tabanlı anatomi eğitiminin en tanınmış örneklerinden biridir. Rahawi ve arkadaşlarının (2022) çalışması, HoloAnatomy kullanan öğrencilerin sınav performanslarının geleneksel kadavra diseksiyonu yapan öğrencilerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Bu bulgu, AR teknolojisinin en azından belirli öğrenme hedefleri için kadavra diseksiyonuna eşdeğer bir alternatif olabileceğini düşündürmektedir.

AR'ın önemli avantajları arasında fiziksel mekânda kalma imkânı, grup etkileşimlerini kolaylaştırması ve gerçek anatomik

yapılarla (örneğin plastinasyon örnekleri veya modellerle) entegrasyon potansiyeli bulunmaktadır. Öğrenciler, AR gözlükleri takarak bir plastinasyon örneğinin üzerine katman katman dijital bilgiler ekleyebilir, damarları, sinirleri veya lenf nodlarını görselleştirebilirler.

Ancak AR teknolojisi de bazı zorluklar içermektedir. Cihazların yüksek maliyeti, sınırlı görüş alanı (field of view), teknik aksaklıklar ve öğrenme eğrisi, yaygın adaptasyonun önündeki engellerdir. Ayrıca, etkili AR tabanlı öğrenme senaryolarının tasarımı, pedagojik uzmanlık ve teknolojik yetkinlik gerektirmektedir (Lohit ve ark., 2022).

3D Görselleştirme ve İnteraktif Modelleme

3D görselleştirme teknolojileri, VR ve AR kadar immersif olmasa da, standart bilgisayar ekranları veya tabletler üzerinden erişilebilir interaktif anatomik modeller sunar. Bu teknolojiler arasında web tabanlı 3D atlaslar, fotogrametri ile oluşturulmuş dijital modeller ve CT/MRI verilerinden türetilmiş hacimsel görselleştirmeler bulunmaktadır.

Means ve arkadaşlarının (2023) randomize kontrollü çalışması, 3D çalışma materyallerine erişimi olan veteriner öğrencilerinin, abdominal organlar arasındaki mekânsal ilişkileri daha iyi anlayabildiklerini ve anormal radyografik görüntüleri daha doğru yorumlayabildiklerini göstermiştir. Bu bulgu, 3D görselleştirmenin özellikle mekânsal düşünme ve radyolojik korelasyon becerilerinin geliştirilmesinde etkili olduğunu desteklemektedir.

Fotogrametri teknikleri kullanılarak gerçek kadavra örneklerinden oluşturulan 3D modeller, yüksek anatomik doğruluk ve detay sunmaktadır. Bir çalışmada, öğrencilerin %74-82'si bu tür 3D modellerin mekânsal anlayışlarını geliştirdiğini ve sınav

hazırlığını desteklediğini bildirmiştir. Ancak aynı çalışmada öğrencilerin %28'i büyük dosya boyutları nedeniyle yükleme sürelerinin uzun olduğundan şikâyet etmiştir (García-Robles ve ark., 2024).

3D görselleştirme teknolojilerinin en büyük avantajları erişilebilirlik, maliyet etkinlik ve tekrarlanabilirlik olarak öne çıkmaktadır. Öğrenciler, kendi cihazlarından istedikleri zaman ve yerde bu materyallere erişebilir, yapıları istedikleri kadar inceleyebilir ve kendi öğrenme hızlarında ilerleyebilirler.

Dijital Kadavra Platformları

Dijital kadavra sistemleri, gerçek insan kadvralarının yüksek çözünürlüklü görüntülerinden oluşturulan, katman katman incelenebilen dijital anatomik atlaslar sunmaktadır. Anatomage Table, bu kategorinin en tanınmış örneğidir. Bu sistemler, dokunmatik ekran teknolojisi ile interaktif diseksiyon simülasyonları sağlamaktadır.

Dijital kadavra platformlarının avantajları arasında hijyenik çalışma ortamı, formaldehit maruziyetinin olmaması, kadavra teminindeki etik ve lojistik zorlukların aşılması ve standardize edilmiş anatomik içerik sunulması yer almaktadır. Ayrıca, bu sistemler patolojik varyasyonları, radyolojik görüntüleri ve klinik korelasyonları entegre edebilmektedir.

Fonseca ve arkadaşlarının (2024) çalışması, Anatomage Table kullanan öğrencilerin yüksek memnuniyet ve kullanılabilirlik skorları verdiğini göstermiştir. Özellikle Bilişsel Multimedya Öğrenme Teorisi (CTML) prensipleri doğrultusunda tasarlanmış öğretim senaryoları ile kullanıldığında, dijital kadavra sistemlerinin öğrenme deneyimini ve bilgi kazanımını artırdığı bulunmuştur.

Ancak dijital kadavra sistemlerinin de sınırlılıkları vardır. En önemli eksiklik, dokunsal (taktil) deneyimin olmamasıdır. Gerçek

kadavra diseksiyonunda öğrenciler dokuların tekstürünü, direncini ve anatomik varyasyonları fiziksel olarak deneyimlerken, dijital sistemler bu boyutu sunamamaktadır. Ayrıca, yüksek başlangıç maliyeti ve düzenli yazılım güncellemeleri gerektirmesi, bazı kurumlar için engel oluşturabilmektedir.

Holografik Görüntüleme Sistemleri

Holografik görüntüleme, anatomik yapıların üç boyutlu projeksiyonlarını fiziksel bir ekran veya özel gözlük olmadan görselleştirme imkânı sunan gelişmekte olan bir teknolojidir. Bu teknoloji henüz anatomi eğitiminde yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, gelecek vaat eden bir alan olarak dikkat çekmektedir.

Holografik sistemlerin teorik avantajları arasında grup görüntüleme kolaylığı, gözlük veya başlık gerektirmemesi ve gerçekçi derinlik algısı yer almaktadır. Ancak mevcut literatürde holografik görüntüleme sistemlerinin anatomi eğitimindeki etkinliğini değerlendiren kapsamlı çalışmalar sınırlıdır. Teknolojinin yüksek maliyeti, teknik karmaşıklığı ve altyapı gereksinimleri, şu aşamada yaygın adaptasyonunu engellemektedir.

Yapay Zeka Destekli Öğrenme Uygulamaları

Yapay zeka (AI), anatomi eğitiminde kişiselleştirilmiş öğrenme deneyimleri oluşturma, öğrenci performansını analiz etme ve adaptif içerik sunma potansiyeline sahiptir. AI destekli sistemler, öğrencilerin güçlü ve zayıf yönlerini tespit ederek, bireysel ihtiyaçlara göre özelleştirilmiş çalışma planları ve içerikler önerebilmektedir.

Chatbot'lar ve sanal asistanlar, öğrencilerin sorularını yanıtlama ve öğrenme sürecinde rehberlik etme konusunda kullanılmaktadır. Görüntü tanıma algoritmaları, öğrencilerin anatomik yapıları doğru şekilde tanımlayıp tanımlamadığını değerlendirmek için kullanılabilir. Ayrıca, makine öğrenimi

algoritmaları, sınav sorularının kalitesini analiz etmek ve öğrenme analitiği sağlamak için uygulanmaktadır.

Ancak mevcut literatürde, AI tabanlı anatomi eğitimi uygulamalarının öğrenme çıktıları üzerine etkilerini ampirik olarak değerlendiren yüksek kaliteli çalışmalar yetersizdir. AI teknolojilerinin eğitimde kullanımı veri gizliliği, algoritma şeffaflığı ve etik konular açısından dikkatli değerlendirme gerektirmektedir. Ayrıca, AI sistemlerinin validasyonu ve güvenilirliğinin sağlanması için kapsamlı araştırmalara ihtiyaç vardır.

Öğrenme Çıktıları ve Eğitimsel Etkinlik

Dijital teknolojilerin anatomi eğitimindeki etkinliğini değerlendirmek, modern anatomi pedagojisinin en kritik sorularından biridir. Bu bağlamda, öğrenme çıktılarının objektif ölçümü ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırmalı analizler büyük önem taşımaktadır.

Meta-Analiz Bulguları

García-Robles ve arkadaşlarının (2024) sistematik derlemesi ve meta-analizi, immersiv VR ve AR teknolojilerinin anatomi eğitimindeki etkinliğini değerlendiren en kapsamlı çalışmalardan biridir. Bu meta-analiz, çok sayıda randomize kontrollü çalışma ve karşılaştırmalı araştırmayı sentezleyerek, dijital teknolojilerin bilgi kazanımı üzerine etkisini nicel olarak ortaya koymuştur.

Temel bulgular şöyle özetlenebilir:

1. **Genel etkinlik:** XR teknolojileri (VR ve AR), geleneksel öğretim yöntemlerine kıyasla bilgi kazanımında küçük-orta düzeyde bir avantaj sağlamıştır (standartlaştırılmış ortalama fark, $SMD = 0.40$; %95 güven aralığı 0.22-0.60).
2. **Tamamlayıcı kullanım:** Dijital teknolojilerin geleneksel yöntemlerin yerini tamamen almak yerine tamamlayıcı olarak

kullanıldığı durumlarda, etki büyüklüğü daha yüksek bulunmuştur (SMD = 0.52). Bu bulgu, hibrit modellerin üstünlüğünü desteklemektedir.

3. **Öğrenci algısı:** XR teknolojilerini kullanan öğrencilerin yaklaşık %80'i bu araçları öğrenme için faydalı bulmuştur. Bu yüksek kabul oranı, dijital teknolojilerin öğrenci motivasyonunu artırdığını göstermektedir.
4. **Heterojenlik:** Çalışmalar arasında önemli heterojenlik gözlenmiştir, bu da dijital teknolojilerin etkinliğinin öğretim tasarımına, uygulama süresine, içerik kalitesine ve değerlendirme araçlarına bağlı olduğunu düşündürmektedir.

Karşılaştırmalı Çalışmalar

Lohit ve arkadaşlarının (2022) çalışması, VR, autostereoskopi ve fiziksel modeller arasında öğrenme performansı açısından doğrudan karşılaştırma yapmıştır. Sonuçlar, farklı modaliteler arasında sınav performansında anlamlı fark olmadığını göstermiştir. Bu bulgu, dijital teknolojilerin en azından bilgi kazanımı açısından geleneksel yöntemlere eşdeğer olabileceğini desteklemektedir.

Rahawi ve arkadaşlarının (2022) physician assistant programında yürüttüğü çalışma, mixed reality (HoloAnatomy) kullanan öğrencilerin sınav performanslarının kadavra diseksiyonu yapan öğrencilerle karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Önemli bir ek bulgu, mixed reality grubunun öğrenme sürecini daha kısa sürede tamamlamasıdır, bu da zaman verimliliği açısından avantaj sağlayabileceğini göstermektedir.

Means ve arkadaşlarının (2023) randomize kontrollü çalışması, 3D görselleştirme materyallerinin özellikle mekânsal düşünme becerilerini geliştirdiğini göstermiştir. Veteriner öğrencileri ile yapılan bu çalışmada, 3D materyallere erişimi olan grup,

abdominal organların mekânsal ilişkilerini daha iyi anlayabilmiş ve anormal radyografik görüntüleri daha doğru yorumlayabilmiştir. Bu bulgu, dijital teknolojilerin özellikle radyolojik korelasyon ve üç boyutlu düşünme becerilerinin geliştirilmesinde etkili olduğunu desteklemektedir.

Dental Anatomi Alanında Bulgular

Dental anatomi eğitimi, dijital teknolojilerin erken adaptasyonunun yaşandığı alanlardan biridir. Yakın zamanda yayınlanan bir sistematik derleme ve meta-analiz, VR uygulamalarının dental anatomi öğrenimini desteklediğini göstermiştir (2024). Ancak çalışmalar arasında metodolojik heterojenlik ve standardizasyon eksikliği, kesin sonuçlara ulaşmayı zorlaştırmaktadır.

Pedagojik Tasarımın Önemi

Fonseca ve arkadaşlarının (2024) çalışması, pedagojik tasarımın dijital teknolojilerin etkinliğindeki kritik rolünü vurgulamıştır. Bilişsel Multimedya Öğrenme Teorisi (CTML) prensiplerine dayalı olarak tasarlanmış içerik ve öğretim senaryoları, öğrenci memnuniyetini ve kullanılabilirliği anlamlı şekilde artırmıştır. Özellikle dikkat dağıtıcı unsurların minimize edilmesi, çoklu duyuşsal modalitelerin entegrasyonu ve bilişsel yükün optimize edilmesi, öğrenme çıktılarını iyileştirmiştir.

Bu bulgular, dijital teknolojilerin sadece teknik özelliklerinin değil, pedagojik çerçeve içindeki kullanımlarının da öğrenme etkinliğini belirlediğini göstermektedir. Teknoloji odaklı değil, pedagoji odaklı bir yaklaşım, dijital anatomi eğitiminin başarısı için esastır.

Geleneksel Kadavra Diseksiyonu ile Dijital Yöntemlerin Karşılaştırması

Anatomi eğitiminde kadavra diseksiyonunun yerini dijital teknolojilerin alıp alamayacağı, hâlâ tartışmalı bir konudur. Bu sorunun yanıtı, basit bir “evet” veya “hayır”dan ziyade, öğrenme hedeflerine, kaynaklara ve bağlama bağlı olarak değişmektedir.

Kadavra Diseksiyonunun Avantajları

Kadavra diseksiyonu, anatomi eğitiminin altın standardı olarak kabul edilmektedir ve birçok benzersiz avantaj sunmaktadır:

1. **Dokusal öğrenme:** Dokuların tekstürünü, direncini ve konsistensini fiziksel olarak deneyimleme imkânı, dijital sistemlerde mevcut değildir.
2. **Anatomik varyasyonlar:** Her kadavra benzersizdir ve gerçek anatomik varyasyonları, anomalileri ve bireysel farklılıkları gösterir.
3. **Üç boyutlu ilişkiler:** Gerçek anatomik yapılar arasındaki karmaşık üç boyutlu ilişkileri anlamak, fiziksel diseksiyonla daha iyi kavranabilir.
4. **Profesyonellik ve etik:** Kadavra ile çalışmak, öğrencilere ölüme saygı, profesyonel davranış ve etik sorumluluk konularında önemli dersler verir.
5. **Cerrahi beceriler:** Diseksiyon, temel cerrahi tekniklerin (kesme, ayırma, kaldırma) öğrenilmesine katkı sağlar.

Dijital Yöntemlerin Avantajları

Dijital teknolojiler de kadavra diseksiyonuna göre bazı önemli avantajlar sunmaktadır:

1. **Erişilebilirlik:** Öğrenciler, zaman ve mekân kısıtlaması olmadan dijital materyallere erişebilirler.

2. **Tekrarlanabilirlik:** Yapılar tekrar tekrar incelenebilir, diseksiyon adımları geri alınabilir ve yeniden yapılabilir.
3. **Hijyen ve güvenlik:** Formaldehit maruziyeti ve enfeksiyon riskleri ortadan kalkar.
4. **Maliyet etkinlik:** Uzun vadede, dijital sistemler kadavra temini, muhafazası ve laboratuvar bakımından daha ekonomik olabilir.
5. **Standardizasyon:** Tüm öğrenciler aynı kalitede, standartlaştırılmış anatomik içeriğe erişir.
6. **Klinik entegrasyon:** Radyolojik görüntüler, patolojik durumlar ve klinik korelasyonlar kolayca entegre edilebilir.

Hibrit Model: En İyi Yaklaşım

Güncel kanıtlar, kadavra diseksiyonu ile dijital teknolojilerin birbirini tamamlayan bir şekilde kullanıldığı hibrit modellerin etkili yaklaşım olduğunu göstermektedir (García-Robles ve ark., 2024). Bu modelde:

- Kadavra diseksiyonu, temel anatomi eğitiminin merkezinde kalır ve öğrencilere dokunsal deneyim, gerçek varyasyonlar ve profesyonel gelişim fırsatları sunar.
- Dijital teknolojiler, diseksiyon öncesi hazırlık, diseksiyon sırası rehberlik, diseksiyon sonrası tekrar ve radyolojik korelasyon için kullanılır.
- VR ve AR, özellikle karmaşık üç boyutlu ilişkilerin görselleştirilmesi ve mekânsal düşünme becerilerinin geliştirilmesi için değerlidir.
- 3D modeller ve dijital atlaslar, öğrencilerin kendi hızlarında çalışmaları ve sınav hazırlığı için ideal tamamlayıcı kaynaklardır.

Bu hibrit yaklaşımlar, her iki yöntemin güçlü yönlerini birleştirilerek, zayıf yönlerini telafi etmektedir. Rahawi ve arkadaşlarının (2022) bulguları, tamamlayıcı kullanımda dijital teknolojilerin etki büyüklüğünün daha yüksek olduğunu göstererek, bu yaklaşımı desteklemektedir.

COVID-19 Pandemisinin Dijital Anatomi Eğitime Etkisi

COVID-19 pandemisi, anatomi eğitiminde dijitalleşmeyi beklenmedik bir şekilde hızlandırmış ve zorunlu bir dönüşüm yaratmıştır. 2020 baharında, dünya çapında tıp fakülteleri kadavra laboratuvarlarını kapatmak zorunda kalmış ve acil olarak alternatif öğretim yöntemleri aramıştır.

Acil Adaptasyon Süreci

Pandemi sürecinde, birçok kurum hızla dijital platformlara geçiş yapmıştır:

- Senkron ve asenkron online dersler, geleneksel yüz yüze derslerin yerini almıştır.
- Sanal kadavra laboratuvarları ve 3D anatomi yazılımları, öğrencilere evden erişim için sağlanmıştır.
- Videolar, interaktif modüller ve online değerlendirmeler hızla geliştirilmiştir.
- Bazı kurumlar, VR başlıkları öğrencilere ödünç vererek, evde immersiv öğrenme deneyimleri sunmuştur.

Bu acil geçiş, öğretim üyelerinin dijital pedagojiye hızlı adaptasyonunu gerektirmiş ve birçok eğitimci ilk kez dijital anatomi araçlarını kullanmaya başlamıştır. İlk dönemde teknik zorluklar, öğrenme eğrisi ve altyapı yetersizlikleri yaşanmış olsa da, zaman içinde deneyim birikmiş ve sistemler iyileştirilmiştir.

Uzun Vadeli Etkiler

Pandemi sonrası dönemde, birçok kurum tamamen geleneksel yöntemlere geri dönmek yerine, pandemi sırasında geliştirilen dijital kaynakları korumaya ve entegre etmeye devam etmiştir. Bu süreç, dijital teknolojilerin sadece acil durum alternatifi değil, kalıcı ve değerli pedagojik araçlar olduğunun farkındalığını artırmıştır.

Ancak, pandeminin dijital anatomi eğitimine uzun vadeli etkilerini değerlendiren kapsamlı, çok merkezli çalışmalar henüz sınırlıdır. Özellikle pandemi sırasında sadece dijital yöntemlerle eğitim alan öğrencilerin klinik performansları ve uzun dönem bilgi retansiyonları konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Eşitsizlik ve Erişim Sorunları

Pandeminin ortaya koyduğu önemli bir sorun, dijital erişim eşitsizliğidir. Tüm öğrencilerin evde yüksek hızlı internet bağlantısı, güçlü bilgisayarlar veya VR cihazları bulunmamaktadır. Bu dijital uçurum, bazı öğrencilerin pandemi döneminde dezavantajlı duruma düşmesine neden olmuştur. Gelecekte dijital anatomi eğitiminin planlanmasında, eşitlik ve erişilebilirlik konularının dikkate alınması kritik önem taşımaktadır.

Öğrenci ve Öğretim Üyesi Perspektifleri

Dijital anatomi eğitiminin başarısı, sadece öğrenme çıktılarıyla değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimi, kabul edilebilirlik ve memnuniyetle de değerlendirilmelidir.

Öğrenci Görüşleri

Literatürdeki çalışmalar, öğrencilerin dijital anatomi araçlarına genel olarak olumlu yaklaştığını göstermektedir:

- García-Robles ve arkadaşlarının (2024) meta-analizinde, XR teknolojilerini kullanan öğrencilerin yaklaşık %80'i bu araçları öğrenme için faydalı bulmuştur.
- 3D fotogrametri modellerini kullanan öğrencilerin %74-82'si, bu modellerin mekânsal anlayışlarını geliştirdiğini ve sınav hazırlığını desteklediğini bildirmiştir.
- Fonseca ve arkadaşlarının (2024) çalışmasında, Anatomage Table kullanan öğrenciler yüksek memnuniyet ve kullanılabilirlik skorları vermiştir.

Ancak öğrenciler bazı zorluklar da rapor etmişlerdir:

- Büyük dosya boyutları nedeniyle yükleme sürelerinin uzun olması (%28 öğrenci)
- VR kullanımında motion sickness yaşanması
- Dokunsal deneyim eksikliğinden kaynaklanan sınırlılık hissi
- Teknik aksaklıklar ve öğrenme eğrisi

Öğrencilerin genel görüşü, dijital teknolojilerin kadavra diseksiyonunun yerini tamamen almaması gerektiği, ancak değerli tamamlayıcı kaynaklar olduğu yönündedir. Özellikle sınav hazırlığı, tekrar ve kendi hızında öğrenme için dijital araçları tercih ettiklerini belirtmişlerdir.

Öğretim Üyesi Perspektifleri

Öğretim üyelerinin dijital teknolojilere yaklaşımları daha heterojendir. Bazı eğitimciler, dijital araçları coşkuyla benimsemiş ve öğretim yöntemlerini dönüştürmüşlerdir. Diğerleri ise, geleneksel yöntemlere bağlı kalmayı tercih etmiş ve dijital teknolojilere şüpheyle yaklaşmışlardır.

Öğretim üyelerinin dijital teknolojileri benimsemesini etkileyen faktörler:

- Teknik yetkinlik ve dijital okuryazarlık düzeyi
- Pedagojik inançlar ve öğretim felsefesi
- Kurumsal destek ve altyapı
- Zaman ve kaynak mevcudiyeti
- Kanıt temelli sonuçlar ve meslektaş deneyimleri

Başarılı dijital anatomi eğitimi uygulamaları, öğretim üyelerine yeterli eğitim, teknik destek ve pedagojik rehberlik sağlayan kurumlarda gerçekleşmiştir. Fonseca ve arkadaşlarının (2024) çalışması, CTML prensipleri doğrultusunda tasarlanmış öğretim senaryolarının öğretim üyelerine yapılandırılmış bir çerçeve sunduğunu ve uygulamayı kolaylaştırdığını göstermiştir.

Maliyet-Etkinlik ve Erişilebilirlik

Dijital anatomi eğitiminin yaygınlaşması için maliyet-etkinlik ve erişilebilirlik kritik faktörlerdir.

Başlangıç Maliyetleri

Dijital anatomi teknolojilerinin başlangıç maliyetleri önemli ölçüde değişmektedir:

- **VR başlıkları:** 300-1000 USD (tüketici sınıfı) ile 3000-5000 USD (profesyonel sınıf) arasında
- **AR cihazları:** Microsoft HoloLens gibi cihazlar 3000-5000 USD civarında
- **Dijital kadavra masaları:** Anatomage Table gibi sistemler 50.000-100.000 USD aralığında
- **3D yazılım lisansları:** Yıllık 1000-10.000 USD arasında değişebilir

Bu başlangıç maliyetleri, özellikle kaynak kısıtlı kurumlarda önemli bir engel oluşturmaktadır. Ancak uzun vadeli maliyet analizi farklı bir tablo ortaya koymaktadır.

Uzun Vadeli Maliyet Karşılaştırması

Kadavra temini, muhafazası ve laboratuvar bakımının süregelen maliyetleri ile karşılaştırıldığında, dijital sistemler uzun vadede daha ekonomik olabilir:

- Kadavra temini ve hazırlık maliyetleri (yıllık)
- Formaldehit ve diğer kimyasallar
- Laboratuvar bakımı ve güvenlik önlemleri
- Atık yönetimi
- Personel maliyetleri

Dijital sistemler, bir kez yatırım yapıldıktan sonra, sadece yazılım güncellemeleri ve minimal bakım gerektirmektedir. Ayrıca, dijital içerik sınırsız sayıda öğrenci tarafından kullanılabilirken, kadavra kaynakları sınırlıdır.

Ancak mevcut literatürde, kapsamlı maliyet-etkinlik analizleri sunan çalışmalar yetersizdir. Farklı kurumların farklı bağlamlardaki deneyimlerini sistematik olarak karşılaştıran araştırmalara ihtiyaç vardır.

Erişilebilirlik ve Eşitlik

Dijital teknolojiler, coğrafi ve ekonomik engelleri aşma potansiyeline sahiptir. Kadavra temininde zorluk yaşayan veya anatomi laboratuvarı kurmaya maddi gücü yetmeyen kurumlarda, dijital çözümler önemli bir alternatif sunmaktadır.

Web tabanlı 3D atlaslar ve mobil uygulamalar, öğrencilere kendi cihazlarından erişim imkânı vermektedir. Ancak bu, tüm öğrencilerin yeterli cihaz ve internet bağlantısına sahip olduğu

varsayımına dayanmaktadır. COVID-19 pandemisi, dijital erişim eşitsizliğinin önemli bir sorun olduğunu ortaya koymuştur.

Gelecekte, dijital anatomi eğitiminin planlanmasında, eşitlik ve erişilebilirlik ilkeleri merkeze alınmalıdır. Kurumlar, dezavantajlı öğrencilere cihaz ödünç verme, kampüste erişim noktaları oluşturma ve düşük bant genişliği gerektiren alternatifler sunma gibi stratejiler geliştirmelidir.

Uygulama Zorlukları ve Çözüm Önerileri

Dijital anatomi eğitiminin başarılı bir şekilde uygulanması, birçok pratik zorluğun aşılmasını gerektirmektedir.

Teknik Zorluklar

Donanım performansı: VR ve AR uygulamaları, yüksek işlem gücü ve grafik kapasitesi gerektirmektedir. Eski veya düşük performanslı cihazlar, tatmin edici bir deneyim sunamamaktadır.

Çözüm önerisi: Bulut tabanlı rendering teknolojileri, işlem yükünü sunucu tarafına kaydırarak, daha düşük performanslı cihazların da yüksek kaliteli içeriğe erişmesini sağlayabilir.

Ağ altyapısı: Büyük 3D modellerin yüklenmesi ve VR uygulamalarının çalıştırılması, yüksek bant genişliği gerektirmektedir.

Çözüm önerisi: Kampüs içinde yüksek hızlı Wi-Fi altyapısı kurulması, içeriklerin önbelleğe alınması ve offline kullanım seçeneklerinin sunulması.

Yazılım uyumluluğu: Farklı platformlar ve cihazlar arasında uyumluluk sorunları yaşanabilmektedir.

Çözüm önerisi: Web tabanlı çözümler ve açık standartlar kullanılması, platform bağımsızlığı sağlayabilir.

Pedagojik Zorluklar

Öğretim üyesi hazırlığı: Birçok anatomi eğitimsi, dijital teknolojileri etkili bir şekilde kullanmak için gerekli pedagojik ve teknik becerilere sahip değildir.

Çözüm önerisi: Kapsamlı öğretim üyesi geliştirme programları, workshop'lar ve sürekli teknik destek sağlanmalıdır. Fonseca ve arkadaşlarının (2024) önerdiği gibi, CTML gibi kanıta dayalı pedagojik çerçeveler kullanılarak, yapılandırılmış öğretim senaryoları geliştirilmelidir.

Öğretim tasarımı: Etkili dijital öğrenme deneyimleri tasarlamak, sadece içerik dijitalleştirmekten daha fazlasını gerektirmektedir.

Çözüm önerisi: Öğretim tasarımcıları, anatomi uzmanları ve teknoloji uzmanlarından oluşan multidisipliner ekipler kurulmalıdır. Bilişsel yük teorisi, multimedya öğrenme prensipleri ve aktif öğrenme stratejileri, tasarım sürecine entegre edilmelidir.

Değerlendirme: Dijital öğrenme ortamlarında öğrenci performansını nasıl değerlendireceği konusunda belirsizlikler vardır.

Çözüm önerisi: Geleneksel sınavlara ek olarak, dijital ortamlarda formative assessment araçları, öğrenme analitiği ve performans metrikleri kullanılmalıdır.

Kurumsal Zorluklar

Bütçe kısıtlamaları: Dijital teknolojilere yatırım, kısıtlı bütçelere sahip kurumlar için zorlayıcı olabilir.

Çözüm önerisi: Aşamalı uygulama stratejileri, pilot projeler ve maliyet-paylaşım modelleri düşünülebilir. Açık kaynak yazılımlar ve ücretsiz kaynaklar değerlendirilebilir.

Değişime direnç: Bazı öğretim üyeleri ve yöneticiler, geleneksel yöntemleri korumayı tercih edebilir.

Çözüm önerisi: Kanıta dayalı sonuçlar paylaşılmalı, başarılı uygulama örnekleri gösterilmeli ve değişim sürecine tüm paydaşlar dahil edilmelidir.

Sürdürülebilirlik: Teknolojinin hızla değişmesi, sürekli güncelleme ve yenileme gerektirmektedir.

Çözüm önerisi: Uzun vadeli stratejik planlama, sürdürülebilir finansman modelleri ve teknoloji yol haritaları geliştirilmelidir.

Gelecek Perspektifleri ve Öneriler

Dijital anatomi eğitiminin geleceği, teknolojik yenilikler, pedagojik gelişmeler ve kurumsal stratejilerin kesişiminde şekillenecektir.

Gelecek Trendleri

Hibrit modellerin yaygınlaşması: Mevcut kanıtlar, hibrit modellerin en etkili yaklaşım olduğunu göstermektedir (García-Robles ve ark., 2024). Gelecekte, kadavra diseksiyonu ile dijital teknolojilerin entegre edildiği, her birinin güçlü yönlerinin kullanıldığı modeller standart haline gelecektir.

Yapay zeka entegrasyonu: AI destekli kişiselleştirilmiş öğrenme, adaptif içerik sunumu ve akıllı değerlendirme sistemleri, anatomi eğitimi dönüşürme potansiyeline sahiptir. Ancak bu uygulamalar, güçlü ampirik araştırmalar ve etik değerlendirmelerle desteklenmelidir.

Haptik teknolojiler: Dokunsal geri bildirim sağlayan haptik cihazlar, dijital anatomi eğitiminin en önemli eksikliği olan fiziksel deneyimi telafi edebilir. Bu teknolojilerin gelişmesi ve maliyetlerinin düşmesi, dijital diseksiyon simülasyonlarını daha gerçekçi hale getirecektir.

Sosyal ve işbirlikçi VR: Yin ve arkadaşlarının (2023) çalışması, işbirlikçi VR ortamlarının öğrenme çıktılarını artırdığını

göstermiştir. Gelecekte, öğrencilerin farklı lokasyonlardan aynı sanal ortamda buluşarak birlikte çalışabildiği, sosyal etkileşim ve akran öğrenmeyi destekleyen platformlar yaygınlaşacaktır.

Genişletilmiş gerçeklik (Extended Reality - XR) ekosistemi: VR, AR ve mixed reality teknolojilerinin entegrasyonu, öğrencilere farklı öğrenme bağlamlarında farklı modaliteler arasında geçiş yapma esnekliği sağlayacaktır.

Kanıtı Dayalı Öneriler

Literatür sentezi temelinde, dijital anatomi eğitiminin başarılı uygulanması için şu öneriler sunulabilir:

1. **Hibrit modeller benimsenmelidir:** Dijital teknolojiler, kadavra diseksiyonunun yerini almak yerine, onu tamamlayan araçlar olarak konumlandırılmalıdır (García-Robles ve ark., 2024).
2. **Pedagojik çerçeveler kullanılmalıdır:** CTML gibi kanıtı dayalı pedagojik teoriler, dijital içerik tasarımına rehberlik etmelidir (Fonseca ve ark., 2024).
3. **Aktif ve işbirlikçi öğrenme desteklenmelidir:** Dijital teknolojiler, pasif izleme yerine aktif manipülasyon, keşif ve işbirliği fırsatları sunacak şekilde tasarlanmalıdır (Yin ve ark., 2023).
4. **Öğretim üyesi gelişimi önceliklendirilmelidir:** Kapsamlı eğitim programları ve sürekli destek, dijital pedagojinin başarısı için kritiktir.
5. **Değerlendirme ve araştırma sürdürülmelidir:** Her yeni teknolojik uygulama, standartlaştırılmış değerlendirme araçları ve öğrenme analitiği ile izlenmeli, sonuçlar paylaşılmalıdır.
6. **Eşitlik ve erişilebilirlik merkeze alınmalıdır:** Tüm öğrencilerin dijital kaynaklara eşit erişimi sağlanmalıdır.

7. **Mekânsal öğrenme ve radyolojik korelasyon vurgulanmalıdır:** Dijital teknolojiler, özellikle üç boyutlu düşünme ve radyolojik görüntü yorumlama becerilerinin geliştirilmesinde etkilidir (Means ve ark., 2023).

Uygulama Adımları

Kurumlar için dijital anatomi eğitimini başarıyla uygulamak için önerilen adımlar:

Adım 1 - İhtiyaç analizi: Kurumun mevcut durumu, kaynakları, altyapısı ve öğrenci-öğretim üyesi ihtiyaçları değerlendirilmelidir.

Adım 2 - Stratejik planlama: Kısa, orta ve uzun vadeli hedefler belirlenmeli, teknoloji yol haritası ve finansman planı oluşturulmalıdır.

Adım 3 - Pilot uygulama: Küçük ölçekli pilot projelerle başlanmalı, sonuçlar değerlendirilmeli ve iyileştirmeler yapılmalıdır.

Adım 4 - Pedagojik tasarım: CTML gibi kanıta dayalı çerçeveler kullanılarak, yapılandırılmış öğretim senaryoları geliştirilmelidir (Fonseca ve ark., 2024).

Adım 5 - Öğretim üyesi hazırlığı: Kapsamlı eğitim programları, workshop'lar ve teknik destek sağlanmalıdır.

Adım 6 - Aşamalı genişleme: Pilot başarılarına dayanarak, uygulama kademeli olarak genişletilmelidir.

Adım 7 - Sürekli değerlendirme ve iyileştirme: Öğrenme çıktıları, kullanıcı deneyimi ve teknik performans sürekli izlenmeli, geri bildirimler toplanmalı ve sistem iyileştirilmelidir.

Sonuç

Anatomi eğitiminde dijitalleşme, geri döndürülemez bir süreçtir ve bu dönüşüm, doğru yönetildiğinde öğrenme deneyimini

ve çıktılarını önemli ölçüde iyileştirebilir. Güncel bulgular, dijital teknolojilerin geleneksel kadavra diseksiyonuna eşdeğer veya tamamlayıcı olarak küçük-orta düzeyde bir öğrenme avantajı sağladığını göstermektedir (García-Robles ve ark., 2024). Ancak bu etkinlik, teknolojinin kendisinden ziyade, pedagojik tasarıma, uygulama kalitesine ve bağlama bağlıdır.

Gelecek, kadavra diseksiyonu ile dijital teknolojilerin birbirini tamamladığı hibrit modellerde yatmaktadır. Bu modeller, her iki yaklaşımın güçlü yönlerini birleştirerek, öğrencilere zengin, çok modlu ve esnek öğrenme deneyimleri sunmaktadır. Dijital araçlar, özellikle mekânsal düşünme, radyolojik korelasyon, tekrarlı pratik ve kendi hızında öğrenme için değerli kaynaklardır (Means ve ark., 2023).

Başarılı dijital anatomi eğitimi, teknoloji odaklı değil, pedagoji odaklı bir yaklaşım gerektirir. Bilişsel Multimedya Öğrenme Teorisi gibi kanıta dayalı çerçeveler, aktif ve işbirlikçi öğrenme stratejileri ve sürekli değerlendirme, dijital teknolojilerin potansiyelini gerçekleştirmek için esastır (Fonseca ve ark., 2024; Yin ve ark., 2023).

Anatomi eğitimcileri olarak bizler, bu dijital dönüşümü fırsat olarak görmeliyiz. Teknolojinin sunduğu olanakları, yüzyıllardır süren anatomi öğretimi geleneğini zenginleştirmek, öğrencilerimize 21. yüzyılın sağlık profesyonelleri olarak ihtiyaç duydukları becerileri kazandırmak ve anatomi biliminin öğrenilmesini daha erişilebilir, etkili ve ilgi çekici hale getirmek için kullanmalıyız. Ancak bu süreçte, kadavra diseksiyonunun benzersiz değerini ve anatomi eğitiminin insani ve etik boyutlarını asla gözden kaçırmamalıyız.

Kaynakça

Fonseca, G., Tipoe, G. L., & Ganotice, F. A. (2024). Facilitating active learning of sectional anatomy with technology-enhanced small-group tasks: Assessment of knowledge gains, technology usability, and students' perceptions. *Clinical Anatomy*, advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ca.24190>

García-Robles, P., Cortés-Pérez, I., Nieto-Escamez, F. A., Obrero-Gaitán, E., & Fusté-Escolano, A. (2024). Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*, advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ase.2397>

Lohit, S., Reis, I., Ives, R., Borges, N., & Darosa, D. A. (2022). Virtual Reality, Autostereoscopy, and Physical Models for Learning Anatomy: Performance Comparisons. *The FASEB Journal*, 36(S1). <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.r5777>

Means, K., Voges, A. K., & Ritter, N. L. (2023). Students with access to 3D study materials are better able to translate spatial relationships between abdominal organs and correctly interpret abnormal radiographic images. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, advance online publication. <https://doi.org/10.1111/vru.13217>

Rahawi, A. H., Crofton, A., Enterline, R., Mack, K., Talwalkar, V., & Kameron, J. (2022). Evaluation of a Mixed Reality Approach to Teaching in a Physician-Associate Gross Anatomy Course. *The FASEB Journal*, 36(S1). <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.0r896>

Yin, T., Shyu, J. F., Wang, Y.-C., Tseng, C.-W., Chiu, Y.-W., & Chuang, Y.-H. (2023). Enhancing anatomy education through cooperative learning: harnessing virtual reality for effective gross anatomy learning. *Journal of Microbiology & Biology Education*, advance online publication. <https://doi.org/10.1128/jmbe.00100-23>

ANATOMİK VARYASYONLAR ve KLİNİK ÖNEMİ

Bilal TURAN³

Giriş

Anatomik varyasyonlar, insan vücudunda yapıların form, sayı, orijin, seyir veya sonlanma noktalarında görülen normal sapmalardır. Bu varyasyonlar genellikle klinik olarak sessiz seyretmekle birlikte, tanınmadığında cerrahi ve girişimsel işlemler sırasında ciddi komplikasyonlara yol açabilirler. Bu bölümde, vasküler, nöral, kas-iskelet sistemi ve viseral organ varyasyonları sistematik olarak ele alınmakta, her birinin klinik önemi, prevalansı ve cerrahi yönetim stratejileri detaylandırılmaktadır. Modern görüntüleme teknikleri, özellikle multidetektör bilgisayarlı tomografi anjiyografi ve 3D rekonstrüksiyon, anatomik varyasyonların preoperatif tespitinde altın standart haline gelmiştir. Hepatik arter varyasyonları, sistik arter anomalileri, alt ekstremité vasküler paternleri, periferik sinir varyasyonları ve aksesuar kas yapıları, en sık karşılaşılan ve klinik açıdan önemli varyasyonlar arasındadır. Preoperatif görüntüleme protokollerinin rutin kullanımı,

³ Doktor Öğretim Üyesi, Batman Üniversitesi, SHMYO, Orcid: 0000-0002-2954-8489

multidisipliner yaklaşım ve intraoperatif dikkat, varyasyona bağlı komplikasyonları minimize etmede temel rol oynar.

Anatomik Varyasyonların Tanımı ve Sınıflandırması

Anatomik varyasyonlar, insan vücudunda yapıların form, sayısı, orijin, seyir veya sonlanma noktalarında görülen normal sapmalardır. Bu varyasyonlar, “normal” anatomik yapıdan farklılık göstermekle birlikte, patolojik durumlar veya malformasyonlar olarak sınıflandırılmazlar. Anatomik varyasyonlar, popülasyonda belirli bir sıklıkta görülür ve çoğu zaman fonksiyonel bir bozukluğa yol açmazlar (Lohr & Mouawad, 2018).

Anatomik varyasyonlar, çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir:

Sayısal Varyasyonlar: Aksesuar yapılar, Normal anatomiye ek olarak bulunan yapılar (örn. aksesuar hepatik arter, çoklu renal arterler, aksesuar kaslar) olarak tanımlanmaktadır. Yokluk (Agenezi), Normal anatomide bulunması beklenen bir yapının yokluğu (örn. palmaris longus yokluğu, renal agenezi) olarak tanımlanmaktadır. Duplikasyon, Bir yapının ikili veya çoklu olması (örn. duplike üreter, duplike inferior vena kava) olarak tanımlanmaktadır.

Morfolojik Varyasyonlar: Form varyasyonları, Yapının şekil ve boyutundaki değişiklikler olarak tanımlanmaktadır. Pozisyon varyasyonları, Yapının normal lokalizasyonundan farklı bir konumda olması (örn. retroaortik sol renal ven) olarak tanımlanmaktadır. Füzyon anomalileri, Normal anatomide ayrı olan yapıların birleşmesi (örn. at nalı böbrek) olarak tanımlanmaktadır.

Orijin ve Seyir Varyasyonları: Değiştirilmiş (Replaced) yapılar, Bir yapının normal kaynağından farklı bir kaynaktan köken alması (örn. superior mezenterik arterden kaynaklanan sağ hepatik arter) olarak tanımlanmaktadır. Aberan yapılar, Normal anatomik

seyirden sapan yapılar (örn. aberan sağ subklavyen arter) olarak tanımlanmaktadır. Dallanma patern varyasyonları, Damar veya sinirlerin dallanma paternlerindeki farklılıklar olarak tanımlanmaktadır.

Vasküler varyasyonlar, klasik anatomik şemalarla kategorize edilir. Örneğin, hepatik arterler için Michel (1955) ve Hiatt (1994) sınıflamaları, seliak trunkus varyasyonları için Adachi sınıflaması yaygın olarak kullanılmaktadır (Noussios, Dimitriou, Chatzis, & Katsourakis, 2017).

Anatomik Varyasyonların Embriyolojik Temeli

Anatomik varyasyonlar, embriyonik gelişim sürecindeki farklı morfolojik olayların sonucudur. Her organ sistemi, kendine özgü embriyolojik süreçler geçirir ve bu süreçlerdeki değişiklikler varyasyonlara yol açar.

Vasküler Sistem Embriyolojisi ve Varyasyonlar:

Vasküler sistemin gelişimi, embriyonik dönemde kompleks bir süreçtir. Arteriyel sistem, başlangıçta bilateral simetrik aortik arklar ve ventral/dorsal aortalardan oluşur. Bu eşleşmiş damarların kalıcılığı, regresyonu veya anormal anastomozları, çeşitli vasküler varyasyonlara yol açar (Lohr & Mouawad, 2018). Aortik ark anomalileri, Altı çift aortik arkın asimetrik gelişimi ve regresyonu, aortik ark ve dallarının varyasyonlarına neden olur. Örneğin, aberan sağ subklavyen arter (arteria lusoria), dördüncü aortik arkın sağ segmentinin regresyonu ve yedinci intersegmental arterin kalıcılığı sonucu oluşur. olarak tanımlanmaktadır. Hepatik arter varyasyonları, Hepatik arterler, embriyonik dönemde ventral splanknik arteriyel pleksusdan gelişir. Bu pleksusun farklı segmentlerinin kalıcılığı veya regresyonu, çeşitli hepatik arter varyasyonlarına yol açar. Örneğin, sol gastrik arterden kaynaklanan aksesuar veya değiştirilmiş sol hepatik arter, ventral splanknik pleksusun proksimal segmentinin

kalıcılığı sonucu oluşur (Noussios et al., 2017). olarak tanımlanmaktadır. Renal vasküler varyasyonlar, Böbrekler, embriyonik dönemde pelvik bölgeden kraniale göç eder ve bu süreçte farklı seviyelerden arteriyel suplen alır. Normal gelişimde, alt seviye arterler regrese olur ve tek bir renal arter kalır. Ancak, bu alt seviye arterlerin kalıcılığı, aksesuar renal arterlere yol açar (Sharbidre, Aziz, & Mohd, 2022). olarak tanımlanmaktadır.

Venöz Sistem Embriyolojisi:

Venöz sistem, üç çift embriyonik ven sisteminden gelişir: kardinal, umbilikal ve vitellin venler. Bu sistemlerin kompleks anastomozları, regresyonları ve transformasyonları, çeşitli venöz varyasyonlara yol açar (Lohr & Mouawad, 2018). İnferior vena kava anomalileri, IVC, sağ subkardinal ve suprakardinal venlerin füzyonu ve transformasyonundan gelişir. Sol subkardinal venin kalıcılığı sol IVC'ye, her iki subkardinal venin kalıcılığı duplike IVC'ye yol açar. olarak tanımlanmaktadır. Renal ven varyasyonları, Sol renal ven, başlangıçta iki kollateral yol ile drene olur: preaortik ve retroaortik. Normal gelişimde retroaortik yol regrese olur. Ancak, retroaortik yolun kalıcılığı retroaortik sol renal vene, her iki yolun kalıcılığı ise sirkumaortik sol renal vene yol açar (Damen, Spoor, Zonnenberg, van Wijk, & Kruij, 2023). olarak tanımlanmaktadır.

Nöral Sistem Embriyolojisi:

Periferik sinirler, nöral krest hücrelerinden ve spinal kord motor nöronlarından gelişir. Sinir pleksuslarının oluşumu, karmaşık dallanma ve füzyon süreçlerini içerir. Bu süreçlerdeki varyasyonlar, sinir dallanma paternlerinde farklılıklara yol açar (Rajaram-Gilkes, Burwell, Barr, & Tubbs, 2023).

Kas-İskelet Sistemi Embriyolojisi:

Kaslar, somit mezoderminden köken alan miyotomlardan gelişir. Miyoblastların göçü, füzyonu ve diferansiyasyonu sırasında

meydana gelen değişiklikler, kas varyasyonlarına (aksesuar kaslar, kas yokluğu) yol açar. Palmaris longus yokluğu, miyoblast göçü veya diferansiyasyonundaki değişikliklerin bir sonucu olabilir (Ioannis, Anastasios, Konstantinos, & Lazaros, 2015).

1.3. Anatomik Varyasyonların Prevalansı ve Klinik Önemi

Anatomik varyasyonların prevalansı, varyasyon tipine, organ sistemine, etnik kökene ve coğrafi bölgeye göre önemli ölçüde değişir. Bazı varyasyonlar oldukça yaygındır ve rutin cerrahi pratiği doğrudan etkiler.

Yaygın Anatomik Varyasyonlar ve Prevalansları:

Hepatik arter varyasyonları, Konvansiyonel hepatik arter anatomisi (common hepatik arter → proper hepatik arter → sağ ve sol hepatik arterler) popölasyonun yaklaşık %55-80'inde görülür. Geri kalan %20-45'inde çeşitli varyasyonlar mevcuttur. En sık görülen varyasyonlar arasında superior mezenterik arterden kaynaklanan değiştirilmiş veya aksesuar sağ hepatik arter (%10-21) ve sol gastrik arterden kaynaklanan değiştirilmiş veya aksesuar sol hepatik arter (%2-25) bulunur (Leclerc, Avila, Hossu, & Claudon, 2022; Noussios et al., 2017). olarak tanımlanmaktadır. Sistik arter varyasyonları, Sistik arter, tipik olarak sağ hepatik arterden kaynaklanır (%76-79). Ancak, çoklu sistik arterler (%8.9), kısa sistik arterler (%9.5), sistik arterin common hepatik arter, gastroduodenal arter veya sol hepatik arterden kaynaklanması gibi varyasyonlar bildirilmiştir. Calot üçgeni içindeki seyir varyasyonları da önemlidir (Andall et al., 2016). olarak tanımlanmaktadır. Renal vasküler varyasyonlar, Tek renal arter %75 oranında görülürken, aksesuar renal arterler %25 oranında tespit edilir. Erken dallanma, polar arterler ve ektopik orijinler (iliak arterlerden) nadir ancak klinik açıdan önemli varyasyonlardır (Sharbidre et al., 2022). olarak tanımlanmaktadır. Alt ekstremite arteriyel varyasyonlar, Popliteal arterin trifürkasyonu (anterior tibial, posterior tibial ve peroneal

arterler) klasik paterndir. Ancak, yüksek popliteal bifürkasyon, dominant peroneal arter (peronea arteria magna, %5.2), anterior tibial arter hipoplazisi veya yokluğu gibi varyasyonlar görülebilir (Abou-Foul & Borumandi, 2016). olarak tanımlanmaktadır. Palmaris longus yokluğu, Palmaris longus kasının bilateral yokluğu, popülasyonlara göre %1.5 ile %63.9 arasında değişen oranlarda bildirilmiştir. Asya popülasyonlarında daha yüksek oranlarda görülürken, Avrupa popülasyonlarında daha düşük oranlarda görülür (Ioannis et al., 2015). olarak tanımlanmaktadır. Median sinirin thenar motor dalı varyasyonları, Thenar motor dalın median sinirden ayrılma noktası ve seyir yolu önemli varyabilite gösterir. Ekstraligamentöz (en sık), transligamentöz, subligamentöz ve supraligamentöz seyir paternleri tanımlanmıştır. Bu varyasyonlar, karpal tünel cerrahisi sırasında iyatrojenik sinir hasarı riskini artırır (Duarte, Soares, & Brasseur, 2025). olarak tanımlanmaktadır.

Klinik Önem:

Anatomik varyasyonların klinik önemi, çeşitli açılardan değerlendirilebilir:

8. **Cerrahi Komplikasyonlar:** Tanınmayan anatomik varyasyonlar, cerrahi sırasında beklenmeyen yaralanmalara yol açabilir. Örneğin, kolesistektomi sırasında sistik arter varyasyonlarının tanınmaması, vasküler veya safra yolu yaralanmalarına neden olabilir (Andall et al., 2016).
9. **İskemik Komplikasyonlar:** Kritik arteriyel suplenin kesilmesi, organ veya doku iskemisine yol açabilir. Örneğin, pankreatikoduodenektomi sırasında gastroduodenal arterden kaynaklanan değiştirilmiş sağ hepatik arterin ligasyonu, hepatik iskemiye neden olabilir (Uraoka et al., 2022).
10. **Transplantasyon:** Canlı donör karaciğer transplantasyonunda, hepatik arteriyel ve portal venöz anatomi varyasyonları, donör

seçimini, cerrahi tekniği ve alıcı rekonstrüksiyonunu etkiler. Split karaciğer transplantasyonunda, orta hepatik arter gibi varyasyonlar, segmental enfarkt riskini artırır (Leclerc et al., 2022).

11. **Girişimsel Radyoloji:** Transarteriyel kemoembolizasyon, embolizasyon ve endovasküler prosedürlerde, vasküler anatomi varyasyonları, kateter navigasyonunu, hedef seçimini ve komplikasyon riskini etkiler (Sharbidre et al., 2022).
12. **Rejyonel Anestezi:** Periferik sinir bloklarında, sinir anatomisi varyasyonları, blok başarısını ve komplikasyon riskini etkiler. Örneğin, brakial plexus varyasyonları, interskalen veya supraklavikular blok başarısını etkileyebilir (Rajaram-Gilkes et al., 2023).
13. **Rekonstrüktif Cerrahi:** Serbest doku transferlerinde (flep cerrahisi), donör ve alıcı bölge vasküler anatomisi varyasyonları, flep tasarımı, perfüzyonunu ve başarısını etkiler. Örneğin, dominant peroneal arter varyasyonu, serbest fibula flebi alımı sonrası donör ekstremitte iskemi riskini artırır (Abou-Foul & Borumandi, 2016).

Cerrahlar, Radyologlar ve Klinisyenler İçin Önem

Anatomik varyasyonların bilinmesi ve tanınması, modern tıp pratiğinin ayrılmaz bir parçasıdır. Cerrahlar, girişimsel radyologlar, anesteziyologlar ve klinisyenler için bu varyasyonların farkında olmak, hasta güvenliği ve tedavi başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

Cerrahlar İçin:

- Preoperatif görüntüleme ile varyasyonların tespiti ve cerrahi planın buna göre modifikasyonu

- İntraoperatif dikkatli diseksiyon ve anatomik yapıların kesin tanımlanması
- Kritik vasküler ve nöral yapıların korunması stratejileri
- Varyasyon varlığında alternatif cerrahi tekniklerin uygulanması
- Komplikasyon riskinin hasta ile paylaşılması ve bilgilendirilmiş onam

Radyologlar İçin:

- Anatomik varyasyonların tanınması ve raporlanması
- Cerrahi ekip ile etkili iletişim ve multidisipliner değerlendirme
- 3D rekonstrüksiyon ve cerrahi planlama için optimized görüntüleme protokolleri
- Girişimsel prosedürlerde varyasyonların dikkate alınması
- Varyasyonların yanlış tanıdan (patoloji olarak yorumlanma) kaçınılması

Anesteziyologlar İçin:

- Rejyonel anestezi için periferik sinir ve vasküler anatomi varyasyonlarının bilinmesi
- Ultrason kılavuzluğunda sinir bloklarında varyasyonların tespiti
- Vasküler erişim prosedürlerinde (santral venöz kateter) venöz anatomi varyasyonlarının dikkate alınması
- Spinal ve epidural anestezide vertebral anatomi varyasyonlarının bilinmesi

Klinisyenler İçin:

- Fizik muayenede anatomik varyasyonların normal varyant olarak tanınması

- Semptomatik varyasyonların (örn. vasküler kompresyon sendromları) ayırıcı tanıda düşünülmesi
- Uygun görüntüleme yöntemlerinin seçimi ve istenmesi
- Multidisipliner yaklaşım ve uzman konsültasyonları

Vasküler Anatomik Varyasyonlar

Genel Bakış ve Klinik Etki

Arteriyel ve venöz anatomi, bireyler arasında yüksek düzeyde değişkenlik gösterir ve bu durum rezeksiyon, anastomoz, embolizasyon ve flep cerrahisi gibi işlemleri doğrudan etkiler. Hedef odaklı preoperatif anjiyografik BT/MR değerlendirmesi ve yüksek riskli varyasyonların farkındalığı, intraoperatif yaralanma ve iskemik komplikasyonları azaltır (Leclerc et al., 2022; Sharbidre et al., 2022).

Vasküler varyasyonlar, klasik anatomik şemalarla kategorize edilir ve aksesuar, değiştirilmiş (replaced), aberan, yokluk, duplikasyon ve seyir anomalileri gibi tipleri içerir. Özellikle hepatobiliyer, vasküler, transplantasyon, travma ve flep cerrahisinde yaygın varyasyon paternlerinin (hepatik, sistik, renal, alt ekstremit ve pelvik damarlar) anlaşılması esastır.

Hepatik Arteriyel Varyasyonlar

Hepatik arter anatomisi, karaciğer cerrahisi, transplantasyon ve pankreatikoduodenektomi açısından kritik öneme sahiptir. Konvansiyonel hepatik arter anatomisi, nüfusun yaklaşık %55-80'inde görülürken, geri kalan vakalarda çeşitli varyasyonlar mevcuttur (Leclerc et al., 2022; Noussios et al., 2017).

Konvansiyonel Hepatik Arter Anatomisi

Klasik anatomiye, common hepatik arter (CHA) seliak trunkustan kaynaklanır, gastroduodenal arteri (GDA) verdikten

sonra proper hepatik arter (PHA) olarak devam eder ve hepatoduodenal ligament içinde sağ ve sol hepatik arterlere (RHA ve LHA) ayrılır. RHA, sistik arteri verdikten sonra karaciğerin sağ lobunu besler. LHA, karaciğerin sol lobunu besler (Noussios et al., 2017).

Yaygın Hepatik Arter Varyasyonları:

Hepatik arter varyasyonları, Michel (1955) tarafından 10 tip olarak sınıflandırılmış, daha sonra Hiatt ve arkadaşları (1994) tarafından 6 tip olarak basitleştirilmiştir. Leclerc ve arkadaşlarının (2022) 500 vakalıklı BT çalışmasında, hepatik arter varyasyonlarının prevalansı ve cerrahi önemi detaylandırılmıştır.

Tip 1 - Konvansiyonel Anatomi (%78.6): - CHA → GDA + PHA → RHA + LHA

Tip 2 - Değiştirilmiş veya Aksesuar Sol Hepatik Arter (%9.6): - Aksesuar LHA: Normal LHA'ya ek olarak sol gastrik arterden (LGA) kaynaklanan ek bir LHA - Değiştirilmiş LHA: LHA tamamen LGA'dan kaynaklanır ve PHA'dan LHA çıkmaz

Tip 3 - Değiştirilmiş veya Aksesuar Sağ Hepatik Arter (%10.2): - Aksesuar RHA: Normal RHA'ya ek olarak superior mezenterik arterden (SMA) kaynaklanan ek bir RHA - Değiştirilmiş RHA: RHA tamamen SMA'dan kaynaklanır ve PHA'dan RHA çıkmaz

Bu varyasyon, pankreatikoduodenektomi sırasında özellikle önemlidir çünkü SMA'dan kaynaklanan RHA, pankreas başının arkasından geçer ve disseksiyon sırasında yaralanma riski taşır.

Tip 4 - Değiştirilmiş veya Aksesuar RHA ve LHA (%1.4):
- Hem RHA hem de LHA, sırasıyla SMA ve LGA'dan kaynaklanır

Tip 5 - Common Hepatik Arterin SMA'dan Kaynaklanması (%0.2): - Tüm hepatik arteriyel suplen SMA'dan gelir, seliak trunkustan CHA çıkmaz

Tip 6 - Common Hepatik Arterin Direkt Aortadan Kaynaklanması: CHA, seliak trunkus yerine direkt aortadan kaynaklanır (nadir)

Ek Önemli Varyasyonlar: Orta Hepatik Arter (MHA), Segment IV'ü besleyen ve genellikle RHA veya LHA'dan kaynaklanan arter. MHA'nın erken dallanması veya farklı orijini, split karaciğer transplantasyonunda segmental enfarkt riskini artırır (Leclerc et al., 2022). olarak tanımlanmaktadır. Trifürkasyon, PHA'nın üç dala ayrılması (RHA, LHA ve MHA veya segment arter) olarak tanımlanmaktadır. Gastroduodenal Arterden Kaynaklanan Dallar, RHA'nın veya segment arterlerinin GDA'dan kaynaklanması, pankreatikoduodenektomi sırasında kritik öneme sahiptir (Uraoka et al., 2022). olarak tanımlanmaktadır.

Klinik Vaka Örneği:

Uraoka ve arkadaşları (2022), pankreatikoduodenektomi yapılan hastalarda gastroduodenal arterden kaynaklanan problematik vasküler varyasyonları bildirmişlerdir. Bir vakada, RHA'nın GDA'dan kaynaklandığı preoperatif BT anjiyografi ile tespit edilmiştir. GDA ligasyonu öncesinde, intraoperatif klempleme testi yapılmış ve hepatik perfüzyonun korunduğu görülmüştür. Bu dikkatli yaklaşım sayesinde postoperatif hepatik iskemi önlenmiştir (Uraoka et al., 2022).

Cerrahi İmplikasyonlar: Canlı Donör Karaciğer Transplantasyonu konusunda Donör seçiminde arteriyel anatomi değerlendirmesi kritiktir şeklinde değerlendirilmektedir. - Aksesuar arterler, greft perfüzyonunu etkiler ve rekonstrüksiyon gerektirir - Değiştirilmiş arterler, donör hepatektomi tekniğini değiştirir - Alıcı

rekonstrüksiyonunda çoklu arteriyel anastomoz gerekebilir (Leclerc et al., 2022) Pankreatikoduodenektomi konusunda SMA'dan kaynaklanan RHA, pankreas rezeksiyonu sırasında yaralanma riski taşır şeklinde değerlendirilmektedir. - GDA'dan kaynaklanan hepatik dallar, GDA ligasyonu öncesi tanımlanmalıdır - Preoperatif BT anjiyografi ve intraoperatif dikkatli diseksiyon esastır (Uraoka et al., 2022) Hepatik Rezeksiyonlar konusunda Segmental veya lobar rezeksiyonlarda, arteriyel anatomi varyasyonları rezeksiyon sınırlarını etkiler şeklinde değerlendirilmektedir. - Aksesuar arterler, komşu segmentlerin perfüzyonunu sağlayabilir ve korunmalıdır - İntraoperatif ultrason ve indosiyenin yeşili perfüzyon değerlendirmesi yararlıdır Transarteriyel Kemoembolizasyon (TACE) konusunda Hepatoselüler karsinom tedavisinde, tümör besleyen arterlerin tanımlanması kritiktir şeklinde değerlendirilmektedir. - Aksesuar veya değiştirilmiş arterler, tümör supleninde rol oynayabilir - Ekstrahepatik arterlerden (frenik arter, adrenal arter) tümör beslenmesi olabilir (Sharbidre et al., 2022)

Sistik Arter Varyasyonları

Sistik arter, safra kesesini besleyen arterdir ve kolesistektomi sırasında yaralanma riski taşıyan kritik bir yapıdır. Andall ve arkadaşlarının (2016) 9,800'den fazla vakayı içeren sistematik derlemesi, sistik arter varyasyonlarının prevalansı ve klinik önemini detaylandırmıştır.

Konvansiyonel Sistik Arter Anatomisi:

Klasik anatomide, sistik arter sağ hepatik arterden kaynaklanır (%76-79), Calot üçgeni içinden geçer ve safra kesesinin kistik ve peritoneal yüzeylerini besleyen iki dala ayrılır (Andall et al., 2016).

Sistik Arter Varyasyonları:

Orijin Varyasyonları: - Sağ hepatik arterden (RHA): %76-79 (konvansiyonel) - Proper hepatik arterden (PHA): %5-15 - Common hepatik arterden (CHA): %2-4 - Gastroduodenal arterden (GDA): %1-3 - Sol hepatik arterden (LHA): %0.5-2 - Superior mezenterik arterden (SMA): Nadir - Seliak trunkustan: Nadir

Sayısal Varyasyonlar: - Tek sistik arter: %91.1 - Çift sistik arter: %8.9 (ikinci arter genellikle daha küçük ve kistik yüzeyden girebilir) - Üç veya daha fazla sistik arter: Çok nadir

Uzunluk Varyasyonları: - Normal uzunluk (>1 cm): %90.5 - Kısa sistik arter (<1 cm): %9.5

Kısa sistik arter, kolesistektomi sırasında kontrol ve kliplemede zorluk yaratır ve RHA yaralanma riskini artırır.

Seyir Varyasyonları: - Calot üçgeni içinden (anterior): En sık - Hepatoduodenal ligament içinden (posterior): Daha derin seyir, yaralanma riski - Safra kesesi duvarına paralel seyir: Disseksiyon sırasında yaralanma riski

Klinik İmplikasyonlar:

Sistik arter varyasyonları, kolesistektomi sırasında çeşitli komplikasyonlara yol açabilir: Vasküler Yaralanma konusunda RHA'nın yanlışlıkla kliplenmesi veya kesilmesi: Hepatik iskemi riski şeklinde değerlendirilmektedir. - Sistik arterin yanlış tanımlanması ve kontrol edilememesi: İntraoperatif kanama - Kısa sistik arter: Klipleme zorluğu ve kaçak klip riski Safra Yolu Yaralanması konusunda Sistik arter varyasyonları, anatomik ilişkileri değiştirir ve safra yolu yaralanma riskini artırır şeklinde değerlendirilmektedir. - Calot üçgeninin net görülebilmesi durumunda, sistik duktus yanlış tanımlanabilir

Kolesistektomide Güvenlik Stratejileri: Kritik Güvenlik Görünümü (Critical View of Safety - CVS) konusunda Calot üçgeninin tüm yağ ve fibröz dokudan temizlenmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Safra kesesinden çıkan yalnızca iki yapının (sistik duktus ve sistik arter) görülmesi - Safra kesesinin karaciğer yatağından en az 1/3 oranında ayrılması - CVS elde edilene kadar kliplendirilmesi yapılmaması (Andall et al., 2016) İntraoperatif Kolanjiografi konusunda Şüpheli durumlarda, safra yolu anatomisinin doğrulanması için intraoperatif kolanjiografi kullanılması şeklinde değerlendirilmektedir. Dikkatli Diseksiyon konusunda Elektrokoter kullanımının minimize edilmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Künt diseksiyonun tercih edilmesi - Vasküler yapıların proksimal ve distal kontrolü öncesi kesin tanımlanması Preoperatif Görüntüleme konusunda Komplike vakalarda (inflamasyon, obezite, önceki cerrahi), preoperatif MR kolanjiyo-pankreatografi (MRCP) veya BT anjiyografi düşünülmesi şeklinde değerlendirilmektedir.

Alt Ekstremité Arteriyel Varyasyonlar

Alt ekstremité arteriyel anatomisi, vasküler cerrahi, travma cerrahisi ve özellikle serbest doku transferleri (flep cerrahisi) açısından kritik öneme sahiptir. Abou-Foul ve Borumandi'nin (2016) sistematik derlemesi, alt ekstremité vasküler varyasyonlarını ve serbest fibula flebi (FFF) için implikasyonlarını detaylandırmıştır.

Konvansiyonel Alt Ekstremité Arteriyel Anatomisi

Femoral arter, inguinal ligament altında external iliak arterin devamı olarak başlar, adduktor kanaldan geçerek popliteal arter olur. Popliteal arter, diz ekleminin distalinde üç dala ayrılır (trifürkasyon): - Anterior tibial arter (ATA): Interossöz membranın önünden geçerek ayak sırtına (dorsalis pedis arter) - Posterior tibial arter (PTA): Derin posterior kompartmanda seyrederek, ayak tabanına (plantar arterler) -

Peroneal arter (fibular arter): Derin posterior kompartmanda, fibula boyunca seyrederek

Alt Ekstremitte Arteriyel Varyasyonlar

Popliteal Arter Dallanma Varyasyonları: Yüksek Bifürkasyon/Trifürkasyon konusunda Popliteal arterin normal seviyeden daha proksimalde dallanması şeklinde değerlendirilmektedir. - ATA'nın yüksek orijini en sık varyasyondur Dominant Peroneal Arter (Peronea Arteria Magna) konusunda Peroneal arterin, ATA ve/veya PTA'ya göre dominant olması şeklinde değerlendirilmektedir. - Peroneal arter, ayak perfüzyonunda ana rol oynar - Prevalans: %5.2 (havuzlanmış veri) (Abou-Foul & Borumandi, 2016) - FFF alımı için kritik öneme sahip varyasyon Anterior Tibial Arter Hipoplazisi veya Yokluğu konusunda ATA'nın ince kalibreli olması veya yokluğu şeklinde değerlendirilmektedir. - Ayak sırtı perfüzyonu, peroneal arterin perforatör dalları ile sağlanır Posterior Tibial Arter Hipoplazisi veya Yokluğu konusunda PTA'nın ince kalibreli olması veya yokluğu şeklinde değerlendirilmektedir. - Ayak tabanı perfüzyonu, peroneal arterin perforatör dalları ile sağlanır Sciatic Arter Kalıcılığı konusunda Embriyonik sciatic arterin regrese olmaması şeklinde değerlendirilmektedir. - Femoral arter hipoplastik veya yoktur - Alt ekstremitte arteriyel suplen, sciatic arterden sağlanır - Nadir ancak klinik açıdan önemli varyasyon

Serbest Fibula Flebi İçin İmplikasyonlar:

Serbest fibula flebi, mandibula rekonstrüksiyonu, uzun kemik defektlerinin onarımı ve diğer rekonstrüktif prosedürlerde yaygın olarak kullanılır. Fibula, peroneal arter tarafından beslenir ve flep alımı, peroneal arterin feda edilmesini gerektirir.

Donör Ekstremitte İskemi Riski

Dominant peroneal arter varyasyonunda, PTA ve/veya ATA hipoplastik veya yoktur. Bu durumda, peroneal arterin feda edilmesi,

donör ekstremitelerde kritik iskemiye yol açabilir (Abou-Foul & Borumandi, 2016).

Preoperatif Değerlendirme

Klinik Muayene konusunda Dorsalis pedis ve posterior tibial nabızlarının palpasyonu şeklinde değerlendirilmektedir. - Allen testi benzeri vasküler yeterlilik testleri Doppler Ultrasonografi konusunda ATA, PTA ve peroneal arterlerin değerlendirilmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Arter çaplarının ölçülmesi - Akım paternlerinin değerlendirilmesi BT Anjiyografi konusunda Altın standart preoperatif görüntüleme yöntemi şeklinde değerlendirilmektedir. - Üç boyutlu rekonstrüksiyon ile arteriyel anatomi haritalanması - Dominant peroneal arter varyasyonunun tespiti - Perforatör dalların lokalizasyonu (Abou-Foul & Borumandi, 2016)

Karar Verme:

- Dominant peroneal arter varyasyonu tespit edilirse, FFF alımı kontrendikedir
- Alternatif flep seçenekleri (iliak krest, skapula, radius) değerlendirilmelidir
- Bilateral değerlendirme, kontralateral ekstremiteden flep alımı seçeneği sunabilir

2.5. Renal Vasküler Varyasyonlar

Renal vasküler anatomi, renal transplantasyon, canlı donör nefrektomi, aort cerrahisi ve retroperitoneal cerrahi açısından kritik öneme sahiptir.

Konvansiyonel Renal Arteriyel Anatomi:

Klasik anatomide, her böbrek tek bir renal arterle beslenir. Renal arterler, aortadan L1-L2 vertebra seviyesinde, superior

mezenterik arterin hemen distalinde kaynaklanır. Sağ renal arter, inferior vena kavanın arkasından geçerek sağ böbreğe ulaşır (Sharbidre et al., 2022).

Renal Arteriyel Varyasyonlar

Aksesuar Renal Arterler konusunda Prevalans: %20-30 şeklinde değerlendirilmektedir. - Ana renal artere ek olarak, aortadan veya iliak arterlerden kaynaklanan ek arterler - Polar arterler: Böbreğin üst veya alt polünü besleyen arterler - Aksesuar arterler genellikle ana arterden daha ince kalibrelidir ancak beslediği bölge için kritiktir Erken Dallanma konusunda Renal arterin hilus öncesinde dallanması şeklinde değerlendirilmektedir. - Canlı donör nefrektomide, çoklu arteriyel anastomoz gerektirir Ektopik Orijin konusunda Renal arterlerin iliak arterlerden (common, external, internal) kaynaklanması şeklinde değerlendirilmektedir. - Nadir ancak cerrahi açıdan kritik varyasyon (Petousis & Margioulas-Siarkou, 2021)

Renal Venöz Varyasyonlar

Sol Renal Ven Varyasyonları

Sol renal ven, sağ renal vene göre daha uzundur ve aortanın önünden geçerek inferior vena kavaya drene olur. Bu anatomik ilişki nedeniyle, sol renal ven varyasyonları daha sık görülür ve klinik açıdan daha önemlidir. Retroaortik Sol Renal Ven konusunda Sol renal ven, aortanın önü yerine arkasından geçer şeklinde değerlendirilmektedir. - Prevalans: %1.8-2.4 - Aort cerrahisi ve retroperitoneal ekspoziyon sırasında yaralanma riski (Damen et al., 2023) Sirkumaortik Sol Renal Ven konusunda Sol renal venden iki kol çıkar: biri aortanın önünden, diğeri arkasından geçer şeklinde değerlendirilmektedir. - Her iki kol da IVC'ye drene olur - Prevalans: %0.5-8.7 - Daha kompleks anatomik ilişki, cerrahi zorluk (Damen et al., 2023) Retrokaval Sağ Renal Ven konusunda Sağ renal

ven, IVC'nin arkasından geçer şeklinde değerlendirilmektedir. - çok nadir varyasyon

Klinik Vaka rneği

Petousis ve Margioulas-Siarkou (2021), laparotomi sırasında sol renal arterin sol common iliak arterden kaynakladığı ektopik bir vaka bildirmişlerdir. Bu varyasyon, preoperatif görüntülemeye tespit edilmemiştir. İntraoperatif olarak tanınması ve dikkatli diseksiyon sayesinde, renal arter korunmuş ve böbrek iskemisi önlenmiştir. Bu vaka, nadir varyasyonların farkında olmanın ve intraoperatif dikkatli anatomik diseksiyonun önemini vurgulamaktadır (Petousis & Margioulas-Siarkou, 2021).

İdhrees ve Velayudhan (2022), açık torakoabdominal anevrizma onarımı sırasında retroaortik sol renal ven ile karşılaşılan bir vaka bildirmişlerdir. Preoperatif BT anjiyografi ile varyasyonun tespit edilmesi, cerrahi yaklaşımın modifiye edilmesine olanak tanımıştır. Retroaortik sol renal ven korunmuş ve bölünmeden aortik ekspozisyon sağlanmıştır. Bu modifiye yaklaşım, venöz yaralanma ve kanama komplikasyonlarını önlemiştir (İdhrees & Velayudhan, 2022).

Cerrahi İmplikasyonlar

Canlı Donör Nefrektomi konusunda Aksesuar arterler, greft perfüzyonunu etkiler ve alıcıda çoklu anastomoz gerektirir şeklinde değerlendirilmektedir. - Erken dallanma, donör cerrahiyi zorlaştırır - Sol böbrek genellikle tercih edilir (daha uzun ven), ancak venöz varyasyonlar bu tercihi değiştirebilir Renal Transplantasyon konusunda Alıcıda venöz anatomi varyasyonları, anastomoz yerini ve tekniğini etkiler şeklinde değerlendirilmektedir. - IVC anomalileri (duplike IVC, sol IVC), venöz anastomozu karmaşıılaştırır Aort Cerrahisi konusunda Retroaortik sol renal ven, aortik ekspozisyon sırasında yaralanma riski taşıır şeklinde değerlendirilmektedir. -

Preoperatif tespit, cerrahi yaklaşımın modifikasyonuna olanak tanır (Idhrees & Velayudhan, 2022) Retroperitoneal Cerrahi konusunda Onkolojik retroperitoneal disseksiyonlarda, renal vasküler varyasyonlar yaralanma riskini artırır şeklinde değerlendirilmektedir.

Pelvik Vasküler Varyasyonlar

Pelvik vasküler anatomi, pelvik cerrahi, ortopedik fiksasyon, fıtık onarımı ve obstetrik-jinekolojik prosedürler açısından önemlidir.

Corona Mortis (Ölüm Tacı):

Corona mortis, obturator arterin inferior epigastrik arterden veya external iliak arterden kaynaklanan bir varyasyondur. Bu arteriyel bağlantı, pubik ramusa yakın seyrederek ve pelvik cerrahi sırasında yaralanma durumunda ciddi kanamaya yol açabilir.

Prevalans: %10-70 (çalışmalara göre değişir)

Klinik Önem: - Pelvik travma ve kırık fiksasyonu sırasında yaralanma riski - İnguinal ve femoral fıtık onarımı sırasında kanama riski - Sezaryen ve pelvik cerrahide yaralanma riski - “Ölüm tacı” ismi, kontrol edilemeyen kanamanın mortalite riskini vurgular (Sharbidre et al., 2022)

Preoperatif Değerlendirme: - Pelvik BT anjiyografi, yüksek riskli vakalarda düşünülmelidir - İntraoperatif dikkatli disseksiyon ve pubik ramus yakınındaki vasküler yapılar dikkat

İnternal İliak Arter Varyasyonları:

İnternal iliak arter, anterior ve posterior divizyonlara ayrılır ve pelvik organları, gluteal bölgeyi ve perineum’u besler. Dallanma paternleri önemli varyabilite gösterir.

Klinik Önem: - Pelvik onkolojik cerrahi (radikal histerektomi, radikal prostatektomi) - Obstetrik kanama kontrolü (internal iliak arter ligasyonu) - Endovasküler prosedürler (pelvik travma embolizasyonu)

Aberan Sağ Subklavyen Arter (Arteria Lusoria)

Aberan sağ subklavyen arter (ARSA), en sık görülen aortik ark anomalisidir. ARSA, aortadan en son dal olarak çıkar ve özofagusun arkasından (retroözofageal) veya bazen önünden geçerek sağ üst ekstremiteye ulaşır.

Prevalans: %0.5-2

Embriyolojik Temel: - Dördüncü aortik arkın sağ segmentinin ve dorsal aortanın regresyonu - Yedinci intersegmental arterin (sağ subklavyen arter) kalıcılığı - Arterin aortanın en distal noktasından çıkması (Fujii et al., 2025)

Klinik Manifestasyonlar: Disfaji (Dysphagia Lusoria) konusunda Retroözofageal seyir, özofagusa eksternal bası yapabilir şeklinde değerlendirilmektedir. - Semptomlar genellikle hafiftir, katı gıdalarla disfaji Nonrekürren Laringeal Sinir konusunda ARSA varlığında, sağ rekürren laringeal sinir nonrekürren olabilir şeklinde değerlendirilmektedir. - Sinir, aortik arkın etrafında dönmek yerine, direkt olarak larenkse gider - Tiroid ve paratiroid cerrahisinde yaralanma riski (Fujii et al., 2025) Vasküler Komplikasyon Riski konusunda ARSA anevrizması (Kommerell divertikülü) şeklinde değerlendirilmektedir. - Rüptür riski - Endovasküler veya açık cerrahi gereksinimi

Fujii ve Arkadaşlarının Kadavra Çalışması

Fujii ve arkadaşları (2025), üç kadavrada tespit edilen ARSA vakalarını bildirmişlerdir. Detaylı anatomik diseksiyon, ARSA'nın retroözofageal seyirini, özofagus ve trakeaya olan ilişkisini ve eşlik eden nonrekürren laringeal sinir varyasyonunu göstermiştir. Bu

çalışma, ARSA'nın torasik cerrahi, özofagus cerrahisi ve baş-boyun cerrahisindeki önemini vurgulamaktadır (Fujii et al., 2025).

Cerrahi İmplikasyonlar

Tiroid ve Paratiroid Cerrahisi konusunda Nonrekürren laringeal sinir varyasyonu, sinir tanımlanmasını zorlaştırır şeklinde değerlendirilmektedir. - İntraoperatif sinir monitorizasyonu önerilir Özofagus Cerrahisi konusunda ARSA, özofagus mobilizasyonu sırasında yaralanma riski taşır şeklinde değerlendirilmektedir. - Preoperatif BT anjiyografi, varyasyonun tespitini sağlar Torasik Endovasküler Aort Onarımı (TEVAR) konusunda ARSA, stent greft yerleşimini ve landing zone seçimini etkiler şeklinde değerlendirilmektedir. - Aberan arterin revaskülarizasyonu gerekebilir

Cerrahi ve Girişimsel Radyoloji Önerileri

Preoperatif Haritalama

Multidetektör BT Anjiyografi konusunda Hepatik, renal, pelvik ve alt ekstremitte cerrahisi öncesi rutin kullanım şeklinde değerlendirilmektedir. - İnce kesit protokolleri (≤ 1 mm) - Arteriyel, venöz ve geç faz görüntüleme - Multiplanar rekonstrüksiyon (MPR) ve 3D volüm rendering - Donör/transplantasyon, majör onkolojik ve flep prosedürleri için esastır (Leclerc et al., 2022; Sharbidre et al., 2022) MR Anjiyografi konusunda İyotlu kontrast kontrendikasyonu durumunda alternatif şeklinde değerlendirilmektedir. - Gadolinium bazlı kontrast veya kontrast kullanılmayan teknikler - BT'ye göre daha düşük uzaysal çözünürlük ancak yumuşak doku kontrastı mükemmel Dijital Subtraksiyon Anjiyografi (DSA) konusunda Kompleks vakalarda veya girişimsel prosedür planlamasında şeklinde değerlendirilmektedir. - Dinamik görüntüleme ve selektif kateterizasyon imkanı

İntraoperatif Strateji

Dikkatli Diseksiyon ve Tanımlama konusunda Yaygın varyasyonlar beklenmeli (örn. değiştirilmiş RHA, kısa sistik arter) şeklinde değerlendirilmektedir. - Vasküler yapıların proksimal ve distal kontrolü öncesi kesin tanımlama - Kritik güvenlik görünümü tekniğinin uygulanması (Andall et al., 2016) İntraoperatif Görüntüleme konusunda İntraoperatif ultrasonografi: Vasküler yapıların real-time görüntülenmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - İndosiyanin yeşili (ICG) perfüzyon değerlendirmesi: Organ ve doku perfüzyonunun değerlendirilmesi - İntraoperatif anjiyografi: Şüpheli durumlarda vasküler anatomi doğrulaması Koruma Stratejileri konusunda Varyant vasküler yapıların korunması şeklinde değerlendirilmektedir. - İntraoperatif klempleme testleri ile kritik suplenin değerlendirilmesi - Gerekğinde revaskülarizasyon prosedürleri (Uraoka et al., 2022) Modifiye Cerrahi Teknikler konusunda Varyasyon varlığında cerrahi yaklaşımın modifikasyonu şeklinde değerlendirilmektedir. - Alternatif rezeksiyon planlarının uygulanması - Rekonstrüksiyon tekniklerinin adaptasyonu (Idhrees & Velayudhan, 2022)

Endovasküler İmplikasyonlar

Kateter Navigasyonu konusunda Vasküler anatomi varyasyonları, kateter seçimini ve navigasyon stratejisini etkiler şeklinde değerlendirilmektedir. - Aberan orijinler ve tortüöz seyirler, teknik zorluk yaratır Hedef Seçimi konusunda Aksesuar dallar ve anomalous orijinler, hedef damar seçimini etkiler şeklinde değerlendirilmektedir. - Kemoembolizasyonda, tümör beslenmesinin tüm kaynaklarının tanımlanması gerekir Komplikasyon Önleme konusunda Hedef dışı embolizasyon riskinin minimize edilmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Kritik suplenin korunması - Preoperatif BT anjiyografi, güvenli endovasküler prosedür için esastır (Sharbidre et al., 2022)

Nöral ve Kas-İskelet Sistemi Varyasyonları

Nöral ve kas-iskelet anatomisi, kranial ve periferik sinir varyantları, otonom varyantlar, aksesuar/yokluk kas paternleri ve ortopedik ve rejyonel anestezi pratigini etkileyen iskelet varyantlarını içerir. Bu varyasyonların tanınması, iyatrojenik sinir hasarını önlemek ve rejyonel blokların başarısını artırmak için kritiktir (Duarte et al., 2025; Rajaram-Gilkes et al., 2023).

Nöral ve kas-iskelet anatomisi, sıklıkla küçük ölçekli varyantlar (dallanma paternleri, aksesuar kaslar, yokluk tendonları) gösterir ve bu durum cerrahi anatomik işaretleri ve rejyonel anestezi başarısını değiştirir. Preprosedurel ultrason ve yaygın varyant paternlerin farkındalığı, sinir blokları, karpal tünel cerrahisi ve rekonstrüktif prosedürlerde sonuçları iyileştirir (Duarte et al., 2025; Ioannis et al., 2015; Rajaram-Gilkes et al., 2023).

3.2. Periferik Sinir Varyasyonları

3.2.1. Median Sinirin Thenar Motor Dalı (TMB)

Median sinir, el bileğinde karpal tünelden geçer ve thenar kaslara (abductor pollicis brevis, opponens pollicis, flexor pollicis brevis superficial head) motor inervasyon sağlayan thenar motor dalını verir. TMB'nin seyir yolu ve median sinirden ayrılma noktası önemli varyabilite gösterir.

TMB Seyir Paternleri

Duarte ve arkadaşları (2025), TMB'nin ultrasonografik görüntülenmesini ve varyasyonlarını detaylandıran kapsamlı bir resimli derleme yayınlamışlardır: Ekstraligamentöz (Tip I) konusunda En sık görülen patern (%46-97) şeklinde değerlendirilmektedir. - TMB, transvers karpal ligamentin (flexor retinakulum) distalinde median sinirden ayrılır - Karpal tünel cerrahisi sırasında yaralanma riski düşük Subligamentöz (Tip II) konusunda TMB, transvers karpal ligamentin altında median

sinirden ayrılır ve ligamenti deler şeklinde değerlendirilmektedir. - Prevalans: %31-46 - Karpal tünel cerrahisi sırasında yaralanma riski orta Transligamentöz (Tip III) konusunda TMB, transvers karpal ligamenti içinden geçer şeklinde değerlendirilmektedir. - Prevalans: %12-23 - Karpal tünel cerrahisi sırasında yaralanma riski yüksek Supraligamentöz (Tip IV) konusunda TMB, transvers karpal ligamentin proksimalinde median sinirden ayrılır şeklinde değerlendirilmektedir. - Nadir patern - Ligament üzerinden seyreder, yaralanma riski (Duarte et al., 2025)

Klinik İmplikasyonlar

Karpal Tünel Sendromu Cerrahisi, TMB varyasyonları, karpal tünel gevşetme (release) cerrahisi sırasında iyatrojenik sinir hasarı riskini artırır. Transligamentöz ve subligamentöz varyasyonlarda, ligament kesilirken TMB yaralanabilir. olarak tanımlanmaktadır. Preoperatif Ultrasonografi, Yüksek çözünürlüklü ultrason, TMB'nin seyir paternini preoperatif olarak tanımlayabilir ve cerrahi yaklaşımı yönlendirebilir. Ultrason kılavuzluğunda cerrahi, TMB yaralanma riskini azaltır (Duarte et al., 2025). olarak tanımlanmaktadır.

Brakial Pleksus Varyasyonları

Brakial pleksus, C5-T1 spinal sinir köklerinden oluşur ve üst ekstremiteye motor ve duyuşal inervasyon sağlar. Pleksusun oluşumu, kompleks dallanma ve füzyon süreçlerini içerir ve varyasyonlar sık görülür.

Yaygın Brakial Pleksus Varyasyonları

Prefiks Pleksus, C4 spinal sinir kökünün önemli katkısı, T1'in minimal katkısı olarak tanımlanmaktadır. Postfiks Pleksus, T2 spinal sinir kökünün önemli katkısı, C5'in minimal katkısı olarak tanımlanmaktadır. Trunkus Varyasyonları, Superior, orta ve inferior trunkusların oluşum varyasyonları olarak tanımlanmaktadır. Cord

Varyasyonları, Lateral, posterior ve medial cordların oluşum varyasyonları olarak tanımlanmaktadır.

Rajaram-Gilkes ve Arkadaşlarının Vaka Raporu

Rajaram-Gilkes ve arkadaşları (2023), bilateral median sinir ve brakial arter varyasyonlarını bildiren bir vaka raporu yayınlamışlardır. Kadavra diseksiyonunda, median sinirin olağandışı seyri, kubital fossada beklenmeyen anatomik ilişkiler ve eşlik eden brakial arter anomalileri tespit edilmiştir. Bu vaka, nöral ve vasküler varyasyonların birlikte bulunabileceğini ve arteriyovenöz fistül (AVF) oluşumunu, rejyonel anestezi bloklarını ve üst ekstremitte cerrahisini etkileyebileceğini göstermektedir (Rajaram-Gilkes et al., 2023).

Klinik İmplikasyonlar

Rejyonel Anestezi, Brakial pleksus blokları (interskalen, supraklavikular, infraklavikular, aksiller), üst ekstremitte cerrahisi için yaygın olarak kullanılır. Pleksus varyasyonları, blok başarısını ve komplikasyon riskini etkiler. Ultrason kılavuzluğu, pleksus varyasyonlarının tanımlanmasına ve güvenli blok uygulamasına olanak tanır. olarak tanımlanmaktadır. Üst Ekstremitte Cerrahisi, Ortopedik, vasküler ve rekonstrüktif cerrahide, brakial pleksus varyasyonlarının farkında olmak, iyatrojenik sinir hasarını önler. olarak tanımlanmaktadır.

Diğer Periferik Sinir Varyasyonları

Ulnar Sinir Varyasyonları, Ulnar sinirin seyir yolu, dallanma paternleri ve el içi motor dalları varyabilite gösterir. Martin-Gruber anastomozu (median sinirden ulnar sinire motor lif geçişi) en sık görülen varyasyondur. olarak tanımlanmaktadır. Radial Sinir Varyasyonları, Radial sinirin spiral olukta (humerus) seyri ve dallanma paternleri varyabilite gösterir. olarak tanımlanmaktadır. Lumbosacral Pleksus Varyasyonları, Alt ekstremitte sinirlerinin

(femoral, sciatic, obturator) orijin ve dallanma paternleri varyabilite gösterir. olarak tanımlanmaktadır.

Kas-İskelet Sistemi Varyasyonları

Musculus Palmaris Longus Yokluğu

Musculus palmaris longus, ön kol fleksör kompartmanının yüzeysel kasıdır. Pronator teres ve flexor carpi radialis arasında yerleşir, uzun bir tendon oluşturur ve palmar aponeuroza yapışır. Palmaris longus, el bileği fleksiyonunda ve palmar aponeurozun gerginleştirilmesinde rol oynar, ancak fonksiyonel önemi sınırlıdır.

Prevalans

Ioannis ve arkadaşlarının (2015) kapsamlı literatür derlemesi, palmaris longus yokluğunun popülasyonlara göre %1.5 ile %63.9 arasında değişen oranlarda görüldüğünü bildirmiştir: Avrupa Popülasyonları, %2.3-24% (genellikle düşük oranlar) olarak tanımlanmaktadır. Asya Popülasyonları, %4.6-63.9% (genellikle yüksek oranlar) olarak tanımlanmaktadır. Afrika Popülasyonları, %1.5-26.6% olarak tanımlanmaktadır. Orta Doğu Popülasyonları, %1.6-24.4% olarak tanımlanmaktadır.

Bilateral yokluk, unilateral yokluktan daha sık görülür. Sol taraf yokluğu, sağ taraftan daha sık olabilir (Ioannis et al., 2015).

Klinik İmplikasyonlar

Tendon Grefti Kaynağı konusunda Palmaris longus tendonu, en sık kullanılan tendon grefti kaynaklarından biridir şeklinde değerlendirilmektedir. - Ön çapraz bağ (ACL) rekonstrüksiyonu, el bileği ligament onarımları, yüz felci cerrahisi (sling prosedürleri) için kullanılır - Palmaris longus yokluğunda, alternatif greft kaynakları (plantaris, gracilis, semitendinosus) değerlendirilmelidir Klinik Muayene konusunda Palmaris longus varlığının değerlendirilmesi: El bileği fleksiyonu ve başparmak oppozisyonu

sırasında, el bileği orta hattında tendonun palpasyonu şeklinde değerlendirilmektedir. - Preoperatif değerlendirme, greft planlaması için esastır Anatomik Varyant Olarak Tanıma konusunda Palmaris longus yokluğu, patolojik bir durum değildir ve fonksiyonel defisit yaratmaz şeklinde değerlendirilmektedir. - Hastaların gereksiz endişelenmesini önlemek için, normal varyant olarak açıklanmalıdır

Langer'in Aksiller Arkı

Langer'in aksiller arkı, latissimus dorsi ve pectoralis major kasları arasında uzanan fibromusküler bir slip'tir. Aksillayı geçer ve bazen nörovasküler yapılara yakın seyreder.

Prevalans: %7-10

Soares'in Gerçek Dünya Kanıtı

Soares (2025), Langer'in aksiller arkının gerçek dünya kanıtlarını sunarak, bu anatomik varyasyonun aksiller prosedürlerde cerrahi pratiği nasıl etkilediğini ve daha güvenli cerrahi için anatomik varyasyonlar ile cerrahi pratik arasındaki köprüyü vurgulamıştır. Kadavra diseksiyonları ve klinik vakalar, Langer'in aksiller arkının nörovasküler yapıları (aksiller arter, ven ve brakial pleksus) sıkıştırabileceğini veya aksiller lenfadenektomiye komplike edebileceğini göstermiştir (Soares, 2025).

Klinik İmplikasyonlar

Aksiller Lenfadenektomi konusunda Meme kanseri cerrahisinde, aksiller lenf nodu diseksiyonu sırasında Langer'in aksiller arkı ile karşılaşılabilir şeklinde değerlendirilmektedir. - Arkın tanınmaması, tam onkolojik diseksiyonu engelleyebilir veya nörovasküler yaralanmaya yol açabilir Nörovasküler Kompresyon konusunda Langer'in aksiller arkı, aksiller arter, ven veya brakial pleksus elemanlarını sıkıştırabilir şeklinde değerlendirilmektedir. - Torasik çıkış sendromu benzeri semptomlar oluşturabilir

İntraoperatif Tanıma konusunda Aksiller cerrahi sırasında, beklenmeyen fibromusküler yapıların dikkatli değerlendirilmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Gerektiğinde arkın bölünmesi ve tam disseksiyon (Soares, 2025)

Diğer Kas Varyasyonları

Sternalis Kas, Pectoralis major kasının üzerinde, sternum üzerinde seyreden aksesuar kas. Prevalans: %3-8. Meme cerrahisi ve torasik cerrahi sırasında karşılaşılabılır. olarak tanımlanmaktadır. Psoas Minor Yokluğu, Psoas minor kasının yokluğu veya rudimenter olması. Prevalans: %40-50. Fonksiyonel önemi sınırlı. olarak tanımlanmaktadır. Plantaris Yokluğu, Plantaris kasının yokluğu. Prevalans: %7-20. Tendon grefti kaynağı olarak kullanılır, yokluğunda alternatif greftler değerlendirilir. olarak tanımlanmaktadır.

Rejyonel Anestezi ve Cerrahi Öneriler

Ultrason Kılavuzluğu

Preprosedürel ve intraprocedürel ultrasonografî, nöral ve vasküler anatomi varyasyonlarının tanımlanmasında ve güvenli rejyonel anestezi uygulamasında kritik rol oynar: Periferik Sinir Bloklarında, Brakial pleksus, femoral, sciatic ve diğer periferik sinir bloklarında, ultrason kılavuzluğu blok başarısını artırır ve komplikasyonları azaltır. Sinir varyasyonları ve vasküler anomaliler real-time olarak görüntülenebilir. olarak tanımlanmaktadır. Karpal Tünel Cerrahisinde, TMB'nin preoperatif ultrasonografik haritalanması, cerrahi yaklaşımı yönlendirir ve sinir hasarını önler (Duarte et al., 2025). olarak tanımlanmaktadır. Vasküler Erişimde, Santral venöz kateterizasyon ve periferik venöz erişimde, ultrason kılavuzluğu venöz anatomi varyasyonlarının tanımlanmasına ve güvenli erişime olanak tanır. olarak tanımlanmaktadır.

Cerrahi Planlama

Cerrahlar, diseksiyon planlarken veya erişim oluştururken varyant kas slipleri ve sinir seyirlerini öngörmeli, traksiyon/kompresyon yaralanmalarından kaçınmalıdır: Aksiller Cerrahi, Langer'in aksiller arkı beklenmeli ve intraoperatif tanımlanmalıdır (Soares, 2025). olarak tanımlanmaktadır. Üst Ekstremitte Cerrahisi, Brakial pleksus ve periferik sinir varyasyonları dikkate alınmalıdır (Rajaram-Gilkes et al., 2023). olarak tanımlanmaktadır. AVF Oluşturulması, Vasküler erişim cerrahisinde, nöral ve vasküler anatomi varyasyonları preoperatif görüntüleme ile değerlendirilmelidir. olarak tanımlanmaktadır.

Ortopedik İmplikasyonlar

Tendon grefti mevcudiyeti ve kemik morfolojisi, rekonstrüktif ve ACL prosedürlerinde preoperatif olarak kontrol edilmelidir: ACL Rekonstrüksiyonu, Palmaris longus varlığının değerlendirilmesi, greft planlaması için esastır. Yokluk durumunda, alternatif greftler (gracilis, semitendinosus) kullanılır (Ioannis et al., 2015). olarak tanımlanmaktadır. El Cerrahisi, Palmaris longus tendonu, çeşitli el cerrahisi prosedürlerinde (ligament onarımları, tendon transferleri) kullanılır. olarak tanımlanmaktadır.

Viseral Organ Varyasyonları, Görüntüleme ve Klinik Vakalar

Viseral organ anatomisi (hepatik, pankreatik, renal, testiküler/ovarian vasküler suplen ve pozisyonel varyantlar), abdominal ve torasik cerrahide operatif stratejiyi sıklıkla etkiler. Modern kesitsel görüntüleme, özelleşmiş anjiyografik protokoller ve 3D rekonstrüksiyonlar, tespit ve cerrahi planlama için merkezidir (Leclerc et al., 2022; Martínez et al., 2022; Sharbidre et al., 2022).

Gastrointestinal ve Hepatopankreatobiliyer Varyasyonlar

Pankreas Anatomik Varyasyonları

Pankreas, retroperitoneal bir organdır ve baş, boyun, gövde ve kuyruk bölümlerinden oluşur. Pankreas şekli, boyutu ve duktal ilişkileri varyabilite gösterir. Martínez ve arkadaşlarının (2022) sistematik derlemesi, pankreas anatomik varyasyonlarının insidansı ve klinik implikasyonlarını değerlendirmiştir:

Yaygın Pankreas Varyasyonları

Anuler Pankreas, Pankreas dokusunun duodenum'u çevrelemesi. Duodenal obstrüksiyon yapabilir. olarak tanımlanmaktadır. Pankreas Divisum, Dorsal ve ventral pankreatik duktusların füzyon anomalisi. En sık görülen konjenital pankreas anomalisidir (prevalans: %5-10). Rekürren pankreatit riski. olarak tanımlanmaktadır. Ektopik Pankreas, Pankreas dokusunun normal lokalizasyonu dışında bulunması (mide, duodenum, jejunum). Genellikle asemptomatik. olarak tanımlanmaktadır. Santorini Duktus Dominansı, Aksesuar pankreatik duktusun (Santorini) ana duktusa göre dominant olması (Martínez et al., 2022). olarak tanımlanmaktadır.

Klinik İmplikasyonlar

- Pankreatik cerrahi (Whipple, distal pankreatektomi) sırasında duktal anatomi varyasyonları, anastomoz tekniğini etkiler
- ERCP ve pankreatik stent yerleştirilmesinde duktal varyasyonlar dikkate alınmalıdır
- Pankreas divisum, rekürren pankreatit nedeni olabilir ve endoskopik veya cerrahi tedavi gerektirebilir

Hepatik ve Gastroduodenal Arteriyel Varyantlar (Ek Klinik Vaka)

Hepatik arter varyasyonları, daha önce detaylı olarak ele alınmıştır. Burada, ek bir klinik vaka örneği sunulmaktadır.

Uraoka ve Arkadaşlarının Pankreatikoduodenektomi Serisi:

Uraoka ve arkadaşları (2022), pankreatikoduodenektomi sırasında karşılaşılan problematik gastroduodenal arter varyasyonlarını bildirmişlerdir. Seride, GDA'dan kaynaklanan RHA veya segment arterlerinin %2.3 oranında tespit edildiği bildirilmiştir.

Vaka Detayı: - Preoperatif BT anjiyografi, GDA'dan kaynaklanan bir hepatik dal tespit etmiştir - İntraoperatif olarak, GDA ligasyonu öncesinde, hepatik dal tanımlanmış ve korunmuştur - İntraoperatif klempleme testi, hepatik perfüzyonun yeterli olduğunu göstermiştir - Postoperatif dönemde hepatik iskemi gelişmemiştir

Bu vaka, preoperatif görüntüleme ile varyasyonların tespitinin, intraoperatif stratejinin modifikasyonuna ve komplikasyonların önlenmesine olanak tanıdığını göstermektedir (Uraoka et al., 2022).

Ürogenital Varyasyonlar

Renal Arterler (Ek Klinik Vaka)

Renal vasküler varyasyonlar, daha önce detaylı olarak ele alınmıştır. Burada, ek bir klinik vaka örneği sunulmaktadır.

Petousis ve Margioulas-Siarkou'nun Ektopik Renal Arter Vakası:

Petousis ve Margioulas-Siarkou (2021), jinekolojik laparotomi sırasında tespit edilen ektopik sol renal arter vakası bildirmişlerdir.

Vaka Detayı: - Hasta, over kisti nedeniyle laparotomi yapılmıştır - İntraoperatif olarak, sol renal arterin sol common iliak

arterden kaynaklandığı tespit edilmiştir - Bu varyasyon, preoperatif görüntülemeye tespit edilmemişti - Dikkatli diseksiyon ile arter korunmuş ve böbrek iskemisi önlenmiştir

Bu vaka, nadir varyasyonların farkında olmanın ve intraoperatif dikkatli anatomik diseksiyonun önemini vurgulamaktadır. Ayrıca, pelvik ve retroperitoneal cerrahi öncesinde, vasküler anatomi değerlendirmesinin önemini göstermektedir (Petousis & Margioulas-Siarkou, 2021).

Testiküler/Gonadal Arteriyel Anomaliler

Testiküler arterler, normalde aortadan renal arterlerin hemen distalinde kaynaklanır. Ancak, aberan orijinler bildirilmiştir.

Vaka Raporu (2024):

Gastrointestinal kanamaya sahip bir hastada, anjiyografi sırasında inferior mezenterik arterden kaynaklanan aberan sol testiküler arter tespit edilmiştir. Bu nadir varyasyon, embolizasyon prosedürlerinde veya retroperitoneal cerrahide önemli olabilir. Testiküler arterin aberan orijini, testiküler iske mi riskini artırabilir (Vaka Raporu, 2024).

Respiratuar ve Torasik Varyasyonlar

Aberan Sağ Subklavyen Arter (Ek Detaylar)

ARSA, daha önce ele alınmıştır. Fujii ve arkadaşlarının (2025) kadavra çalışması, ARSA'nın anatomik detaylarını ve klinik önemini vurgulamıştır.

Fujii ve Arkadaşlarının Kadavra Çalışması:

Üç kadavrada tespit edilen ARSA vakaları detaylı olarak diseke edilmiştir: Vaka 1, ARSA, aortanın en distal dalı olarak çıkmış, özofagusun arkasından geçmiştir. Retroözofageal seyir, özofagusa hafif bası yapmıştır. olarak tanımlanmaktadır. Vaka 2,

ARSA'ya ek olarak, nonrekürren sağ laringeal sinir tespit edilmiştir. Sinir, ARSA'nın etrafında dönmek yerine, direkt olarak larenkse gitmiştir. olarak tanımlanmaktadır. Vaka 3, ARSA, Kommerell divertikülü ile birlikte bulunmuştur (ARSA'nın aortadan çıkış yerinde anevrizma benzeri genişleme). olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışma, ARSA'nın torasik cerrahi, özofagus cerrahisi ve baş-boyun cerrahisindeki önemini vurgulamaktadır. Nonrekürren laringeal sinir varyasyonunun tanınması, tiroid ve paratiroid cerrahisinde iyatrojenik sinir hasarını önlemek için kritiktir (Fujii et al., 2025).

Klinik Vaka Örnekleri (Özet)

Donör Hepatektomi ve Split Karaciğer Tuzakları

RHA'dan kaynaklanan orta hepatic arter (segment IV suplen), preoperatif BT anjiyografi haritalaması olmadan split karaciğer transplantasyonunda yaralanma riski taşır ve segmental enfarkt riskine neden olur (Leclerc et al., 2022; Sharbidre et al., 2022).

Serbest Fibula Flebi Donör İskemisi

Dominant peroneal arter varyasyonları mevcut olduğunda, FFF alımı sonrası donör bölge iskemi riski, preoperatif vasküler görüntüleme ile azaltılır (Abou-Foul & Borumandi, 2016).

Retroaortik Sol Renal Ven ile Açık Torakoabdominal Anevrizma:

Modifiye cerrahi yaklaşımlar, preoperatif görüntüleme ile bilgilendirildiğinde, mevcut olduğunda retroaortik sol renal veni bölmekten kaçınılabilir (Idhrees & Velayudhan, 2022).

Modern Görüntüleme Teknikleri ve Tespit Yöntemleri

BT Anjiyografi ve 3D Rekonstrüksiyon

Multidetektör bilgisayarlı tomografi (MDCT) anjiyografi, anatomik varyasyonların tespitinde altın standart haline gelmiştir. Yüksek uzaysal çözünürlük, hızlı tarama süreleri ve multiplanar rekonstrüksiyon yetenekleri sayesinde, vasküler anatominin detaylı haritalanması mümkündür (Leclerc et al., 2022; Sharbidre et al., 2022).

Teknik Parametreler: Dedektör Konfigürasyonu, 64-320 dedektör sıralı MDCT olarak tanımlanmaktadır. Kesit Kalınlığı, ≤ 1 mm (submilimetrik görüntüleme tercih edilir) olarak tanımlanmaktadır. Kontrast Madde, İyotlu kontrast madde (300-370 mg I/mL), 3-5 mL/s enjeksiyon hızı olarak tanımlanmaktadır. - **Faz Protokolü:** - Arteriyel faz: Kontrast enjeksiyonundan 25-30 saniye sonra (bolus tracking veya test bolus ile optimize edilir) - Venöz faz: 60-70 saniye sonra - Geç faz: 3-5 dakika sonra (gerektiğinde)

Rekonstrüksiyon Teknikleri: Multiplanar Rekonstrüksiyon (MPR) konusunda Aksiyel, koronal ve sagittal planda görüntüleme şeklinde değerlendirilmektedir. - Oblik planlar, vasküler yapıların uzun aksına paralel görüntüleme - Curved MPR, tortüöz damarların görüntülenmesi Maximum Intensity Projection (MIP) konusunda Vasküler yapıların yüksek kontrast görüntülenmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - İnce ve kalın MIP rekonstrüksiyonları - Rotasyonel MIP, vasküler anatominin dinamik değerlendirilmesi 3D Volüm Rendering (VR) konusunda Anatomik ilişkilerin üç boyutlu görselleştirilmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Cerrahi planlama ve hasta eğitimi için ideal - İnteraktif manipülasyon, farklı açılardan görüntüleme (Leclerc et al., 2022)

Avantajları:

- Arteriyel, venöz ve geç faz görüntüleme ile kompleks vasküler anatominin değerlendirilmesi
- 3D volüm rendering ile cerrahi planlama ve hasta eğitimi
- İntraoperatif navigasyon sistemleri ile entegrasyon
- Tümör-damar ilişkilerinin değerlendirilmesi
- Non-invazif ve hızlı görüntüleme

Klinik Uygulamalar: Canlı Donör Karaciğer Transplantasyonu, Hepatik arteriyel ve portal venöz anatomi değerlendirmesi, donör seçimi, cerrahi planlama olarak tanımlanmaktadır. Pankreatikoduodenektomi, Hepatik arter ve SMA dallarının haritalanması, tümör-damar ilişkilerinin değerlendirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Serbest Flep Cerrahisi, Donör ve alıcı bölge vasküler anatomisinin değerlendirilmesi, perforatör lokalizasyonu olarak tanımlanmaktadır. Renal Transplantasyon, Donör ve alıcı vasküler anatomi değerlendirmesi olarak tanımlanmaktadır. Aort Cerrahisi, Aort ve dallarının anatomisi, renal ven varyasyonları, retroperitoneal ilişkiler (Sharbidre et al., 2022) olarak tanımlanmaktadır.

Manyetik Rezonans Anjiyografi (MRA)

MRA, iyotlu kontrast maddenin kontrendike olduğu durumlarda (böbrek yetmezliği, kontrast alerjisi) alternatif bir görüntüleme yöntemidir.

MRA Teknikleri: Kontrast Destekli MRA (CE-MRA) konusunda Gadolinyum bazlı kontrast ajanlar şeklinde değerlendirilmektedir. - Yüksek uzaysal çözünürlük - BT anjiyografiye benzer görüntü kalitesi Time-of-Flight (TOF) MRA konusunda Kontrast madde kullanılmadan arteriyel görüntüleme şeklinde değerlendirilmektedir. - Akan kanın sinyal özelliklerinden yararlanma - Daha düşük uzaysal çözünürlük, daha uzun tarama

süresi Phase-Contrast (PC) MRA konusunda Akan kanın faz değışikliklerinden yararlanma şeklinde değeriendirilmektedir. - Akım yönü ve hızının ölçülmesi - Valvüler hastalıklar ve şant değeriendirmesi için yararlı

Avantajları:

- İyonize radyasyon içermemesi
- Multiplanar görüntüleme yeteneği
- Yumuşak doku kontrastının mükemmel olması
- Fonksiyonel bilgi (akım hızı, yönü) sağlama

Dezavantajları:

- BT anjiyografiye göre daha düşük uzaysal çözünürlük
- Daha uzun tarama süreleri
- Metalik implantların varlığında artefaktlar
- Nefrojenik sistemik fibrozis riski (gadolinium, böbrek yetmezliğinde)
- Maliyet (BT'ye göre daha pahalı)

Ultrasonografi

Yüksek çözünürlüklü ultrasonografi, özellikle yüzeyel yapıların (periferik sinirler, tendonlar, yüzeyel damarlar) değeriendirilmesinde değerilidir. Real-time görüntüleme ve dinamik değeriendirme imkanı sağlar (Duarte et al., 2025).

Teknik Parametreler: Prob Frekansı, 7-18 MHz (yüzeyel yapılar için yüksek frekans) olarak tanımlanmaktadır. Doppler Modaliteleri, Color Doppler, Power Doppler, Spektral Doppler olarak tanımlanmaktadır. Elastografi, Doku sertliğinin değeriendirilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Klinik Uygulamalar

Thenar Motor Dalın Haritalanması konusunda Karpal tünel cerrahisi  ncesi TMB'nin seyir paterninin belirlenmesi şeklinde değerlendirilmektedir.-Ekstraligamentöz, subligamentöz, transligament z, supraligament z varyasyonların tespiti - Cerrahi yaklaşımın yönlendirilmesi (Duarte et al., 2025) Rejyonel Anestezi konusunda Periferik sinir bloklarında ultrason kılavuzluğu şeklinde değerlendirilmektedir. - Brakial pleksus, femoral, sciatic ve diğer sinir bloklarında gerçek zamanlı görüntüleme - Sinir varyasyonları ve vasküler anomalilerin tespiti - İğne yerleşiminin görüntülenmesi, lokal anestetik yayılımının değerlendirilmesi Vasküler Erişim konusunda Santral venöz kateterizasyon (internal juguler, subklavyen, femoral venler) şeklinde değerlendirilmektedir. - Periferik venöz erişim (PICC, midline kateterler) - Arteriyel kateterizasyon - Venöz anatomi varyasyonlarının tespiti, güvenli erişim Alt Ekstremit  Arteriyel Yetmezlik konusunda Doppler ultrasonografi ile arteriyel akım değerlendirmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Ankle-brachial index (ABI)  l  m  - Arteriyel stenoz ve okl zyonların tespiti - Serbest flep cerrahisi öncesi donör ekstremit  değerlendirmesi (Abou-Foul & Borumandi, 2016)

Avantajları:

- Real-time görüntüleme
- Dinamik değerlendirme (hareket, kompresyon)
- Radyasyon içermemesi
- Düşük maliyet
- Yatak başı uygulanabilirlik

Dezavantajları:

- Operatöre bağımlılık

- Sınırlı penetrasyon derinliği
- Kemik ve hava artefaktları
- Obez hastalarda görüntü kalitesi düşüklüğü

5.4. Kadavra Çalışmalarının Rolü

Kadavra disseksiyonları, anatomik varyasyonların anlaşılmasında temel rol oynamaya devam etmektedir. Detaylı morfolojik inceleme, nadir varyasyonların keşfi ve çoklu sistem varyasyonlarının birlikteliğinin tespiti için kadavra çalışmaları vazgeçilmezdir (Fujii et al., 2025; Soares, 2025).

Kadavra Çalışmalarının Avantajları: Detaylı Morfolojik Analiz konusunda Mikroskopik düzeyde anatomik yapıların incelenmesi şeklinde değerlendirilmektedir. - Vasküler, nöral ve kas yapılarının üç boyutlu ilişkilerinin anlaşılması - Nadir varyasyonların dokümantasyonu Çoklu Sistem Varyasyonlarının Değerlendirilmesi konusunda Vasküler, nöral ve kas varyasyonlarının eş zamanlı bulunması şeklinde değerlendirilmektedir. - Bir varyasyonun diğer yapılar üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi - Örnek: ARSA ile nonrekürren laringeal sinir birlikteliğı (Fujii et al., 2025) Cerrahi Eğitim konusunda Cerrahi rezidanlar için gerçekçi anatomi sunumu şeklinde değerlendirilmektedir. - Cerrahi tekniklerin pratik edilmesi - Varyasyonlarla karşılaşma deneyiminin artırılması Araştırma ve Dokümantasyon konusunda Yeni varyasyonların keşfi ve sınıflandırılması şeklinde değerlendirilmektedir. - Prevalans çalışmaları için morfolojik veri - Anatomi eğitimi için görsel materyal oluşturulması

Görüntüleme Çalışmalarının Avantajları

Geniş Popölasyonlarda Prevalans Verileri konusunda Binlerce hastanın görüntüleme verilerinin analizi şeklinde değerlendirilmektedir. - Etnik ve coğrafi farklılıkların

değerlendirilmesi - İstatistiksel olarak anlamlı prevalans tahminleri
In Vivo Anatomi İlişkiler konusunda Canlı dokuda anatomik yapıların değerlendirilmesi şeklinde değerlendirilmektedir. -
Fizyolojik koşullarda vasküler akım ve organ perfüzyonu - Patolojik durumların anatomik varyasyonlarla ilişkisi Klinik Popülasyonlarda Varyasyonların Tespiti konusunda Semptomatik ve asemptomatik varyasyonların karşılaştırılması şeklinde değerlendirilmektedir. -
Varyasyonların klinik sonuçlarla ilişkisinin değerlendirilmesi -
Komplikasyon riskinin belirlenmesi

Tamamlayıcı Yaklaşım

Her iki yaklaşım da tamamlayıcıdır ve anatomik varyasyonların kapsamlı anlaşılması için birlikte kullanılmalıdır. Kadavra çalışmaları, detaylı morfolojik bilgi sağlarken, görüntüleme çalışmaları geniş popülasyonlarda prevalans verileri sunar. İdeal araştırma stratejisi, her iki yöntemi de entegre eder (Fujii et al., 2025; Leclerc et al., 2022; Soares, 2025).

Cerrahi Komplikasyonlar ve Yönetim Stratejileri

(Bu bölüm, önceki taslakta ele alınmıştır ve burada tekrarlanmamaktadır. İçerik, vasküler komplikasyonlar, nöral komplikasyonlar, organ disfonksiyonu, preoperatif dönem stratejileri, intraoperatif dönem stratejileri ve postoperatif dönem stratejilerini kapsamaktadır.)

Gelecek Perspektifleri ve Araştırma Yönleri

(Bu bölüm, önceki taslakta ele alınmıştır ve burada tekrarlanmamaktadır. İçerik, teknolojik gelişmeler, genomik ve personalize tıp, standartizasyon ve veri tabanları, eğitim ve simülasyon, ve araştırma önceliklerini kapsamaktadır.)

Sonuç

Anatomik varyasyonlar, insan anatomisinin doğal ve kaçınılmaz bir parçasıdır. Bu varyasyonların çoğu klinik olarak sessiz seyretmekle birlikte, cerrahi ve girişimsel işlemler sırasında tanınmadığında ciddi komplikasyonlara yol açabilirler. Modern tıp pratiğinde, anatomik varyasyonların sistematik olarak değerlendirilmesi ve yönetilmesi, hasta güvenliği ve cerrahi başarı için kritik öneme sahiptir.

Bu bölümde sunulan kanıtlar, vasküler, nöral, kas-iskelet ve visceral organ varyasyonlarının geniş bir spektrumunu kapsamaktadır. Hepatik arter varyasyonları (%20-45), sistik arter anomalileri (%21-24), alt ekstremité vasküler paternleri (dominant peroneal arter %5.2), periferik sinir varyasyonları (TMB varyasyonları), aksesuar kas yapıları (Langer'in aksiller arkı %7-10) ve palmaris longus yokluğu (%1.5-63.9), en sık karşılaşılan ve klinik açıdan önemli varyasyonlar arasındadır.

Temel Öneriler:

Yüksek riskli cerrahiler öncesi rutin görüntüleme: Hepatobiliyer, transplantasyon, majör vasküler, flep ve karmaşık rekonstrüktif cerrahiler öncesinde, multidetektör BT anjiyografi ve 3D rekonstrüksiyon rutin olarak uygulanmalıdır.

Multidisipliner yaklaşım: Cerrahlar, radyologlar ve anesteziyologlar arasında etkili iletişim ve işbirliği, varyasyonların optimal yönetimi için esastır.

İntraoperatif dikkat ve esneklik: Yaygın varyasyonlar beklenmeli, dikkatli diseksiyon ve tanımlama yapılmalı, gerektiğinde cerrahi plan modifiye edilmelidir.

Sürekli eğitim: Anatomik varyasyonlar konusunda sürekli eğitim programları, cerrahi rezidanlar ve pratisyen cerrahlar için düzenlenmelidir.

Araştırma ve dokümantasyon: Karşılaşılan varyasyonlar ve bunlara bağlı komplikasyonlar sistematik olarak dokümente edilmeli ve literatüre katkı sağlanmalıdır.

Gelecekte, yapay zeka destekli görüntü analizi, sanal/artırılmış gerçeklik teknolojileri, genomik profillemeye ve geniş popülasyon bazlı veri tabanları, anatomik varyasyonların yönetiminde önemli ilerlemeler sağlayacaktır. Standardize sınıflandırma sistemleri ve komplikasyon kayıt sistemleri, kanıt bazlı kılavuzların geliştirilmesine olanak tanıyacaktır.

Sonuç olarak, anatomik varyasyonların bilinmesi ve uygun şekilde yönetilmesi, modern cerrahi pratiğin ayrılmaz bir parçasıdır. Preoperatif görüntüleme, intraoperatif dikkat ve multidisipliner işbirliği ile, varyasyona bağlı komplikasyonlar minimize edilebilir ve hasta sonuçları optimize edilebilir. Anatomi profesörleri, cerrahi eğiticiler ve klinisyenler olarak, anatomik varyasyonların öğretilmesi ve farkındalığın artırılması sorumluluğumuz altındadır.

Kaynakça

Abou-Foul, A. K., & Borumandi, F. (2016). Anatomical variants of lower limb vasculature and implications for free fibula flap: Systematic review and critical analysis. *Microsurgery*, 36(2), 165-172. <https://doi.org/10.1002/MICR.30016>

Andall, R. G., Matusz, P., du Plessis, M., Ward, M., Tubbs, R. S., & Loukas, M. (2016). The clinical anatomy of cystic artery variations: A review of over 9800 cases. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 38(7), 835-841. <https://doi.org/10.1007/S00276-015-1600-Y>

Damen, N., Spoor, J. K. H., Zonnenberg, C. B. L., van Wijk, D. F., & Kruij, N. D. (2023). Anatomical variants of the retroaortic left renal vein. *Annals of Anatomy*, 250, 152170. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2023.152170>

Duarte, M., Soares, J., & Brasseur, M. (2025). Sonography of the thenar motor branch of the median nerve: A pictorial review. *Journal of Ultrasound in Medicine*, 44(1), 3-15. <https://doi.org/10.1002/jum.16705>

Fujii, T., Yonezawa, S., Nakamura, M., Yamada, S., & Murakami, G. (2025). Rare anatomical variation: Analysis of an aberrant right subclavian artery in three cadavers. *Anatomical Science International*, 100(2), 123-131. <https://doi.org/10.1007/s12565-025-00895-6>

Idhrees, M., & Velayudhan, B. V. (2022). Retroaortic left renal vein in open thoracoabdominal aneurysm repair: A modified approach. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 62(5), ezac452. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezac452>

Ioannis, D., Anastasios, K., Konstantinos, N., & Lazaros, K. (2015). Palmaris longus muscle's prevalence in different nations and interesting anatomical variations: Review of the literature. *Journal*

of *Clinical Medicine Research*, 7(11), 825-830.
<https://doi.org/10.14740/JOCMR2243W>

Leclerc, J., Avila, F., Hossu, G., & Claudon, M. (2022). Surgical anatomy of hepatic arteries from its origin to segmental branching: A 500 cases CT study. *American Journal of Surgery*, 224(1Pt A), 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2022.03.006>

Lohr, J. M., & Mouawad, N. J. (2018). Venous anatomy, development, and variations. In *Handbook of Venous Disorders* (pp. 3-14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65226-9_1

Martínez, D. V., Sánchez-Velázquez, P., Pera, M., & Grande, L. (2022). Incidence and clinical implications of anatomical variations of the pancreas: A systematic review. *The FASEB Journal*, 36(S1), R1953. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.r1953>

Noussios, G., Dimitriou, I., Chatzis, I., & Katsourakis, A. (2017). The main anatomic variations of the hepatic artery and their importance in surgical practice: Review of the literature. *Journal of Clinical Medicine Research*, 9(4), 248-252. <https://doi.org/10.14740/JOCMR2902W>

Petousis, S., & Margioulas-Siarkou, C. (2021). Ectopic left renal artery originating from the left common iliac artery. *International Journal of Gynecological Cancer*, 31(5), 768-769. <https://doi.org/10.1136/IJGC-2021-002424>

Rajaram-Gilkes, M., Burwell, J., Barr, K., & Tubbs, R. S. (2023). Bilateral median nerve and brachial artery variations in the arm: A case report. *Cureus*, 15(12), e51350. <https://doi.org/10.7759/cureus.51350>

Sharbidre, K. G., Aziz, M. U., & Mohd, Z. (2022). Review of abdominal vascular variations: Imaging and clinical implications. *RadioGraphics*, 42(1), 107-126. <https://doi.org/10.1148/rg.210093>

Soares, A. (2025). Real-world evidence of Langer's axillary arch: Bridging anatomical variations and surgical practice for safer axillary procedures. *Cureus*, 17(1), e82177. <https://doi.org/10.7759/cureus.82177>

Uraoka, M., Suda, T., Otsuka, Y., Wakayama, K., Fukumoto, T., & Ajiki, T. (2022). The problematic variations of gastroduodenal artery encountered during pancreaticoduodenectomy. *HPB*, 24(Suppl 2), S926. <https://doi.org/10.1016/j.hpb.2022.05.926>

Ek Kaynaklar:

Aberrant left testicular artery originating from the inferior mesenteric artery identified on angiography in a patient with gastrointestinal bleeding: Case report. (2024). *Reports*, 8(2), 86. <https://doi.org/10.3390/reports8020086>

Aspectos quirúrgicos a considerar en el donante. (2020). *Revista Mexicana de Trasplantes*, 9(2), 62-71. <https://doi.org/10.35366/93496>

Ramos Alicea, D. A., Marcano Anaya, J., Pagán, J., & Rodríguez-Vázquez, J. F. (2022). Surgical implications in multiple variants in the axillary artery. *The FASEB Journal*, 36(S1), R4242. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.r4242>

The axillary artery high bifurcation: Coexisted variants and clinical significance. (2023). *Folia Morphologica*, 82(3), 567-574. <https://doi.org/10.5603/fm.a2023.0027>

The clinical significance of femoral and tibial anatomy for anterior cruciate ligament injury and reconstruction. (2025). *Current Rheumatology Reviews*, 21(2), 145-156. <https://doi.org/10.2174/0115734056361050250605052447>

The neurosurgeon's familiarity with the vein of Rolando. (2024). *Neurosurgical Review*, 47(1), 517. <https://doi.org/10.1007/s10143-024-02517-7>

A rare anatomical variation of the deep femoral vein with aneurysm: A case report with clinical significance. (2025). *Anatomy & Cell Biology*, 58(2), 175-179. <https://doi.org/10.5115/acb.25.175>

A rare case of anatomical variation of inferior thyroid artery originated from the brachiocephalic trunk during retrosternal goiter excision. (2024). *Ear, Nose & Throat Journal*, 103(8), 512-515. <https://doi.org/10.1177/01455613241239529>

Anatomical variations on the origin of the dorsal scapular artery: About 58 dissections. (2018). *MOJ Anatomy & Physiology*, 5(2), 119-122. <https://doi.org/10.15406/MOJAP.2018.05.00179>

Rare vascular variations - the ulnar artery and superficial brachioulnar artery: A case report and review of the literature. (2025). *Folia Morphologica*, 84(1), 45-52. <https://doi.org/10.5603/fm.106151>

ANATOMİDE MODERN YAKLAŞIMLAR: Yaşlanma, Dijital Eğitim ve Klinik Uygulamalar

Anatomi, tıp ve sağlık bilimlerinin temelini oluşturan klasik bir disiplin olmanın ötesinde, günümüzde **yaşlanma biyolojisi**, **dijital eğitim teknolojileri** ve **klinik uygulamalar** ile yeniden tanımlanan dinamik bir bilim alanı hâline gelmiştir. Artan yaşam süresi, değişen eğitim modelleri ve gelişmiş görüntüleme yöntemleri, anatomik bilginin yalnızca tanımlayıcı değil; **yorumlayıcı, bütüncül ve klinik odaklı** bir yaklaşımla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

"**Anatomide Modern Yaklaşımlar: Yaşlanma, Dijital Eğitim ve Klinik Uygulamalar**", anatomiye durağan yapı bilgisinin ötesine taşıyarak;

- **yaşa bağlı anatomik değişiklikleri.**
- **dijital anatomi eğitiminin pedagojik temellerini,**
- **ve anatomik varyasyonların klinik önemini** çağdaş bilimsel veriler ışığında kapsamli biçimde ele almaktadır.

Kitapta, yaşlanma sürecinin hücresel, doku ve **sistem düzeyindeki yansımaları**; sanal ve artırılmış gerçeklik temelli öğrenme modellerinin anatomi eğitimine katkıları ve cerrahi ile radyolojik uygulamalarda kritik rol oynayan **anatomik varyasyonlar bütüncül** bir bakış açısıyla sunulmaktadır.

Bu eser; **tıp, diş hekimliği** ve sağlık bilimleri öğrencileri, akademisyenler, **klinik hekimler** ve **anatomi eğitiminde** güncel yaklaşımları takip etmek isteyen **tüm araştırmacılar** için güvenilir bir başvuru kaynağı niteliğindedir. Disiplinler arası yaklaşımı ve güncel literatüre dayalı içeriğiyle, **anatomik bilginin** modern tıptaki yerini yeniden düşünmeye davet etmektedir.



ISBN 978-625-372-918-9

