VETERİNER ANATOMİSİ ÇALIŞMALARI

Editör
HİKMET YETER ÇOĞUN

BİDGE

BİDGE Yayınları

Veteriner Anatomisi Çalışmaları

Editör: HİKMET YETER ÇOĞUN

ISBN: 978-625-5057-32-7

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

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

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

İÇİNDEKİLER

DİJİTAL ANATOMİK MODELLEME İLE 3R İLKELERİNİN DESTEKLENMESİ: DENEY HAYVANLARINDA ALTERNATİF EĞİTİM MATERYALLERİ 1

REMZİ ORKUN AKGÜN, MAHMUT SÜRMELİ

KARŞILAŞTIRMALI ANATOMİDE MORFOLOJİK ÇEŞİTLİLİĞİN MOLEKÜLER VE GELİŞİMSEL TEMELLERİ 36

MAHMUT YARDIMCI, ABDULBAKİ DEMİR

EVCİL MEMELİLERDE DİŞİ GENİTAL ORGANLARIN ANATOMİSİ 41

BETÜL GENÇ

BÖLÜM 1

DİJİTAL ANATOMİK MODELLEME İLE 3R İLKELERİNİN DESTEKLENMESİ: DENEY HAYVANLARINDA ALTERNATİF EĞİTİM MATERYALLERİ

REMZİ ORKUN AKGÜN[1]
MAHMUT SÜRMELİ[2]

Giriş

Biyomedikal bilimlerin ve tıp eğitiminin tarihsel gelişim sürecinde, laboratuvar hayvanlarının kullanımı anatomik ve fizyolojik mekanizmaların anlaşılması açısından kritik öneme sahip olmuştur. Antik çağlardan itibaren süregelen bu pratik, 19. ve 20. yüzyılda bilimsel metodolojinin standartlaşmasıyla artış göstermiştir (D. Jiang vd., 2025; Kumar vd., 2025). Araştırmalar ilerledikçe, laboratuvar hayvanları yeni tıbbi tedavilerin geliştirilmesi ve biyolojik süreçlerin anlaşılması için vazgeçilmez hâle gelmiştir (Kanzler vd., 2022). Ancak, bu durum beraberinde derin etik tartışmaları getirmiş ve hayvan refahına dair toplumsal ve bilimsel

[1] Dr. Öğr. Üyesi, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Çankırı, ORCID:0000-0001-6648-7059
[2] Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Tokat, ORCID: 0000-0002-5661-922X

farkındalık ön plana çıkmaya başlamıştır (Self, 1989). Bu bağlamda, deney hayvanı etiği ve yasal çerçevesi genişletilerek, laboratuvar çalışmalarında hayvanların kullanımı hakkındaki düzenlemeler daha sıkı olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir (Tannenbaum & Bennett, 2015). Özellikle "İnsancıl Deney Tekniği İlkeleri" ile hayvan kullanımına dair etik yaklaşımın temelleri oluşturularak literatüre "3R İlkeleri" (Replacement/Yerine Koyma, Reduction/Azaltma, Refinement/İyileştirme) olarak geçen kavramsal çerçeve kazandırılmıştır (Russell & Burch, 1959). Günümüzde uluslararası ve ulusal mevzuatlar, hayvan kullanımını yalnızca başka bir alternatifin bulunmadığı durumlarla sınırlandırarak, etik ve yasal temelleri bu ilkeler üzerine inşa etmiştir (Marinou & Dontas, 2023).

Bilimsel araştırmaları ve eğitimde etik standart olan 3R ilkeleri, hayvanların bilimsel amaçlarla kullanımında kesin bir yasak getirmemektedir. Ancak, araştırmalarda hayvan refahını maksimize etmeyi amaçlayan bir yaklaşımı benimsemeyi zorunlu kılmaktadır (Tannenbaum & Bennett, 2015). Bu ilkelerden özellikle "Yerine Koyma" ilkesi eğitim alanı ile yakından ilişkili olup, canlı hayvan kullanımı yerine bilimsel hedeflere ulaşmayı sağlayacak canlı-dışı alternatiflerin (in silico, in vitro vb.) geliştirilmesini ve kullanılmasını teşvik etmektedir (Prescott, 2017; Tannenbaum & Bennett, 2015). Dahası, güncel teknolojik gelişmeleri takiben bilgisayar temelli yazılımlar ve yapay zeka teknolojileri sayesinde bilgisayar temelli modellerin gelişimini teşvik edecek şekilde daha fazla ön plana çıkmıştır (Husain vd., 2023; Rudroff, 2024). Ancak, bu ilkelerin uygulanmasında, özellikle anatomik eğitimin karmaşık ve detay yapısı göz önüne alındığında çeşitli zorluklarla karşılaşılmaktadır (Andersson & Törnberg, 2018; Chang Chan vd., 2025; Wickramasinghe vd., 2022). Canlı doku hissiyatının simüle edilmesindeki teknik güçlükler, yüksek maliyetler ve geleneksel eğitimin benimsenmesi 3R ilkelerinin eğitim müfredatlarına tam entegrasyonunu yavaşlatan faktörler olarak görülmektedir (Abarkan

vd., 2022; Lairmore & Ilkiw, 2015). Buna rağmen, son yıllarda yapılan çalışmalar, etik sorumlulukların ötesinde, pedagojik çıktıların kalitesi açısından da alternatif yöntemlerin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Naidoo vd., 2020; Wickramasinghe vd., 2022).

Geleneksel anatomik eğitim yöntemleri, uzun yıllar boyunca temas gerektiren pratikler üzerine kurgulandığından, öğrencilerin dokunarak ve görerek öğrenme deneyimini ön planda tutmuştur (Arráez-Aybar, 2025; J. Li & Tang, 2025). Ancak bu yaklaşım hem etik hem de pedagojik açıdan tartışılmaya devam etmektedir. Özellikle, kadavra diseksiyonu ile ilişkili etik kaygılar öğrenciler üzerindeki duygusal ve psikolojik etkilerden dolayı daha çok dikkat çekmektedir. Örneğin, ilk kadavra diseksiyonu deneyiminin son derece stres verici olabildiğini (Allison vd., 2021; Romo-Barrientos vd., 2020) ve insan bedenlerine gösterilen saygı ile bu bedenlerin eğitim amaçlı kullanılmasının ahlaki sonuçlarına ilişkin endişeleri tetiklediği vurgulanmaktadır (Ghosh, 2020; Nawras vd., 2023). Ayrıca, öğretim amacıyla hayvanların öldürülmesine yönelik kaygılar da tartışılmaya devam etmektedir. Bu gurumlar, farklı disiplinlerdeki anatomi eğitim programlarının eleştirel biçimde yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır (Shaikh, 2015).

Canlı veya kadavra hayvan kullanımı, yalnızca hayvan yaşamına son verilmesi veya acı çektirilmesi gibi doğrudan etik sorunlar yaratmakla kalmamakta; aynı zamanda öğrencilerde "duyarsızlaşma" yaratmaktadır (Azim, 2022; Bista & Chand, 2023). Ayrıca, biyolojik materyalin temini, saklanması, formaldehit toksisitesi gibi kimyasal maruziyet riskleri ve her öğrenciye standart bir anatomik varyasyon sunulamaması gibi kısıtlılıklar, geleneksel yöntemlerin sürdürülebilirliğini tartışmalı hale getirmektedir (Kramer, 2024; Veeraraghavan, 2024). Bu tartışmalar odağında çeşitli öğrenme tercihlerine hitap etmek ve hatırlamayı artırmak için geleneksel ve yenilikçi yöntemleri birleştiren, anatomi eğitimine

daha bütünleşik, çok modlu bir yaklaşıma olan ihtiyacın giderek daha fazla gerektiği de vurgulanmaktadır (Şişu vd., 2024).

Teknolojik yenilikler, özellikle sanal gerçeklik (SG), artırılmış gerçeklik (AG) ve dijital simülasyonlar, tıp eğitiminde giderek daha merkezi bir rol oynamaya başlamaktadır. Her ne kadar cerrahi bilimlerde tüm vücut diseksiyonundan en fazla fayda sağlanırken, diğer sağlık bilimleri öğrencileri, sanal ve interaktif yöntemlerden etkin bir biçimde daha fazla yararlanabilmektedir. Bu bağlamda, müfredat gereksinimlerini karşılamak, farklı öğrenme tercihlerini desteklemek ve düşük kaynaklı ortamlarda sürdürülebilir eğitim sağlamak amacıyla geleneksel ve teknolojik yöntemlerin bir arada kullanıldığı hibrit bir yaklaşım giderek önem kazanmaktadır (S. Verma & Sharma, 2025). Dahası, öğrencilerin tercihlerinde de teknoloji destekli öğrenmeye doğru bir kayma, bu durumu destekleyici bir izlenim oluşturmaktadır. Birçok öğrenci, zaman alıcı ve çoğu zaman daha az ilgi çekici olan geleneksel diseksiyona kıyasla etkileşimli üç boyutlu (3B) araçları daha tercih edilir bulmaktadır (Kılıç vd., 2025; Niedermair vd., 2023). Öyle ki, teknolojik gelişmelere ek olarak, çağdaş pedagojik yaklaşımlar da klasik diseksiyonun güçlü yönlerini modern araçlarla birleştiren bütünleşik bir müfredatı savunmaktadır (Jeyakumar vd., 2020). Sanal anatomi sistemlerinin entegrasyonunun, öğrencilerin öğrenme stillerine hitap etmeye başladığı ve yüksek derecede etkileşimli biçimde artırdığı da görülmektedir (Duraes vd., 2022).

Teknolojinin ivme kazanmasıyla birlikte ortaya çıkan gelişmiş dijital modelleme ve simülasyon teknikleri, geleneksel yöntemlerin bu kısıtlılıklarına cevap verebilecek güçlü bir alternatif olarak ön planda olduğu açıktır (Arráez-Aybar, 2025). 3B modelleme, anatomik yapıların dinamik ve etkileşimli bir şekilde görselleştirilmesine olanak tanıyarak öğrenmeyi desteklemektedir (Zhang vd., 2019). 3B modeller, herhangi bir zaman ve mekânda erişilebilen, invaziv olmayan bir alternatif sunarak öğrenmede

geleneksel modellere göre daha büyük bir esneklik sağlamaktadır (Kabakci, 2025; Zhang vd., 2019). Yapılan araştırmalar, 3B dijital veya basılı modellerin belirli anatomik yapıları öğrenmede öğrencilerin öğrenme ve bilgi düzeylerini iyileştirdiğini de desteklemektedir. Dahası, bu modeller gelişmiş görselleştirme teknikleri aracılığıyla anatomik ilişkilerin ve karmaşıklıkların daha derin bir şekilde anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Böylece ders kitapları gibi iki boyutlu materyallerle aktarılması zor olan mekânsal ilişkilerin sezgisel olarak kavranmasını sağlamaktadır (Badge vd., 2025; McKivigan vd., 2021; Paymard vd., 2025). Ayrıca, çok daha düşük maliyetle üretilebilmeleri ve çok daha fazla öğrenci tarafından etik veya yasal kısıtlamalar olmaksızın kullanılabilmeleri de eğitim kaynaklarına erişimi kolaylaştırarak daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlamaktadır (Hammerton vd., 2022). Dolayısıyla bu etkileşimli araçların, farklı öğrenme stillerine hitap ederek anatomi eğitimini daha kapsayıcı ve etkili hâle getirdiği anlaşılmaktadır (Baile vd., 2025; Kabakci, 2025; Paymard vd., 2025)

SG, AG ve dokunsal (haptik) geri bildirimli simülasyon sistemlerine kadar ilerleyen teknolojik eğitim alternatifleri, anatomik yapıların üç boyutlu uzayda sınırsız tekrarla, yüksek çözünürlükle ve etik ihlal yaratmaksızın incelenmesine olanak tanımaktadır (Adnan vd., 2025; Salimi vd., 2024). Bu dijital dönüşüm, 3R ilkelerini desteklerken, aynı zamanda karmaşık anatomik ilişkilerin daha iyi anlaşılmasını sağlayarak eğitim kalitesini artırma potansiyeli taşımaktadır.

Dijital Anatomik Modelleme Metodolojileri

Dijital anatomik modelleme (DAM), bilgisayar teknolojisi kullanılarak anatomik yapıların ve 3B temsillerinin oluşturulması ve kullanılmasını ifade eder (Solis vd., 2024). Bu yöntem, özellikle kadavra materyallerinin kısıtlılığı ve kullanımına ilişkin zorluklara

cevaben anatomi eğitiminde önemli bir araç olarak ortaya çıkmıştır (Hammerton vd., 2022; Salimi vd., 2024).

Bu yöntemde anatomik yapıların kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayan doğru ve etkileşimli temsiller oluşturulur (Triepels vd., 2018). Temsiller için modeller geliştirilirken algılama ve etkileşim gibi temel faktörler kritik rol oynar (Preim & Saalfeld, 2018; Zhang vd., 2019). Geleneksel atlasların sunduğu iki boyutlu ve statik görsellerin aksine, DAM metodolojileri; dokuların katmanlarının ayrıştırılmasına, yapıların şeffaflaştırılmasına ve her açıdan manipüle edilmesine olanak tanıyarak öğrenme sürecini dinamik bir deneyime dönüştürür (Uruthiralingam & Rea, 2020).

Geçerliliği olan bir dijital modelin üretimi gerçek biyolojik verilerin işlenmesine dayanan çok aşamalı bir teknik iş akışını zorunlu kılar (Bogomolova vd., 2021). Bu iş akışının temelinde, sanal ortamda yeniden inşa edilecek anatomik yapılardan alınan referans veriler yatmaktadır. Dolayısıyla, bir dijital modelin anatomik doğruluğu, doğrudan kaynak verinin kalitesine ve bu verinin 3B uzaya aktarılma yöntemine bağlıdır (Ogden vd., 2015; Schulze vd., 2024). Bu bağlamda, günümüzde yüksek doğruluklu dijital modellerin oluşturulmasında en doğru kaynak olarak bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme, ultrasonografi ve pozitron elektron tomografisi gibi yüksek çözünürlüklü elde edilen tıbbi görüntüleme teknolojileri öne çıkmaktadır (Bücking vd., 2017; Ravi vd., 2020).

Tıbbi görüntüleme verilerinin elde edilmesi ve işlenmesi

Anatomik yapıların 3B modellerinin oluşturulması süreci tıbbi görüntü tabanlı 3B rekonstrüksiyon olarak adlandırılır. Bu süreç 2B kesitlerin üst üste dizilerek 3B bir hacim oluşturulmasını gerektirir. Süreç görüntünün elde edilmesinden verilerin aktarımı ve segmentasyona, 3B rekonstrüksiyondan farklı işleme ve doğrulama aşamalarına kadar çeşitli süreçleri içerir (Bibb vd., 2014).

Veri kaynağının belirlenmesi ve görüntüleme (Acquisition)

Görüntünün elde edilmesi, sürecin en kritik aşamasıdır. Belirlenen kaynaktan elde edilen görüntü kalitesizse, 3B modelin hatalı ve kalitesiz olma riski de yüksektir. Kullanılacak görüntüleme yöntemi; anatomik bölge, anatomik bölgenin doku yapısına göre gerekli kontrast ve klinik kullanım amacına uygunluk doğrultusunda seçilir (Bibb vd., 2014; de Bournonville vd., 2019). Sık tercih edilen görüntü kaynakları ve kullanımı önerilen doku ile kaynak özelliklerinin özeti Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Veri kaynağı kullanımında tercih edilen kaynaklar

Görüntü Kaynağı	Özelliği
Bilgisayarlı Tomografi	Kemik dokular, dişler ve sert yapılar için "altın standarttır". X-ışını yoğunluğuna dayanır. Mükemmel geometrik doğruluk ve yüksek uzaysal çözünürlük sağlar. Veri doğası gereği 3B'dir
Mikro-BT	Küçük hayvanlar (fare/sıçan) veya küçük doku örnekleri için mikron düzeyinde detay veren yüksek çözünürlüklü taramadır.
Manyetik Rezonans Görüntüleme	Beyin, kas, bağ dokusu, organlar ve tümörler gibi yumuşak dokular için tercih edilir. Hidrojen atomlarının manyetik alana tepkisine dayanır.
3B Ultrasonografi	Fetal, kardiyak ve kas-iskelet sistemi modelleri için gelişmekte olan bir yöntemdir.

Görüntü kaynağının yanında bir diğer dikkat edilmesi gereken konu da teknik parametrelerin detaylarının belirlenerek tarama protokolünün optimize edilmesidir (de Bournonville vd., 2019). Bu aşamada kesit kalınlığı 3B modelleme için en önemli parametredir. Kesitler ne kadar ince olursa (örneğin 0.5 – 1 mm arası), model o kadar pürüzsüz ve detaylı olur. Kalın kesitler ise modelde aslına uygun detayların oluşmamasına sebep olur (Shim & Hou, 2023). Bunun yanında görüntünün çözünürlüğü ve damar, belirlenen spesifik organlar ya da tümörler gibi yapıların ayrımı için kontrast madde kullanımı da iyi bir görüntü için kritiktir (Salvatore & Valenti, 2020)

Veri formatı ve transferi

Tıbbi görüntüleme cihazlarından çıkan ham veriler içinde örnek bilgisi, cihaz parametreleri, kesit aralığı ve konum bilgisi gibi verileri barındıran bir veri paketi olan DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında saklanır (Kamio vd., 2020). 2B görüntülerde elde edilen piksel çözünürlükler 3B verilerde hacimsel piksel ya da voksel olarak adlandırılır. Her bir vokselin bir gri ton değeri vardır ve bu tonlamaya göre doku yoğunluğu belirlenir (Runge & Heverhagen, 2022). Elde edilen veriler güvenli ağlar, DVD, USB gibi fiziksel ortamlar ya da bulut sistemleri ile aktarılır (Bibb vd., 2014).

Görüntü işleme ve segmentasyon

Bu aşama, ham görüntüden ilgilenilen anatomik yapının (örneğin sadece femur kemiği veya sadece karaciğer) ayrıştırılması işlemidir. Sürecin en çok zaman alan ve uzmanlık gerektiren kısmıdır. DICOM verileri, Mimics, 3D Slicer, OsiriX veya Horos gibi özelleşmiş yazılımlara aktarılır (Virzì vd., 2020). Yazılımlarda her dokunun kendisine özel yoğunluk değerine göre bir eşik değer aralıkları belirlenerek bu eşik değerler aralığındaki tüm vokseller seçilir. Yazılıma belirlenen aralıktaki pikselleri seçmesi komutu verilerek istenen doku görüntüleri bırakılır ve geri kalan doku görüntüleri elenir. Eşikleme ile elde edilen bu bölgeye maske denir. Bu maske üzerinde manuel düzeltmeler yapılarak maskeleme işlemi gerçekleştirilir. Ardından bölge büyütme işlemi ile benzer yoğunluktaki birbiriyle bağlantılı pikseller otomatik olarak seçilir (Carvalho vd., 2018; Chen vd., 2012).

3B rekonstrüksiyon

2B katmanlardan (maske), 3 boyutlu bir yüzey ağı oluşturulmasıdır. Bu aşamada genellikle Marching Cubes veya yüzey oluşturma gibi algoritmalar kullanılarak maskelenmiş voksellerin dış sınırları hesaplanır ve bunlar çokgenlerden oluşan bir yüzeye dönüştürülür. Böylece geometrik şekiller elde edilir (Zachow vd., 2007).

Yüzey iyileştirme ve dışa aktarım (Post-processing & export)

Oluşturulan ilk ham 3B model genellikle çok pürüzlüdür veya çok yüksek dosya boyutuna sahiptir. Bu modelde kesitlerden kaynaklanan

tırtıklı yüzeyler düzeltilir, çokgen sayısı azaltılarak sadeleştirilir ve model, 3B baskı veya animasyon için uygun formatlara dönüştürülerek kaydedilir (Ravi vd., 2020; Zachow vd., 2007). Tıbbi görüntülerde verilerin elde edilmesi ve işlenmesi aşamaları Tablo 2'de özetlenmiştir.

Sanal Modelleme Teknikleri: CAD ve Hacimsel Modelleme

Tıbbi görüntülemeden rekonstrüksiyon ile elde edilen veriler temel olarak var olan bir yapının bir kopyasını çıkarma işlemidir. Sanal modelleme ise bu kopya üzerinde değişiklik yapma, sıfırdan parça tasarlama veya eksik kısımları tamamlama sürecidir. Bu bağlamda modelleme ve tasarım amaçlı 2 farklı yaklaşım kullanılır. Bunlar CAD (parametrik) ve hacimsel modellemedir.

Tablo 2. Tıbbi görüntülerde verilerin elde edilmesi ve işlenmesi aşamaları

Aşama	Girdi (Input)	İşlem	Çıktı (Output)
1. Görüntüleme	Denek/doku	BT, MR, Mikro-BT tarama	Ham kesit görüntüleri
2. Veri Transferi	Ham görüntüler	Dijitalleştirme	DICOM dosyaları
3. Segmentasyon	DICOM	Eşikleme, maskeleme	ROI (İlgi Alanı) maskesi
4. Rekonstrüksiyon	Maske	Yüzey örme (Meshing)	Ham 3B model
5. İyileştirme	Ham 3B model	Yumuşatma, düzeltme	STL / OBJ dosyası

CAD (Computer-Aided Design) tabanlı anatomik modelleme

CAD tabanlı anatomik modelleme, anatomik yapıların matematiksel ve parametrik olarak tanımlandığı, sınır yüzeyler üzerinden temsil edildiği bir sanal modelleme yaklaşımıdır. Bu yöntemde modeller noktalar, eğriler, yüzeyler ve katı geometriler gibi temel geometrik elemanlar dikkate alınarak aşağıdan yukarıya prensibiyle inşa edilir. Ölçüler ve geometrik ilişkiler sayısal olarak tanımlandığı için modeller yüksek düzeyde düzenlenebilir özelliktedir. Tıbbi alanda CAD, başta kişiye özel implant tasarımı, cerrahi kılavuzlar, protez ve ortezler olmak üzere, üretime yönelik tüm anatomik uyarlamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Gorski, 2025; Themes, 2021).

Hacimsel (voksel) tabanlı modelleme

Hacimsel modelleme, anatomik yapıların yüzeyler yerine 3B voksel (hacim elemanı) ızgarası üzerinden temsil edildiği, doğrudan tıbbi görüntüleme verilerine dayanan bir yaklaşımdır. Bu yöntemde her voksel, yoğunluk veya fiziksel özellik bilgisi içerir. Böylece model, hastaya özgü görüntü verisinin doğrudan sayısal karşılığı olarak oluşur (Jacobson vd., 2022). Bu nedenle hacimsel modelleme, anatomik gerçekçiliği en yüksek düzeyde yansıtan yöntemdir (Lerebours vd., 2019). Bu yaklaşım özellikle tanısal görselleştirme, tümör hacim analizi, damar yapılarının değerlendirilmesi, radyoterapi planlama ve biyomekanik simülasyonlar gibi klinik ve araştırma amaçlı uygulamalarda kullanılmaktadır. Segmentasyon ile hedef dokular ayrıştırılır ve yüzey modeller gerekirse sonradan türetilir. Hacimsel modelleme; hasta-spesifik, görüntü temelli ve analiz odaklı bir modelleme anlayışına sahiptir (Caon, 2004).

Haptik ve Sürükleyici Teknolojiler: VR/AR Entegrasyonları

Anatomik modelleme ve sanal tasarım süreçlerini takiben, üretim aşamasında fiziksel 3B baskı ve dijital araçlar kullanılarak geliştirilen ürünler, günümüz teknolojilerinin sunduğu en yenilikçi uygulamalardan biri olan sürükleyici teknolojiler aracılığıyla da kullanıcıya sunulabilmektedir. Özellikle sürükleyici teknolojiler sayesinde, kadavra veya deney hayvanı kullanımına ihtiyaç duyulmadan, gerçeğe oldukça yakın deneyimler elde edilebilmektedir.

Sürükleyici teknolojiler

Genişletilmiş gerçeklik çatısı altında incelenen bu teknolojiler sanal gerçeklik ya da artırılmış gerçeklik olarak ayrılır. Sanal gerçeklikte giyilebilir ekipmanların takılması ve bilgisayarlar aracılığıyla kullanıcının dış dünyadan koparak sanal bir ortama girmesi (laboratuvar, oda, orman vs) ile sanal gerçeklik yaratılarak bireylerin gerçek ortamda deneyimledikleri şeyleri sanal ortamda da deneyimlemesi hedeflenir (Akın & Uzun, 2022). Örneğin, deney hayvanı diseksiyonu veya insan kadavrası üzerinde çalışmak yerine, 3B modellenmiş sanal bir kadavra üzerinde dolaşmak veya çalışmak mümkün olabilmektedir (García-Robles vd., 2024).

Artırılmış gerçeklikte ise gerçek dünyada süreç ve deneyimler devam ederken dijital nesneler gerçek dünyanın üzerine bindirilir (Azuma

vd., 2001). Bu sayede, plastik bir mankenin veya gerçek bir hastanın üzerine, damar yolları veya kemik yapı yansıtılarak öğrenme ya da etkileşim deneyimi gerçekleştirilir (Moro vd., 2021; Salimi vd., 2024). Dahası, boş bir alana bakıldığında, tablet veya gözlük gibi ekipmanlar aracılığıyla ilgili alanda atan bir kalp ya da farklı gerçek nesneler de görülebilir (Moro vd., 2021).

Haptik teknolojiler

Sürükleyici teknolojiler ile görsel deneyim sağlanır. Ancak, görsel deneyimlerin dokunma gibi süreçler ile birleştirilerek cerrahi ve diseksiyon gibi dokunsal işler açısından daha işlevsel kılmak da mümkündür. Bunun için haptik teknolojiler yardımıyla dokunsal ya da kinestetik hisler oluşturularak deneyimler zenginleştirilir. Özellikle tıbbi simülasyonlarda oldukça ileri teknolojiler ile desteklenen mekanizmalar yardımıyla daha zengin deneyimlerin sağlanması mümkündür (Irigoyen vd., 2024; Pacheco-Barrios vd., 2024). Örneğin, robotik kollar veya ekipmanlar yardımıyla sanal ortamda (Okamura, 2009) neşter kemiğe değdirildiğinde, robotik kol kullanıcının eline fiziksel bir direnç uygulayabilir. Kemiğin sertliğini, karaciğerin yumuşaklığını veya bir damarın elastikiyetini hissettirir. Ya da eldivenler ve giyilebilir ekipmanlar yardımıyla titreşim, sıcaklık, yüzey dokusu hissi gibi deneyimler de elde edilebilir (Hamza-Lup vd., 2018).

Dijital Anatomik Modellerin 3r İlkelerine Doğrudan Katkısı

Dijital anatomik modellerin eğitimde uygulanması, anatomik çalışmalar ve tıp eğitimi bağlamında 3R ilkelerinin gerçekleştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Bu ilkeler, canlı hayvanların ve insan kadavralarının kullanımına ilişkin etik uygulamaları teşvik etmek ve eğitimsel çıktıları minimum etik sorunla elde etmek için biyomedikal alanda kritik öneme sahiptir

Azaltma (Reduction)

Azaltma ilkesi, bilimsel amaçla kullanılan hayvan sayısının, istatistiksel gücü kaybetmeden mümkün olan en az seviyeye indirilmesini hedefler. Geleneksel anatomik çalışmalar, eğitim amaçlı olarak büyük

ölçüde kadavra veya canlı hayvan kullanımına dayanmaktadır. Bu durum etik kaygılara yol açmakta ve önemli ölçüde kaynak gerektirmektedir (Verderio vd., 2023).

Dijital modeller, anatominin kapsamlı sanal diseksiyonuna ve incelenmesine olanak tanıyarak fiziksel örneklere duyulan gereksinimi azaltmaktadır. Bu teknolojilerin entegrasyonu ile, eğitim çıktılarından ödün verilmeden, öğretimde kullanılan kadavra veya hayvan sayısı anlamlı düzeyde düşürülebilmektedir (Doyle & Condron, 2025; Guimarães, 2025; Pohl vd., 2013). Gelişmiş görüntüleme teknikleri ve kapsamlı 3B modelleme kullanılarak, canlı anatomisi, fizyolojisi ve patolojisini simüle eden yapıların doğru temsilleri oluşturabilmektedir (Balls, 2020; McMenamin vd., 2014). Bu sayede çeşitli deneysel düzeneklerde canlı hayvan kullanımına duyulan gereksinim de azaltılabilmektedir (Taylor vd., 2024). Yapılan bir çalışmada 3B modeller ve simülasyonlar gibi dijital kaynakların veteriner anatomi eğitiminde uygulanmasının, kadavra kullanımında yaklaşık %20 oranında azalmaya yol açtığı ve bunun hayvan kullanımına bağlı etik sorunları en aza indirirken öğrencilere kapsamlı bir öğrenme olanağı sunduğu bildirilmiştir (Aiyan, 2025).

Buna ek olarak, dijital modellerin benimsenmesi, fiziksel örneklerle yeniden üretilmesi güç olabilecek daha geniş bir anatomik varyasyon ve patoloji yelpazesine uygulamalı erişimi artırmaktadır (Balls, 2020). Bu çeşitlilik, öğrencileri farklı klinik senaryolara hazırladığından etkili öğrenme ve mesleki eğitim açısından kritik öneme sahiptir (Segars vd., 2025). Yüksek kaliteli ve anatomik olarak doğru dijital temsillerin kullanılmasıyla birlikte, eğitim programları birden fazla kadavra örneğine olan ihtiyacı azaltırken öğrencilerin geniş bir anatomik bilgi birikimine ulaşmalarını da sağlamaktadır (Anderson & Hobson-West, 2022; Jeising vd., 2024). Bu bağlamda yapılan bir araştırmada, cerrahi eğitimde simülasyon uygulamalarının, hayvan modellerinden elde edilen deneyimlerle karşılaştırılabilir uygulamalar sunarak, katılımcıların canlı deneklere ihtiyaç duymadan prosedür pratiği yapmalarına olanak tanıdığı da gösterilmiştir (Lemos vd., 2023).

Ayrıca dijital simülasyonlar bağlamında öğrenciler, kendi hızlarında tekrarlayan uygulamalar ve keşifler yapabilmektedir. Güvenli

bir ortamda yürütülen bu öz-yönelimli öğrenme yaklaşımı, fiziksel örneklere duyulan gereksinimi daha da azaltarak 3R çerçevesinde yer alan azaltma hedefine uyum sağlamaktadır (Badge vd., 2025; Doyle & Condron, 2025; Paymard vd., 2025).

İyileştirme (Refinement)

Dijital teknolojiler ve anatomik modelleme çalışmaları, özellikle hayvanların maruz kaldığı acıyı en aza indiren ve daha hassas deneysel tasarımlar sağlayan yöntemleri geliştirmeleri yoluyla, hayvan çalışmalarında iyileştirme ilkesine önemli katkılar sunmaktadır. 3R ilkeleri, hayvan kullanımını en aza indirirken refah standartlarını yükseltmeyi amaçlamakta olup, dijital araçlar bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde giderek daha kritik bir rol üstlendiği görülmektedir.

Dijital teknolojilerin önemli katkılarından biri, araştırmacıların ve öğrencilerin canlı deneklere geçmeden önce sanal bir ortamda teknikleri uygulamalarına ve geliştirmelerine olanak tanıyan yüksek doğruluklu simülasyonlar oluşturabilmesidir. Örneğin, sürükleyici sanal gerçeklik teknolojileri, hayvanlarla çalışma eğitimi için platformlar sunmakta ve gerçek araştırma prosedürleri sırasında hayvanların karşılaşabileceği stres ve anksiyeteyi potansiyel olarak azaltmaktadır. Bu tür simülasyonların kullanılmasıyla bireyler, protokollere risksiz bir ortamda aşina olmakta; beceri ve özgüvenlerini artırmakta ve sonuç olarak gerçek çalışmalar sırasında hayvanlara yönelik uygulamaların daha özenli ve iyileştirilmiş şekilde yürütülmesine katkı sağlamaktadır (Tang vd., 2021).

Buna ek olarak, 3B anatomik modeller, canlı hayvanların kullanılmasına gerek kalmadan ayrıntılı görselleştirmeler sunmakta ve anatomik anlayışı güçlendirmektedir (Schirone vd., 2024). Bu modeller, araştırmacıların deneyleri daha ayrıntılı biçimde planlamalarına, olası riskleri ve komplikasyonları önceden belirlemelerine yardımcı olarak deneysel tasarımların iyileştirilmesini sağlamaktadır (Morais vd., 2025). Yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve 3B baskı teknolojilerinin kullanılması, araştırmacıların hayvan organlarının doğru temsillerini üretmesine olanak tanımakta; bu temsiller canlı hayvan çalışmalarına geçilmeden önce eğitim amacıyla veya ön testlerde kullanılabilmektedir (F. Li vd., 2018). Bu tür gelişmeler, gereksiz ağrı veya zarara yol

açabilecek uygulamaların olasılığını azaltarak 3R ilkelerinin iyileştirme boyutuyla uyum göstermektedir.

Ayrıca, dijital kaynakların veterinerlik eğitimine entegre edilmesine yönelik çalışmalar, öğretim yöntemlerinde kayda değer ilerlemeler ortaya koymaktadır. Artırılmış gerçeklik ve 3B modelleme aracılığıyla öğrencilere kapsamlı dijital anatomi deneyimleri sunulması, öğrenme aracı olarak fiziksel diseksiyon ve canlı hayvan kullanımına duyulan gereksinimi önemli ölçüde azalttığı sıkça vurgulanmaktadır (Betancourt vd., 2023; N. Jiang vd., 2024). Bu yaklaşımların, öğrencilerin anatomik kavramlara yönelik iyi bir kavrayış geliştirebildiklerini gösterdiği ve eğitim uygulamalarında iyileştirmeyi yansıttığı bildirilmiştir (Brumpt vd., 2023; Walecki vd., 2024). Özellikle sürükleyici teknolojilerin cerrahi eğitimler gibi süreçlerde gerçek doku üzerinde yapılan eğitimlerden önce kullanılmasının prosedürlerin uygulama zamanı, beceriler, doğru uygulamalar ve maliyet etkinliği açısından da kazanımlar sağladığı da belirtilmektedir (Mao vd., 2021; Toni vd., 2024). Dahası, hayvan modellerinin dijital anatomik modellerinin kullanımının, öğrencilerin farklı öğrenme ortamlarında öğrenmesini teşvik ettiği, öğrenme çıktılarını artırdığı ve eğitim sürecinde canlı hayvan kullanımının daha kontrollü, daha az invaziv ve hayvan refahını önceleyen uygulamalarla iyileştirilmesine olanak tanıdığı ifade edilmektedir (Braid, 2022).

Sonuç olarak, dijital teknolojiler ve anatomik modelleme çalışmaları; eğitim yöntemlerini geliştirmeleri, ayrıntılı preklinik simülasyonlar sunmaları ve eğitim amaçlı hayvan modellerine olan bağımlılığı azaltmaları yoluyla hayvan çalışmalarında iyileştirme ilkesini önemli ölçüde ileri taşımaktadır. Yöntemlerin optimize edilmesi ve geliştirilmesi sayesinde bu teknolojiler, yalnızca hayvanların maruz kaldığı acıyı azaltmakla kalmamakta, aynı zamanda bilimsel araştırmaların kalitesini ve geçerliliğini de artırmaktadır.

Yerine koyma (Replacement)

3B modeller, özellikle 3R ilkeleri çerçevesinde "Yerine Koyma" kapsamında laboratuvar çalışmalarında hayvan modellerinin yerine etkili alternatifler olarak kullanılabilir. Bu modellerin entegrasyonu hem

araştırma hem de eğitim bağlamında geçişi destekleyen çeşitli avantajlar sunarak değerli araçlar haline gelmesini sağlama potansiyeline sahiptir. 3B modellerin temel katkılarından biri, canlı hayvan kullanımına bağlı etik kaygılar olmadan karmaşık biyolojik yapıları ve süreçleri simüle edebilmeleridir (Hammerton vd., 2022). Bu bağlamda, araştırmacıların hayvan gerekmeyen deneylerde hayvansız modelleri geçerli alternatifler olarak değerlendirmesi gerekliliği de sıkça vurgulanmaktadır (Calvillo, 2022; Verderio vd., 2023). Bu amaçla, biyolojik materyallerin paylaşımını kolaylaştıran ve 3R ilkelerine uygun bir dijital platformun gerekliliği tartışmakta ve ilaç toksisite çalışmaları da dahil olmak üzere biyolojik incelemelerde hayvansız yöntemlerin kullanımına doğru artan bir eğilim olduğu gösterilmektedir (Czubala vd., 2022).

Ayrıca, 3B anatomik modellerin, anatomi eğitimini etkin şekilde destekleyerek kadavra diseksiyonuna olan bağımlılığı azaltabildiğini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Öğrencilerin 3B modelleri geleneksel diseksiyon yöntemleriyle birlikte kullanmaktan memnun kaldığı ve öğrenme deneyimini geliştiren bir yaklaşım oluşturulduğunu da vurgulamak gerekir (Elbeshbeishy vd., 2025). Dolayısıyla, eğitimde hayvan kullanımının azaltılmasına katkı sağlayarak yerine koyma hedefine hizmet edildiği anlaşılmaktadır.

Sferoidler ve organoidler gibi 3 boyutlu in vitro kanser modelleri, kanser ilaçlarının etkinliğinin değerlendirilmesi için umut vadeden bir preklinik platformu temsil etmektedir. Bu platform, preklinik çalışmaların translasyonel başarısını artırarak kanser hastaları için daha iyi tedavi seçenekleri sunabilir ve 3R taahhütleriyle uyumlu olarak hayvan kullanımını azaltabilir. Modelleme ve simülasyon, bu açık zorlukların ele alınmasına önemli ölçüde katkıda bulunabilir ve böylece 3 boyutlu in vitro kanser modellerinin translasyonel kanser araştırmalarında kanser ilaçlarının etkinliğinin değerlendirilmesi için preklinik araçlar olarak yerleşmesini destekleyebilir ve iyileştirebilir (Tosca vd., 2023).

3B modellerin başarısının öne çıktığı önemli alanlardan biri, cerrahi beceri ve prosedürlerin eğitimi amaçlı olmaktadır. Dijital olmalarının yanı sıra fiziki olarak 3B yazıcı ile üretilmiş modeller ve bu tür model tabanlı eğitimlerin de, gerçek hayvan kullanmadan cerrahi

tekniklerde güvenilirliği artırdığını göstermiştir (Heuser vd., 2024). Bu, pratik becerilerin optimize edilmesi ve etik standartlara uyum sağlanması açısından önemli olmakla birlikte; 3B modellemenin, 3R ilkelerinin cerrahi eğitimde de kolaylık sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, 3B yazıcı ile üretilmiş kopyaların preklinik araştırmalarda tümör tedavilerinin optimize edilmesinde kullanıldığı; bu sayede araştırmacıların hedefleme yöntemlerini canlı hayvanlara ihtiyaç duymadan değerlendirebilip geliştirebileceği de söylenebilir (Roeth vd., 2021).

İn vitro hücre kültürü sistemlerindeki gelişmeler ile 3B modellerin hayvan testlerine alternatif olarak etkinliği ve gerekliliği vurgulanmaktadır. Hücresel modelleme alanındaki çeşitli gelişmeler, ilaç geliştirme süreçlerinde hayvan deneylerinin ikame edilmesine yönelik önemli bir potansiyel sunmakta; geleneksel yaklaşımların etik, maliyet ve metodolojik sınırlılıklarına alternatif çözümler sağlamaktadır (D. Verma & Namdeo, 2024). Benzer bağlamlarda, insan hücre hatlarıyla entegre edilmiş ileri in vitro teknolojiler, insan yanıtlarını daha doğru simüle etme fırsatları sunarak hayvan modellerine olan bağımlılığı azaltmaktadır (Rao vd., 2020; Urzì vd., 2023).

Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik modellerinin, özellikle tıp ve eğitim alanlarında, hayvan testlerinin yerine geçmede giderek daha fazla etkili olduğu kabul edilmektedir. Sürükleyici teknolojilerin, öğrenme deneyimlerini daha etkileşimli ve sürükleyici hale getirerek eğitimi zenginleştirdiği ve öğretilen kavramları pekiştirdiği son yıllarda sıkça ifade edilmektedir (Kurul vd., 2020; Kyaw vd., 2019). Cerrahi eğitim amacıyla kullanılan sanal gerçeklik teknolojileri, kadavralı diseksiyona kıyasla bilişsel yükü azaltabildiğini, tekrar edilebilir pratik imkânı sağlayarak eşdeğer veya üstün öğrenme sonuçları elde edildiği ve beceri kazanımını artırdığı gösterilmiştir (Lu vd., 2025). Ayrıca klinik ortamda, cerrahların anatomik yapıları görselleştirmesine ve gerçek operasyon öncesinde prosedürleri simüle etmesine olanak tanıyarak preoperatif planlamayı kolaylaştırdığı ve simülasyonun preoperatif hazırlık sırasında prosedürel başarıyı artırdığı vurgulanmıştır (Jacquemyn vd., 2024). Bu uygulamalar, sürükleyici teknolojilerin doğrudan klinik bağlamlarda hayvan testlerinin yerini alma potansiyelini daha da desteklemektedir. Bunun yanında, bu modüllerin, özellikle öğrencilerin laboratuvar hayvan bilimi konusundaki

bilgi düzeyinin sınırlı olduğu erken eğitim aşamalarında, canlı hayvanlarla etkileşim ihtiyacını etkili bir şekilde ortadan kaldırabildiği de ifade edilmektedir. Bu, hayvan kullanılmadan deneyimsel öğrenme fırsatları sunmaktadır. Dolayısıyla simülasyonların, öğrencilerin karmaşık biyolojik sistemlerle etkileşime girmesine olanak vererek hayvan çalışmaları yerine geçebileceği görülmektedir (Lemos vd., 2023).

Buna ek olarak, 3B yazıcı teknolojilerindeki ilerlemeler ile de karmaşık ve anatomik olarak doğru modellerin üretilmesi, detaylı anatomik çalışmalar ve deney tasarımları için olanak sağlar ve herhangi bir hayvan deneyi başlamadan önce planlama aşamalarında destek sunmaktadır (Bogdanov vd., 2025). Ayrıca cerrahi eğitimlerinde de destekleyici rol oynamaktadır (Kashikar vd., 2019). Böylece, deneysel modellerin iyileştirilmesi sayesinde araştırmacılar, insan üzerinde yapılacak deneylerin potansiyel etkilerini daha doğru bir şekilde tahmin edebilmekte ve hayvan testlerine başvurmadan araştırmalarını sürdürebilmektedirler.

Ayrıca, akademik araştırmalarda hayvan testlerinin yerine geçebilecek alternatif yöntemlere yönelik farkındalık oluşturan eğitimlerin teşvik edilmesi büyük önem taşımaktadır. Araştırmacıların bu alternatif yaklaşımlar konusunda eğitim alması, hayvan kullanılmayan tekniklerin standart araştırma uygulamalarına entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Bu eğitim yaklaşımı, sadece 3B modellerin hayvan testlerinin yerine geçmesini sağlamamakta, aynı zamanda gelecekteki araştırma normlarını şekillendirecek eğitim çerçevelerini de güçlendirmektedir (Bassi, 2019).

Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, 3B modellerin laboratuvar çalışmalarına entegrasyonu, hayvan modellerinin yerine geçme potansiyelini önemli ölçüde artırmaktadır. Dijital teknolojilerdeki ilerlemeler ve biyolojik süreçleri simüle etme etkinliğinin kabul görmesi, araştırmacıların hayvan deneylerini daha insancıl, etik ve bilimsel olarak geçerli alternatiflerle değiştirme olanağını güçlendirmektedir. Bu gelişmeler, in silico simülasyonlar gibi hesaplamalı modellerin geleneksel olarak hayvan testlerine dayanan deney senaryolarını yönetebildiği bir alanın giderek büyüdüğünü göstermektedir.

Bunun yanında, hayvan veya kadavra üzerinde uygulamalı eğitim yerine, benzer eğitimsel çıktılar sağlayan alternatiflerin tamamen kullanılması teşvik edilir. Anatomik hacimlerin manipülasyonuna olanak tanıyan interaktif 3D model sistemleri gibi ilerlemeler, geleneksel kadavra temelli eğitime kıyasla karmaşık anatomik kavramların öğrenilmesini destekler. Bu durum, 3D yazıcı ile üretilmiş modellerin ve dijital simülasyonların fiziksel modellerin yerini etkili biçimde alabileceğini göstermektedir. Dijital kaynakların erişilebilirliği, öğrenme materyallerine daha geniş bir erişim sağlayarak anatomik eğitimi demokratikleştirir ve hem etik hem de etkili alternatifler sunar. Araştırmalar, bu dijital alternatiflerin, geleneksel yöntemlere kıyasla benzer veya hatta daha üstün bir anlayış sağlayabileceğini göstermekte, böylece etkinliklerini ve 3R ilkeleriyle uyumunu vurgulamaktadır.

Kaynakça

Abarkan, F. Z., Wijen, A. M. A., van Eijden, R. M. G., Struijs, F., Dennis, P., Ritskes-Hoitinga, M., & Visseren-Hamakers, I. (2022). Identifying Key Factors for Accelerating the Transition to Animal-Testing-Free Medical Science through Co-Creative, Interdisciplinary Learning between Students and Teachers. *Animals*, *12*(20), 2757. https://doi.org/10.3390/ani12202757

Adnan, S., Benson, A. C., & Xiao, J. (2025). How virtual reality is being adopted in anatomy education in health sciences and allied health: A systematic review. *Anatomical Sciences Education*, *18*(5), 496-525. https://doi.org/10.1002/ase.70027

Aiyan, A. A. (2025). Enhancing Veterinary Anatomy Education Outcomes through a Multimodal, Student-Centered Approach. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, *24*(6), 142-159.

Akın, M., & Uzun, M. (2022). Virtual and Augmented Reality Concepts. Içinde *Current Studies in Artificial Intelligence, Virtual Reality and Augmented Reality* (ss. 57-73). ISRES Publishing.

Allison, S., Notebaert, A., Perkins, E., Conway, M., & Dehon, E. (2021). Fear of Death and Examination Performance in a Medical Gross Anatomy Course with Cadaveric Dissection. *Anatomical Sciences Education*, *14*(6), 764-773. https://doi.org/10.1002/ase.2092

Anderson, A., & Hobson-West, P. (2022). “Refugees from practice”? Exploring why some vets move from the clinic to the laboratory. *Veterinary Record*, *190*(1), e773. https://doi.org/10.1002/vetr.773

Andersson, C., & Törnberg, P. (2018). Wickedness and the anatomy of complexity. *Futures*, *95*, 118-138. https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.11.001

Arráez-Aybar, L. A. (2025). Evolving Anatomy Education: Bridging Dissection, Traditional Methods, and Technological Innovation for Clinical Excellence. *Anatomia*, *4*(2), 9. https://doi.org/10.3390/anatomia4020009

Azim, H. M. (2022). Objectification, Desensitization, and Personification: Medical Student Strategies for Dealing with Human Body in the Anatomy Lab. *The FASEB Journal*, *36*(S1). https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.S1.R2249

Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *21*(6), 34-47. https://doi.org/10.1109/38.963459

Badge, A. K., Bhuva, H., Bankar, N. J., & Noman, O. (2025). Revolutionizing Anatomy Education with the “Anatomy 3D Atlas” Tool: A New Era of Interactive Learning. *Journal of the Anatomical Society of India*, *74*(1), 79. https://doi.org/10.4103/jasi.jasi_124_24

Baile, J. I., González-Calderón, M. J., Alemán-Escuela, D. F., & Rabito-Alcón, M. F. (2025). Exploring the Impact of 3D Anatomy

Applications on Academic Competencies in Medicine and Health Sciences. *Education Sciences*, *15*(3), 277. https://doi.org/10.3390/educsci15030277

Balls, M. (2020). It's Time to Reconsider The Principles of Humane Experimental Technique. *Alternatives to Laboratory Animals*, *48*(1), 40-46. https://doi.org/10.1177/0261192920911339

Bassi, A. M. (2019). *Teaching and training in substitutive approaches to animal testing: Commitment of the University of Genoa*. *3*(2), 81-82.

Betancourt, M. C., Araújo, C., Marín, S., & Buriticá, W. (2023). The Quantitative Impact of Using 3D Printed Anatomical Models for Surgical Planning Optimization: Literature Review. *3D Printing and Additive Manufacturing*, *10*(5), 1130-1139. https://doi.org/10.1089/3dp.2021.0188

Bibb, R., Eggbeer, D., & Paterson, A. (2014). *Medical Modelling: The Application of Advanced Design and Rapid Prototyping Techniques in Medicine*. Woodhead Publishing.

Bista, S., & Chand, J. (2023). Role of Experiential Learning in the Desensitization of a Medical Student: Our Perspective. *Journal of Nepal Medical Association*, *61*(261), 492-494. https://doi.org/10.31729/jnma.8164

Bogdanov, T. G., Hikov, T. A., Sabit, Z. A., Tafradzhiyska-Hadzhiolova, R., & Pencheva, D. T. (2025). Development of a 3D-Printed Wistar Rat Model From Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Data for Medical Education and Research Applications. *Cureus*, *17*(1), e78012. https://doi.org/10.7759/cureus.78012

Bogomolova, K., Hierck, B. P., Looijen, A. E. M., Pilon, J. N. M., Putter, H., Wainman, B., Hovius, S. E. R., & van der Hage, J. A. (2021). Stereoscopic three-dimensional visualisation technology

in anatomy learning: A meta-analysis. *Medical Education*, *55*(3), 317-327. https://doi.org/10.1111/medu.14352

Braid, H. R. (2022). The Use of Simulators for Teaching Practical Clinical Skills to Veterinary Students—A Review. *Alternatives to Laboratory Animals*, *50*(3), 184-194. https://doi.org/10.1177/02611929221098138

Brumpt, E., Bertin, E., Tatu, L., & Louvrier, A. (2023). 3D printing as a pedagogical tool for teaching normal human anatomy: A systematic review. *BMC Medical Education*, *23*(1), 783. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04744-w

Bücking, T. M., Hill, E. R., Robertson, J. L., Maneas, E., Plumb, A. A., & Nikitichev, D. I. (2017). From medical imaging data to 3D printed anatomical models. *PLOS ONE*, *12*(5), e0178540. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178540

Calvillo, L. (2022). Editorial: 3Rs approach (replace, reduce and refine animal models) to improve preclinical research. *Frontiers in Physiology*, *13*. https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1040575

Caon, M. (2004). Voxel-based computational models of real human anatomy: A review. *Radiation and Environmental Biophysics*, *42*(4), 229-235. https://doi.org/10.1007/s00411-003-0221-8

Carvalho, L. E., Sobieranski, A. C., & von Wangenheim, A. (2018). 3D Segmentation Algorithms for Computerized Tomographic Imaging: A Systematic Literature Review. *Journal of Digital Imaging*, *31*(6), 799-850. https://doi.org/10.1007/s10278-018-0101-z

Chang Chan, A. Y. C., van Leeuwen, M., Custers, E., Bleys, R., & ten Cate, O. (2025). Anatomy education in low-resourced countries: What are challenges and effective and affordable

educational strategies? A qualitative study. *Medical Teacher*, *47*(5), 883-893. https://doi.org/10.1080/0142159X.2024.2383373

Chen, X., Niemeijer, M., Zhang, L., Lee, K., Abramoff, M. D., & Sonka, M. (2012). Three-Dimensional Segmentation of Fluid-Associated Abnormalities in Retinal OCT: Probability Constrained Graph-Search-Graph-Cut. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, *31*(8), 1521-1531. https://doi.org/10.1109/TMI.2012.2191302

Czubala, M. A., Eilles, E., Staubi, A., Ipseiz, N., Vogt, M., Zieglowski, L., Ernst, L., Tolba, R. H., Taylor, P. R., & Weiskirchen, R. (2022). 3R Blackboard: A platform for animal and organ sharing. *Laboratory Animals*, *56*(3), 292-296. https://doi.org/10.1177/00236772211067456

de Bournonville, S., Vangrunderbeeck, S., & Kerckhofs, G. (2019). Contrast-Enhanced MicroCT for Virtual 3D Anatomical Pathology of Biological Tissues: A Literature Review. *Contrast Media & Molecular Imaging*, *2019*(1), 8617406. https://doi.org/10.1155/2019/8617406

Doyle, A. J., & Condron, C. M. (2025). When is synthetic sufficient? Ethical considerations and alternatives in simulation-based ultrasound education. *Advances in Simulation*, *10*(1), 2. https://doi.org/10.1186/s41077-024-00327-x

Duraes, M., Akkari, M., Jeandel, C., Moreno, B., Subsol, G., Duflos, C., & Captier, G. (2022). Dynamic three-dimensional virtual environment to improve learning of anatomical structures. *Anatomical Sciences Education*, *15*(4), 754-764. https://doi.org/10.1002/ase.2158

Elbeshbeishy, R., Salama, R., Goud, B. M., Babiker, R., Jhancy, M., Hamed, N., Oraby, F., & Merghani, T. (2025). Unveiling the perceptions of medical and allied health students towards cadaveric dissection and virtual resources in anatomy education: A

cross sectional study. *BMC Medical Education*, *25*(1), 829. https://doi.org/10.1186/s12909-025-07432-z

García-Robles, P., Cortés-Pérez, I., Nieto-Escámez, F. A., García-López, H., Obrero-Gaitán, E., & Osuna-Pérez, M. C. (2024). Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*, *17*(3), 514-528. https://doi.org/10.1002/ase.2397

Ghosh, S. K. (2020). The practice of ethics in the context of human dissection: Setting standards for future physicians. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, *232*, 151577. https://doi.org/10.1016/j.aanat.2020.151577

Gorski, F. (2025). *Computer Aided Design of 3D Printable Anatomically Shaped Medical Devices: Methodologies and Applications*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003386544

Guimarães, A. I. (2025). Are Animal Models Necessary? Exploring (Dis)advantages and Alternatives. *European Journal of Neuroscience*, *61*(1), e16651. https://doi.org/10.1111/ejn.16651

Hammerton, C., Yip, S. W. L., Manobharath, N., Myers, G., & Sturrock, A. (2022). Are 3D printed models acceptable in assessment? *The Clinical Teacher*, *19*(3), 221-228. https://doi.org/10.1111/tct.13477

Hamza-Lup, F. G., Popovici, D. M., & Bogdan, C. M. (2018). *Haptic Feedback Systems in Medical Education* (No. arXiv:1811.07473). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.07473

Heuser, M., Gonzalez-Uarquin, F., Nuber, M., Brockmann, M. A., Baumgart, J., & Baumgart, N. (2024). A 3D-Printed Dummy for Training Distal Phalanx Amputation in Mice. *Animals*, *14*(8), 1253. https://doi.org/10.3390/ani14081253

Husain, A., Meenakshi, D. U., Ahmad, A., Shrivastava, N., & Khan, S. A. (2023). A Review on Alternative Methods to Experimental Animals in Biological Testing: Recent Advancement and Current Strategies. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, *15*(4), 165. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_380_23

Irigoyen, E., Larrea, M., & Graña, M. (2024). A Narrative Review of Haptic Technologies and Their Value for Training, Rehabilitation, and the Education of Persons with Special Needs. *Sensors*, *24*(21), 6946. https://doi.org/10.3390/s24216946

Jacobson, N. M., Smith, L., Brusilovsky, J., Carrera, E., McClain, H., & MacCurdy, R. (2022). Voxel Printing Anatomy: Design and Fabrication of Realistic, Presurgical Planning Models through Bitmap Printing. *Journal of Visualized Experiments*, *180*, 63214. https://doi.org/10.3791/63214

Jacquemyn, X., Bamps, K., Moermans, R., Dubois, C., Rega, F., Verbrugghe, P., Weyn, B., Dymarkowski, S., Budts, W., & Bruaene, A. V. D. (2024). Augmented and virtual reality imaging for collaborative planning of structural cardiovascular interventions: A proof-of-concept and validation study. *Journal of Medical Imaging*, *11*(6), 062606. https://doi.org/10.1117/1.JMI.11.6.062606

Jeising, S., Liu, S., Blaszczyk, T., Rapp, M., Beez, T., Cornelius, J. F., Schwerter, M., & Sabel, M. (2024). Combined use of 3D printing and mixed reality technology for neurosurgical training: Getting ready for brain surgery. *Neurosurgical Focus*, *56*(1), E12. https://doi.org/10.3171/2023.10.FOCUS23611

Jeyakumar, A., Dissanayake, B., & Dissabandara, L. (2020). Dissection in the Modern Medical Curriculum: An Exploration into Student Perception and Adaptions for the Future. *Anatomical Sciences Education*, *13*(3), 366-380. https://doi.org/10.1002/ase.1905

Jiang, D., Li, N., Wang, K., Duan, K., Yang, J., Zhang, J., & Chen, X. (2025). Research hotspots and frontier trends in the field of 3D printing in medical education from 2010 to 2025: A bibliometric analysis. *3D Printing in Medicine*, *11*(1), 54. https://doi.org/10.1186/s41205-025-00304-8

Jiang, N., Jiang, Z., Huang, Y., Sun, M., Sun, X., Huan, Y., & Li, F. (2024). Application of augmented reality models of canine skull in veterinary anatomical education. *Anatomical Sciences Education*, *17*(3), 546-557. https://doi.org/10.1002/ase.2372

Kabakci, A. G. (2025). 3D Digital Models and Cadaver Use in Anatomy Education: An Altmetric Evaluation of Publications from 2020 to 2024. *International Journal of Current Medical and Biological Sciences*, *5*(2), 83-92. https://doi.org/10.5281/zenodo.15738755

Kamio, T., Suzuki, M., Asaumi, R., & Kawai, T. (2020). DICOM segmentation and STL creation for 3D printing: A process and software package comparison for osseous anatomy. *3D Printing in Medicine*, *6*(1), 17. https://doi.org/10.1186/s41205-020-00069-2

Kanzler, S., Krabbe, J., Forkmann, T., Tolba, R. H., & Steitz, J. (2022). Animal experiments in biomedical research: Knowledge, self-evaluation and attitudes of biology and medical students. *Laboratory Animals*, *56*(5), 455-465. https://doi.org/10.1177/00236772221080833

Kashikar, T. S., Kerwin, T. F., Moberly, A. C., & Wiet, G. J. (2019). A review of simulation applications in temporal bone surgery. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, *4*(4), 420-424. https://doi.org/10.1002/lio2.277

Kılıç, M. F., Yurtsever, A. Z., Açıkgöz, F., Başgut, B., Mavi, B., Ertuç, E., Sevim, S., Oruk, T., Kıyak, Y. S., & Peker, T. (2025). A new classmate in anatomy education: 3D anatomical modeling

medical students' engagement on learning through self-prepared anatomical models. *Anatomical Sciences Education*, *18*(7), 727-737. https://doi.org/10.1002/ase.70070

Kramer, B. (2024). Challenges to sourcing human bodies for teaching and research in Africa: Are the challenges insurmountable? *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, *252*, 152196. https://doi.org/10.1016/j.aanat.2023.152196

Kumar, B., Dhua, A. K., Garg, M., Jain, V., Yadav, D. K., Goel, P., Anand, S., & Jain, D. (2025). A bibliometric analysis of publications in 3D printing in surgery from the web of science database. *Annals of 3D Printed Medicine*, *17*, 100188. https://doi.org/10.1016/j.stlm.2025.100188

Kurul, R., Ögün, M. N., Neriman Narin, A., Avci, Ş., & Yazgan, B. (2020). An Alternative Method for Anatomy Training: Immersive Virtual Reality. *Anatomical Sciences Education*, *13*(5), 648-656. https://doi.org/10.1002/ase.1959

Kyaw, B. M., Saxena, N., Posadzki, P., Vseteckova, J., Nikolaou, C. K., George, P. P., Divakar, U., Masiello, I., Kononowicz, A. A., Zary, N., & Car, L. T. (2019). Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration. *Journal of Medical Internet Research*, *21*(1), e12959. https://doi.org/10.2196/12959

Lairmore, M. D., & Ilkiw, J. (2015). Animals Used in Research and Education, 1966–2016: Evolving Attitudes, Policies, and Relationships. *Journal of Veterinary Medical Education*, *42*(5), 425-440. https://doi.org/10.3138/jvme.0615-087R

Lemos, M., Bell, L., Deutsch, S., Zieglowski, L., Ernst, L., Fink, D., Tolba, R., Bleilevens, C., & Steitz, J. (2023). Virtual Reality in Biomedical Education in the sense of the 3Rs. *Laboratory*

Animals, *57*(2), 160-169. https://doi.org/10.1177/00236772221128127

Lerebours, A., Marin, F., Bouvier, S., Egles, C., Masquelet, A.-C., & Rassineux, A. (2019). A voxel-based method for designing a numerical biomechanical model patient-specific with an anatomical functional approach adapted to additive manufacturing. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, *22*(3), 304-312. https://doi.org/10.1080/10255842.2018.1552684

Li, F., Liu, C., Song, X., Huan, Y., Gao, S., & Jiang, Z. (2018). Production of accurate skeletal models of domestic animals using three-dimensional scanning and printing technology. *Anatomical Sciences Education*, *11*(1), 73-80. https://doi.org/10.1002/ase.1725

Li, J., & Tang, H. (2025). A Review of Anatomy Education: From Traditional Teaching to Smart Education. *Open Journal of Social Sciences*, *13*(9), 193-208. https://doi.org/10.4236/jss.2025.139012

Lu, Q., Wenger, J., & Jeyakumar, A. (2025). Alternative Modalities for Temporal Bone Training in Otolaryngology: A Systematic Review. *Journal of Otology*, *20*(2), 103-109. https://doi.org/10.26599/JOTO.2025.9540015

Mao, R. Q., Lan, L., Kay, J., Lohre, R., Ayeni, O. R., Goel, D. P., & Sa, D. de. (2021). Immersive Virtual Reality for Surgical Training: A Systematic Review. *Journal of Surgical Research*, *268*, 40-58. https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.06.045

Marinou, K. A., & Dontas, I. A. (2023). European Union Legislation for the Welfare of Animals Used for Scientific Purposes: Areas Identified for Further Discussion. *Animals*, *13*(14), 2367. https://doi.org/10.3390/ani13142367

McKivigan, J., Guison, N., & Qureshi, R. (2021). Teaching Human Anatomy: A Comparison of In-Person and Online Learning Programs. *European Journal of Medical and Health Sciences*, *3*(6), 6-10. https://doi.org/10.24018/ejmed.2021.3.6.1011

McMenamin, P. G., Quayle, M. R., McHenry, C. R., & Adams, J. W. (2014). The production of anatomical teaching resources using three-dimensional (3D) printing technology. *Anatomical Sciences Education*, *7*(6), 479-486. https://doi.org/10.1002/ase.1475

Morais, E. S. G. de, Gonçalves, V. A. B., Ferreira, M. P. do N., Reis, A. de P., & Soares, A. F. (2025). Animal Welfare of Rodents in Laboratory Research: Applications and Challenges of the 3Rs. *Archives of Current Research International*, *25*(5), 393-403. https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i51219

Moro, C., Birt, J., Stromberga, Z., Phelps, C., Clark, J., Glasziou, P., & Scott, A. M. (2021). Virtual and Augmented Reality Enhancements to Medical and Science Student Physiology and Anatomy Test Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Anatomical Sciences Education*, *14*(3), 368-376. https://doi.org/10.1002/ase.2049

Naidoo, N., Akhras, A., & Banerjee, Y. (2020). Confronting the Challenges of Anatomy Education in a Competency-Based Medical Curriculum During Normal and Unprecedented Times (COVID-19 Pandemic): Pedagogical Framework Development and Implementation. *JMIR Medical Education*, *6*(2), e21701. https://doi.org/10.2196/21701

Nawras, M., Aoun, J., Yazdi, V., Hecht, M., Khuder, S., & Frank, P. (2023). Assessing the Ethical Concerns of Medical Students in the Gross Anatomy Lab. *Journal of Medical Education and Curricular Development*, *10*, 23821205231168505. https://doi.org/10.1177/23821205231168505

Niedermair, J. F., Antipova, V., Manhal, S., Siwetz, M., Wimmer-Röll, M., Hammer, N., & Fellner, F. A. (2023). On the added benefit of virtual anatomy for dissection-based skills. *Anatomical Sciences Education*, *16*(3), 439-451. https://doi.org/10.1002/ase.2234

Ogden, K. M., Aslan, C., Ordway, N., Diallo, D., Tillapaugh-Fay, G., & Soman, P. (2015). Factors Affecting Dimensional Accuracy of 3-D Printed Anatomical Structures Derived from CT Data. *Journal of Digital Imaging*, *28*(6), 654-663. https://doi.org/10.1007/s10278-015-9803-7

Okamura, A. M. (2009). Haptic feedback in robot-assisted minimally invasive surgery. *Current Opinion in Urology*, *19*(1), 102. https://doi.org/10.1097/MOU.0b013e32831a478c

Pacheco-Barrios, K., Ortega-Márquez, J., & Fregni, F. (2024). Haptic Technology: Exploring Its Underexplored Clinical Applications—A Systematic Review. *Biomedicines*, *12*(12), 2802. https://doi.org/10.3390/biomedicines12122802

Paymard, M., Naderian, H., Hassani Bafrani, H., Azami Tameh, A., Mirsafi Niasar, M., Rahimi, H., Hosseini, H. S., & Rafat, A. (2025). An evaluation of the use of 3D-printed anatomical models in anatomy education. *Surgical and Radiologic Anatomy*, *47*(1), 199. https://doi.org/10.1007/s00276-025-03704-x

Pohl, B. M., Gasca, F., Christ, O., & Hofmann, U. G. (2013). 3D printers may reduce animal numbers to train neuroengineering procedures. *2013 6th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)*, 887-890. https://doi.org/10.1109/NER.2013.6696077

Preim, B., & Saalfeld, P. (2018). A survey of virtual human anatomy education systems. *Computers & Graphics*, *71*, 132-153. https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.01.005

Prescott, M. J. (2017). The Three Rs. Içinde M. Bezanson, K. C. MacKinnon, E. Riley, C. J. Campbell, K. A. I. (Anna) Nekaris, A. Estrada, A. F. Di Fiore, S. Ross, L. E. Jones-Engel, B. Thierry, R. W. Sussman, C. Sanz, J. Loudon, S. Elton, & A. Fuentes (Ed.), *The International Encyclopedia of Primatology* (1. bs, ss. 1-5). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119179313.wbprim0220

Rao, S. R., Edwards, C. M., & Edwards, J. R. (2020). Modeling the Human Bone–Tumor Niche: Reducing and Replacing the Need for Animal Data. *JBMR Plus*, *4*(4), e10356. https://doi.org/10.1002/jbm4.10356

Ravi, T., Ranganathan, R., Pugalendhi, A., & Arumugam, S. (2020). 3D Printed Patient Specific Models from Medical Imaging—A General Workflow. *Materials Today: Proceedings*, *22*, 1237-1243. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.416

Roeth, A. A., Garretson, I., Beltz, M., Herbold, T., Schulze-Hagen, M., Quaisser, S., Georgens, A., Reith, D., Slabu, I., Klink, C. D., Neumann, U. P., & Linke, B. S. (2021). 3D-Printed Replica and Porcine Explants for Pre-Clinical Optimization of Endoscopic Tumor Treatment by Magnetic Targeting. *Cancers*, *13*(21), 5496. https://doi.org/10.3390/cancers13215496

Romo-Barrientos, C., Criado-Álvarez, J. J., González-González, J., Ubeda-Bañon, I., Flores-Cuadrado, A., Saiz-Sánchez, D., Viñuela, A., Martin-Conty, J. L., Simón, T., Martinez-Marcos, A., & Mohedano-Moriano, A. (2020). Anxiety levels among health sciences students during their first visit to the dissection room. *BMC Medical Education*, *20*(1), 109. https://doi.org/10.1186/s12909-020-02027-2

Rudroff, T. (2024). Artificial Intelligence as a Replacement for Animal Experiments in Neurology: Potential, Progress, and Challenges. *Neurology International*, *16*(4), 805-820. https://doi.org/10.3390/neurolint16040060

Runge, V. M., & Heverhagen, J. T. (2022). Image Resolution: Pixel and Voxel Size. Içinde V. M. Runge & J. T. Heverhagen (Ed.), *The Physics of Clinical MR Taught Through Images* (ss. 34-35). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85413-3_13

Russell, W. M. S., & Burch, R. L. (1959). *The Principles of Humane Experimental Technique* (1. bs, C. 1). Methuen & Co. Limited. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.5694/j.1326-5377.1960.tb73127.x

Salimi, S., Asgari, Z., Mohammadnejad, A., Teimazi, A., & Bakhtiari, M. (2024). Efficacy of virtual reality and augmented reality in anatomy education: A systematic review and meta-analysis. *Anatomical Sciences Education*, *17*(9), 1668-1685. https://doi.org/10.1002/ase.2501

Salvatore, M., & Valenti, G. M. (2020). Resolution Analysis of Image-Based 3D Models. Içinde M. Di Nicolantonio, E. Rossi, & T. Alexander (Ed.), *Advances in Additive Manufacturing, Modeling Systems and 3D Prototyping* (ss. 254-263). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20216-3_24

Schirone, R., Corte, G. M., Ehlers, J. P., Herre, C., Schmedding, M., Merle, R., Pachtmann, J., & Bahramsoltani, M. (2024). Effects of 3D Scans on Veterinary Students' Learning Outcomes Compared to Traditional 2D Images in Anatomy Classes. *Animals*, *14*(15), 2171. https://doi.org/10.3390/ani14152171

Schulze, M., Juergensen, L., Rischen, R., Toennemann, M., Reischle, G., Puetzler, J., Gosheger, G., & Hasselmann, J. (2024). Quality assurance of 3D-printed patient specific anatomical models: A systematic review. *3D Printing in Medicine*, *10*(1), 9. https://doi.org/10.1186/s41205-024-00210-5

Segars, H. E., Nadkarni, R., Badea, C. T., Badea, A., Chin, B., Johnson, G. A., Payne, J., Samei, E., & Segars, W. P. (2025). Development of anatomically variable digital Wistar rat phantoms for small animal imaging research. *Medical Physics*, *52*(8), e18057. https://doi.org/10.1002/mp.18057

Self, D. J. (1989). The use of animals in medical education and research. *Theoretical Medicine*, *10*(1), 9-19. https://doi.org/10.1007/BF00625755

Shaikh, S. T. (2015). Cadaver Dissection in Anatomy: The Ethical Aspect. *Anatomy & Physiology*, *s5*. https://doi.org/10.4172/2161-0940.S5-007

Shim, B. S., & Hou, J.-U. (2023). Improving Estimation of Layer Thickness and Identification of Slicer for 3D Printing Forensics. *Sensors*, *23*(19), 8250. https://doi.org/10.3390/s23198250

Șișu, A. M., Stoicescu, E. R., Bolintineanu, S. L., Faur, A. C., Iacob, R., Ghenciu, D. M., Dănilă, A.-I., & Hațegan, O. A. (2024). Blending Tradition and Innovation: Student Opinions on Modern Anatomy Education. *Education Sciences*, *14*(11), 1150. https://doi.org/10.3390/educsci14111150

Solis, D., Calvo, P., Fonthal, F., & Osorio, S. (2024). Development of Anatomical Models Using 3D Printing for Multiple Purposes in Medicine and Engineering. *2024 3rd International Congress of Biomedical Engineering and Bioengineering (CIIBBI)*, 1-6. https://doi.org/10.1109/CIIBBI63846.2024.10785029

Tang, F. M. K., Lee, R. M. F., Szeto, R. H. L., Cheng, J. K. K., Choi, F. W. T., Cheung, J. C. T., Ngan, O. M. Y., & Lau, A. S. N. (2021). A Simulation Design of Immersive Virtual Reality for Animal Handling Training to Biomedical Sciences Undergraduates.

Frontiers in Education, *6*. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.710354

Tannenbaum, J., & Bennett, B. T. (2015). Russell and Burch's 3Rs Then and Now: The Need for Clarity in Definition and Purpose. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science : JAALAS*, *54*(2), 120-132.

Taylor, K., Modi, S., & Bailey, J. (2024). An analysis of trends in the use of animal and non-animal methods in biomedical research and toxicology publications. *Frontiers in Lab on a Chip Technologies*, *3*. https://doi.org/10.3389/frlct.2024.1426895

Themes, U. F. O. (2021, Mayıs 29). Computer-Aided Design Principles for Anatomic Modeling. *Radiology Key*. https://radiologykey.com/computer-aided-design-principles-for-anatomic-modeling/

Toni, E., Toni, E., Fereidooni, M., & Ayatollahi, H. (2024). Acceptance and use of extended reality in surgical training: An umbrella review. *Systematic Reviews*, *13*(1), 299. https://doi.org/10.1186/s13643-024-02723-w

Tosca, E. M., Ronchi, D., Facciolo, D., & Magni, P. (2023). Replacement, Reduction, and Refinement of Animal Experiments in Anticancer Drug Development: The Contribution of 3D In Vitro Cancer Models in the Drug Efficacy Assessment. *Biomedicines*, *11*(4), 1058. https://doi.org/10.3390/biomedicines11041058

Triepels, C. P. R., Koppes, D. M., Van Kuijk, S. M. J., Popeijus, H. E., Lamers, W. H., van Gorp, T., Futterer, J. J., Kruitwagen, R. F. P. M., & Notten, K. J. B. (2018). Medical students' perspective on training in anatomy. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*, *217*, 60-65. https://doi.org/10.1016/j.aanat.2018.01.006

Uruthiralingam, U., & Rea, P. M. (2020). Augmented and Virtual Reality in Anatomical Education – A Systematic Review. Içinde P. M. Rea (Ed.), *Biomedical Visualisation: Volume 6* (ss. 89-101). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37639-0_5

Urzì, O., Gasparro, R., Costanzo, E., De Luca, A., Giavaresi, G., Fontana, S., & Alessandro, R. (2023). Three-Dimensional Cell Cultures: The Bridge between In Vitro and In Vivo Models. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(15), 12046. https://doi.org/10.3390/ijms241512046

Veeraraghavan, V. P. (2024). Comparing the Benefits and Drawbacks of Traditional and Online Anatomy Learning in Medical Education. *Medical Science Educator*, *34*(2), 501-501. https://doi.org/10.1007/s40670-024-01986-1

Verderio, P., Lecchi, M., Ciniselli, C. M., Shishmani, B., Apolone, G., & Manenti, G. (2023). 3Rs Principle and Legislative Decrees to Achieve High Standard of Animal Research. *Animals*, *13*(2), 277. https://doi.org/10.3390/ani13020277

Verma, D., & Namdeo, K. P. (2024). A Comprehensive Review on Redundancy usage of Animal models in Novel Drug testing. *Research Journal of Pharmacy and Technology*. https://doi.org/10.52711/0974-360x.2024.00635

Verma, S., & Sharma, U. (2025). Alternatives to Cadaveric Dissection in Medical Education: An Overview. *International Journal of Advanced Medical and Health Research*, *12*(1), 12. https://doi.org/10.4103/ijamr.ijamr_316_24

Virzì, A., Muller, C. O., Marret, J.-B., Mille, E., Berteloot, L., Grévent, D., Boddaert, N., Gori, P., Sarnacki, S., & Bloch, I. (2020). Comprehensive Review of 3D Segmentation Software Tools for MRI Usable for Pelvic Surgery Planning. *Journal of Digital*

Imaging, *33*(1), 99-110. https://doi.org/10.1007/s10278-019-00239-7

Walecki, P., Dabrowa, J., Wieclawek, P., Gogol, K., & Proniewska, K. (2024). *From traditional to immersive: The impact of 3D technologies on medical student learning*. *20*(1), 90-100.

Wickramasinghe, N., Thompson, B. R., & Xiao, J. (2022). The Opportunities and Challenges of Digital Anatomy for Medical Sciences: Narrative Review. *JMIR Medical Education*, *8*(2), e34687. https://doi.org/10.2196/34687

Zachow, S., Zilske, M., & Hege, H.-C. (2007). *3D reconstruction of individual anatomy from medical image data: Segmentation and geometry processing*.

Zhang, X., Yang, J., Chen, N., Zhang, S., Xu, Y., & Tan, L. (2019). Modeling and simulation of an anatomy teaching system. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, *2*(1), 8. https://doi.org/10.1186/s42492-019-0019-4

BÖLÜM 2

Karşılaştırmalı Anatomide Morfolojik Çeşitliliğin Moleküler ve Gelişimsel Temelleri

Mahmut YARDIMCI[1]
Abdulbaki DEMİR[2]

Giriş

Anatomi, canlı organizmaların yapısal organizasyonunu, organ sistemlerini ve bu yapıların birbirleriyle olan fonksiyonel yapılarını inceleyen temel biyolojik disiplinlerden biridir. Bununla birlikte, anatomik yapıların yalnızca tanımlanması ve sınıflandırılması, farklı canlı türlerinde gözlenen yapısal benzerlik ve farklılıklar biyolojik fonksiyonlar ile açıklanması yeterli değildir. Karşılaştırmalı anatomi, farklı türlerde bulunan anatomik yapıların morfolojik, fonksiyonel ve gelişimsel özelliklerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayarak canlı organizmalar arasındaki yapısal çeşitliliğin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle modern anatomi; gelişimsel biyoloji, moleküler genetik, paleontoloji ve genomik gibi farklı bilim alanlarıyla bağlantılı disiplinler arası bir araştırma alanı hâline gelmiştir (Futuyma, 2023).

Canlı organizmalarda görülen anatomik çeşitlilik; mutasyon, genetik sürüklenme, rekombinasyon ve gen akışı gibi genetik süreçlerin yanı sıra gelişimsel mekanizmalar ve çevresel etkiler tarafından da

[1]Dr. Öğr. Üyesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Bulanık Meslek Yüksekokulu, yardimcimahmut650@gmail.com Orcid: 0000-0002-1542-3968
[2]Dr. Öğr. Üyesi. Üyesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Bulanık Meslek Yüksekokulu, demirbiologist@gmail.com Orcid: 0000-0002-6867-4410

şekillendirilmektedir. Bu süreçler, genetik çeşitliliğin oluşmasının yanında anatomik yapıların biçimsel ve fonksiyonel özelliklerinin farklılaşmasına da katkıda bulunmaktadır. Karşılaştırmalı anatomi açısından değerlendirildiğinde, farklı türlerde gözlenen yapısal özelliklerin birlikte incelenmesi, anatomik çeşitliliğin altında bulunan genetik ve gelişimsel mekanizmaların anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır (Hickling, 2025).

Omurgalıların ön ekstremiteleri, karşılaştırmalı anatomide farklı türler arasındaki yapısal benzerliklerin ortaya konulmasında önemli bir örnek oluşturmaktadır. İnsan kolu, yarasa kanadı, balina yüzgeci ve atın ön bacağı farklı fonksiyonlara sahip olmasına rağmen benzer temel iskelet elemanlarını içermektedir. Bu durum, farklı fonksiyonlara sahip anatomik yapıların ortak bir mekanizma planı içerisinde değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu tür karşılaştırmalar, anatomik yapıların morfolojik ve fonksiyonel özelliklerinin türler arasında birlikte incelenmesine olanak sağlayarak karşılaştırmalı anatominin temel çalışma alanlarından birini oluşturmaktadır (Slobodian ve ark., 2022).

Gelişimsel biyoloji alanındaki ilerlemeler, türler arasında gözlenen anatomik ve morfolojik çeşitliliği genetik ve gelişimsel sürecin daha ayrıntılı biçimde anlaşılmasını sağlamıştır. Bu bağlamda HOX (Homeobox) genleri embriyonun anteroposterior (craniocaudal) ekseninin organizasyonunda önemli rol oynarken, PAX (Paired Box) genleri başta göz ve merkezi sinir sistemi olmak üzere birçok organın gelişiminde görev almaktadır. SOX (SRY-related HMG Box) genleri ise hücre farklılaşması, condrogenez ve organogenez süreçlerinde önemli fonksiyonlar üstlenmektedir (Ahmad SF ve ark., 2022). Benzer şekilde Wnt, BMP (Bone Morphogenetic Protein), FGF (Fibroblast Growth Factor) ve Hedgehog sinyal odakları; hücre proliferasyonu, göçü, farklılaşması ve doku morfogenezini düzenleyerek embriyonik vücut planının şekillenmesinde temel rol oynamaktadır (Cardoso-Moreira, 2026). Bu moleküler düzenleyici

mekanizmaların farklı omurgalı gruplarında korunmuş özellikler göstermesi, türler arasında gözlenen anatomik benzerlik ve farklılıkların altında bulunan gelişimsel ve moleküler düzeyde anlaşılmasına katkı sağlamaktadır (Silvestros, 2026). Bu gen aileleri ve gelişimsel mekanizmaların farklı omurgalı gruplarında yüksek düzeyde korunmuş olması, anatomik yapıların oluşumunda görev alan moleküler süreçlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda farklı türlerde gözlenen morfolojik özelliklerin oluşumunda rol oynayan gelişimsel süreçlerin anlaşılmasında önemli bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Özellikle embriyonik gelişim sırasında gen ekspresyonunun ve moleküler sinyal yolaklarının zamansal ve mekânsal olarak düzenlenmesi, organ ve dokuların biçimlenmesinde belirleyici bir rol üstlenmektedir (Silvestros, 2026).

Günümüzde tüm genom dizileme, transkriptom analizleri, tek hücre dizileme teknolojileri ve gelişmiş görüntüleme yöntemleri olan manyetik rezonans görüntüleme (MRG), bilgisayarlı tomografi (BT) ve mikro-BT, anatomik yapıların moleküler, gelişimsel ve morfometrik özelliklerinin daha ayrıntılı biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu gelişmeler, veteriner anatomi ve karşılaştırmalı anatomi çalışmalarına önemli katkılar sunmakta; farklı türler arasındaki morfolojik özelliklerin genetik ve gelişimsel temellerinin araştırılmasına olanak tanımaktadır (Marioni & Arendt, 2017). Özellikle tek hücre genomik teknolojileri, farklı hücre tiplerinin moleküler özelliklerinin ayrıntılı olarak ortaya konulmasını sağlayarak doku ve organların organizasyonunun daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanında MRG, BT ve mikro-BT gibi görüntüleme teknikleri, anatomik yapıların non-invaziv veya minimal invaziv yöntemlerle üç boyutlu olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yöntemlerin moleküler ve genetik analizlerle birlikte kullanılması, karşılaştırmalı anatomi araştırmalarında morfolojik yapıların nicel ve objektif

olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır (Marioni & Arendt, 2017). Karşılaştırmalı anatomide morfolojik yapıların yalnızca nitel özelliklerinin tanımlanması yerine, hacim, yüzey alanı, uzunluk, genişlik ve diğer geometrik parametreler bakımından nicel olarak değerlendirilmesi araştırmaların bilimsel niteliğini artırmaktadır. Stereolojik ve morfometrik yöntemler, farklı türlere ait anatomik yapıların objektif biçimde karşılaştırılmasına olanak sağlayarak türler arasındaki nöroanatomik ve visseral farklılıkların sayısal olarak ortaya konulmasına katkıda bulunmaktadır. Bu kapsamda hindi ve beç tavuğunda medulla oblongata hacminin stereolojik yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışma, farklı kanatlı türleri arasındaki nöroanatomik farklılıkların objektif olarak ortaya konulmasına önemli bir örnek oluşturmaktadır. Stereolojik değerlendirme sayesinde medulla oblongata hacminin nicel olarak belirlenmesi, karşılaştırmalı nöroanatomi çalışmalarında ölçülebilir verilerin elde edilmesine ve türler arasındaki yapısal farklılıkların daha güvenilir biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır (Delibaş, ve ark., 2026).

Sonuç olarak, karşılaştırmalı anatomi; farklı canlı türlerinin anatomik yapılarının yalnızca tanımlanmasını değil, aynı zamanda bu yapıların morfolojik, fonksiyonel, gelişimsel ve moleküler özelliklerinin birlikte değerlendirilmesini sağlayan multidisipliner bir bilim alanıdır. Genomik, gelişimsel biyoloji, moleküler genetik, gelişmiş görüntüleme teknikleri ve stereolojik-morfometrik yöntemlerin birlikte kullanılması, organizmalar arasındaki morfolojik çeşitliliğin daha ayrıntılı ve objektif biçimde anlaşılmasına olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, özellikle veteriner anatomi alanında farklı hayvan türlerine ait anatomik yapıların karşılaştırılmasına ve elde edilen morfolojik verilerin nicel yöntemlerle değerlendirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.

Kaynaklar

Futuyma, DJ. (2023). Phenotypic Plasticity and Evolutionary Syntheses: A Commentary on Dickins, TE. In Evolutionary Biology: Contemporary and Historical Reflections Upon Core Theory (pp. 461-465). Cham: Springer International Publishing.

Hickling, J. (2025). The role of science and historiography in the development of transnational environmental law: A new history of the 1900 London Convention for the preservation of African wildlife. Transnational Environmental Law, 14(1), 171-197.

Slobodian, V., Rizzato, PP., & Sobral, G. (2022). Vertebrates (Chordata). In Encyclopedia of animal cognition and behavior (pp. 7162-7189). Cham: Springer International Publishing.

Ahmad, S. F., Jehangir, M., Srikulnath, K., & Martins, C. (2022). Fish genomics and its impact on fundamental and applied research of vertebrate biology. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 32(2), 357-385.

Cardoso-Moreira, M. (2026). The molecular evolution of vertebrate organs. Nature ecology & evolution, 10(4), 641-651.

Silvestros, P. (2026). Forms of Explanation in Developmental Biology (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης).

Delibaş, V., Çakmak, G., Çelikezen, B., & Yardımcı, M. (2026). Stereolojical Investigation of Medulla Oblongata Volume in Turkeys and Guinea Fowls. Turkish Veterinary Journal, 8(1), 26-27.

Marioni, JC., & Arendt, D. (2017). How single-cell genomics is changing evolutionary and developmental biology. Annual review of cell and developmental biology, 33, 537-553.

BÖLÜM 3

EVCİL MEMELİLERDE DİŞİ GENİTAL ORGANLARIN ANATOMİSİ

DR. BETÜL GENÇ[1]

Giriş

Canlı doğuran ve viviparus olarak ifade edilen memelilerde üreme, dişi üreme organlarının morfolojik yapısı ile yakından ilişkilidir (Alaçam, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979; Özbek, 2000). Üreme organları, embriyonal gelişmenin erken döneminde somitler ve mesoderm yaprakları arasında oluşan urogenital plaktan gelişmektedir. Henüz erkeklik ve dişilik ayrımının olmadığı döneme indiferent dönem adı verilmektedir (Alaçam, 2015; Acar, 2016; Deveci, 2007; Meyers-Wallen & Patterson, 1989). Embriyonel hayatın başlangıç dönemlerinde geçici böbrek görevi gören ve urogenital plaktan gelişen mesonefrozun caudal kısmında görülen genital çıkıntılar (crista genitalis), gonadların (testis, ovarium) çatısını oluşturmaktadır. Bu ilkel gonadlar cinsiyet hücrelerinden yoksun bulunmaktadır. Cinsiyet hücreleri crista genitalis'ten değil endoderm veya mesoderm'den köken almaktadır (Alaçam, 2015; Acar, 2016; Deveci, 2007; Meyers-Wallen & Patterson, 1989; Zeynep & Akdeniz, 2023). Urogenital plakta, her iki cinsiyete ait mesonefrik (Wolf kanalı) ve paramesonefrik (Müller kanalı) olmak üzere iki çift kanal oluşmaktadır (Acar ve

diğerleri, 2017; Alaçam, 2015; Balkan, 2017). Wolf kanallarının gelişmesiyle ductus deferensler şekillenmektedir ve testislerden salınan hormonların etkisi ile yavru erkek olmaktadır. Testisten salınan hormonlar yavrunun cinsiyetinin oluşmasında en belirleyici etken olmaktadır (Jost, 1973; Nak & Kaşıkcı, 2013). Eğer testisler bulunmazsa Wolf kanallarının gelişmesi durur ve Müller kanalları gelişmektedir. Müller kanalları, yumurta kanallarını, uterus'u, cervix uteri'yi ve vagina'yı meydana getirmektedir. Mesonefrik kanalın da içinde yer aldığı üriner sistem tarafından oluşan boşluk olan sinus urogenitalis'ten idrar kesesi, urethra ve dış genital organlar olan vulva, clitoris ve penis meydana gelmektedir (Alaçam, 2015; Nak & Kaşıkcı, 2013).

Puberta dönemi, üreme organlarının fonksiyonel olarak aktif olduğu çağa ulaşmasıdır. Dişide puberta, hormonların denetimi altında östrus siklusu adı verilen bazı düzenli ve dönemsel değişikliklerin meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Poliöstrik canlılar olan ruminantia, equidae ve suis'te östrus yılda birkaç kez meydana gelmektedir. Diöstrik olan carnivora'da yılda iki defa, monoöstrik canlılar olan vahşi hayvanlarda ise yılda bir kez siklus görülmektedir. Östrus siklusunun evreleri proöstrus, östrus, metaöstrus, diöstrus ve anöstrus olmaktadır. [1] Proöstrus, ovarium'da folliküllerin geliştiği evre; östrus, ovulasyonun şekillendiği kızgınlık dönemi; metaöstrus, ovarium'da corpus luteum'un şekillendiği dönem; diöstrus uterus katmanı endometrium'un en kalın ve gelişmiş olduğu evre ve anöstrus ise seksüel aktivitenin bulunmadığı uzun bir dönem olmaktadır (Alaçam, 2015; Bahadır & Yıldız, 2014; Özer, 2010b).

[1] Arş. Gör. Bingöl Üniversitesi, Veterinerlik Anatomisi, Orcid: 0000-0001-7740-2268.

Dişi üreme organları yerleşimsel ve fonksiyonel açıdan, *partes genitales femininae internae* olarak adlandırılan dişi iç üreme organları ile *partes genitales externae* olarak adlandırılan dış üreme organları olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015). Bunlardan *partes genitales femininae internae*, cavum abdominis'te bulunan ovarium ile ovarium'dan başlayan ve cavum pelvis'i geçerek dışarıya açılan tuba uterina, uterus, vagina ve vestibulum vaginae gibi borusal organlardan oluşmaktadır. *Partes genitales femininae externae* ise pudendum femininum (vulva) ve clitoris'ten oluşmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014).

Partes genitales femininae internae (İç dişi genital organlar)

Ovarium

Carnivorlarda ovarium'ların yeri, geliştikleri bölge olan böbreklerin caudal'inde, cavum abdominis'in dorsal'inde değişmeden kalmaktadır. Canis'te ovarium, aynı taraftaki böbreğin hemen arkasında, hatta onunla temas halinde bulunmaktadır. Bu bölge 3.-4. lumbal vertebrae düzeyine ya da crista iliaca ile sonuncu costa arasındaki uzaklığın ortasına denk gelmektedir. Felis'te sağ ve sol ovarium'un konumu asimetrik olarak bulunmakta ve genellikle sağ ovarium, tıpkı sağ böbrek gibi karın boşluğunda sola göre daha aşağıda yer almaktadır (Prozorowska ve diğerleri, 2018). Diğer evcil memelilerden ruminantia'da cavum abdominis'te bulunan ovarium'lar cavum pelvis girişinin yan kenarları ortasında yer alırken, suis'te cavum pelvis'ten daha uzakta ve aşağıya doğru yönelmiş bulunmaktadır. Büyük ruminantia'da ovarium ile pudendum femininum arasındaki uzaklık 40–45 cm kadar olmaktadır. Equidae'de ovarium'lar cavum abdominis'in dorsal duvarının 8–10 cm kadar ventral'inde, 4.–5. lumbal vertebrae'nın altında, böbreklerin caudal ucu yakınında

bulunmaktadır (Dursun, 2008; Getty, 1975; König ve diğerleri, 2015).

Equidae dışındaki diğer evcil memelilerde elips şeklinde olan ovarium'ların yüzeyinde foliküller ve corpus luteum görülebilmektedir (Nickel ve diğerleri, 1979). Equidae'de ise ovarium'lar fasulye şeklinde olmakta ve yüzeyi oldukça düz bulunmaktadır (Renner-Martin ve diğerleri, 2009). Reprodüktif olarak aktif olunan dönemlerde ovarium'ların uzunlukları bos'ta 4–6 cm, küçük ruminantia'da 1.5–2 cm, equidae'de 8–12 cm, canis'te 1–1.5 cm, felis'te 0.8–1 cm kadar olmaktadır. Sağ ve sol ovarium arasında fark bulunmamaktadır (König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979; Rodolfo Ungerfeld ve diğerleri, 2008).

Ovarium'un *facies medialis* ve *facies lateralis* olmak üzere iki yüzü, *margo liber* ve *margo mesovaricus* olmak üzere iki kenarı, *extremitas tubaria* ve *extremitas uterina* olmak üzere iki ucu bulunmaktadır. *Margo mesovaricus*, mesovarium'un yapıştığı kenar olmaktadır ve burada ovarium'a ait sinir ve damarların girdiği *hilus ovarii* yer almaktadır. *Hilus ovarii* equidae'de mevcut bulunmamaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008).

Ovarium'lar mesovarium'lar ile asılı bulunmaktadır ve mesovarium'u peritonun visceral yaprağı örtmektedir. Bu yaprağın altında bazal membran üzerine oturmuş germinatif epiteller yer almaktadır. Bazal membranın altında bağ doku tabakası olan ve çeşitli yönlerde farklılaşabilen hücreleri içeren *tunica albuginea* bulunmaktadır. *Tunica albuginea*'daki fibrositler histiyositlere dönüşerek fagositik özellik kazanabilmekte, ayrıca interstisyel hücrelere dönüşerek hormon (östrojen) salgılayabilmektedir. Tüm bu yapılar ovarium'un dışta yer alan korteks kısmını (*zona parenchymatosa*) oluştururken, iç kısmında yumuşak yapılı ve damarlı bölge olan medulla (*zona medullaris* veya *vasculosa*) yer almaktadır (Nickel ve diğerleri, 1979; Özer, 2010b; Tanyolaç, 1984). Fasulye şeklinde olan equidae ovarium'unda germinatif

epiteller yalnızca *fossa ovarii* denilen çukur bölgede yer almaktadır. Epitel ile örtülü parankim üniteleri ovarium'un içine doğru yönelerek korteks'in içte, medulla'nın ise dışta yer almasına neden olmaktadır (Alaçam, 2015; König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010b; Tanyolaç, 1984).

Ovarium yüzeyi puberta öncesi dönemde ovulasyon gerçekleşmediği için düz bulunmaktadır. Puberta döneminde ise korteks bölgesinde farklı gelişim ve regresyon evrelerindeki çok sayıda follikül ve corpus luteum içermesinden dolayı yüzey düzgünlüğü kaybolmaktadır (Özer, 2010b). Ovarium'un korteks kısmında siklus dönemine bağlı olarak primer, sekonder, tersiyer ve Graaf foliküller yer almaktadır. Primer folikül en ilkel ve en küçük folikül olmaktadır. Ovarium yüzeyine yakın bulunan bu foliküllerin epiteli yassı epitel olmaktadır ve puberta çağına kadar ovarium'lar bu foliküller ile dolu bulunmaktadır. Seksüel olgunluk ile birlikte folikül stimülan hormonun (FSH) etkisiyle sekonder ve tersiyer foliküller gelişmektedir. Sekonder foliküller oositin çok katlı epitel hücrelerinden oluşmaktadır. Sekonder folikülün epitel hücreleri, etrafındaki bağ dokusuna ait stroma hücreleri tarafından kapsüle benzer bağ doku kılıfı ile sarılarak teka folikülü adını almaktadır. Daha gelişmiş bir form olan tersiyer foliküllerde çok katlı epitel hücrelerinde yer yer erimeler görülmektedir. Oluşan bu boşluklar daha fazla büyüyerek *antrum* adında büyük bir boşluk oluşturmaktadır. Bu boşluğun içinde östrojen hormonu içeren bir sıvı bulunmaktadır. Östrojen kanda yüksek düzeye ulaştığında östrusa ve ovulasyona neden olmaktadır. Tersiyer folikülün en gelişmiş şekline Graaf folikül adı verilmektedir. Bu foliküldeki oositi epitel hücreleri bir taç gibi sarmaktadır (*corona radiata*). *Corona radiata*'nın dışında birkaç sıra gelişigüzel dağılmış epitel hücreleri oositi çevreleyerek *antrum*'a doğru uzanmaktadır. Bu uzantıya *kumulus oophorus* (yumurta tepeciği) adı verilmektedir. Kumulus hücreleri, üreme hücrelerinin yeterli beslenmesi ve

gelişim kapasitesine ulaşmasında önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Oosit çevresindeki kumulus, granulosa ve teka hücreleri steroid sentezi ile oosit gelişimine katkıda bulunmaktadır (Dündar Çiftlik, 2019; Özer, 2010b; Tanyolaç, 1984). Sus'ta oosit yüzeyine yapışan yuvarlak şekilli kumulus hücrelerinin damla şeklinde olduğu ve oosite yapışan sivri, konik şekilli uçlara sahip olduğu bildirilmektedir (Areekijseree & Vejaratpimol, 2006).

Corpus luteum

Corpus luteum, granulosa ve teka hücrelerinden gelişen, gebeliğin başlaması ve sürdürülmesi için gerekli olan progesteron hormonunu üreten geçici bir üreme bezi olmaktadır (Fields & Fields, 1996; Mushap ve diğerleri, 2014; Nickel ve diğerleri, 1979; Niswender ve diğerleri, 2000). Ovulasyondan sonra patlayan follikülün duvarı içeriye doğru katlanmakta ve ovulasyon noktasında hafif bir kanama meydana gelmektedir. Oluşan kan, follikül boşluğunu doldurarak corpus hemorrhagicum adını almaktadır. Buradaki kanın resorbe olmasından sonra granulosa ve teka hücrelerinin proliferasyonu ve kan damarlarının çoğalması sonucunda katı kıvamlı ve sarı renkli corpus luteum oluşmaktadır (König ve diğerleri, 2015; Schams & Berisha, 2004). Eğer oosit fertilize olursa corpus luteum, corpus luteum graviditatis adını almaktadır (Marcotty, 1914; Reynolds ve diğerleri, 2019). Corpus luteum'un yaşam döngüsü, luteinizasyon (yani bir ovulatuar folikülün dönüşümü), gebelik ve fonksiyonel luteal gerileme dönemlerinden oluşmaktadır (Christenson & Devoto, 2003; Nickel ve diğerleri, 1979). Progesteron üretme kapasitesini kaybeden corpus luteum, yapısal bir gerileme sürecine girmektedir. Bu süreç bireye ya da türlere göre değişmektedir (Bowen-Shauver & Telleria, 2003). Büyük ruminantia'da gebelikte oluşan corpus luteum belirgin bir sarı renge sahip olmakta ve 1,0 ila 1,5 cm kadar genişliğe ulaşabilmektedir (Getty, 1975). Gebelik sona erdiğinde ya da gebelik meydana gelmediğinde uterus'tan salınan prostaglandin

(PGF2α), corpus luteum'un regrese olmasına neden olmaktadır ve corpus luteum dejenere olarak bağ dokudan oluşan beyaz bir nedbe dokusuna dönüşmektedir; bu yapıya corpus albicans adı verilmektedir. Hipofiz hormonları tarafından düzenlenen östrus siklusunda meydana gelen herhangi bir bozukluk, kalıcı corpus luteum (corpus luteum persistens) veya kist (luteal kist) oluşumu ile sonuçlanabilmektedir (Semacan, 2015; Alaçam, 2015; König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010b). Büyük ruminantia'da folliküller ve corpus luteum, ovarium yüzeyinin herhangi bir yerinde oluşabilmekte ve rektal palpasyonla kolaylıkla teşhis edilebilmektedir. Equidae ovarium'unun muayenesi, ovarium'un yapısından dolayı zor olmaktadır; folliküller teşhis edilebilirken corpus luteum'un tespiti için ultrasonografi kullanılması gerekmektedir (König ve diğerleri, 2015).

Tuba uterina (oviduct, salpinx)

Tuba uterina, oosit olgunlaşması, spermatozoa kapasitesi, döllenme, erken embriyonik gelişim ve nakil için uygun bir mikro ortam sağlayan aktif bir salgı organı olduğundan memeli üremesinde önemli bir rol oynamaktadır (Accogli ve diğerleri, 2014). Bir çift olan tuba uterina (oviduct, salpinx), oosit'i yakalayan ve myosalpinx'in kasılmaları ile uterus'a gönderen organlar olmaktadır. Aynı zamanda spermatozoa'ları da ileri ve yukarı göndermektedir. Doğal olarak fertilizasyon tubalar içinde oluşmaktadır (König ve diğerleri, 2015).

Tuba uterina'nın infundibulum, ampulla ve isthmus olmak üzere üç bölümden (Alaçam, 2015) ya da pars uterina kısmının eklenmesi ile dört bölümden (Bahadır & Yıldız, 2014) oluştuğu belirtilmektedir. Uç kısımlarında fimbria adı verilen sayısız uzantı bulunan infundibulum, tuba uterina'nın ovarium'a bakan kısmı olmaktadır. İnfundibulum'da yer alan fimbria'lar, özellikle östrus döneminde hareketlenmekte ve ovulasyon sırasında oosit'i tuba

uterina'ya sevk etmektedir. Ovarium'a yapışan fimbria'lara fimbria ovarica, infundibulum çevresinde bulunan diğer fimbria'lara ise fimbria tubae adı verilmektedir (Bahadır & Yıldız, 2014). İnfundibulum'un iç yüzü oldukça kıvrımlı olmakta ve derinliklerinde ostium abdominale tuba uterina denilen bir açıklık bulunmaktadır (Hunter, 2003; König ve diğerleri, 2015). Fimbria'lar ve tuba uterina'nın tüm kısımları makroskobik olarak ayırt edilebilmektedir (Prozorowska ve diğerleri, 2018; R. Ungerfeld ve diğerleri, 2008). Tuba uterina, pars uterina'nın caudal kısmında yer alan ostium uterinum tubae isimli delik aracılığıyla cornu uteri'ye açılmaktadır. Böylece uterotubal bir kavşak oluşmaktadır. Ruminantia ve suis'te kademeli bir geçişin bulunduğu bu kavşak, equidae ve carnivora'da ise bir papilla üzerine açılmaktadır ve bu papilla sayesinde enfeksiyonlara karşı bir bariyer oluşmaktadır (König ve diğerleri, 2015).

Tuba uterina, tunica mucosa, tunica muscularis ve tunica serosa olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Lamina epitelialis ve lamina propria alt katmanlarından oluşan tunica mucosa kıvrımlı bir katman olmakta; en fazla kıvrım ampulla'da, en az kıvrım ise isthmus ya da pars uterina'da görülmektedir. Lamina epitelialis iki tip epitel hücresi içermektedir; bunlardan biri silyumlu, diğeri ise salgı yapan epitel hücreleri olmaktadır. Silyumlu epitel hücreleri zigotun uterus'a taşınmasına yardımcı olmaktadır. Tuba uterina'nın belirli bölgelerindeki salgı epitel hücreleri tarafından üretilen glikoproteinler, döllenmeyi ve embriyonik gelişimi desteklemekte, spermatozoa fonksiyonlarının korunmasına katkı sağlamaktadır (Özer, 2010b; Tanyolaç, 1984). Tuba uterina kısımlarında bulunan silyumlu ya da silyumsuz ve salgı yapan epitel hücrelerinin sayısal varlığı östrus dönemi ve gebelik durumuna göre değişmektedir (Odor & Blandau, 1973; Yániz ve diğerleri, 2014). Ruminantia'da fimbria'daki silyumlu epitellerin sayısının östrus döneminde fazla olduğu ve silyumlu olmayan hücrelerde de çok sayıda microvillus

bulunduğu ifade edilmektedir (Abe & Oikawa, 1993). Devede ise silyumsuz hücrelerde microvillus ya da bu hücrelerin uç kısımlarında kabarcıkların bulunduğu ve kabarcıklı hücrelerin sayısının ampulla'dan uterotubal kavşağa doğru arttığı gözlenmektedir (Accogli ve diğerleri, 2014). Tunica muscularis, içte sirküler ve dışta longitudinal olmak üzere iki tabakadan oluşmaktadır ve en kalın kas tabakası isthmus kısmında bulunmaktadır. Peritonun visceral yaprağı olan tunica serosa, tek katlı yassı mezotel hücreleri ile ince bir bağ doku tabakası olan lamina subserosa'dan oluşmaktadır (Özer, 2010b; Tanyolaç, 1984).

Mesovarium, mesosalpinx, myosalpinx ve bursa ovarica

Ovarium ve tuba uterina sırasıyla mesovarium ve mesosalpinx ile cavum abdominis'e asılı bulunmaktadır. Bu yapılar, dişi genital kanalın genel süspansiyonu olan ligamentum latum uteri'nin cranial bölümünü oluşturmaktadır. Kan damarları ve sinirler bu ligament içinde seyrederek organa ulaşmaktadır. Ovarium'un suspansor ligamenti (*lig. suspansorium ovarii*), *lig. latum uteri*'nin serbest sınırının cranial bölümünü oluşturmaktadır. Felis'te bu ligament kan damarlarını içerdiğinden ovariektomi sırasında dikkate alınması gerekmektedir. *Lig. suspansorium ovarii*, caudal yönde devam ederek *lig. ovarii proprium* adını almakta ve cornu uteri'nin apex'ine yapışmaktadır. Mesosalpinx ise tuba uterina'dan taşarak perde benzeri serbest bir yapı oluşturmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Getty, 1975; König ve diğerleri, 2015).

Mesovarium, mesosalpinx ve *lig. ovarii proprium*, küçük bir peritoneal boşluk oluşturarak ovarium'u çevreleyen ve ovarium kesesi (*bursa ovarica*) adı verilen yapıyı oluşturmaktadır. Equidae'de ovarium, *bursa ovarica*'nın kaplayamayacağı kadar büyük olmaktadır. Ruminantia ve suis'te *bursa ovarica*, ovarium'u kaplamaktadır. Felis'te *bursa ovarica*, ovarium'u sarmakta, ancak cavum abdominalis ile geniş bir birleşmesi bulunmaktadır (Hafez

& Hafez, 2000; König ve diğerleri, 2015). Canis'te *bursa ovarica* ovarium'u tamamen sarmakta ve aynı zamanda bir miktar yağ dokusu içermektedir. *Bursa ovarica*'nın periton boşluğu ile irtibatı, *for. bursa ovarica* adı verilen dar bir açıklık ile sınırlandırılmaktadır (Hafez & Hafez, 2000; König ve diğerleri, 2015). Felis'te mesovarium böbreklerin yan yüzeyleri boyunca yerleşmekte ve diaphragma bölgesinde son bulmaktadır (Prozorowska ve diğerleri, 2018).

Uterus (metra, histera)

Uterus cranial'de tuba uterina caudal'de vagina ile ilişkili olan içi boş kassel bir organdır. Cornu uteri, corpus uteri ve cervix uteri kısımlarından oluşan uterus'un caudal kısımları türlere göre değişik şekillerde gözlenir. Uterus, gebelik döneminde sürekli gelişen embriyo'yu besler ve korur (König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri,1979; Robboy ve diğerleri, 2017; Spencer ve diğerleri, 2012; R. Ungerfeld ve diğerleri, 2008).

Evcil memelilerde ve insanda uterus'un yapısında türlere göre farklılıklar görülmektedir. En basit uterus yapısına sahip olan primat ve insandaki uterus'ta cornu uteri yoktur, bir corpus uteri ve bir cervix uteri bulunmaktadır. Bu türlerdeki uterus yapısına uterus simplex adı verilir (Bahadır & Yıldız, 2014). Evcil memeli hayvanlarda insan ve primatlardan farklı olarak cornu uteri cranial'de ikiye ayrılmaktadır ve uterus bicornis olarak adlandırılır (Semacan, 2015; Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008; Getty, 1975). Tavşan, sıçan ve farede ise uterus'un her kısmı ikişer adettir ve tek bir vagina'ya açılır. Bu durum uterus duplex ve vagina simplex olarak adlandırılır (McGeady ve diğerleri, 2006). Monotremata (Ornitorenk vb.) ve marsupialia (keseli memeliler) gibi türlerde hem uterus dublex hem de vagina dublex'tir (Bahadır, 2014) Cornu uteri iç kısmında ve birleşim yerinde cornu uteri'ler arasında zarsal bir perde bulunabilir böyle uterus'a sahip canlılara

uterus subseptus adı verilir, bu perdenin bulunmadığı canlılar ise uterus nonsubseptus olarak adlandırılır (Pfeifer ve diğerleri, 2016) Büyük ruminantia'da uterus, uterus bicornis subseptus şeklinde olup, uterus'un esas kitlesini cornu uteri'ler oluşturur. Equidae'de ise uterus bicornis nonsubseptus'tur ve corpus uteri'nin uzunluğu cornu uteri'lerin uzunluğuna eşittir (Alaçam, 2015).

Uterus'un konumu, yaşa, türe ve fizyolojik aktiviteye göre değişiklikler göstermektedir (CUI & Yu, 1999; Miller ve diğerleri, 2004). Carnivora'da uterus, ince barsakların dorsal'inde yer almaktadır. Kısa bir cervix uteri ve corpus uteri taşımaktadır. Uzun ve ince iki cornu uteri'ye sahip carnivora'da cornu uteri böbreklerin caudal'inde kadar uzanır (Howell, 1889; König ve diğerleri, 2015). Suis'te uterus, uzun bir cervix uteri ile kısa bir corpus uteri'ye sahiptir, cornu uteriler ise ince ve oldukça kıvrımlı bir yapıdadır. Hem cornu uteri'ler hem de ovarium'lar çok hareketli olduğu için cavum abdominis'te kesin bir pozisyonları yoktur (König ve diğerleri, 2015). Ruminantia'da üreme organlarının topografik konumu, fetus'ta ovarium'ların cavum abdominis'in caudal'ine ve cavum pelvis'in giridinin her iki yanına inmesi, cornu uteri'lerin ovarium'a doğru önce ventral, sonra caudal yönde kıvrılması ile şekillenir. Bu durum ilerlemiş gebelik dışında cornu uteri'lerin cavum abdominis'e kadar uzanmasını engellller (König ve diğerleri, 2015). Dış bakıda ruminantia uterus'unun corpus uteri'si uzun gibi görünmesine rağmen gerçekte bu kısım serosa ve mucosa ile kaplanmış cornu uteri'lerin caudal kısımlarıdır. Cornu uteri'lerinin caudal'deki birleşim noktasında lig. intercornuale adında bir ligament bulunmaktadır. Bu ligament rektal muayene sırasında uterus'u tespit etmek için kullanılır. Ligamentum latum uteri'nin dış yüzünde yer alan lig. teres uteri cornu uteri'lerden başlar ve inguinal bölgeye seyreder (Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015). Equidae uterus'unun uzun bir corpus'u ve birbirinden ayrı cornu uteri'leri vardır. Cornu uteri'ler equidae'de

genellikle cavum abdominis'in tavanına dönüktür ve barsakların üzerinde yer almaktadır (König ve diğerleri, 2015; Uzman, 2006).

Cervix uteri kalın duvarlı ve çok güçlü bir kas katmanı içeren, rektal muayenede rahatlıkla palpe edilebilen bir yapıdadır. Cervix uteri'nin caudal bölümü suis dışındaki türlerde vagina'nın ön bölümünün içerisine doğru hafifçe uzayarak portio vaginalis isimli bir çıkıntı yapmıştır. Bu çıkıntının çevresinde kör kese benzeri dairesel bir boşluk oluşmuştur, bu boşluğa fornix vaginae adı verilir ve equidae'de oldukça derindir (Dursun, 2008). Portio vaginalis'in ortasında yer alan deliğe ostium uteri externum, cervix uteri'nin cavum uteri ile ilişkisini sağlayan delik ise ostium uteri internum'dur. Ostiıum uteri internum ile ostium uteri externum arasındaki kanala canalis cervicis uteri denilmektedir. Bu kanal carnivora'da çok kısa olduğundan iki delik birbiriyle birleşmiş gibidir. Canalis cervicis, lümene doğru uzamış plikaları bulunan mucosa kıvrımları tarafından tıkanmış gibidir (Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015). Bu mucosa kıvrımları equidae, felis ve canis'te longitudinal olarak bulunmaktadır ve plicae longitudinales olarak adlandırılır. Ruminantia'da ise plicae circulares olarak adlandırılan sirküler tarzda kıvrımlar içerir. Büyük ruminantia'da cervix uteri yaklaşık 10 cm uzunluğundadır; lumen 4 adet plicae circulares tarafından tıkanmış durumdadır, plicae circulares sayısı capra'da 8'e kadar çıkabilir. (Getty, 1975; Nickel ve diğerleri, 1979; Tanyolaç, 1984). Suis'te ise bu kıvrımlar kanalın lümenine doğru çıkıntı demetleri yaparak (pulvini cervicales) kanalı tıkar (Alaçam, 2015; König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010b). Hayvan türlerine göre farklı sayıda ve şekilde kıvrımlar içeren cervix uteri mucosa'sının lamina epitelialis katmanı mucus salgılayan tek katlı prizmatik hücrelerden meydana gelmektedir ve bu salgı ile canalis cervicis'in tıkanmasına sebep olmaktadır (Özer, 2010b). Çiftleşme durumunda spermatozoa dişi genital kanala doğal aşım ile aktarıldığında vagina'nın cranial'ine, suni tohumlama

uygulamasında ise cervix'i geçerek corpus uteri veya cornu uteri'ye bırakılmaktadır. Dolayısıyla fekondasyon bölgesine taşınmada doğal aşım ile vagina'ya bırakılan spermatozoalar ancak cervix uteri bariyerini geçebildiğinde fertilizasyon şekillenebilir (Doğan, 2014). Ovulasyon sırasında meydana gelen hormonal değişikliklerle mucusun kıvamı incelerek spermatozoa'nın penetrasyonuna izin verir (Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010a; Spencer ve diğerleri, 2004).

Uterus duvarı üç tabakadan meydana gelmiştir. Bu tabakalar içten dışa endometrium (tunica mucosa), myometrium (tunica muscularis), perimetrium (tunica serosa)'dan oluşmaktadır (Dursun, 2008; Gasner, 2020; Getty, 1975; König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979).

Endometrium, uterus lumenini örten tabakadır. Kalınlığı östrus siklusu dönemine göre bu tabaka, lamina epitelyalis ve lamina propriya olmak üzere iki alt katman sahiptir. Endometrium epiteli canis, equidae ve felis'te tek katlı kübik ya da prizmatik, ruminantia'da ise çok katlı ya da yalancı çok katlı prizmatiktir. Bu epitel hücreleri silyumlu ve sekresyon yapan hücrelerdir. Ovarium'dan salgılanan hormonların etkisi altında epitel hücrelerinin sekresyon aktiviteleri etkilenir. Lamina propriya kan damar ağı ile fibroblastlardan, makrofajlardan, mast hücrelerinden zengin gevşek bir bağ dokusu yapısına sahiptir ve uterus bezlerinin (glandulae uterinae) olduğu katmandır (Spencer ve diğerleri, 2004; Spencer ve diğerleri, 2019). Uterus bezlerinin epiteli endometrium epiteline benzer ancak silyumlu hücreler oldukça az görülür, sekresyon yapan hücreler ise microvillus içerir. Ruminantia'da lamina propriya'nın bez içermeyen bölgeleri vardır. Bu bölgeler gebelikte düğme şeklinde çok belirgin oluşumlara dönüşür ve plasentanın maternal kısmı olan caruncula'ları meydana getirir (bos'ta 80-120 adet) (König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979; Tanyolaç, 1984). Bu caruncula'lar gebelik

süresince embriyonik membranlar olan cotyledon'ların bağlanma noktalarıdır. Gebe olmayan ruminantia'da küçük, düz yüzeye sahip olan bu caruncula'lar, gebelikte büyük ve kabarık şişkinlikler halini alır ve yüzeyleri çukurlu olmaktadır. Her uterus caruncula'sı ve ona denk gelen cotyledon tek bir oluşum olan plasentom adını alır, küçük ruminantia'nın caruncula'sı büyük ruminantia'ya göre çok daha küçüktür ve büyük ruminantia caruncula'ları konveks bir yapı gösterirken küçük ruminantia'da konkav olarak görülmektedir (Semacan, 2015; Alaçam, 2015; Getty, 1975). Canis'te ise uterus bezleri çok yoğun bulunur, içerisinde tespit edilen spermatozoa başları sıklıkla uterus bezlerine gömülür sadece kuyrukları görülebilir (Rijsselaere ve diğerleri, 2004).

Endometrium'un altında iki katlı kas tabakası olarak bulunan myometrium, dışta longitudinal, içte sirküler kas tabakalarını içerir bu iki kas katmanının arasında kan damarlarından zengin olan stratum vasculare olarak isimlendirilen bir bölge yer almaktadır (Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015). Perimetrium ise peritonun visceral yaprağıdır, bazal membran üzerine oturan mezotel hücreler ve bazal membrana bitişik gevşek bağdokulu subseroza ile myometrium'a bağlanır (Tanyolaç, 1984).

Vagina

Vagina, dişinin çiftleşme organıdır. Cavum pelvis'te, cranial'de cervix uteri ile caudal'de vulva arasında, dorsal'inde rectum ile ventral'indeki idrar kesesi arasında yer alan vagina genellikle retroperitoneal ancak cranial bölümünün yalnızca bir kısmı periton ile örtülmektedir (Dursun, 2008; Getty, 1975; König ve diğerleri, 2015).

Vagina'nın tabanında ostium urethrae externum adı verilen urethra'nın dış deliği yer almaktadır. Ostium urethrae externum'un cranial'inde vagina, caudal'inde ise vestibulum vaginae bulunmaktadır. Vagina ve vestibulum vaginae'nın birleşim yerinde,

evcil memelilerde küçük enine kıvrımlar şeklinde çok az gelişmiş, tayda ve genç sus'ta ise halka şeklinde tam olarak gelişmiş olan hymen adı verilen dairesel şekilli mucosa dürümü bulunmaktadır. Çiftleşme ile birlikte bu yapı bozulmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979; Singh, 2018).

Fibromuscular karakterli bir kanal olan vagina; tunica mucosa, tunica muscularis ve tunica adventitia olarak ifade edilen üç katmandan oluşmaktadır. Tunica mucosa, cutan mucosa yapısında bulunmaktadır. Tunica mucosa, lamina epitelialis ve lamina propria'dan oluşmaktadır. Lamina epitelialis, büyük ruminantia dışındaki hayvanlarda çok katlı yassı, büyük ruminantia'da ise yalancı çok katlı prizmatik epitel hücrelerinden oluşmakta ve bu hücreler arasında kadeh hücreleri bulunmaktadır. Evcil hayvanların vagina'sında epitelin kalınlığı ve hücrelerin şekli seksüel siklusa göre değişmektedir. Carnivora'da östrus süresince epitel hücreleri keratinize olmakta, gebelik durumunda ise çok katlı epitelin yüzlek hücreleri kübik ya da prizmatik olmaktadır. Gebelik süresince ve doğuma yakın dönemlerde epitelin kalınlığı azalmaktadır. Tüm memelilerde epitel hücreleri glikojenden zengin bulunmaktadır. Östrojenik uyarı ile glikojen sentezi ve depolanması artmaktadır. Vagina'nın lumenine dökülen epitel hücrelerinin parçalanmasıyla açığa çıkan glikojen, vagina'da bulunan bakteriler tarafından kimyasal değişikliğe uğratılmakta ve laktik asit oluşturmaktadır. Böylece vagina lumenini kayganlaştıran, süt kıvamında ve asit karakterli vaginal salgı meydana gelmektedir (Özer, 2010b). Bu salgı ve pubertadan sonra kalınlaşan epitel katmanı, hayvanlarda ağrısız penetrasyonun gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır (Jannini ve diğerleri, 2006). Büyük ruminantia vaginal sıvısının SEM görüntülerinde ağ benzeri fibriller bir yapının bulunduğu ve bu fibrillerin pıhtılaştığı ya da nodüler bir yapı oluşturduğu gözlenmektedir (Rutllant ve diğerleri, 1999).

Tunica muscularis, içte sirküler ve dışta longitudinal olarak yer alan düz kas tellerinden oluşmakta ve sirküler katman daha kalın bulunmaktadır. Canis ve suis'te longitudinal kas katmanı içte yer almaktadır. Kas katmanının dış tarafını örten yoğun bağ dokusu, tunica adventitia'yı oluşturmaktadır. Tunica adventitia kalın bir yapıda olmakta ve zengin elastik lifler içermektedir (Özer, 2010b).

Tüm memeli hayvanlarda çiftleşme sırasında spermatozoalar vagina'nın cranial bölümüne bırakılmaktadır. Bu spermatozoalar vagina ve uterus kasları aracılığıyla genital sisteme dağılmaktadır. Canis'te ovulasyondan dokuz gün önce vagina'ya bırakılan spermatozoalar canlılıklarını bu süre boyunca koruyabilmekte ve fertilizasyonun şekillenmesini sağlayabilmektedir (England & Burgess, 2003; England & Pacey, 1998).

Vestibulum vaginae

Vestibulum vaginae, çiftleşme organı olan vagina'nın caudal bölümünü oluşturmaktadır. Ostium urethrae externum'dan vulva'ya kadar uzanmakta ve üreme ile ürinasyon faaliyetlerinin gerçekleştiği bölge olmaktadır (Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015; Yıldız ve diğerleri, 2022).

Ruminantia ve suis'te urethra, ventral bir invaginasyon olan diverticulum suburethrale'yi oluşturmakta, canis'te ise küçük bir çıkıntı yaparak vagina'ya açılmaktadır. Bu yapıların idrar kesesinin kateterizasyonu sırasında dikkate alınması gerekmektedir (Bahadır & Yıldız, 2014; König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979; Singh, 2018).

Vestibulum vaginae, vagina'dan daha kısa olmakta ve arcus ischiadicus'un caudal'inde yer almaktadır. Bu yerleşim, vulva'nın açık kısmına doğru bir kavis yapmasını sağlamaktadır. Vagina'ya spekulum veya başka bir alet uygulanacağında bu kavisli yapının dikkate alınması gerekmektedir. Vestibulum vaginae'nın duvarları

vagina'ya göre daha az elastik olmaktadır (König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010b). Vestibulum vaginae'nın mucosası kırmızıya yakın bir renkte bulunmaktadır. Mucosa'nın üzeri yassı epitel hücreleriyle kaplanmakta ve içerisinde mucus üreten bezler bulunmaktadır. Bu bezler glandulae vestibulares minores ve glandulae vestibulares majores olmak üzere iki çeşitten oluşmaktadır. Equidae, ovis, sus ve canis'te görülen glandulae vestibulares minores, vestibulum vaginae'nın yan veya ventral duvarına yerleşmekte ve vestibulum vaginae'ya ayrı kanallarla açılmaktadır. Canis'e ait glandulae vestibulares minores çok küçük olmakla birlikte çok fazla sayıda bulunmaktadır. Glandulae vestibulares majores olarak adlandırılan diğer bezler ise büyük ruminantia ve felis'te, bazen de ovis'te bulunmaktadır. Ovis'te bulunması durumunda küçük bir fasulye büyüklüğünde gözlenebilmektedir (König ve diğerleri, 2015; Nickel ve diğerleri, 1979). Glandulae vestibulares majores, vestibulum vaginae'nın yan duvarları üzerinde tek bir salgı kanalına sahip iki kitle şeklinde yerleşmektedir. Glandulae vestibulares majores ve glandulae vestibulares minores'in salgıladığı mucus, vestibulum vaginae yolunu yağlamakta ve bu nedenle copulasyon ile doğumda işlevsel yönden büyük kolaylık sağlamaktadır. Östrus döneminde vestibulum vaginae'dan bol miktarda salgılanan mucus feromon içermekte ve bu feromonlar erkeğin kızgın dişiyi bulmasına yardımcı olan kokuları yaymaktadır. Vestibulum vaginae'nın duvarında oldukça fazla sayıda plexus venosus yer almaktadır ve canis'te kanla dolmaları sonucunda yan duvarlar üzerinde bulbus vestibuli adı verilen, şişebilen bir bölge meydana gelmektedir. Vestibulum vaginae'nın cranial'inde yer alan ostium urethrae externum'un iki yanında, mesonephric kanalın kalıntısı olan ductus epoophori longitudinales isimli bir yapı bulunmaktadır. Sus, ovis ve felis'te bunun yanında ductus paraurethralis isimli kısa ve kör epithelial borucuklar da yer almaktadır. Mucosa üzerindeki bu oluşumlar, formol uygulanmamış kadavralarda kolaylıkla

saptanabilmektedir (Semacan, 2015; Bahadır & Yıldız, 2014; König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010b; Singh, 2018).

Vestibulum vaginae'nın kasılması ve kontrolü, vestibulum vaginae'nın ventral ve lateral duvarlarını saran ve onu rectum'un lateral duvarlarına bağlayan m. constrictor vestibuli isimli çizgili bir kas ile gerçekleşmektedir. Bu kas, vestibulum üzerinde büzücü bir etki oluşturmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; König ve diğerleri, 2015).

Partes genitales femininae externae (Dış dişi genital organlar)

Vulva (pudendum femininum)

Vulva, dişi üreme sisteminin dışarıya açılan yarık şeklindeki son bölümü olmaktadır. Anus'un hemen altında yer almakta ve temelini *labium vulvae* adı verilen sağ ve sol dudaklar (*labium*) oluşturmaktadır (Renner-Martin ve diğerleri, 2009). Sağ ve sol labium'lar dorsal'de *commissura labiorum dorsalis*, ventral'de ise *commissura labiorum ventralis* isimli birleşmeleri oluşturmaktadır. Bunlardan dorsal olanı oldukça yuvarlak, ventral olanı ise sivri bir birleşim göstermektedir (Nickel ve diğerleri, 1979). Dudaklar arasındaki yarığa *rima vulvae* adı verilmektedir. Bu yarık aracılığıyla vestibulum vaginae'ya girilmektedir. Evcil memelilerdeki dudaklar, kadındaki *labium minores* olarak adlandırılan küçük dudakların karşılığını oluşturmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008; Singh, 2018). Kadındaki *labium majores* olarak adlandırılan büyük dudaklar ise erkeğin scrotum'una karşılık gelmekte ve yalnızca carnivora'da tüyler arasında iki kabartı şeklinde bulunmaktadır. *Commissura labiorum ventralis* aşağı doğru sarkık bulunmakta ve *arcus ischiadicus*'un caudoventral'i düzeyinde yer almaktadır. *Commissura labiorum dorsalis* ile anus arasında *raphe perinei* olarak adlandırılan kabarık bir bölüm bulunmaktadır. Güç doğumlarda veya yavrunun büyük olduğu durumlarda bu bölüm kesilerek (*perineal laceration*)

doğum sağlanmakta, ardından kesilen bölüm dikilmektedir. Labium'ları örten derinin içerisinde çok sayıda *gll. sebaceae* olarak adlandırılan yağ bezleri, *gll. sudoriferae* olarak adlandırılan ter bezleri ve ince tüylere ait *folliculus*'lar bulunmaktadır. *Gll. sebaceae* kanalları çoğunlukla kıl folliküllerine açılmakta ve sebum adı verilen bir salgı üretmektedir. Deri genellikle siyah pigmentli olmaktadır. *Rima vulvae*'dan içeriye doğru kıvrılan yapı, üreme kanalının mucosasına dönüşmektedir. Labium'ların iç kısmında bulunan *m. constrictor vulvae* isimli çizgili kastan gelen lifler, *rima vulvae*'nın daraltılmasında görev almaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; König ve diğerleri, 2015; Singh, 2018).

Clitoris

Commissura labiorum ventralis içerisinde caudoventral konumda yer alan ve penis'in dişi genital sistemdeki karşılığı olan clitoris; *crus clitoridis*, *corpus clitoridis* ve *glans clitoridis* bölümlerine sahip olmakta ve preputium'un homoloğu olan mucosa ile sarılmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008; Singh, 2018). Penis'ten en önemli farklılıkları küçük yapıda olması ve üzerinde urethra'nın bulunmamasıdır. *Crus clitoridis*'ler *arcus ischiadicus*'a bağlanmaktadır. *Corpus clitoridis*, *corpus cavernosum clitoridis* adı verilen kavernöz ve erektil dokudan ve bunu dıştan saran *tunica albuginea*'dan oluşmaktadır. *Corpus clitoridis*, equidae'de kalın, ruminantia'da ise ince ve kıvrımlı bulunmaktadır. *Glans clitoridis*, üzerinde ince oluklar bulunan yuvarlak bir çıkıntı olmakta ve *fossa clitoridis* adı verilen bir çöküntü içerisinde yer almaktadır. Bu çöküntü alttan ve yanlardan *commissura labiorum ventralis*, üstten ise enine mucosa kıvrımları ile sınırlandırılmaktadır. Bu kıvrımlar *preputium clitoridis*'i oluşturmaktadır. *Glans clitoridis*, *preputium clitoridis*'e *frenulum clitoridis* ile bağlanmaktadır. *Glans clitoridis*, insan, canis ve equidae'de *glans penis*'e benzer küçük bir *corpus cavernosum clitoridis* şeklinde gelişmektedir. Diğer evcil memelilerde ise kan

damarlarından zengin bağ dokusu özelliği göstermektedir (Bahadır & Yıldız, 2014; Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015; Özer, 2010b).

Dişi Genital Organların Kasları

Dişi reprodüktif kanalın kas ve fasyaları, pelvik çıkışın bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu kasların çoğu çizgili kaslar grubunda yer almakta ve genellikle vestibulum vaginae ile vulva'yı kontrol etmektedir. Kuyruk kökünün ventral bölümü ile vulva arasındaki bölgeye perineal bölge adı verilmektedir. Vulva ve anus arasını çevreleyen kas ve fasyalar ise perineal gövde ya da perineum olarak ifade edilmektedir (Habel, 1966; König ve diğerleri, 2015).

Musculus ischiocavernosus, *arcus ischiadicus* ve *tuber ischiadicum*'dan çıkarak clitoris'in *crus*'larını saran küçük bir kas olmaktadır. *Commissura labiorum ventralis*'i dışa doğru çevirerek clitoris'in ortaya çıkmasını sağlamaktadır. *Musculus constrictor vestibuli* ve *m. constrictor vulvae*, erkekteki *m. bulbospongiosus*'un karşılığını oluşturmaktadır. Dairesel liflere sahip olan bu kaslar, vulva ve vestibulum'u büzme görevini üstlenmektedir. *Musculus constrictor vulvae*, dorsal'de *m. sphincter ani* ile birleşmekte ve *labia vulvae*'lerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. *Musculus retractor clitoridis*, tam olarak gelişmemiş bir kas olmaktadır. *Musculus ischiourethralis*, *symphysis pelvis*'in caudal ucundan çıkarak *ostium urethrae externum* çevresinde sonlanan ince lif demetlerinden oluşmaktadır ve *micturation* olarak ifade edilen işeme faaliyetini kolaylaştırmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; König ve diğerleri, 2015).

Dişi Genital Organların Vaskülerizasyonu ve İnnervasyonu

Dişi genital organlarına kan dolaşımı dört çift arter tarafından sağlanmaktadır. Bu arterler; ovarium arteri olan *a. ovarica*, uterus arteri olan *a. uterina*, vaginal arter olan *a. vaginalis*

ve internal pudendal arter olan *a. pudenda interna* olmaktadır (Renner-Martin ve diğerleri, 2009).

Aorta'dan ayrılan *a. ovarica*, kıvrımlı bir yol izleyerek ovarium'a ulaşmaktadır. Ovarium'da kıvrımlar oluşturmakta ve dallanarak daha sonra *ramus tubarius* ile *ramus uterinus* dallarını vermektedir. Uterus'a gelen dal, *lig. latum uteri* içerisinde *a. uterina* ile anastomoz yapmaktadır (Bedia Sancak, 2008; Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015; Leiser, 1999).

Dişi genital kanalın geri kalan bölümleri *a. uterina* ve *a. vaginalis* tarafından beslenmektedir. Bu damarlar, *aorta abdominalis*'in uç dallarından biri olan *a. iliaca interna*'dan çıkmaktadır. Equidae ve carnivora'da iki damar köküne ayrılmaktadır. Bu köklerden biri pelvis boşluğunun vaskülarizasyonunu sağlamakta, diğer kökten ise genital organlara dağılan dallar çıkmaktadır. Bu dallardan dişi genital organlara giden damarlar *a. vaginalis* ve *a. clitoridis* olmaktadır. Ruminantia ve suis'te ise bu damarlar *a. iliaca interna*'dan belirgin bir ortak kök oluşturmadan ayrı ayrı çıkmaktadır (Dursun, 2008; König ve diğerleri, 2015; Renner-Martin ve diğerleri, 2009). Canis ve felis'te *a. uterina*, *a. vaginalis*'in bir dalı olmaktadır. Uterus'a ulaşan en büyük kan akımı, *a. ovarica*'dan çıkan *ramus uterinus* tarafından sağlanmaktadır. Felis'te *a. ovarica*'dan ayrılan ve cranial yönde devam eden bir dal, *a. adrenalis* ile anastomoz yapmaktadır (König ve diğerleri, 2015). Büyük ruminantia'da *a. uterina*, rektal yolla ileum kemiği üzerinde palpe edilebilmektedir. Gebeliğin beşinci ayından sonra bu damar üzerinde karakteristik bir vibrasyon (*fremitus* veya *thrill*) hissedilebilmektedir (Delano ve diğerleri, 2002). Equidae'de *a. uterina*, *a. iliaca externa*'nın bir kolu olmaktadır (Dursun, 2008). Dişi genital kanalın caudal bölümleri, *a. pudenda interna* ve *a. vaginalis*'in dalları tarafından beslenmektedir. Damarların dallanma şekilleri hayvan türlerine göre farklılık göstermektedir (König ve diğerleri, 2015).

Vena'lar genellikle arterlerle birlikte bulunmaktadır (Ford, 1982; Milvae ve diğerleri, 1996; Reynolds, 1986). Ovarium veni olan *v. ovarica*, uterus veni olan *v. uterina*'dan daha geniş olmakla birlikte, bunlara karşılık gelen arterlerden daha küçük bulunmaktadır. *Vena ovarica*, uterus'tan gelen kanın büyük kısmını taşımakta ve bu ven yumuşak doku ile aynı kılıf içerisinde seyretmektedir. İnekte yan yana bulunan damarların duvarları oldukça ince olmakta ve PGF2α'nın venden artere transmural geçişi bu şekilde sağlanmaktadır. *Vena vaginalis*, vagina ve vestibulum duvarında yoğun bir pleksus oluşturmaktadır (König ve diğerleri, 2015).

Dişi genital kanalın lenfatikleri esas olarak medial iliak lenf düğümlerine ve lumbal aortik lenf düğümlerine drene olmaktadır. Equidae'de *lig. latum uteri* içerisinde uterus lenf düğümü bulunabilmektedir (König ve diğerleri, 2015).

Dişi genital kanalın innervasyonu otonom sinir sistemi tarafından sağlanmaktadır. Ovarium'lar sempatik sinirlerini *plexus intermesentericus* ve *plexus mesentericus caudalis*'ten, parasempatik sinirlerini ise *n. vagus*'tan almaktadır. Dişi genital kanalın geri kalan bölümü ise sempatik ve parasempatik sinirlerini pelvik ağdan (*plexus pelvinus*) almaktadır (Habel, 1966; König ve diğerleri, 2015).

Dişi üreme organlarının sinirleri hem otonom sistemden hem de somatik sistemden gelmektedir. Sacrum bölgesinden gelen parasempatik lifler, *n. pelvici* aracılığıyla bu bölgeye ulaşmaktadır. Sempatik lifler ise *ganglion mesentericum caudale* ve *plexus mesentericus caudalis*'ten gelerek, *n. hypogastricus* ve *plexus pelvinus* üzerinden genital sisteme uzanmaktadır. *Nervus pudendus* ve *n. rectalis caudalis*, bu organlara sensorik (duyusal) ve motorik lifleri taşımaktadır. Motorik lifler özellikle sistemin caudal bölümündeki kaslara ait olmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; König ve diğerleri, 2015). *Nervus pudendus*, ikinci ve üçüncü ya da

üçüncü ve dördüncü sakral spinal sinirlerin ventral dallarının birleşmesiyle oluşmaktadır. *Arteria pudenda interna* ile birlikte caudoventral yönde seyretmektedir. *Foramen ischiadicum minus* düzeyinde verdiği *ramus communicans*, *n. cutaneus femoris caudalis* ile birleşmektedir. Daha sonra yüzeyel ve derin perineal sinirlerin (*n. perinealis superficialis et profundus*) ortak kökünü vermektedir. Sinirin devamı *arcus ischiadicus*'tan geçmekte, erkekte *ramus preputialis et scrotalis* ve *n. dorsalis penis*'e; dişide ise *ramus mammarius* ile *n. dorsalis clitoridis*'e ayrılarak sonlanmaktadır. *Nervus perinealis superficialis*, dişide *pudendum femininum*'un *labium pudendi*'sinde dağılmaktadır. *Nervus dorsalis penis*, *n. pudendus*'un son dalı olmakta, dişide ise *n. dorsalis clitoridis* adıyla clitoris ve çevresinde sonlanmaktadır (Dursun, 2008).

Dişi üreme organlarında doğumdan sonraki (postnatal) değişmeler

Doğumdan sonra dişi genital organlarında, işlevsel yeteneklerine veya daha önceki işlevlerine bağlı olarak belirli yapısal değişiklikler meydana gelmektedir (Semacan, 2015; Alaçam, 2015; Bahadır & Yıldız, 2014).

Genç (juvenilitas) canlının üreme organları, türünün tüm özelliklerine sahip olmakla birlikte, daha küçük ve narin yapıda bulunmaktadır ve puberta dönemine girmemiş olduğu kolaylıkla anlaşılmaktadır. Henüz büyümemiş olan ovarium'lar üzerinde olgun folliküller bulunmamaktadır. Bunun yerine farklı büyüklüklerde olgunlaşmamış folliküller yer almaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014). Folliküller henüz dışarı atılmadığından ovarium üzerinde ne bir yara izi ne de corpus luteum kalıntısı bulunmaktadır. Mesovarium ve mesometrium ince ve saydam olmaktadır. Uterus katmanları ince ve saydam olmakta ve üzerlerinde ince duvarlı damarlar görülmektedir. *Glandula*

uterina'lar seyrek bulunmaktadır. Bu dönemin en belirgin özelliğini uterus arterleri göstermektedir. Bu damarlarda iç boşluklar dar, duvarlar ince ve kıvrımlar az olmaktadır. Cervix uteri yumuşak bulunmaktadır. Vagina, vestibulum vaginae ve vulva soluk sarı renkli bir mucosaya sahip olmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014; Özer, 2010b).

Olgun (postpuberal), ancak doğum yapmamış (nulliparus) dişilerde genital organlar büyümüş ve fonksiyonel hâle gelmektedir. Bu dönemde belirli aralıklarla kızgınlık görülmektedir. Ovarium'larda farklı gelişim evrelerinde bulunan folliküller ile corpus luteum ve bunlara ait kalıntılar görülmektedir. Tüm üreme kanalının duvarı kalınlaşmakta ve sertleşmektedir. *Tunica mucosa* kırmızı, kahverengi veya sarı renkte bulunmaktadır. Arterler büyümüş olmakta, ancak henüz yeterince kıvrımlı bulunmamaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014).

Doğum veya abortus sonrasında genital kanalın morfolojik ve fonksiyonel olarak gebelik öncesi duruma dönmesi involüsyon olarak adlandırılmaktadır. İnvolüsyonun gerçekleştiği döneme ise puerperal dönem adı verilmektedir. Tüm memelilerde puerperal dönem sürecinde, yavru ile birlikte büyüyen uterus'un involüsyonu, endometrium'un kendini yenilemesi, uterus'taki bakteriyel bulaşmanın elimine edilmesi ve ovarium'ların siklik faaliyetlerinin yeniden başlaması eş zamanlı veya birbirini izleyerek gerçekleşmektedir (Alaçam, 2015; Azawi, 2008). İnvolüsyon sonucunda organlar eski hâline dönmekte, ancak gebelik öncesi durumun tamamen aynısı olmaz ve gebeliğe ait izler kalıcı olmaktadır (Bahadır & Yıldız, 2014).

Kaynaklar

1. Abe, H. & Oikawa, T. (1993). Observations by scanning electron microscopy of oviductal epithelial cells from cows at follicular and luteal phases. *The Anatomical Record*, *235* (3), 399–410. https://doi.org/10.1002/ar.1092350309

2. Acar, S., Paketçi, A., Onay, H., Demir, K., Ateş, O., Böber, E., & Abacı, A. (2017). 46, XY cinsiyet gelişim bozukluğunun nadir bir nedeni: Persistan Müller kanalı sendromu. *İzmir Dr. Behçet Uz Çocuk Hastanesi Dergisi, 7* (3), 242–246. Doi: 10.5222/buchd.2017.242

3. Acar, D. B. (2016). Melez ırk bir köpekte yalancı erkek hermafrodizm olgusu. *Kocatepe Veterinary Journal, 9* (3), 247–251. Doi: 10.5578/kvj.24203

4. Accogli, G., Monaco, D., El Bahrawy, K. A., El-Sayed, A. A. E.-H., Ciannarella, F., Beneult, B., Lacalandra, G. M., & Desantis, S. (2014). Morphological and glycan features of the camel oviduct epithelium. *Annals of Anatomy, 196*(4), 197–205. doi: 10.1016/j.aanat.2014.02.007

5. Alaçam, E. (2015). *Evcil Hayvanlarda Doğum ve İnfertilite* (8. baskı). Ankara: Medisan Yayınevi.

6. Areekijseree, M., & Vejaratpimol, R. (2006). In vivo and in vitro study of porcine oviductal epithelial cells, cumulus oocyte complexes and granulosa cells: A scanning electron microscopy and inverted microscopy study. *Micron, 37* (8), 707–716. Doi: 10.1016/j.micron.2006.04.004

7. Azawi, O. (2008). Postpartum uterine infection in cattle. *Animal Reproduction Science*, *105* (3–4), 187–208. Doi: 10.1016/j.anireprosci.2008.01.010

8. Bahadır, A., & Yıldız, H. (2014). Veteriner Anatomi (4. baskı). Bursa: Ezgi Kitabevi.

9. Balkan, M. (2017). Normal cinsiyet gelişimi. Puberte (ss. 61). Ankara: Orient Yayınları.

10. Bowen-Shauver, J. M., & Telleria, C. M. (2003). Luteal regression: A redefinition of the terms. *Reproductive Biology and Endocrinology*, *1*, 1–3. Doi: 10.1186/1477-7827-1-28

11. Christenson, L. K., & Devoto, L. (2003). Cholesterol transport and steroidogenesis by the corpus luteum. *Reproductive Biology and Endocrinology*, *1* (1), 1–9. Doi: 10.1186/1477-7827-1-90

12. Cui, Y., & Yu, S. (1999). An anatomical study of the internal genital organs of the yak at different ages. *The Veterinary Journal, 157* (2), 192–196. Doi: 10.1053/tvjl.1998.0283

13. Delano, M. L., Mischler, S. A., & Underwood, W. J. (2002). Biology and diseases of ruminants: Sheep, goats, and cattle. In J. G. Fox, L. C. Anderson, F. M. Loew, & F. W. Quimby (Eds.), *Laboratory Animal Medicine (pp. 519–?).* San Diego: Academic Press.

14. Deveci, H. (2007). Üreme organlarının anatomisi. In E. Alaçam (Ed.), *Evcil Hayvanlarda Doğum ve İnfertilite* (6. bs., ss. 1–14). Ankara: Medisan Yayınevi.

15. Doğan, Ö. A. (2014). Dişi genital kanalda sperm hücrelerinin ilerlemesini sağlayan faktörler. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi, 9* (3), 206–212. Doi: 10.17094/avbd.16281

16. Dursun, N. (2008). *Veteriner Anatomi II.* Medisan Yayınevi.

17. Dündar Çiftlik, G. (2019). Kümülüs hücre kültüründe apoptozis ve luteinizasyon sürecinin IVF hastalarında embriyo gelişimi ve gebelik açısından değerlendirilmesi. (*Yüksek lisans tezi*). Biruni

Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, İstanbul.

18. England, G., & Burgess, C. (2003). Survival of dog spermatozoa within the reproductive tract of the bitch. *Reproduction in Domestic Animals, 38*, 325–326.

19. England, G., & Pacey, A. (1998). Transportation and interaction of dog spermatozoa within the reproductive tract of the bitch: Comparative aspects. *Centre for Reproductive Biology, 3*, 57–84.

20. Fields, M., & Fields, P. (1996). Morphological characteristics of the bovine corpus luteum during the estrous cycle and pregnancy. *Theriogenology, 45* (7), 1295–1325. Doi: 10.1016/0093-691X(96)00099-4

21. Ford, S. P. (1982). Control of uterine and ovarian blood flow throughout the estrous cycle and pregnancy of ewes, sows and cows. *Journal of Animal Science, 55* (Suppl. II), 32–42. Doi: 10.2527/1982.55Supplement_II32x

22. Gasner, A., & P. A., A. (2020). Physiology, uterus. In StatPearls [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.

23. Getty, R. (Ed.). (1975). *Sisson and Grossman's The Anatomy of the Domestic Animals* (5th ed., Vols. 1–2). Philadelphia: W. B. Saunders Company.

24. Habel, R. E. (1966). The topographic anatomy of the muscles, nerves, and arteries of the bovine female perineum. *American Journal of Anatomy, 119* (1), 79–95.

25. Hafez, B., & Hafez, E. S. E. (2000). Anatomy of female reproduction. In *Reproduction in Farm Animals* (pp. 13–29). Doi: 10.1002/9781119265306.ch2

26. Howell, W. H. (1889). *Dissection of the Dog: As a Basis for the Study of Physiology*. New York: H. Holt and Company.

27. Hunter, R. H. F. (2003). Reflections upon sperm–endosalpingeal and sperm–zona pellucida interactions in vivo and in vitro. *Reproduction in Domestic Animals, 38* (2), 147–154. Doi: 10.1046/j.1439-0531.2003.00402.x

28. Jannini, E. A., D'Amati, G., Lenzi, A., Goldstein, I., Meston, C., Davis, S., & Traish, A. (2006). Histology and immunohistochemical studies of female genital tissue. In *Women's Sexual Function and Dysfunction: Study, Diagnosis and Treatment* (pp. 125–133). Taylor & Francis. Doi: 10.1201/b14618-19

29. Jost, A. (1973). A new look at the mechanisms controlling sex differentiation in mammals. *Johns Hopkins Medical Journal, 130*, 38–53.

30. König, H. E., Liebich, H.-G., & Aurich, C. (2015). *Veteriner Anatomi: Evcil Memeli Hayvanlar, Metin ve Renkli Atlas (6. baskı)*. Malatya: Medipres Yayıncılık.

31. Leiser, R. (1999). Weibliche Geschlechtsorgane, Organa genitalia feminina. *In Lehrbuch der Anatomie der Haustiere* (Vol. 2, p. 8).

32. Marcotty, A. (1914). Ueber das Corpus luteum menstruationis und das Corpus luteum graviditatis: Ein Beitrag zur Lehre von der Ovulation und Menstruation. *Archiv für Gynäkologie, 103* (1), 63–106. Doi: 10.1007/BF01959992

33. McGeady, T., Quinn, P., FitzPatrick, E., & Ryan, M. (2006). Forms of implantation and placentation. *In Veterinary Embryology* (pp. 87–89). Blackwell Publishing. Doi: 10.1002/9780470753316.ch10

34. Meyers-Wallen, V. N., & Patterson, D. F. (1989). Disorders of sexual development in dogs and cats. In R. W. Kirk (Ed.), *Current Veterinary Therapy X: Small Animal Practice* (10th ed., pp. 1261–1269). Philadelphia: W. B. Saunders Company.

35. Miller, A., Hong, M. K. H., & Hutson, J. M. (2004). The broad ligament: A review of its anatomy and development in different species and hormonal environments. *Clinical Anatomy, 17* (3), 244–251. Doi: 10.1002/ca.10236

36. Milvae, R., Hinckley, S., & Carlson, J. (1996). Luteotropic and luteolytic mechanisms in the bovine corpus luteum. *Theriogenology, 45* (7), 1327–1349. Doi: 10.1016/0093-691X(96)00098-2

37. Mushap, K., Hasan, O., & Kulaksız, R. (2014). İneklerde luteolizis mekanizması ve vazoaktif ajanları. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, *9* (2).

38. Nak, D., & Kaşıkcı, G. (2013). İnfertilite. İçinde M. Kaymaz, M. Fındık, A. Rişvanlı ve A. Köker (Ed.), *Köpek ve Kedilerde Doğum ve Jinekoloji* (1. baskı, ss. 223–273). Malatya: Medipres Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti.

39. Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E., & Sack, W. O. (1979). *The Viscera of the Domestic Mammals* (2nd rev. ed.). Berlin: Verlag Paul Parey; New York: Springer-Verlag.

40. Niswender, G. D., Juengel, J. L., Silva, P. J., Rollyson, M. K., & McIntush, E. W. (2000). Mechanisms controlling the function and life span of the corpus luteum. *Physiological Reviews, 80* (1), 1–29. Doi: 10.1152/physrev.2000.80.1.1

41. Odor, D. L., & Blandau, R. J. (1973). Egg transport over the fimbrial surface of the rabbit oviduct under experimental

conditions. *Fertility and Sterility, 24* (4), 292–300. Doi: 10.1016/S0015-0282(16)39870-4

42. Özbek, M. (2000). *Dünden Bugüne İnsan* (1. baskı). Ankara: İmge Kitabevi Yayınları.

43. Özer, A. (Ed.). (2010a). *Veteriner Embriyoloji* (4. baskı). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

44. Özer, A. (Ed.). (2010b). *Veteriner Özel Histoloji* (2. baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

45. Pfeifer, S., Butts, S., Dumesic, D., Gracia, C., Vernon, M., Fossum, G., La Barbera, A., Mersereau, J., Odem, R., & Penzias, A. (2016). Uterine septum: A guideline. *Fertility and Sterility, 106* (3), 530–540. Doi: 10.1016/j.fertnstert.2016.05.014

46. Prozorowska, E., Jackowiak, H., & Skieresz-Szewczyk, K. (2018). Morphology and topography of internal reproductive organs in the female cat during prenatal and postnatal development: Scanning electron microscope and three-dimensional reconstruction study. *Journal of Morphology, 279* (12), 1764–1775. Doi: 10.1002/jmor.20896

47. Renner-Martin, T., Forstenpointner, G., Weissengruber, G., & Eberhardt, L. (2009). Gross anatomy of the female genital organs of the domestic donkey (*Equus asinus* Linné, 1758). *Anatomia, Histologia, Embryologia, 38* (2), 133–138. Doi: 10.1111/j.1439-0264.2008.00904.x

48. Reynolds, L. (1986). Utero-ovarian interactions during early pregnancy: Role of conceptus-induced vasodilation. *Journal of Animal Science, 62* (Suppl. 2), 47–61. Doi: 10.2527/jas1986.62Supplement247x

49. Reynolds, L. P., Borowicz, P. P., Caton, J. S., Crouse, M. S., Dahlen, C. R., & Ward, A. K. (2019). Developmental programming

of fetal growth and development. *Veterinary Clinics of North America: *Food Animal Practice, 35* (2), 229–247. Doi: 10.1016/j.cvfa.2019.02.004

50. Rijsselaere, T., Van Soom, A., Van Cruchten, S., Coryn, M., Gortz, K., Maes, D., & De Kruif, A. (2004). Sperm distribution in the genital tract of the bitch following artificial insemination in relation to the time of ovulation. *Reproduction, 128* (6), 801–811. Doi: 10.1530/rep.1.00317

51. Robboy, S. J., Kurita, T., Baskin, L., & Cunha, G. R. (2017). New insights into human female reproductive tract development. *Differentiation, 97*, 9–22. Doi: 10.1016/j.diff.2017.08.001

52. Rutllant, J., López-Gatius, F., Camón, J., López-Plana, C., & López-Béjar, M. (1997). A scanning electron microscope study of the structural component of the bovine vaginal fluid at oestrus. *Journal of Veterinary Medicine Series A, 44*, (1–10), 237–241. Doi: 10.1111/j.1439-0442.1997.tb01107.x

53. Sancak, B., & Cangir, M. (2008). *Fonksiyonel Anatomi: Baş, Boyun ve İç Organlar* (4. baskı). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık.

54. Schams, D., & Berisha, B. (2004). Regulation of corpus luteum function in cattle: An overview. *Reproduction in Domestic Animals, 39* (4), 241–251. Doi: 10.1111/j.1439-0531.2004.00509.x

55. Semacan, A., Kaymaz, M., Fındık, M., Rişvanlı, A., & Köker, A. (Ed.). (2015). *Çiftlik Hayvanlarında Doğum ve Jinekoloji* (2. baskı). Malatya: Medipres Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti.

56. Singh, B. (2018). *Dyce, Sack, and Wensing's Textbook of Veterinary Anatomy* (5th ed.). St. Louis, MO: Elsevier Saunders.

57. Spencer, T. E., Dunlap, K. A., & Filant, J. (2012). Comparative developmental biology of the uterus: Insights into mechanisms and

developmental disruption. *Molecular and Cellular Endocrinology, 354* (1–2), 34–53. Doi: 10.1016/j.mce.2011.09.032

58. Spencer, T. E., Johnson, G. A., Burghardt, R. C., & Bazer, F. W. (2004). Progesterone and placental hormone actions on the uterus: Insights from domestic animals. *Biology of Reproduction, 71* (1), 2–10. Doi: 10.1095/biolreprod.103.024133

59. Spencer, T. E., Kelleher, A. M., & Bartol, F. F. (2019). Development and function of uterine glands in domestic animals. *Annual Review of Animal Biosciences, 7*, 125–147. Doi: 10.1146/annurev-animal-020518-115256

60. Tanyolaç, A. (1984). *Özel Histoloji* (1. baskı). Ankara: Ankara Üniversitesi Basımevi.

61. Ungerfeld, R., González-Pensado, S., Bielli, A., Villagrán, M., Olazabal, D., & Pérez, W. (2008). Reproductive biology of the pampas deer (*Ozotoceros bezoarticus*): A review. *Acta Veterinaria Scandinavica, 50* (1), 1–16. Doi: 10.1186/1751-0147-50-16

62. Uzman, M. (2006). *Kısraklarda uterus ve ovaryumdaki değişimlerin ultrasonografik yöntemle değerlendirilmesiyle uygun suni tohumlama zamanının saptanması* (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doğum ve Jinekoloji Anabilim Dalı, Ankara**.**

63. Yániz, J. L., Carretero, T., Recreo, P., Arceiz, E., & Santolaria, P. (2014). Three-dimensional architecture of the ovine oviductal mucosa. *Anatomia, Histologia, Embryologia, 43*(5), 331–340. Doi: 10.1111/ahe.12078

64. Yıldız, R., Nişancı, O. S., Özdündar, E., Saçar, H. B., Kolukısa, S. A., Demirkıran, B. C., Kızkın, Z. Y., & Koparan, N. (2022). *Bakım ve Rehabilitasyon*. Konya: Eğitim Yayınevi.

65. Türe, Z., & Sevinç Akdeniz, A. (2022). Üriner sistem embriyolojik gelişimi. İçinde M. Akkuş (Ed.), *Sağlık & Bilim 2022: Genel Embriyoloji-II* (ss. 77–87). İstanbul: Efe Akademi Yayınları.


BİDGE