

ANATOMİK TEMELLER VE YAPAY ZEKA

Editör
AYLA TEKİN



BİDGE Yayınları

ANATOMİK TEMELLER VE YAPAY ZEKA

Editör: AYL A TEKİN

ISBN: 978-625-372-701-7

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 2025-06-25

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



ÖNSÖZ

Sevgili okurlar,

Bu kitabı sizlere sunarken, insan vücudunun karmaşık ve hayati bir parçası olan otonom sinir sisteminin temel anatomik yapısını ve işleyişini anlamanıza katkı sağlamayı amaçladık. Ayrıca burun mukozasında sık karşılaşılan bir sorun olan epistaksis gibi önemli klinik konular da yer almaktadır.

Beraberinde teknoloji hızla gelişiyor ve yapay zekâ, eğitim ve sağlık alanlarında büyük fırsatlar sunuyor. Bu nedenle, yapay zekânın anatomi eğitimindeki ve klinik uygulamalardaki kullanımına da kitabımızda yer verdik. Böylece hem temel bilimleri öğrenme sürecinizde hem de gelecekteki klinik çalışmalarınızda bu teknolojilerin sunduğu avantajlardan haberdar olmanızı istedik.

Bu kitabın, öğrencilerden klinik çalışanlara kadar geniş bir yelpazede herkes için anlaşılır ve faydalı bir kaynak olmasını diliyoruz. Emeli geçen tüm yazarlara, destek veren kurumlara ve bu eserin ortaya çıkmasına katkı sağlayan herkese teşekkür ederim.

Siz değerli okurlarımıza faydalı olması dileğiyle.

Saygılarımla,

Editör

Dr. Öğr. Üyesi AYLA TEKİN

Kocaeli Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

SEMPATİK SİNİR SİSTEMİ ANATOMİSİ	1
<i>AHMET TURAN URHAN</i>	
PARASEMPATİK SİNİR SİSTEMİ ANATOMİSİ	20
<i>AHMET TURAN URHAN</i>	
BURUN MUKOZASINDA KURULUK VE EPİSTAKSİS: BİR ANATOMİK PERSPEKTİF	36
<i>VEYSEL AKYOL, NECAT KOYUN</i>	
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ANATOMY: BASIC AND CLINICAL APPROACH	53
<i>SEDA ÇETİN</i>	
PLEXUS BRACHIALIS	63
<i>HAKAN OCAK</i>	
Kulak (işitme ve Denge Organı)	70
<i>AYLA ARSLAN</i>	
Plexus Cervicalis	79
<i>AYLA ARSLAN</i>	
ANATOMİK TEMELLER VE YAPAY ZEKA	87
<i>FIRAT CAN TEMUR</i>	

BÖLÜM 1

SEMPATİK SİNİR SİSTEMİ ANATOMİSİ

AHMET TURAN URHAN¹

Giriş

Otonom sinir sistemi (OSS), temel yaşam fonksiyonlarının düzenlenmesinde rol oynayan, istemsiz çalışan organları innerve eden sinir sistemi bileşenidir. Bu yönüyle biyolojik yaşamsal faaliyetlerle ilişkili olduğu için *vejetatif sinir sistemi*, iç organlarla bağlantılı olması nedeniyle de *visseral sinir sistemi* olarak da adlandırılmaktadır (1, 2). OSS, kalp, akciğerler, düz kas dokusu içeren organlar ve ekzokrin bezler gibi istemsiz çalışan yapılara sinirsel uyarı iletir (3).

Yapısal ve işlevsel olarak sempatik sinir sistemi ve parasempatik sinir sistemi olmak üzere iki ana bölüme ayrılır. Her iki sistem de hem afferent (duyusal) hem de efferent (motor) sinir liflerini içerir. Morfolojik yapıları ve fizyolojik etkileri bakımından birbirlerine zıt (antagonist) özellikler gösterirler (1, 3).

Sempatik sinir sistemi, otonom sinir sisteminin en yaygın ve kapsamlı bölümünü oluşturur. Başta karın ve pelvik boşluktaki

¹ Öğr. Gör. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Artova Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Tokat/Türkiye, ORCID: 0000-0002-1178-2998
ahmetturan.urhan@gop.edu.tr

organlar olmak üzere, ter bezleri, kıl folikülleri, vasküler düz kas dokusu, akciğerler ve kalp gibi hayati organların çalışmasını düzenleyici görev üstlenir (4). Bu sistemin periferik sinirleri, torakal segmentlerin tamamı ile genellikle ilk iki (bazen üç) lumbal medulla spinalis segmentlerinden köken alır. Sinir hücrelerinin gövdeleri, omuriliğin gri cevherinde yer alan cornu laterale bölgesindeki *columna intermediolateralis*'te bulunur (3).

Sempatik sinir lifleri, spinal sinirin ön kökünden çıkarak *ramus albus* adı verilen miyelinli preganglionik lifler aracılığıyla ya sempatik gangliyonlara ulaşır ya da daha uzak prevertebral gangliyonlarda sinaps yapar. Birinci nöron, miyelinli preganglionik liflerden oluşur ve *ramus albus* olarak adlandırılır. İkinci nöron miyelinsiz postganglionik liflerden oluşur ve *ramus griseus* olarak adlandırılırlar ve karakteristik olarak gri renkli görünüm sergilerler (2, 3).

Rami communicantes, spinal sinirler ile *truncus sympathicus* (sempatik gövde) arasındaki bağlantıyı sağlayan sinir liflerinden oluşur. Bu lifler yapısal özelliklerine göre iki gruba ayrılır: miyelinli olan *ramus albus* ve miyelinsiz olan *ramus griseus* denir.

Ramus albus, medulla spinalis'te yer alan preganglionik nöronların miyelinli aksonlarından oluşur. Bu lifler spinal sinirin ön kökünden çıkarak *foramen intervertebrale* yoluyla omurilik kanalını terk eder ve omur gövdelerinin ön yüzünde konumlanan *ganglion trunci sympathici*ye ulaşır. Burada bazı lifler sinaps yaparken, bazıları sinaps gerçekleştirilmeksizin gangliyonu geçerek daha uzak segmentlerdeki diğer gangliyonlara yönelir.

Ramus griseus ise *truncus sympathicus* içerisindeki postganglionik nöronlara ait miyelinsiz aksonlardan oluşur. Bu lifler, *ramus albus*'un izlediği yolun tersine hareket ederek tekrar spinal

sinire katılır ve hedef organlara ulaşmak üzere periferik sinir sistemi içerisinde dağılır (2, 3).

Truncus Sympathicus

Truncus sympathicus, *columna vertebralis*'in her iki yanında yer alan, baş iskeletinin tabanından *os coccygis*'in sonuna kadar uzanan çift yapılı bir sinir ağıdır. Yaklaşık 70 cm uzunluğundaki bu yapı, her biri bir ganglion içeren ortalama 22–23 adet *ganglion trunci sympathici*'den oluşur (5,6). Sol ve sağ *truncus sympathicus*, sakral düzeyde *ganglion impar* adı verilen tek bir yapıda birleşerek sonlanır (8). Ganglionlar, hem boylamasına (*longitudinal*) hem de enine (*transvers*) yönlerde uzanan bağlantı lifleri ile birbirine bağlanır. Bu lifler *fasciculi internodiales* ya da *rami interganglionares* olarak adlandırılır. Özellikle sakral bölgede bu transversal bağlantılar daha belirginken, üst segmentlerde bu bağlar daha az belirgindir (5, 9).

Truncus sympathicus; miyelinli *preganglionik* lifler, miyelinsiz *postganglionik* lifler, afferent duyuşal lifler, ganglionlar arası bağlantı lifleri ve bu lifler arasında yer alan küçük ganglionlardan oluşan kompleks bir yapıdır. Bu sistemde yer alan bazı lifler, birden fazla spinal segment arasında yukarı veya aşağı yönlü seyreder. Sempatik ganglionlara ek olarak, *ganglia intermedia* olarak adlandırılan ara ganglionlar da mevcuttur. Bu küçük ganglionlar, *truncus sympathicus*'un dallarına yakın bölgelerde, spinal sinirlerin üzerinde konumlanır (2, 3).

Preganglionik sempatik lifler, omuriliğin *cornu laterale* bölümünde yer alan *columna intermediolateralis*'teki radiküler hücrelerin miyelinli uzantılarıdır ve spinal sinirin ön kökü aracılığıyla omuriliği terk ederler. Bu miyelinli lifler *ramus albus* olarak adlandırılır ve *truncus sympathicus*'a bağlanır. Bu liflerin bir bölümü doğrudan sinaps yapmadan daha üst segmentlerdeki servikal ganglionlara ya da daha alt segmentlerdeki lumbal ve sakral

ganglionlara ilerleyerek sinaps oluşturur (5). Alt torakal ve üst lumbal segmentlerden köken alan bazı preganglionik lifler ise truncus sympathicus'u sinaps yapmadan geçerek, karın boşluğunda yer alan prevertebral ganglionlara ulaşır ve burada postganglionik nöronlarla sinaps yapar. Bu uzun mesafeli miyelinli lifler *nervi splanchnici* olarak adlandırılır (5, 9).

Ganglion Trunci Sympathici

Truncus sympathicus boyunca her iki tarafta toplamda 22–23 çift gangliondan oluşur. Bu yapılar genellikle iğ şeklinde ya da düzensiz konturlara sahip olup, çapları yaklaşık 1–10 mm arasında değişen kompakt nöronal yapılardır (10). Ganglionlar, çok sayıda uzantıya sahip *multipolar* nöronlardan oluşur. Bu nöronların aksonları, *postganglionik lifler* olarak adlandırılır ve periferik hedef dokulara sempatik uyarı iletimini sağlar (11).

Servikal bölgede sekiz çift spinal sinire karşılık sadece üç sempatik ganglion bulunur. Bu ganglionlar sırasıyla *ganglion cervicale superius*, *ganglion cervicale medium* ve *ganglion cervicale inferius* olarak adlandırılır. Diğer spinal bölgelerde ise paravertebral ganglionların sayısı, ilgili bölgedeki spinal sinir çiftlerinden genellikle bir eksiktir. Bu doğrultuda torakal bölgede 11 çift, lumbal bölgede 4 çift ve sakral bölgede yine 4 çift ganglion yer almaktadır. Bu ganglionlar truncus sympathicus boyunca düzenli bir şekilde yerleşmiş olup, her biri ilgili spinal sinirlerle *rami communicantes* aracılığıyla bağlantılıdır. (2, 3, 5).

***Ganglion trunci sympathici'*ye gelen preganglionik miyelinli sinir lifleri (*ramus albus*), fonksiyonel olarak üç farklı şekilde sonlanabilir (5, 7).**

Birinci grup preganglionik lifler, liflerin kendi segmentlerine karşılık gelen paravertebral ganglionlarda bulunan *ikinci nöron* (postganglionik nöron) ile sinaps kurmasıdır. Sinaps oluştuktan sonra, ikinci nöronun miyelinsiz aksonu olan *ramus*

griseus, segment düzeyine bağılı olarak ilgili *interkostal* ya da *lumbal* spinal sinirlere katılır. Bu postganglionik lifler daha sonra periferik hedef yapılar olan kan damarlarının düz kas tabakaları, ter bezleri ve derideki kıl foliküllerine bağılı *arrector pili* kaslarına ulaşır.

İkinci grup preganglionik lifler, segmental düzeyde karşılık gelen ganglionda sinaps yapmaksızın *truncus sympathicus* boyunca yukarı doğru ilerleyerek servikal bölgedeki ganglionlarda sonlanır. Bu ganglionlar sırasıyla *ganglion cervicale superius* (A), *ganglion cervicale medium* (B) ve *ganglion cervicothoracicum* ya da *stellatum* (C) olarak adlandırılır. Bu servikal ganglionlarda sinaps yaptıktan sonra oluşan postganglionik miyelinsiz lifler, *ramus griseus* adı altında arterlerin çevresinde ilerleyerek hem kranial sinir dallarına hem de servikal spinal sinirlere katılır ve baş-boyun bölgesindeki hedef yapılara ulaşır. Aynı şekilde, segmental ganglionlarda sinaps yapmayan bazı preganglionik lifler *truncus sympathicus* içinde aşağı yönde ilerleyerek, ikinci lumbal ganglionun altında yer alan alt lumbal, sakral ya da koksigeal seviyedeki paravertebral ganglionlarda sonlanır. Bu alt segmentlerde sinaps kuran preganglionik liflerin postganglionik uzantıları da *ramus griseus* olarak adlandırılır ve ilgili spinal sinirlerle birleşerek pelvis ve alt ekstremité bölgelerindeki hedef organlara sempatik innervasyon sağlar. Bu yukarı ve aşağı yönlü lif organizasyonu, sempatik sistemin segmentler arası koordineli uyarı iletimini mümkün kılar ve baş-boyun, toraks, abdomen ve pelvis bölgelerinde etkili bir otonomik kontrol sağlar (5, 7).

Üçüncü grup preganglionik lifler, segmentlerine karşılık gelen paravertebral ganglionlarda sinaps yapmaksızın *truncus sympathicus*'u doğrudan terk eden miyelinli yapılardır. Bu miyelinli lifler beyaz renkte olup *ramus albus* olarak adlandırılır. Söz konusu lifler, sinapslarını *truncus sympathicus*'un dışında, abdomen içerisindeki *prevertebral ganglionlarda* gerçekleştirir. Özellikle 5. ila 9. torakal ganglionlardan çıkan preganglionik lifler birleşerek

nervus splanchnicus major'u oluşturur. Bu sinir, *plexus coeliacus* içerisinde yer alan *ganglion coeliacum* ve ilişkili prevertebral ganglionlarda sinaps yapar. Bu ganglionlardan çıkan postganglionik lifler, arterlerin çevresinden ilerleyerek başta mide, karaciğer, dalak ve böbrek üstü bezleri olmak üzere st abdominal organlara ulaşır. Benzer biçimde, 10. ve 11. torakal ganglionlardan köken alan preganglionik liflerin birleşmesiyle *nervus splanchnicus minor* oluşur. Bu sinir, *ganglion aorticorenale* düzeyinde postganglionik nöronlarla sinaps kurar ve özellikle böbrek ve st üreter düzeyinde etkili olur. Bazen 12. torakal sempatik gangliondan ayrılan bağımsız bir preganglionik lif grubu *nervus splanchnicus imus* olarak tanımlanır. Bu sinir, genellikle *ganglion renale* düzeyinde sonlanır ve renal vasküler tonus ile ilişkili visseral hedef yapıları innerve eder. Bu sinirler, sempatik sistemin karın içi organlardaki otonomik kontrolünde temel rol oynar (2, 3, 7).

Ggl. trunci sympaticilerde nöron değiştiren (postganglionik) veya değiştirmeyen (preganglionik) lifler farklı yollarla organ veya diğer oluşumlara aşağıdaki şekilde gider (5).

- Spinal sinirlere katılan lifler
- Kranial sinirlere katılan lifler
- Arterler etrafında giden lifler
- Organlara giden müstakil lifler
- Büyük otonom pleksuslar

Sempatik Sinir Sistemi Bölümleri

- 1- Pars cranialis trunci sympathici
- 2- Pars cervicalis trunci sympathici
- 3- Pars thoracalis trunci sympathici
- 4- Pars lumbalis (abdominalis) trunci sympathici

5- Pars sacralis (pelvici) trunci sympathici

1- Pars cranialis trunci sympathici

Truncus sympathicus'un kranial uzantısı olan *pars cephalica*, anatomik olarak servikal sempatik zincirin devamı niteliğindedir. Ancak bu bölümde, tipik sempatik zincir elemanları olan *ganglion trunci sympathici*, *rami interganglionares*, *ramus communicans albus* ve *ramus communicans griseus* gibi yapılar bulunmaz (12). Bunun yerine, sempatik uyarının kranial yapılara iletimini sağlayan başlıca yapı *nervus caroticus internus*'tur (13).

Nervus caroticus internus, *ganglion cervicale superius*'tan çıkarak *arteria carotis interna* boyunca seyrederek ve baş bölgesindeki yapıları innerve eder. Bu sinir, seyri sırasında iki önemli pleksus yapısı oluşturur: *plexus caroticus internus* ve *plexus cavernosus*. Bu pleksuslar aracılığıyla sempatik lifler, beyin zarı damarları, göz kapağı kasları, *musculus dilatator pupillae*, *bulbus oculi*, yüz derisi, kranial damar yapıları ve büyük tükürük bezleri gibi birçok hedef yapıya ulaşır (2, 3, 5).

Bu kranial sempatik innervasyon, baş-boyun bölgesindeki vasküler tonusun düzenlenmesinde, pupilla dilatasyonu gibi oküler tepkilerin kontrolünde ve tükürük salgısının modülasyonunda önemli rol oynar. Özellikle *plexus caroticus internus* üzerinden gelen lifler, oftalmik pleksuslara da katılarak görsel ve otonomik refleks yollarında görev alır (5, 7).

Plexus caroticus internus, sempatik sistemin baş-boyun bölgesindeki önemli pleksuslarından biridir. Bu yapı, *nervus caroticus internus*'un daha kalın olan lateral dalı tarafından, *arteria carotis interna*'nın dış yüzeyi boyunca ve *canalis caroticus* içerisinde oluşturulur. Söz konusu pleksus, özellikle kranial yapıların sempatik innervasyonunda önemli bir geçiş noktasıdır (5).

Plexus caroticus internus'tan çıkan sinir dalları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

N. trigeminus'a birleştirici dal: Bu dal, *nervus trigeminus* ile bağlantı kurarak sempatik liflerin özellikle ganglion trigeminale ve duyu yolları ile entegrasyonunu sağlar.

N. abducens'e birleştirici dal: Bu dal, *nervus abducens* ile bağlantı kurarak genellikle göz küresi hareketleriyle ilişkili sempatik etkileşimlerde rol oynar.

Nervus petrosus profundus: Baş-boyun bölgesindeki sempatik sistemin önemli bir bileşenidir ve *plexus caroticus internus*'tan kaynaklanır. Bu sinir, kafa içindeki sempatik liflerin kranium dışına çıkışını sağlayan ana yollardan biridir. Seyri sırasında *nervus facialis*'in bir dalı olan *nervus petrosus major* ile birleşerek *nervus canalis pterygoidei*'yi (Vidius siniri) oluşturur. *Nervus canalis pterygoidei*, kafa tabanında bulunan *canalis pterygoideus* içerisinde ilerleyerek *ganglion pterygopalatinum*'a ulaşır. Ancak, *n. petrosus profundus* yalnızca sempatik lifler içerirken, *n. petrosus major* parasempatik lifler taşır. Bu nedenle, *n. canalis pterygoidei* içerisinde hem sempatik hem de parasempatik lifler birlikte seyreder. Sinir lifleri *ganglion pterygopalatinum* ile bağlantı kurarak başta gözyaşı bezi, burun mukozası ve damak bezleri gibi yapılar üzerinde otonom kontrol sağlar.

Nervi caroticotympanici (superius ve inferius): Bu dallar, sempatik liflerin orta kulak boşluğu ile ilişkili olan *plexus tympanicus*'a katılmasını sağlar. Özellikle kulaktaki damar yapıları ve mukozal bezler üzerinde düzenleyici görev üstlenirler (5, 7).

Plexus cavernosus, nervus caroticus internus'un medial dalı tarafından oluşturulan ve *sinus cavernosus* içerisinde yer alan önemli bir sempatik pleksustur. Bu yapı, kafatası içindeki vasküler ve kraniyal yapılara sempatik innervasyon sağlayan merkezi bir sinir ağıdır. *Plexus caroticus internus*'un medial dalının *sinus cavernosus*

bölgesine uzanmasıyla şekillenen bu plexus, özellikle kraniyal sinirlerle olan bağlantıları sayesinde fonksiyonel açıdan büyük önem taşır

Plexus cavernosus'tan ayrılan başlıca sempatik dallar şunlardır:

Nervus oculomotorius'a bir dal: Göz küresi kaslarının dolaylı sempatik modülasyonunu sağlar.

Nervus trochlearis'e bir dal: Üst oblik kas üzerinde etkili olmasa da bu sinirle anatomik bağlantı kurar.

Nervus ophthalmicus'a bir dal: Sempatik lifler, bu dal aracılığıyla üst göz kapağı, alın derisi ve burun sırtına ulaşır.

Musculus dilatator pupillae'ye ulaşan dal: Bu yol, *nervus ophthalmicus* → *nervus nasociliaris* → *nn. ciliares longi* üzerinden ilerleyerek pupilla dilatasyonunu sağlar.

Ganglion ciliare'ye bir dal: Ganglion ciliare'ye ulaşan bu sempatik lifler, buradan çıkan kısa silyar sinirler aracılığıyla göz içi yapılara ulaşır.

Hypophysis cerebri'ye giden dal: Hipofiz bezine giden bu ince sempatik dallar, vasküler düzenleme ve hormonal salınım üzerinde dolaylı etki gösterir (2, 3, 5).

2- Pars cervicalis trunci sympathici

Truncus sympathicus'un servikal bölümü, boyun düzeyinde yer alan ve baş-boyun yapılarının sempatik innervasyonunu sağlayan anatomik bir bileşendir. Bu bölümde, tüm servikal spinal sinirlere katılan *rami communicantes grisei* bulunur. Ancak, torakal bölgede görülen *rami communicantes albi*, servikal segmentte mevcut değildir (3, 14). Bunun nedeni, servikal spinal segmentlerde sempatik nöronların doğrudan çıkış yapmamasıdır; preganglionik sempatik lifler, torakal düzeyde başlayıp yukarıya doğru taşınır. *Pars*

cervicalis trunci sympathici, üç adet paravertebral ganglion içerir (5, 6, 7).

Ganglion cervicale superius (C1–C4 düzeyinde): Servikal sempatik zincirin en üstte yer alan ve en büyük ganglionudur. Yaklaşık 2–3 cm uzunluğundadır ve os hyoideum hizasında, arteria carotis interna'nın arkasında bulunur. Bu ganglion, baş bölgesine giden birçok sempatik lifin postganglionik nöronlarını içerir. Özellikle *nervus caroticus internus* burada başlar ve *plexus caroticus internus* aracılığıyla beyin damarları, göz, göz kapağı, pupilla, tükürük bezleri ve baş derisine sempatik innervasyon sağlar. Aynı zamanda glomus caroticum'a da dallar verir (5, 7).

Ganglion cervicale superius, baş-boyun bölgesine yayılan çok sayıda postganglionik sempatik lifin çıktığı önemli bir merkezdir. Bu gangliondan çıkan başlıca dallar şunlardır:

Nervus caroticus internus: Ganglionun en önemli ve kalın dallarından biridir. *Arteria carotis interna* boyunca yukarı yönelerek *plexus caroticus internus*'u oluşturur. Bu pleksus aracılığıyla beyin damarları, göz yapıları (özellikle *musculus dilatator pupillae*) ve baş derisinin bazı bölgelerine sempatik innervasyon sağlar.

Kranial sinirlerle bağlantı dalları; *Nervus glossopharyngeus*, *nervus vagus*, *nervus hypoglossus* ile sempatik bağlantılar kurarak, başta farinks, larenks ve dil çevresi olmak üzere çeşitli hedef organlara otonomik bilgi iletimini destekler.

Servikal spinal sinirlere giden rami communicantes grisei: Özellikle C2 ve C4 düzeyindeki servikal spinal sinirlere postganglionik lifler gönderir. Bu dallar aracılığıyla boyun derisi, kaslar ve damarlara sempatik innervasyon sağlanır.

Rami laryngopharyngeales: Bu lifler *n. glossopharyngeus* ve *n. vagus* ile birleşerek *plexus pharyngeus*'u oluşturur. Bu pleksus farinks kaslarının sempatik kontrolünde rol oynar.

Nervi carotici externi: *Arteria carotis externa* çevresinde ilerleyen bu dallar, yüz ve dış baş bölgesindeki damar yapılarına sempatik lifler gönderir. Bu sistem *plexus caroticus externus*'u oluşturur.

Nervus cardiacus cervicalis superior: Bu dal toraksa doğru ilerleyerek kalbin sempatik innervasyonuna katkıda bulunur. Özellikle *plexus cardiacus*'un üst bileşenlerine katılır ve kalp hızı ile kontraktilesini modüle eder (5, 7).

Ganglion cervicale medianum (C5–C6 düzeyinde): Servikal sempatik zincirin ortasında, genellikle beşinci ve altıncı servikal vertebra hizasında yer alan, daha küçük boyutlu bir paravertebral gangliondur. Anatomik varyasyonlara bağlı olarak bazen küçük ya da çift yapıli olabilir. Fonksiyonel olarak *ganglion cervicale superius* ile *ganglion cervicale inferius* arasında bir geçiş bölgesi işlevi görür. Bu gangliondan çıkan postganglionik sempatik lifler şu yapılara ulaşır:

Rami communicantes grisei aracılığıyla C5 ve C6 spinal sinirlerine katılarak boyun ve omuz bölgesindeki yapılar üzerinde sempatik kontrol sağlar.

Tiroid ve paratiroid bezleri: Gangliondan çıkan visseral dallar, endokrin sistemle ilişkili bu yapılara sempatik innervasyon sağlar ve vasküler tonus ile hormonal salınım üzerinde dolaylı etki gösterir.

Özofagus ve trakea: Solunum ve sindirim yollarının servikal bölümlerine ulaşan lifler, mukoza bezleri ve düz kaslar üzerinde otonom düzenleme gerçekleştirir.

Plexus cardiacus'a dallar: Özellikle alt servikal ve üst torakal düzeyde bulunan kardiyak pleksusa postganglionik lifler göndererek kalp ritmi ve kasılma gücünün sempatik modülasyonuna katkı sağlar.

Nervus cardiacus cervicalis medius: Bu ganglionun en önemli dallarından biri olan *nervus cardiacus cervicalis medius*, boyun düzeyinden çıkan en büyük sempatik kardiyak sinirdir. Toraks içine uzanarak *plexus cardiacus*'un orta ve alt bileşenlerine katılır. Bu yol, kalbin sempatik innervasyonunda büyük bir paya sahiptir ve kalp hızını, kontraktileti ve iletim hızını etkiler (5, 7, 9).

Ganglion cervicale inferius (C7–C8 düzeyinde): Servikal sempatik zincirin en alt bölümünde, genellikle yedinci ve sekizinci servikal spinal sinirlerin hizasında yer alan paravertebral bir gangliondur. Bu yapı, sıklıkla bir alt torakal ganglion olan T1 paravertebral ganglionu ile birleşerek, anatomik literatürde *ganglion cervicothoracicum* ya da daha yaygın adıyla *Stellat ganglion* (yıldız biçimli ganglion) olarak tanımlanır.

Fonksiyonel olarak hem servikal hem de üst torakal bölgelere sempatik innervasyon sağlayan bu gangliondan şu önemli yapılar ayrılır:

Rami communicantes grisei: Bu miyelinsiz postganglionik lifler, C7, C8 ve T1 spinal sinirlerine katılır. Bu sinirler aracılığıyla boyun, üst ekstremiteler ve üst torakal bölgedeki derin ve yüzeysel yapıların sempatik kontrolü sağlanır.

Nervus vertebralis'e dallar: Gangliondan çıkan bazı lifler, *arteria vertebralis* çevresinde ilerleyerek *plexus vertebralis*'i oluşturur. Bu yapı, başta beyin sapı ve serebelluma giden kan damarlarının sempatik düzenlenmesinde rol oynar.

Nervus cardiacus cervicalis inferius: Bu sinir, *plexus cardiacus*'un özellikle alt bileşenlerine katılır ve kalbin sempatik innervasyonuna önemli katkı sağlar. Bu lifler kalp hızı, kasılma gücü ve iletim hızının düzenlenmesinde görev alır.

Ganglion stellatum, özellikle anestezi ve otonomik disfonksiyonların tedavisinde klinik olarak önemlidir. *Stellat*

ganglion blokajı, sempatik hiperaktiviteye bağlı ağrılı sendromlarda (örneğin kompleks bölgesel ağrı sendromu) yaygın biçimde uygulanmaktadır (5, 7, 9).

3- Pars thoracalis trunci sympathici

Truncus sympathicus'un torakal parçası, omurganın torakal (T1–T12) seviyelerinde uzanan ve otonomik sistemin önemli bir bölümünü oluşturan sempatik sinir zinciridir. Yapısal olarak her bir torakal spinal sinir segmentine karşılık bir paravertebral ganglion bulunur. Ancak çoğu bireyde birinci torakal ganglion (T1), *ganglion cervicale inferius* ile birleşerek ganglion stellatum (ganglion cervicothoracicum) adını alır. Bu birleşme sonucunda genellikle 11 adet torakal paravertebral ganglion bulunur (2, 3, 5).

Torakal ganglionlar, aşağıdaki önemli yapılarla ilişkilidir:

Rami communicantes grisei: Her bir torakal gangliondan çıkan miyelinsiz postganglionik lifler, ilgili torakal spinal sinirlere katılır. Bu lifler, toraks duvarı, interkostal kaslar, ter bezleri ve damar yapıları gibi hedef dokulara sempatik uyarı iletir.

Rami cardiaci thoracici: Torakal ganglionlardan çıkan bu dallar, *plexus cardiacus*'a katılarak kalbin sempatik innervasyonuna katkıda bulunur. Özellikle alt torakal segmentlerden kaynaklanan lifler, kalp hızını ve kasılma gücünü artırıcı etkiye sahiptir.

Rami pulmonales: Bu dallar *plexus pulmonalis*'e katılarak bronş düz kasları, akciğer damarları ve mukozal bezler üzerinde sempatik etki sağlar. Solunum yollarının bronkodilatasyonu bu yollar aracılığıyla düzenlenir.

Rami oesophageales: Özofagusun torakal bölümüne ulaşan bu dallar, düz kaslar ve submukozal bezler üzerinde sempatik kontrol sağlar. Bu innervasyon, yutma sırasında özofageal peristaltizmin modülasyonunda görev alır (5, 7, 9).

Nervi splanchnici thoracici: Alt yedi torakal gangliyon dan çıkan preganglionik miyelinli lifler, sinaps yapmaksızın truncus sympathicus'u terk ederek *nervus splanchnicus major (T5–T9)*, *nervus splanchnicus minor (T10–T11)* ve bazen *nervus splanchnicus imus (T12)* olarak adlandırılan visseral sinirleri oluşturur (2, 3, 5, 9).

Nervus splanchnicus major: *Nervus splanchnicus major*, truncus sympathicus'un torakal parçasında yer alan T5–T9 paravertebral ganglionlarından çıkan miyelinli preganglionik sempatik lifler tarafından oluşturulur. Sinir liflerinin büyük bir kısmı, ganglion coeliacum (çölyak ganglion) olarak adlandırılan prevertebral ganglion kompleksinde postganglionik nöronlarla sinaps yapar. Bu sinaps sonrası oluşan postganglionik lifler; mide, karaciğer, dalak, pankreas ve böbrek üstü bezleri gibi üst abdominal organlara sempatik innervasyon sağlar. Buna ek olarak, *n. splanchnicus major*'un bazı lifleri sinaps yapmaksızın doğrudan adrenal medullaya (glandula suprarenalis medulla) ulaşır. Bu bölgede, sinaps modifiye edilmiş postganglionik nöronlar olarak kabul edilen kromaffin hücrelerle gerçekleştirilir. Kromaffin hücreler sinaptik uyarı sonucu katekolamin (adrenalin ve noradrenalin) salgılar. Bu nedenle adrenal medulla, merkezi sempatik sistemin doğrudan uyardığı tek endokrin yapı olma özelliği taşır.

N. splanchnicus minor: T9 -T10 (bazen T10-T11) paravertebral ganglionlardan sinaps yapmadan geçen merkezi sempatik lifler tarafından oluşturulur. Diyafragmanın kruslarından geçip, ganglion coeliacum'a gelir.

N. splanchnicus imus: T12 paravertebral gangliyon dan sinaps yapmadan geçen merkezi sempatik liflerce oluşturulur. Ganglion aorticorenale'ye gelir (5, 6, 7, 9),

4- Pars lumbalis (abdominalis) trunci sympathici

Truncus sympathicus'un lumbal bölümü, bel omurlarının her iki yanında yer alan paravertebral ganglionlardan oluşur. Genellikle her tarafta dört adet lumbal ganglion bulunur. Lumbal paravertebral ganglionlar, torakal bölgedekilere benzer şekilde rami communicantes grisei aracılığıyla tüm lumbal spinal sinirlerle bağlantı kurar. Bu miyelinsiz postganglionik lifler, alt ekstremiteler, pelvis ve abdominal duvarın sempatik innervasyonuna katkıda bulunur. Buna karşılık, rami communicantes albus yalnızca L1 ve L2 spinal segmentlerinden çıkar ve sempatik zincirdeki karşılık gelen paravertebral ganglionlara preganglionik miyelinli lifler taşır. Bu bölgeden ayrıca nervi splanchnici lumbales adı verilen visseral dallar çıkar. Bu sinirler sinaps yapmaksızın *truncus sympathicus*'u terk ederek prevertebral ganglionlara (özellikle *ganglion mesentericum inferior* gibi) yönelir ve burada postganglionik nöronlarla sinaps yapar. Bu sinirler, alt abdominal ve pelvik organların sempatik kontrolünde görev alır (2, 3, 5).

5- Pars sacralis (pelvici) trunci sympathici

Truncus sympathicus'un pelvik parçası, sempatik zincirin sakral bölgedeki devamı olup, tipik olarak her iki tarafta dört ya da beş adet paravertebral ganglion içerir. Bu ganglionlar sakrumun ön yüzünde, anterior sakral foramina yakınında yer alır ve pelvis içi organların otonomik düzenlenmesinde görev alan önemli yapılardır. Bu bölgede, ramus communicans albus bulunmaz, çünkü preganglionik sempatik lifler bu seviyeye doğrudan spinal sinirlerden gelmez. Bunun yerine, üst seviyelerdeki (L1–L2) segmentlerden çıkan lifler aşağıya doğru uzanır. Ancak her bir sakral ve koksigeal spinal sinirle bağlantı kuran rami communicantes grisei mevcuttur. Bu miyelinsiz postganglionik lifler, pelvik duvar ve perineal yapıların sempatik innervasyonunu sağlar. Ayrıca bu bölgeden çıkan önemli dallardan biri sakral splanchnik sinirlerdir

(nervi splanchnici sacrales). Bu sinirler, ganglionlardan sinaps yaparak veya yapmadan çıkarak pelvis içi otonom pleksuslara (özellikle *plexus hypogastricus inferior*) katılır. Sakral splanknik sinirler, sempatik sistemin pelvik organlar üzerindeki (mesane, uterus, rektum) vazomotor ve visseromotor etkilerini gerçekleştirmede görev alır (5, 7).

Bazı Organ ve Yapıların Segmental Sempatik İnnervasyonları

Organ / Yapı	Medulla Spinalis Segmenti
Baş ve boyun	T1–T5
Üst ekstremité	T2–T5
Alt ekstremité	T10–L2
Kalp	T1–T5
Akciğerler	T2–T4
Mide	T6–T10
İnce bağırsaklar	T9–T10
Kalın bağırsaklar (flexura coli sinistraya kadar)	T11–L1
Kalın bağırsaklar (flexura coli sinistradan sonra)	L1–L2
Karaciğer	T7–T9
Dalak	T6–T10
Pankreas	T6–T10
Böbrek	T10–L1
Testis / Ovaryum	T10–T11
Mesane	T12–L2
Uterus	T12–L1
Tuba uterina	T10–L1

(5).

Organların Sempatik ve Parasempatik Etkileri

	Sempatik Etki	Parasempatik Etki
Kalp	Kasılma gücünde artma	Kasılma gücünde azalma
Koroner damarlar	Vazodilatasyon	Vazokonstriksiyon
İskelet kası damarları	Vazodilatasyon	-
Deri damarları	Vazokonstriksiyon	Vazodilatasyon
Organ damarları	Vazokonstriksiyon	Vazodilatasyon
Burun mukozası damarları	Vazokonstriksiyon	Vazodilatasyon
Beyin damarları	Vazodilatasyon	-
Böbrek damarları	Vazokonstriksiyon	-
Pupilla	Midriazis (genişleme)	Miyozis (daralma)
M. ciliaris	Gevşeme	Kasılma
Gl. lacrimalis	Sekresyonda azalma	Sekresyonda artma
M. arrector pili	Kasılma	-
Ter bezleri	Bölgesel terleme	Genel terleme
Trachea, bronchi	Genişleme	Daralma
Glandulae bronchiales	Sekresyonda azalma	Sekresyonda artma
Gl. suprarenalis (medulla)	Epinephrin ve norepinephrin salgısı	-
Peristaltik hareketler	Azalma	Artma
Sfinkterler	Kontraksiyon	Gevşeme
Sindirim bezleri	Sekresyonda azalma (müköz salgı)	Sekresyonda artma (seröz salgı)
Karaciğer	Glikojenoliz, glukoneogenez	-
Safra kesesi ve yolları	Gevşeme	Kontraksiyon
Böbrekler	Vazokonstriksiyon	-
M. detrusor	Gevşeme	Kasılma
M. sphincter urethrae	Kasılma	Gevşeme
Üreme organları - Erkek	Ejakülasyon	Ereksiyon
Üreme organları - Kadın	Uterusta kasılma	Gevşeme

(7)

Kaynakça

- 1- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer
- 2- Snell, R. S. (2019). *Snell's clinical neuroanatomy* (8th ed.). Wolters Kluwer.
- 3- Standring, S. (Ed.). (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42nd ed.). Elsevier.
- 4- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2020). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.
- 5- Arıncı, K. (2006). *Anatomi Cilt 2: Dolaşım sistemi, periferik sinir sistemi, merkezi sinir sistemi, duyu organları*. Ankara: Güneş Kitabevi.
- 6- Arifoğlu, Y. (2021). *Her yönüyle anatomi* (3. baskı). İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi.
- 7- Taner, D., Atasever, A., & Durgun, B. (2008). *Fonksiyonel nöroanatomi*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık.
- 8- Kwon, J. Y., & Kim, H. J. (2015). Anatomical considerations of the ganglion impar in clinical interventions: A literature review. *Pain Physician*, 18(5), E769–E775.
- 9- Anatomi OHO. (2005). *Anatomi*. Ankara: Klinisyen Tıp Kitabevi.
- 10- Kawashima, T. (2005). The autonomic nervous system in the human body: An anatomical guide for the visualization of autonomic nerves during surgery. *Kaibogaku Zasshi (Anatomical Science International)*, 80(3),
- 11- Liang, H., Bubb, K. J., & Sandow, S. L. (2011). Structure and function of the sympathetic nervous system in the vasculature. *Current Hypertension Reports*, 13(3), 197–203
- 12- Tubbs, R. S., Salter, E. G., Oakes, W. J. (2011). Anatomy and function of the sympathetic nervous system. In R. Tubbs, M.

Shoja, & M. Loukas (Eds.), *Bergman's comprehensive encyclopedia of human anatomic variation* (pp. 497–502). Wiley-Blackwell.

13- Tatu, L., Vuillier, F., Bogorin, I., & Moulin, T. (2012). Arterial territories of the human brain: The internal carotid system. *Stroke*, 43(6), 1719–1725

14- Choi, D., Na, J. H., Park, D. S., & Lee, J. Y. (2019). Surgical anatomy of the cervical sympathetic trunk and ganglia: A review. *Journal of Craniofacial Surgery*, 30(2), 474–478.

BÖLÜM 2

PARASEMPATİK SİNİR SİSTEMİ ANATOMİSİ

AHMET TURAN URHAN¹

Giriş

Parasempatik sinir sistemi, çıkış merkezleri hem beyin sapında (*pars cranialis*) hem de medulla spinalis'in sakral segmentlerinde (*pars sacralis*) yer alan bir otonom sistem bileşenidir. Bu nedenle genellikle kraniosakral sistem olarak da adlandırılır (1, 2). Sakral segmentlerden çıkan parasempatik liflerin pelvik organlarla ilişkili olması nedeniyle bu bölgeye aynı zamanda *pars pelvica* da denilmektedir (3).

Beyin sapı kaynaklı parasempatik impulslar; bulbus, pons ve mezensefalon düzeyindeki merkezlerden çıkarak bazı kranial sinirler aracılığıyla taşınır. Sakral segmentlerde ise S2, S3 ve S4 seviyelerinden çıkan parasempatik impulslar, pelvisteki visseral organlara yönelir. Preganglionik parasempatik lifler, hedef organların yakınında veya doğrudan içinde bulunan parasempatik ganglionlarda bulunan postganglionik nöronlarla sinaps yapar (4-5).

¹ Öğr. Gör. Dr., Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Artova Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Tokat/Türkiye, ORCID: 0000-0002-1178-2998 ahmetturan.urhan@gop.edu.tr

Parasempatik sistemin etkisi genellikle lokalize ve özgül yanıtlarla sınırlıdır; sempatik sistemde olduğu gibi kitlesel bir uyarım mekanizması söz konusu değildir (6, 7). Bu nedenle etkileri daha hedefe yönelik ve sınırlı düzeydedir (8).

Parasempatik sinir sisteminin santral bölümü, sistemin çıkış merkezleri ve buradan çıkan preganglionik liflerden oluşur. Periferik bölümü ise parasempatik ganglionlar, postganglionik efferent lifler ve hedef organlardan merkezi yapılara yönelen afferent parasempatik yolları içerir. Böylece sistem, visseral organlarla merkezi sinir sistemi arasında çift yönlü bir otonom düzenleme sağlar (9, 10).

A)Parasempatik Sistemin Kranial Bölümü (Pars Cranialis Systema Parasymphici)

Parasempatik sinir sisteminin kranial bölümü, beyin sapı kaynaklı preganglionik lifleri içeren ve baş-boyun bölgesindeki organların otonomik innervasyonundan sorumlu olan sistem parçasıdır. Bu sistemin çıkış merkezleri mezensefalon (mesencephalon), pons ve bulbus medulla oblongata'da yer alır. Bu merkezlerden çıkan preganglionik parasempatik lifler, ilgili kranial sinirlerin (kafa çiftlerinin) içinde seyrederek. Lifler, hedef organlara yakın konumda veya organ duvarında bulunan parasempatik ganglionlara ulaşarak burada ikinci nöron (postganglionik nöron) ile sinaps yapar. Gangliondan çıkan postganglionik lifler ise doğrudan hedef organa giderek fizyolojik yanıtı oluşturur (9, 10).

Kranial parasempatik çıkış merkezleri şunlardır:

Mezensefalon düzeyinde: *Nervus oculomotorius*'a ait olan nucleus oculomotorius accessorius (Edinger-Westphal çekirdeği), göz içi kaslarının (özellikle *m. sphincter pupillae* ve *m. ciliaris*) parasempatik innervasyonunu sağlar.

Pons düzeyinde: *Nervus facialis*'in parasempatik lifleri nucleus salivatorius superior ve nucleus lacrimalis'ten kaynaklanır. Bu lifler *glandula lacrimalis*, *glandula submandibularis* ve *glandula sublingualis* gibi bezlere yönelir.

Bulbus (medulla oblongata) düzeyinde: *Nervus glossopharyngeus*'a ait nucleus salivatorius inferior, *glandula parotis*'in sekresyonunu düzenler. *Nervus vagus*'un parasempatik merkezi olan nucleus dorsalis nervi vagi, torakal ve abdominal iç organlara (kalp, akciğer, mide, bağırsaklar vb.) giden geniş bir parasempatik innervasyon sağlar (9-11).

Parasempatik Ganglionlar ve Postganglionik Liflerin Dağılımı

Ganglion Ciliare

Ganglion ciliare, parasempatik sinir sisteminin baş-boyun bölgesindeki önemli bir kraniyal ganglionudur. Bu ganglion, özellikle göz içi düz kasların parasempatik innervasyonundan sorumludur.

Nervus oculomotorius (III. kraniyal sinir) içinde mezensefalon düzeyinde yer alan nucleus oculomotorius accessorius (Edinger-Westphal çekirdeği) kaynaklı preganglionik parasempatik lifler, orbitada bulunan *ganglion ciliare*'ye ulaşır. Bu ganglionda postganglionik nöronlarla sinaps yapılır. Sinaps sonrası oluşan postganglionik lifler (II. nöron), *nervi ciliares breves* aracılığıyla göz küresi içinde yer alan düz kaslara yönelir (9-11).

Bu lifler iki ana hedefe ulaşır:

- ***Musculus sphincter pupillae*:** Pupilla çapının daralmasını (miyozis) sağlar.

- ***Musculus ciliaris***: Lensin kavisini artırarak yakın görmeye uyumu kolaylaştırır (akomodasyon refleksi) (9-12).

Mesencephalon → *Nucleus oculomotorius accessorius* (Edinger-Westphal çekirdeği) → *Nervus oculomotorius* (preganglionik lifler) → *Ganglion ciliare* → *Nervi ciliares breves* (postganglionik lifler) → *Musculus sphincter pupillae* ve *musculus ciliaris*

Bu yol sayesinde, ışık refleksi ve akomodasyon refleksi gibi otonomik görsel yanıtlar düzenlenir (9- 12).

Ganglion Pterygopalatinum

Ganglion pterygopalatinum, baş-boyun bölgesindeki en büyük parasempatik ganglion olup, gözyaşı bezi (glandula lacrimalis), burun mukozası, damak, nazofarinks ve üst farinks gibi yapıların parasempatik innervasyonunda görev alır (13).

Bu gangliona parasempatik lifler pons düzeyinde bulunan nucleus lacrimalis'ten başlar. Buradan çıkan preganglionik parasempatik lifler, öncelikle *nervus facialis*'in bir dalı olan *nervus intermedius* üzerinden taşınır. Daha sonra bu lifler *nervus petrosus major* içinde ilerleyerek *canalis pterygoideus* üzerinden fossa pterygopalatina'ya ulaşır ve burada bulunan ganglion pterygopalatinum'da postganglionik nöronlarla sinaps yapar. Sinaps sonrası oluşan postganglionik lifler, önce *nervus maxillaris*'e ve onun dalları olan *nervi pterygopalatini*, *nervus zygomaticus*, *nervus zygomaticotemporalis* üzerinden taşınır. Bu lifler, *nervus lacrimalis* üzerinden glandula lacrimalis'e ulaşarak bezin parasempatik (sekretomotor) innervasyonunu sağlar.

Nervus intermedius (preganglionik lifler) → *Nervus petrosus major* → *Canalis pterygoideus* → *Ganglion*

pterygopalatinum (sinaps - II. nöron) → Nervus maxillaris → N. zygomaticus → N. zygomaticotemporalis → N. lacrimalis → Glandula lacrimalis (9- 11).

Ganglion Submandibulare

Ganglion submandibulare, ağız tabanında, *glandula submandibularis*'in üstünde yer alan küçük bir parasempatik gangliondur. Başlıca görevi, tükürük bezlerinin sekresyonunun parasempatik düzenlenmesidir. Bu gangliona gelen preganglionik parasempatik lifler, *pons* düzeyindeki *nucleus salivatorius superior*'dan kaynaklanır ve *nervus facialis* içinde taşınır. Bu lifler, ilk olarak *chorda tympani* aracılığıyla orta kulaktan geçer ve ardından *nervus lingualis (nervus mandibularis*'in dalı) ile birleşerek dil altı bölgesinde bulunan ganglion submandibulare'ye ulaşır. Bu noktada lifler, ganglion hücreleri ile sinaps yapar. Postganglionik parasempatik lifler (II. nöron), doğrudan *glandula submandibularis*, *glandula sublingualis* bezlerine ulaşarak bu yapıların sekretomotor kontrolünü sağlar. Böylece tükürük üretimi artırılır ve ağız mukozasının nem dengesi düzenlenir.

Nucleus salivatorius superior → Nervus facialis (preganglionik lifler) → Chorda tympani → Nervus lingualis (n. mandibularis aracılığıyla) → Ganglion submandibulare (sinaps - II. nöron) → Glandula submandibularis ve glandula sublingualis (9- 12).

Ganglion Oticum

Ganglion oticum, baş-boyun bölgesindeki derin parasempatik ganglionlardan biridir ve özellikle *glandula parotis*'in parasempatik innervasyonundan sorumludur. Bu ganglion, *fossa infratemporalis* içerisinde, *foramen ovale*'nin hemen altında konumlanır. Preganglionik parasempatik lifler, *bulbus medullae oblongatae*'de yer alan *nucleus salivatorius*

inferior'dan kaynaklanır ve *nervus glossopharyngeus* (IX. kraniyal sinir) aracılığıyla taşınır. Bu lifler sırasıyla: *nervus tympanicus* olarak orta kulak boşluğuna girer, ardından *nervus petrosus minor* adını alarak orta kafatası tabanından geçip, *fossa infratemporalis*'te bulunan *ganglion oticum*'a ulaşır. Burada preganglionik lifler, postganglionik nöronlarla sinaps yapar (II. nöron). Postganglionik parasempatik lifler, *nervus auriculotemporalis* (n. *mandibularis*'in dalı) ile birlikte taşınarak başlıca *glandula parotis*'e ulaşır ve bu büyük tükürük bezinin sekretomotor uyarımını sağlar. Ayrıca bazı postganglionik lifler, dil ve ağız mukozasına ait küçük bezler üzerinde de etkili olur; böylece ağız içi nemliliği ve tat fonksiyonuna katkı sağlanır (9-11).

Nucleus salivatorius inferior → *Nervus glossopharyngeus* → *Nervus tympanicus* → *Nervus petrosus minor* → *Ganglion oticum* (sinaps - II. nöron) → *Nervus auriculotemporalis* (n. *mandibularis* aracılığıyla) → *Glandula parotis* ve ağız içi mukozal bezler

Bazı Organların Parasempatik İnnervasyonu

Kalbin Parasempatik İnnervasyonu

Kalbin parasempatik innervasyon, büyük oranda *nervus vagus* (X. kraniyal sinir) aracılığıyla sağlanır. *Vagus* sinirinden çıkan *rami cardiaci superiores*, *rami cardiaci inferiores* ve *rami cardiaci thoracici* adlı dallar, toraks içine uzanarak *plexus cardiacus*'a katılır. Bu pleksus, hem sempatik hem de parasempatik liflerin birlikte bulunduğu bir sinir ağıdır. Parasempatik sistemin preganglionik lifleri, pleksustan çıktıktan sonra kalp damarları çevresinde ilerleyerek kalp duvarı ve özellikle *septum interatriale* içerisinde yer alan küçük parasempatik ganglionlarda postganglionik nöronlarla sinaps yapar. Bu sinapslardan çıkan postganglionik parasempatik lifler

(II. nöron), doğrudan: nodus sinoatrialis (SA nodu), nodus atrioventricularis (AV nodu) ve his demeti kolları (crus dextrum ve sinistrum) üzerinde sonlanarak kalbin atım hızını (negatif kronotropik etki) ve kasılma gücünü (negatif inotropik etki) azaltıcı yönde etki gösterir. Ayrıca vagal innervasyon, atriyumlar üzerinde daha yoğunken ventriküllerde daha sınırlıdır (3-11).

Akciğerlerin Parasempatik İnnervasyonu

Akciğerler, otonom sinir sistemi tarafından hem sempatik hem de parasempatik yollarla innerve edilir. Parasempatik innervasyon, büyük oranda nervus vagus (X. kraniyal sinir) üzerinden sağlanır. Bu innervasyon, solunum sisteminin motor kontrolü, sekresyon düzenlemesi ve refleks aktivitesinde önemli rol oynar (14, 15).

Nervus vagus'tan çıkan preganglionik parasempatik lifler, toraks boşluğuna girdikten sonra ön ve arka dallara ayrılır. Bu dallardan çıkan rami bronchiales, plexus pulmonalis'i oluşturan sinir ağlarına katılır. Lifler bu pleksus aracılığıyla bronşların etrafında bulunan intrapulmoner parasempatik ganglionlara ulaşır ve burada postganglionik nöronlarla sinaps yapar. Sinaps sonrası başlayan postganglionik parasempatik lifler (II. nöron), şu hedef yapılar üzerinde etkili olur:

- Bronş düz kasları → kasılarak bronkokonstriksiyon oluşturur (bronş çapı daralır),
- Mukozal bezler → sekresyonu artırır (3, 11).

Sindirim Sisteminin Parasempatik İnnervasyonu

Sindirim sisteminin otonomik kontrolü büyük ölçüde parasempatik sinir sistemi tarafından sağlanır. Bu sistemdeki parasempatik lifler iki temel kaynaktan gelir. Nervus vagus (X. kraniyal sinir)'den gelen lifler özellikle özofagus, mide, pankreas

ve transvers kolonun ortasına kadar olan gastrointestinal yapıların innervasyonundan sorumludur. Sakral parasempatik lifler (S2–S4) ise distal kolon, rektum ve anal kanal gibi yapıların innervasyonunu sağlar (3, 11).

Bu parasempatik lifler, sindirim kanalının duvarı içinde bulunan enterik sinir sistemini (plexus entericus) oluşturur. Bu sistem plexus subserosus, plexus submucosus ve plexus üç ana pleksustan oluşur. Plexus subserosus (en yüzeysel tabakadır. Plexus submucosus (Meissner pleksusu), mukozal bezlerin düzenlenmesinde görev alır. Plexus myentericus (Auerbach pleksusu), peristaltik hareketlerin koordinasyonunda rol oynar.

Özellikle Meissner ve Auerbach pleksusları içerisinde bulunan ganglion hücrelerinden çıkan postganglionik parasempatik lifler, sindirim kanalının düz kasları ve glandüler bezlerine yönelerek motilite ve sekresyonu artırıcı etki gösterir (3, 9, 11).

Bölgesel Parasempatik Dağılım Örnekleri

Özofagusun üst kısmı: Preganglionik parasempatik lifler, nervus laryngeus recurrens ve plexus oesophageus üzerinden taşınır. Lifler, özofagus duvarında yer alan enterik ganglionlarda sinaps yapar.

Mide: Midenin parasempatik innervasyonu, vagus sinirinin iki ana dalından sağlanır. Sol nervus vagus, mide ön yüzüne 4 dal verir. Ayrıca karaciğere giden bir dal aracılığıyla pylorus ve duodenum'un bir kısmını da innerve eder. Sağ nervus vagus, midenin arka yüzüne 6 dal gönderir. Bu dallar aracılığıyla mide sekresyonu ve motilitesi düzenlenir.

İnce barsaklar, colon ascendens, colon transversum, appendix vermiformis: Plexus coeliacus aracılığı ile sağ

vagus'tan innerve olur. Bu sinirler a. mesenterica superior'un dalları ile organlara giderler.

Safra kesesi: N. vagus ve plexus coeliacus aracılığı ile aldığı preganglionik parasempatik lifler, lig. hepatoduodenale içerisinde safra kesesi ve safra yollarına ulaşır. Safra kesesi civarında ve safra yolları çevresinde bulunan ganglionlarda sinaps yaparlar. Postganglionik lifleri ise bu organların duvarlarındaki düz kaslara ve kontraksiyon ve mukozalarındaki bezlere sekresyon yaptırır.

Pankreas'ın parasempatik innervasyonu: Pankreas, hem ekzokrin hem de endokrin fonksiyonları olan çift yapı bir organdır ve bu işlevlerinin düzenlenmesinde parasempatik sinir sistemi önemli rol oynar. Parasempatik innervasyonu her iki nervus vagus (sağ ve sol) üzerinden sağlanır (3, 9, 11). Preganglionik parasempatik lifler, her iki vagus sinirinden çıkarak plexus coeliacus aracılığıyla pankreas çevresine yönelir. Bu lifler genellikle pankreası besleyen arteria pancreaticoduodenalis ve arteria splenica gibi damarların çevresini takip ederek organa ulaşır.

Bu yol boyunca lifler, pankreas çevresindeki küçük parasempatik ganglionlarda sinaps yapar ve ardından çıkan postganglionik lifler, pankreasın iki ana bölümünde etkili olur:

Ekzokrin pankreas (asiner hücreler): Sekretomotor etki ile pankreatik enzim salımını uyarır.

Endokrin pankreas (Langerhans adacıkları): İnsülin ve glukagon salınımını düzenleyen nöromodülatör etkiler sağlar (özellikle vagal stimülasyon, insülin salımını artırabilir) (3, 9, 11).

B) Parasempatik Sistem'in Sakral Bölümü (Pars sacralis systema parasympathici)

Sakral parasempatik sistem, otonom sinir sisteminin parasempatik bölümünün pelvik organlara yönelik visceral innervasyonunu sağlayan alt düzey bileşenidir. Bu yapı, pars pelvica systema parasympathici olarak da adlandırılır. Sakral parasempatik liflerin santral çıkış noktası, medulla spinalis'in 2. ile 4. sakral segmentleri arasında, ön ve arka boynuzların birleştiği gri cevher bölgesinde yer alır. Bu alanda bulunan nöronların oluşturduğu kolona, Columna intermediomedialis (columna parasympathica sacralis) adı verilir. Bu alandaki preganglionik parasempatik nöronlardan çıkan lifler, sakral spinal sinirler (S2–S4) ile birlikte çıkar. Spinal sinirlerden ayrılan bu lifler, otonomik sistemde nervi splanchnici pelvici (nn. erigentes) olarak adlandırılır ve pelvis boşluğuna yönelir. N. splanchnici pelvici lifleri, pelvis içerisinde yer alan plexus hypogastricus inferior (veya plexus pelvicus) yapısına katılır. Buradan çıkan preganglionik parasempatik lifler üç ana yolla ilerler.

Plexus hypogastricus aracılığıyla plexus mesentericus inferior ve plexus pudendalis ile karışarak alt gastrointestinal sistemin distal bölümlerini innerve eder. *Plexus pelvicus* üzerinden mesane, rektum, uterus, vajina ve erkek genital organlarının çevresine ulaşır. *Bu plexuslardan* çıkan liflerin bir bölümü doğrudan hedef organların duvarındaki intramural ganglionlarda (duvar içi ganglionlar) sinaps yapar. Sinaps sonrası başlayan postganglionik lifler, özellikle düz kaslar ve mukozal bezler üzerinde motiliteyi ve sekresyonu artırıcı etki gösterir. Ayrıca erektile dokuların vazodilatasyonu da bu sistemle kontrol edilir (3, 9, 11).

Sakral Parasempatik Sinirlerin Hedef Organlara Dağılımı ve Fonksiyonları

Sakral parasempatik sistem (S2–S4 düzeyindeki *nervi splanchnici pelvici*) tarafından taşınan lifler, pelvis ve alt abdominal organlarda çeşitli fizyolojik etkiler gösterir. Bu sistemin lifleri hedef organlara ulaştığında farklı fonksiyonel olarak motor, sekretomotor ve vazodilatator etkiler oluşturur. Sakral parasempatik sistemden çıkan preganglionik lifler, colon descendens, colon sigmoideum, rectum, mesane, glandula vesiculosa, ductus deferens, ductus ejaculatorius, uterus ve vagina duvarı kaslarına motor etki oluşturur. Prostata, cowper ve bartolini bezlerine sekretomotor etki oluşturur. Ayrıca bu organların damarlarına vazodilatator etki oluşturur (9,11).

Dalları

a) Prostat, Glandula Vesiculosa ve Mesane (Vesica Urinaria)

Bu yapılara ulaşan parasempatik lifler, aşağıdaki etkileri gösterir:

Prostat ve vesicula seminalis: Sekretomotor liflerle ejakülasyon öncesi salgı üretimini artırır.

Mesane düz kası (m. detrusor): Kas tonusunu artırarak miksiyon refleksini başlatır.

Mesane sfinkterleri: Gevşetici etki yaparak işeme sırasında idrar akışını kolaylaştırır.

b) Uterus, Vagina ve Tuba Uterina

Bu organlara ulaşan preganglionik lifler, öncelikle plexus uterovaginalis içerisindeki ganglionlarda sinaps yapar. Ardından çıkan postganglionik lifler:

Uterus duvarı: Doğum sırasında kas kontraksiyonlarını etkiler.

Tuba uterina: Ovum taşınımını kolaylaştırır.

Vajina: Vajinal lubrikasyon ve kan akımını düzenler.

c) Dış Genital Organlar (Corpus Cavernosum Penis / Clitoridis)

Eretil yapıları ulaşan parasempatik lifler, plexus hypogastricus inferior'dan gelir. Erkeklerde corpus cavernosum penis, kadında corpus cavernosum clitoridis üzerinde vazodilatasyon sağlar.

Bu etki, hem erkek hem kadın cinsel fonksiyonlarında fizyolojik ereksiyonun temel mekanizmasını oluşturur.

d) Colon Descendens, Colon Sigmoidum ve Rektum

Bu segmentlere yönelik parasempatik innervasyon şu yolu izler:

- Nervus hypogastricus ve plexus hypogastricus superior üzerinden
- A. mesenterica inferior'un dallarıyla birlikte seyrederek
- Duvar içi intramural ganglionlara ulaşır. Sonuçta bağırsak motilitesi ve mukozal sekresyon artırılır, defekasyon refleksi desteklenir (3, 9, 11).

Organların Sempatik ve Parasempatik Etkileri

	Sempatik Etki	Parasempatik Etki
Kalp	Kasılma gücünde artma	Kasılma gücünde azalma
Koroner damarlar	Vazodilatasyon	Vazokonstriksiyon
İskelet kası damarları	Vazodilatasyon	-
Deri damarları	Vazokonstriksiyon	Vazodilatasyon
Organ damarları	Vazokonstriksiyon	Vazodilatasyon
Burun mukozası damarları	Vazokonstriksiyon	Vazodilatasyon
Beyin damarları	Vazodilatasyon	-
Böbrek damarları	Vazokonstriksiyon	-
Pupilla	Midriazis (genişleme)	Miyozis (daralma)
M. ciliaris	Gevşeme	Kasılma
Gl. lacrimalis	Sekresyonda azalma	Sekresyonda artma
M. arrector pili	Kasılma	-
Ter bezleri	Bölgesel terleme	Genel terleme
Trachea, bronchi	Genişleme	Daralma
Glandulae bronchiales	Sekresyonda azalma	Sekresyonda artma
Gl. suprarenalis (medulla)	Epinephrin ve norepinephrin salgısı	-
Sfinkterler	Kontraksiyon	Gevşeme
Sindirim bezleri	Sekresyonda azalma (müköz salgı)	Sekresyonda artma (seröz salgı)
Karaciğer	Glikojenoliz, glukoneogenez	-
Safra kesesi ve yolları	Gevşeme	Kontraksiyon
Böbrekler	Vazokonstriksiyon	-
M. detrusor	Gevşeme	Kasılma
M. sphincter urethrae	Kasılma	Gevşeme
Üreme organları - Erkek	Ejakülasyon	Ereksiyon
Üreme organları - Kadın	Uterusta kasılma	Gevşeme

(7)

Bazı Organların Otonom İnervasyonu

Organ	Sempatik	Parasempatik
Göz kapağı	Ggl. cervicale superior	—
İris	Ggl. cervicale superior	N. oculomotorius
Gl. submandibularis / sublingualis	Ggl. cervicale superior	N. facialis
Parotis	Ggl. cervicale superior	N. glossopharyngeus
Gl. lacrimalis	—	N. facialis
Kalp	N. cardiacus cervicalis medius, inferior	N. vagus
Akciğer	T2–T5 torakal sempatikler	N. vagus
Mide – kolon transversum sonu	N. splanchnicus major, minor (T5–T12)	N. vagus
Kolon transversum sonrası, rektum	Sempatik sistemin lumbal bölümü	Medulla spinalis S2– S4 segmentleri
M. sphincter ani internus	Plexus hypogastricus	Plexus hypogastricus
Böbrek	Torakal sempatikler	N. vagus
Sürenal bez	N. splanchnicus major	Parasempatik uyarısı yok
Mesane	Plexus hypogastricus inferior	Plexus hypogastricus inferior
Penis/Clitoris	L1–L2 sempatikleri ejakulasyonu sağlar	Sakral (S2–S4) parasempatikler ereksiyonu sağlar
Üst taraf arterleri	T2–T5’ten, boyun ganglionlarından	—
Alt taraf arterleri	T10–T12, L1–L2	—
Damar etkisi	Deri damarlarında daralma, iskelet kas damarlarında genişleme	—

(9, 11)

KAYNAKÇA

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

2- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2020). *Neuroscience: Exploring the brain* (4th ed.). Wolters Kluwer.

3- Standring, S. (Ed.). (2021). *Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical practice* (42nd ed.). Elsevier.

4- Beissner, F., Meissner, K., Bär, K. J., & Napadow, V. (2013). The autonomic brain: An activation likelihood estimation meta-analysis for central processing of autonomic function. *Journal of Neuroscience*, 33(25), 10503–10511.

5- Kreulen, D. L., & Peters, J. H. (2008). Parasympathetic control of gastrointestinal motility. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, 140(1–2), 14–23.

6- Benarroch, E. E. (2006). Central autonomic network: Functional organization and clinical correlations. *Archives of Neurology*, 63(7), 1059–1062.

7- McCorry, L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 71(4), 78.

8- Beissner, F., Meissner, K., Bär, K. J., & Napadow, V. (2013). The autonomic brain: An activation likelihood estimation meta-analysis for central processing of autonomic function. *Journal of Neuroscience*, 33(25), 10503–10511.

9- Taner, D., Atasever, A., & Durgun, B. (2008). *Fonksiyonel nöroanatomi*. Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık.

10- Arifoğlu, Y. (2021). *Her yönüyle anatomi* (3. baskı). İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi.

11- Arıncı, K. (2006). *Anatomi Cilt 2: Dolaşım sistemi, periferik sinir sistemi, merkezi sinir sistemi, duyu organları*. Ankara: Güneş Kitabevi.

12- Anatomi OHO. (2005). *Anatomi*. Ankara: Klinisyen Tıp Kitabevi.

13- Tubbs, R. S., Salter, E. G., & Oakes, W. J. (2011). Anatomy and function of the parasympathetic ganglia of the head and neck. In R. S. Tubbs, M. M. Shoja, & M. Loukas (Eds.), *Bergman's comprehensive encyclopedia of human anatomic variation* (pp. 512–514). Wiley-Blackwell.

14- Mazzone, S. B., & Undem, B. J. (2016). Vagal afferent innervation of the airways in health and disease. *Physiological Reviews*, 96(3), 975–1024.

15- Widdicombe, J. G. (2003). Reflexes from the lungs and airways: Historical perspective. *Journal of Applied Physiology*, 94(5), 1465–1472.

BÖLÜM 3

BURUN MUKOZASINDA KURULUK VE EPİSTAKSİS: BİR ANATOMİK PERSPEKTİF

VEYSEL AKYOL¹
NECAT KOYUN²

Epistaksis Nedir?

Burun mukozasına veya damar duvarına zarar veren çeşitli etkenler sonucunda, burun deliklerinde, burun boşluğunda veya nazofarenkste meydana gelen ani kanamalardır (Ünlü, 2007; Aladağ, 2013). Epistaksis, bir hastalık olmayıp, altında yatan sebeplerin en önemli ortak burun semptomlarından biridir (Aladağ, 2013). Vakaların çoğu hafif seyirli olup tıbbi müdahaleye gerek kalmadan durdurulabilir. Ancak, şiddetli epistaksis vakaları tedavi edilmezse ölümcül olabilen acil bir durum oluşturabilir (Ballenger, 2010; Efiaty, 2007).

Toplumda her yıl aktif burun kanamaları yaklaşık %5-10 oranında görülmekte olup, bu kanamaların büyük çoğunluğu kendiliğinden durmaktadır. Ancak, yıllık kanama vakalarının

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0002-6355-441X, veysel-akyol@hotmail.com

² Doç. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Orcid: 0000-0002-6626-0302, necat_1974@hotmail.com

yalnızca %6'sı tedavi gerektirmektedir. Bu hastaların da yaklaşık %10'unda tekrarlayan ve inatçı burun kanamaları görölmektedir. Burun kanamalarının sıklığı genellikle 2-10 ve 50-80 yaş aralıklarında artış göstermektedir. Çocuklarda görölme sıklığı iki kat fazlayken, bebeklerde nadiren rastlanmaktadır (Aladağ, 2013).

Epistaksis, meydana geldiğı bölgeye göre anterior epistaksis (Kiesselbach pleksusu) ve posterior epistaksis (Woodruff pleksusu) olarak ikiye ayrılmaktadır. Anterior epistaksis, çocuklarda ve genç erişkinlerde yaygın olarak görölürken, posterior epistaksis daha çok arterioskleroz ve hipertansiyon öyküsü olan yaşlı bireylerde görölmektedir (Nagihan, 2018; Nazirah, 2024).

Epistaksis nedenleri

Epistaksis, nedenlerine göre lokal ve sistemik olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır.

Lokal Nedenler

T travma: Darbe, kaza veya cerrahi müdahaleye bağılı olarak burunda oluşın hasar kanamaya yol açabilir (Kurtaran ve ark., 2014; Aladağ, 2013).

Yabancı Cisimler: Özellikle çocuklarda, yabancı cisimlerin burna sokulması burun mukozasını tahriş ederek kanamaya neden olabilir (Çelik ve Güven, 2012; Yılmaz ve Acar, 2011).

Enfeksiyonlar: Üst solunum yolu enfeksiyonları ve sinüzit gibi hastalıklar, burun mukozasını hassaslaştırarak kanama riskini artırabilir (Aladağ, 2013; Öztürk, 2015).

İnflamatuvar Hastalıklar: Alerjik rinit gibi inflamatuvar durumlar, burun mukozasını zayıflatarak kanamaya yol açabilir (Şahin ve Demir, 2016; Kara ve Yıldız, 2012).

Anatomik Bozukluklar: Nazal septum deviasyonu gibi yapısal anomaliler, burun mukozasında kuruluk ve çatlaklara sebep olarak kanamaya neden olabilir (Aladağ, 2013).

Tümörler: Nazal veya nazofaringeal bölgede bulunan iyi huylu ya da kötü huylu tümörler burun kanamalarına yol açabilir (Aladağ, 2013).

Sistemik Nedenler

Hipertansiyon: Yüksek kan basıncı, özellikle yaşlı bireylerde burun kanamalarının yaygın nedenlerinden biridir (Uslu ve ark., 2015).

Kanama Diyatezleri: Hemofili gibi pıhtılaşma bozuklukları, kanama riskini artırabilir (Kara ve Yıldız, 2012).

İlaç Kullanımı: Antikoagülan (kan sulandırıcı) ve bazı antiinflatuar ilaçlar, kanamaya eğilimi artırabilir (Aladağ, 2013; Şahin ve Demir, 2016).

Karaciğer Hastalıkları: Karaciğer fonksiyon bozuklukları, pıhtılaşma faktörlerinin üretimini etkileyerek kanamalara yol açabilir (Türkmen, 2014).

Alkolizm: Kronik alkol kullanımı, karaciğer fonksiyonlarını bozarak ve damarları zayıflatarak burun kanaması riskini artırabilir (Aladağ, 2013; Yılmaz ve Acar, 2011).

Burun boşluğu (Cavitas nasi) Anatomisi

Cavitas nasi, ağız boşluğunun (cavitas oris) üstünde, orbitanın alt ve iç yanında yer alır. Burun boşluğu, temel olarak cartilago septi nasi'den oluşan septum nasi adı verilen bir duvar ile iki ayrı boşluğa ayrılmıştır. Her bir boşluk önde nares (burun delikleri) aracılığıyla dışarı açılırken, arkada choana adı verilen açıklıklarla nasopharynx'e bağlanır. Cavitas nasi; vestibulum nasi,

regio respiratoria ve regio olfactoria olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır (Yıldırım, 2020).

Cavitas Nasi'nin Duvarları

Üst Duvar

Burun boşluğunun üst duvarı, önden arkaya doğru şu yapılar tarafından oluşturulur: cartilago alaris major, cartilago septi nasi'nin processus lateralis'i, os nasale, os frontale'nin spina nasalis'i, os ethmoidale'nin lamina cribrosa'sı, ala vomer, os palatinum'un processus sphenoidalis'i, os sphenoidale'nin corpus'u. Bu duvarda lamina cribrosa aracılığıyla, n. olfactorius (I. kraniyal sinir) sinir uzantıları olan fila olfactoria geçer. Bu sinir lifleri, burun boşluğunun üst duvarı ile hem lateral hem de medial kısımlarındaki süperior bölgelere ulaşarak koku duyusunu algılar (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Alt Duvar

Alt duvar, önden arkaya doğru şu kemik yapılar tarafından oluşturulmaktadır: os maxillaris'in processus palatinus'u, os palatinum'un lamina horizontalis'i. Bu duvarda canalis incisivus adı verilen kanaldan n. nasopalatinus ve a. sphenopalatina'nın uç dalları geçerek burun boşluğuna dağılır. Alt duvardaki arter ve sinir, burun mukozasının beslenmesini ve duyu alınmasını sağlar (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

İçyan Duvar (Medial Duvar)

Burun boşluğunu sağ ve sol iki yarıya ayıran septum nasi, içyan duvarı oluşturur. Bu yapı şu elemanlardan meydana gelir: cartilago septi nasi, os vomer, os ethmoidale'nin lamina perpendicularis'dir (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Dışyan Duvar (Lateral Duvar)

Cavitas nasi'nin en geniş duvarı olan dışyan duvar, şu kemik yapılardan oluşur: os ethmoidale'nin labyrinthus ethmoidale'si, os concha nasalis inferior, os sphenoidale'nin lamina medialis'i, os palatinum'un lamina perpendicularis'i, os maxilla'nın processus frontalis'i, os lacrimale. Bu duvarda, concha nasalis süperior, media ve inferior olmak üzere üç adet concha bulunur. Concha'ların oluşturduğu meatus adı verilen boşluklara, paranazal sinüsler ve canalis lacrimalis açılır (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Cavitas Nasi'nin Mukozası

Cavitas nasi'nin vestibulum nasi dışındaki diğer iki bölgesi, mukoza tabakası ile kaplıdır. Bu mukoza: seröz ve müsin salgılayan glandüler hücrelerden oluşur ve yalancı çok katlı silyalı epitel ile döşelidir (Öztürk, 2023).

Özellikle concha nasalis süperior ve media seviyesinde bulunan bu hücreler, bol mukus salgılayarak mukozanın korunmasına yardımcı olur. Ayrıca, mukoza tabakası zengin anastomozlarla bağlantılı yoğun bir damarsal ağa sahiptir. Bu sayede solunan hava ısıtılır ve nemlendirilir (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Cavitas Nasi'nin Sinirleri

Dokunma, basınç, ağrı ve ısı duyuları, n. trigeminus'un (II. kraniyal sinir) dalları n. maxillaris (V2) ve n. ophthalmicus (V1) tarafından taşınır. Özel duyu olan koku duyusu, n. olfactorius tarafından iletilir. Mukozada bulunan salgı bezlerinin otonom sinir uyarımı şu yollarla gerçekleşir: sempatik sinir lifleri, ggl. cervicale superius'tan gelir. Parasempatik sinir lifleri, n. facialis (VII. kraniyal sinir) aracılığıyla ggl. pterygopalatinum'dan iletilir (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Cavitas Nasi'nin Lenf Drenajı

Cavitas nasi'nin ön bölümü, nodi submandibulares'e drene olur. Cavitas nasi'nin arka bölümü, nodus jugulodigastricus'a drene edilir (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Cavitas Nasi'nin Venöz Drenajı

Burun boşluğunun venleri genellikle arterlere eşlik eder. Cavitas nasi'nin ön bölümünün venleri, v. facialis'e drene olur. Diğer bölümlerin venleri, esas olarak plexus pterygoideus'a drene edilir. A. ethmoidales'e eşlik eden venler, v. ophthalmica superior aracılığıyla sinüs cavernosus'a drene olur (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Cavitas nasi'nin Arterleri

Burun boşluğunun arterleri, farklı bölgelerden gelen çeşitli damar dallarıyla beslenmektedir.

Dış duvarın arka üst bölgesinde, a. carotis externa'nın dalı olan a. maxillaris, a. sphenopalatina dalını verir. Bu arter, burun boşluğuna girerek r. septalis posterior ve r. nasalis lateralis posterior dallarını oluşturur ve burun boşluğunu arkadan besler (Arıncı & Elhan, 2006).

Üst duvardan, yine a. carotis externa'nın dalı olan a. ophthalmica'dan ayrılan a. ethmoidalis anterior ve posterior dalları burun boşluğuna girerek üstten besleme sağlar (Arıncı & Elhan, 2006).

Alt duvarda, a. maxillaris'ten çıkan a. palatina descendens'in dalı olan a. palatina major, burun boşluğuna girerek alt bölgeyi besler (Arıncı & Elhan, 2006).

Önden, a. carotis interna'nın dalı olan a. facialis'in üç önemli dalından biri olan a. labialis superior, r. lateralis nasi dalını vererek burun boşluğunu ön bölgeden besler (Arıncı & Elhan, 2006).

Bu arterler, burun boşluğunun dış ve iç duvarlarında, özellikle septum nasi üzerinde yoğun anastomozlar yapar. Epistaksis, genellikle bu anastomoz noktaları anterior plexus ve posterior plexus’da meydana gelir (Arıncı & Elhan, 2006).

Epistaksiste Önemli Anatomik Bölgeler

Little Alanı (Kiesselbach Pleksusu)

Septum nasi’nin ön kısmında bulunan bu bölge, burun kanamalarının en sık görüldüğü yerdir.

Kiesselbach pleksusu, şu arterlerin anastomozuyla oluşur:

A. sphenopalatina,

A. palatina major,

A. labialis superior,

A. ethmoidalis anterior.

Bu bölgeden kaynaklanan burun kanamalarına anterior epistaksis denir ve burun kanamalarının büyük çoğunluğu burada meydana gelir (Şekil 1) (Arıncı & Elhan, 2006).

Woodruff Pleksusu

Septum nasi’nin arka kısmında bulunan bu bölge, özellikle yaşlı bireylerde ve sistemik hastalıklarda görülen burun kanamalarının en sık meydana geldiği yerdir (Şekil 2).

Woodruff pleksusu, şu arterlerin anastomozuyla oluşur:

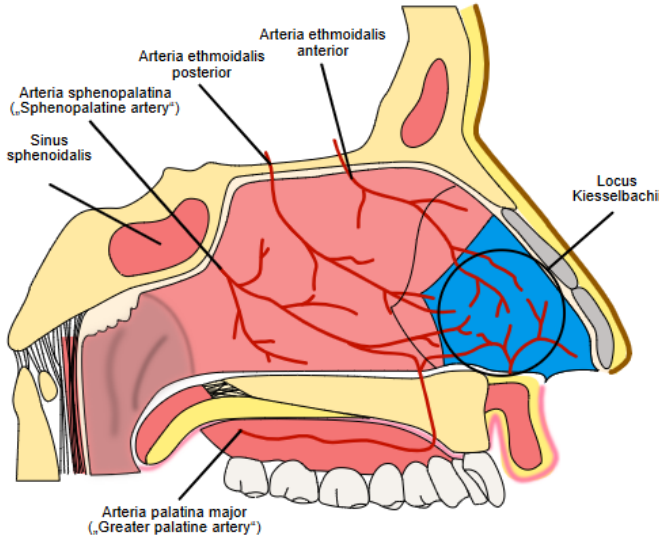
A. sphenopalatina,

A. ethmoidalis posterior.

Bu bölgeden kaynaklanan burun kanamalarına posterior epistaksis denir ve daha şiddetli seyreder (Arıncı & Elhan, 2006).

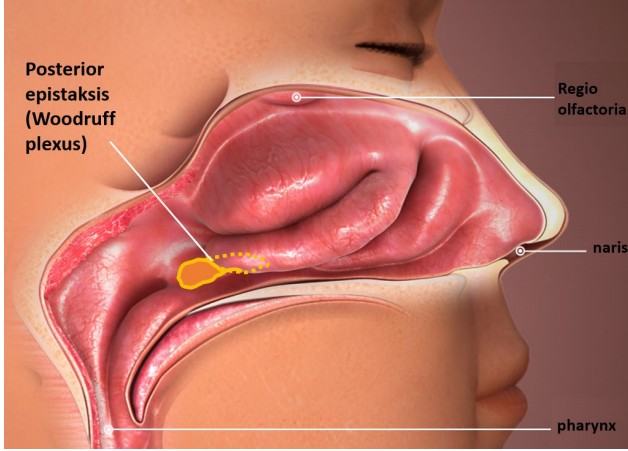
Epistaksis vakalarının büyük çoğunluğu anterior epistaksis olarak meydana gelse de posterior epistaksis daha ciddi ve kontrol edilmesi zor bir durumdur. Bu nedenle, burun kanamalarının anatomik kökeni ve besleyici arterlerin dağılımı klinik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Şekil 1 Septum nasi'nin arteriyel beslenmesi ve locus Kiesselbach (Kiesselbach pleksus)



Kaynak: commons wikimedia (2025).

Şekil 2 Cavitas nasi'nin lateral duvarında Woodruff pleksus bölgesi.



Kaynak: commons wikimedia (2025).

N. facialis'in duyu ve motor sinirleri

Nervus facialis, motor ve duyu sinir liflerinden oluşan karma bir sinirdir. İki ana kökten meydana gelir:

N. facialis propria

Bronkiomotor kökenli özel visseral efferent (ÖVE veya SVE) liflerinden oluşur.

N. intermedius (Wrisberg siniri)

Genel visseral efferent (GVE),

Özel visseral afferent (ÖVA veya SVA),

Genel visseral afferent (GVA),

Genel somatik afferent (GSA) liflerini içerir (Ozan, 2014).

Duyu Lifleri ve Nöron Kaynakları

GSA, GVA ve SVA liflerinin nöron gövdeleri, canalis facialis'te bulunan ganglion geniculi içinde yer alır.

Ggl. geniculi'nin periferik uzantıları hedef organdan duyu taşırken santral uzantıları, nuc. solitarius ve nuc. spinalis nervi trigemini bölgelerine ulaşır (Ozan, 2014).

Motor Lifler ve Nöron Kaynakları

Özel visseral efferent (SVE) liflerinin nöron gövdeleri nuc. nervi facialis'te bulunur.

Genel visseral efferent (GVE) liflerinin kaynağı ise nuc. salivatorius ve nuc. lacrimalis bölgeleridir (Ozan, 2014).

N. facialis, taşıdığı hem motor hem de duyu liflerinin sayesinde yüz kaslarının hareketini, bazı bezlerin salgı fonksiyonlarını ve tat duyusunu sağlayan önemli bir sinirdir (Ozan, 2014; Standring, 2021).

N. facialis'in taşıdığı parasempatik sinir lifleri

Nuc. salivatorius superior ve üst bölümü olan nuc. lacrimalis, pons ile medulla oblongata (bulbus)'nın birleştiği bölgede, tegmentum pontis'in alt bölümünde bulunur. Bu nucleus'lardan çıkan preganglioner parasempatik lifler, n. intermedius'u oluşturur. Daha sonra ventromedial bir seyir izleyerek n. facialis propria'ya katılır ve n. facialis'i meydana getirir. N. facialis, n. vestibulocochlearis ile ortak bir meningeal kılıf içinde meatus acusticus internus'a ulaşır. Burada fundus bölgesinde, n. vestibulocochlearis'ten ayrılarak area nervi facialis'te bulunan canalis facialis'e girer. Bu kanal, Fallop kanalı olarak da bilinir (Arıncı & Elhan, 2006).

N. Chorda Tympani'nin Seyri ve Fonksiyonu

Canalis facialis'ten geçen n. facialis, ggl. geniculi'den ayrılarak seyrine devam eder. For. stylomastoideum'un yaklaşık 5 mm yukarısında, n. facialis'ten ayrılır ve n. chorda tympani adını alır. N. chorda tympani, orta kulağın arka duvarında bulunan

canaliculus chordae tympani (Huguier kanalı) vasıtasıyla orta kulağa girer (Arifoğlu, 2021; Erbil & Bozkurt, 2012). Crus longum ve manubrium mallei arasından geçerek orta kulağın dış duvarını arkadan öne doğru çaprazlar. Daha sonra Glaser yarığı (fissura petrotympanica) aracılığıyla kafatasını terk eder ve fossa infratemporalis'e ulaşır. Burada, n. trigeminus'un bir dalı olan n. lingualis'e bağlanır. N. lingualis ile bir süre ilerledikten sonra ggl. submandibulare'ye ulaşır. Nuc. salivatorius superior'dan gelen preganglioner parasempatik lifler, ggl. submandibulare'de nöron değiştirerek postganglioner parasempatik lifler haline gelir. Bu lifler, gl. submandibularis ve gl. sublingualis'in innervasyonunu sağlayarak tükürük salgısını (salivasyon) düzenler (Arıncı & Elhan, 2006; Ozan, 2014; Standring, 2021).

N. Petrosus Major'ın Seyri ve Fonksiyonu

Canalis facialis'in genum bölgesinden, ggl. geniculi'den ayrılan lifler, n. petrosus major adını alır. N. petrosus major, hiatus canalis facialis'ten geçerek pars petrosa'nın ön yüzüne ulaşır. Bu bölgede sulcus nervi petrosi majoris boyunca ilerler ve for. lacerum'da plexus caroticus internus'tan gelen postganglioner sempatik sinir lifleriyle birleşir. Bu birleşme sonucunda, n. canalis pterygoideii (Vidius siniri) oluşur. N. canalis pterygoideii, canalis pterygoideus içinden geçerek fossa pterygopalatina'da bulunan ggl. pterygopalatinum'a (Meckel ganglionu) ulaşır. N. canalis pterygoideii, hem postganglioner sempatik hem de preganglioner parasempatik lifleri taşır (Arıncı & Elhan, 2006; Standring, 2021; Kaya ve Uğur, 2010).

Bu yapı, gözyaşı bezleri (gl. lacrimalis), burun ve damak bezlerinin parasempatik innervasyonunda önemli bir rol oynar.

Ggl. Pterygopalatinum'dan Post Ganglionik Parasempatik ve Sempatik Liflerin Dağılımı

N. canalis pterygoidei (Vidius siniri), ggl. pterygopalatinum'a postganglionik sempatik ve preganglionik parasempatik lifleri taşır. Sempatik lifler ganglionda nöron değiştirmeden doğrudan hedef yapılara yönelir. Parasempatik lifler ise ganglionda nöron değiştirerek postganglionik parasempatik liflere dönüşür ve gl. lacrimalis (gözyaşı) ile nazal bölgede gll. nasalis'lere dağılır. Her iki tip sinir lifi, hedef bölgelerine n. trigeminus'un dallarını kullanarak ulaşır (Arıncı & Elhan, 2006).

Postganglionik Sempatik Liflerin Dağılımı

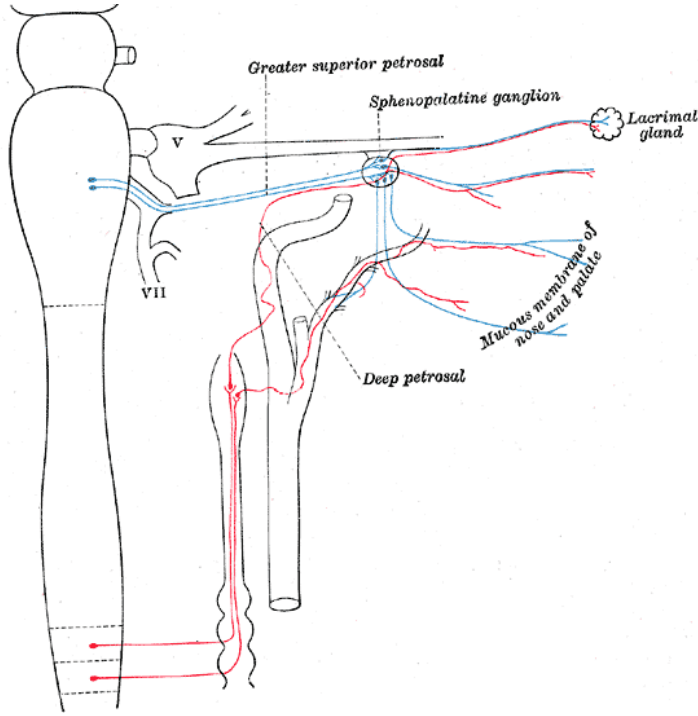
Ggl. pterygopalatinum'dan çıkan postganglionik sempatik lifler, N. maxillaris'in dalı olan n. nasopalatinus'a katılarak, burun boşluğu ve damak mukozasına dağılır (Arıncı & Elhan, 2006).

Postganglionik Parasempatik Liflerin Dağılımı

N. maxillaris, nn. pterygopalatini adı verilen iki kısa dal ile ggl. pterygopalatinum'a bağlanır.

Ggl. pterygopalatinum'da nöron değiştirerek postganglionik hale geçen parasempatik lifler n. maxillaris'in dalı olan n. zygomaticus'a katılır. Daha sonra, postganglionik parasempatik lifler n. zygomaticus'un dalı olan n. zygomaticotemporalis'e geçer. n. zygomaticotemporalis'deki postganglionik parasempatik lifler, n. trigeminus'un 1. dalı olan n. ophthalmicus (V1)'un n. lacrimalis'ine bağlanır. Bu sayede postganglionik parasempatik lifler n. lacrimalis aracılığıyla gl. lacrimalis'e (gözyaşı bezine) ulaşarak lakrimasyonu gerçekleştirmesini sağlar (Arıncı & Elhan, 2006; Yıldırım, 2020).

Şekil 3 Postganlionik parasempatik liflerin gl. lacrimali'e gidişi



Kaynak: Commons.wikimedia(2015).

Ggl. pterygopalatinum'dan ayrılıp for. sphenopalatinum'dan geçen rr. nasales posteriores superiores laterales ve mediales dalları ile burun boşluğuna ulaşır. Rr. nasales posteriores superiores mediales'in n. nasopalatinus dalı canalis incisivus'dan geçip katı damak (palatum durum)'a ulaşır (Yıldırım, 2020).

Ggl. pterygopalatinum'dan ayrılan for. sphenopalatinum'dan geçen rr. nasales posteriores superiores laterales ve mediales dalları ile burun boşluğuna dağılır. Rr. nasales posteriores superiores mediales'in n. nasopalatinus dalı, Canalis incisivus'tan geçerek palatum durum'a (sert damak) ulaşarak dağılır (Yıldırım, 2020).

Gangliondan ayrılan nn. palatini, Canalis palatinus major (canalis pterygopalatinus) içinden geçerek N. palatinus major ve nn.

palatini minores dallarına ayrılır. N. palatinus major, palatum durum (sert damak) ve rr. nasales posteriores inferiores dalları ile burun mukozasına gider. Nn. palatini minores, palatum molle (yumuşak damak) ve rr. tonsillares dalları ile tonsilla palatina'ya (bademciklere) ulaşır. N. pharyngeus ise ince bir dal olarak farinks mukozasına gider. Bu sinirler, nazal ve palatin bezlerin parasempatik innervasyonunu sağlayarak nazal salgıları düzenler (Yıldırım, 2020).

Sonuç

Epistaksis, genelde burun mukozasının veya damar duvarının birçok nedene bağlı olarak zarar görmesi sonucu burun deliklerinde, burun boşluğunda veya nazofarenkste görülen akut kanamalar şeklinde tanımlanmaktadır. Literatürde epistaksis nedenleri lokal ve sistemik nedenler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Lokal nedenler içinde burna darbe, cerrahi müdahale, nazal septum deviasyonu, nazal veya nazofaringeal bölgede tümör bulunması yanı sıra mukozanın tahriş, hassaslaşması, zayıflaması, kuruluğu öne çıkmaktadır.

Mukozal kuruluk, lokal nedenlerden anatomik bozukluklar içinde yer almaktadır (Aladağ, 2013). Mukozal kuruluğun yalnızca anatomik bozukluk nedeni ile değil, nazal bezlerin parasempatik innervasyonunda ya da parasempatik ileti yolundaki herhangi bir anormal durumun indirekt etkisi ile de oluşması muhtemeldir. Bu sebeple sınıflandırmaya indirekt etki olarak parasempatik ileti yolu problemleri de konulması uygun olacaktır.

Kaynakça

Aladağ, İ. (2013). Epistaksis (burun kanaması). Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 5(4), 180-189.

Arıncı, K. & Elhan, A. (2006). Anatomi 1. Cilt, 4. Baskı, Güneş Kitabevi, Ankara.

Arifoğlu, Y. (2021). Her Yönüyle ANATOMİ 3. Baskı, İstanbul Tıp Kitabevleri, İstanbul.

Atasever, A. (2019). Anatomi 1. Bskı, İstanbul Tıp Kitabevleri, İstanbul.

Ballenger, J. J. (2010). Penyakit telinga, hidung, tenggorok, kepala, dan leher (Jilid 1, Edisi 22). Jakarta: Binarupa Aksara Ünlü, Y. (2007). Epistaksis etiyolojisi. Türkiye Klinikleri Journal of Surgical Medical Sciences, 3(10), 8-11.

Bilal, N., Acıpayam, C., Orhan, İ. & Sağıroğlu, S. (2018). Çocuklarda epistaksis nedenleri ve prognostik faktörler, Kocaeli Med J 2018; 7 (2), 103-108Doğan, T. (2018). Fonksiyonel Nöroanatomi (20. Bs). ODTÜ Yayıncılık, Ankara.

Commons.wikimedia(2015).https://en.wikipedia.org/wiki/Pterygopalatine_ganglion#/media/File:Gray841.png

Commons.wikimedia(2020).https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Locus_Kiesselbachii_Schematic_EN.svg

Commons.wikimedia(2025).https://tr.wikipedia.org/wiki/Burun#/media/Dosya:3D_Medical_Animation_Nose_Top_section.jpg

Çelik, S. & Güven, M. (2012). Çocuklarda Yabancı Cisim Aspirasyonu ve Burun Kanaması İlişkisi. Pediatrik Acil Tıp Dergisi, 7(1), 33–36.

Erbil, K. M. & Bozkurt, M. C. (2012). Orta Kulak Anatomisi ve Fasiyal Sinir İlişkisi. Türk Otolarengoloji Arşivi, 50(4), 201–207.

Efiaty, A. S., & dkk. (2007). Buku ajar ilmu kesehatan THT (Edisi 6), Jakarta.

Gray, H., Williams, P. L., & Bannister, L. H. (Eds.). (1995). Gray's anatomy: The anatomical basis of medicine and surgery (38th ed.), Churchill Livingstone, USA, New York.

Kara, T. & Yıldız, M. (2012). Pıhtılaşma Bozukluklarında Klinik Yaklaşım. Hematoloji Güncel, 4(1), 22–27.

Kaya, S. & Uğur, H. C. (2010). Kranial Sinirlerin Mikroskopik ve Klinik Anatomisi. Türk Nöroşirürji Dergisi, 20(Suppl), 45–53.

Kurtaran, H. & ark. (2014). Travmatik Burun Kanamaları: Nedenler ve Yönetim. Türk Otolarengoloji Arşivi, 52(2), 105–109.

Nazirah, J., Putri, B. I., Maulina, N., Herlina, N., & Fauzan, A. (2024). Manajemen epistaksis. GALENICAL: Jurnal Kedokteran dan Kesehatan Mahasiswa Malikussaleh, 3(1), 55-67.

Ozan, H. (2014). Ozan anatomi (3. bs.). Klinisyen Tıp Kitabevleri, Ankara.

Öztürk, B. (2015). Akut ve Kronik Rinosinüzitlerin Nazal Mukoza Üzerine Etkileri. Enfeksiyon Dergisi, 29(3), 174–179.

Öztürk, U. (2023). Küçük hücreli dışı akciğer kanserlerinde immünohistokimyasal ve moleküler yöntem ile NTRK füzyonu araştırılması (Uzmanlık tezi), Pamukkale Üniversitesi, (Türkiye).

Standring, S. (2021). Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice (42nd ed.). Elsevier.

Şahin, H. & Demir, F. (2016). NSAİİ Kullanımı ve Kanama Riskleri. Tıp ve Farmakoloji Dergisi, 11(2), 78–83.

Şeker, B. (2021). Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Foramen Sphenopalatina'nın Morfometrik ve Klinik Açından

Değerlendirilmesi (Master's thesis), Necmettin Erbakan University (Turkey).

Türkmen, A. (2014). Karaciğer Yetmezliği ve Hemostaz Bozuklukları. Hepatoloji Bülteni, 9(4), 192–198.

Uslu, İ. & ark. (2015). Hipertansiyonun Burun Kanaması ile İlişkisi: Retrospektif Bir İnceleme. Türk Otolarengoloji Arşivi, 53(1), 13–17.

Yıldırım, M. (2020). Resimli sistematik anatomi (3. bs.), Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul.

Yılmaz, R. & Acar, N. (2011). Alkol Bağımlılığı ve Kanama Diyatezleri Üzerine Etkisi. Klinik Psikiyatri, 14(2), 102–108.

BÖLÜM 4

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ANATOMY: BASIC AND CLINICAL APPROACH

SEDA ÇETİN¹

Introduction

Today, the combination of developing technology and scientific knowledge has made it possible to emerge artificial intelligence (AI) systems with capabilities such as human-like reasoning, literature review, problem solving and decision support. Features such as providing access to comprehensive medical information, acting as a language atlas for foreign terms (Jeyaraman et al. 2023), and interpreting radiological images (Bal, 2022) form the basis for AI to gain an important place in the field of health.

AI Technologies and Applications in Anatomy Education

AI-supported technologies are increasingly finding a place in the field of education, and one of the areas most affected by this change is the discipline of anatomy, which is one of the cornerstones of medical education. These technologies provide students with an education opportunity that is independent of time and space, in line

¹ Dr. Res. Asst., Adiyaman University Faculty of Medicine, Department of Anatomy, Orcid: 0000-0003-1952-4587

with their own learning pace; It contributes to individualized learning processes by increasing interaction, especially in anatomy teaching.

In improving comprehension of anatomy, AI-powered applications provide students with real-time feedback, enhancing instant knowledge acquisition. Thanks to virtual reality technologies and avatar-based platforms, the three-dimensional, layered structure of the human anatomy has become more comprehensible. These systems, which go beyond flat-screen presentation environments, make it possible to convey both theoretical and practical information more effectively. These tools increase student participation in the course and make the learning process more interactive with their ease of use, reduction of cognitive load and deepening sense of presence in the virtual environment.

These technological developments are not limited to teaching basic anatomy, but also offer a wide range of uses in clinical anatomy practices. Artificial intelligence-based applications are becoming widespread in many areas such as simulation-supported educational environments, online assessment systems, software to prevent academic ethics violations, curriculum planning and digital content management. At the same time, thanks to the high data storage capacity of these models, large data sets can be stored safely; its integration with 3D printers and robotic technologies also supports different learning approaches. Research conducted in recent years reveals that these technologies can make versatile contributions to anatomy education (Chheang et al., 2024; Li et al., 2021; Abdellatif et al., 2022).

Smart Educational Tool for Anatomy Education

Developed specifically for anatomy education, the AI-based chatbot Anatbuddy aims to provide context-sensitive, field-focused and terminologically correct answers with its Retrieval Augmented

Generation (RAG)-based structure. This system, which has higher accuracy rates compared to general-purpose language models, has shown promising results in terms of academic success, especially in a pilot study in the field of thoracic anatomy (Arun et al., 2024).

The Role of ChatGPT in Anatomy Education

Comparative studies evaluating the effects of recently developed artificial intelligence-based chat systems on educational processes are increasing. In these studies, it has been observed that different artificial intelligence models exhibit different levels of performance in certain areas. While some systems are more effective in practical tasks, others are more successful in situations that require conceptual thinking. However, a common limitation of all models is that they have some deficiencies in content accuracy. For this reason, it is emphasized that the information produced must undergo expert review.

In this context, artificial intelligence-supported chat applications such as ChatGPT offer various advantages in educational environments. The basic contributions of these technologies that support the learning process are that students can access information quickly, facilitate the process of creating exam content, and provide instant feedback. However, it is emphasized that these digital tools should be inspected by competent instructors before being used as educational materials. Such technological solutions should be considered as complementary tools to assist existing pedagogical approaches rather than replacing traditional teaching methods. Additionally, more scientific data is needed on the teaching of complex concepts and their effects on long-term learning (Ganapathy & Kaushal, 2025).

The role of ChatGPT, especially in the context of anatomy education, remains controversial. Although it is found useful that it provides students with self-learning support and provides

information transfer in clinical scenarios, there are some limitations in areas such as scientific accuracy, level of clarity, and visual content presentation. In some cases, it has been reported that the answers given to anatomical questions were inadequate or incorrect. Therefore, in order for chatbots such as ChatGPT to become a reliable educational tool, both their technical infrastructure and educational content need to be developed (Chytas et al., 2025).

AI-Powered 3D Anatomy Applications

On the other hand, 3D modeling and segmentation technologies also make significant contributions to AI-supported anatomy education. The segmentation technique minimizes errors due to human intervention by separating anatomical structures into layers; it also enables the design to be carried out more quickly and accurately. When fed with operator-supported data sets, the anatomical structure recognition capacity of AI systems increases significantly; this contributes to achieving more reliable and stable results in educational processes. As a result, these systems work more effectively over time, reducing error rates and increasing educational accuracy (Orhan, 2024).

The Rise of AI in Healthcare

Rapid developments in AI technologies have heralded a major transformation in the field of healthcare. Large language models, especially ChatGPT, have remarkable potential in many areas such as clinical management, medical research, and medical education. However, considering the limitations of these technologies, it should be noted that they should not replace physician expertise (Jeyaraman et al., 2023). Therefore, both an enthusiastic and cautious approach should be adopted during the integration of AI into the healthcare system.

One of the most important advantages of ChatGPT is that it facilitates access to up-to-date information and increases patient participation. In addition, it can be used as a supportive tool that can reduce the workload of physicians in fields that require intense cognitive load, such as clinical and translational medicine (Jeyaraman et al., 2023). However, in this process, it is necessary to stay within ethical boundaries, evaluate practices regularly and make them adaptable to new situations. In order to achieve these goals, it is of great importance to continuously invest in scientific research.

ChatGPT plays an active role in time-consuming processes such as report writing, information simplification and decision support for physicians in clinical practice, speeding up and facilitating the process (Kung et al., 2023). However, AI models stand out not only for their speed but also for their objective and evidence-based data processing capacity, which reduces the risk of errors. Thanks to the ability to analyze complex patterns and relationships within large data sets, new medical insights can be obtained and it also helps in disease diagnosis and prognosis predictions (Xue, Lei, & Cho, 2023).

AI in Medical Specialties and Anatomy

Radiology is one of the areas of expertise where AI is used most frequently (66.7%). This is followed by robotic surgery (50%), pathology (33.3%), dermatology, microbiology and oncology (Kahraman et al., 2024). The common feature of these fields is that they include studies based on visual data analysis and spatial analysis. Especially in branches such as radiology and pathology, AI enables rapid and accurate identification of imaging-based anatomical structures. When evaluated in terms of clinical anatomy, these technologies make it easier for the physician to analyze anatomical structures in a clearer, more comparative and measurable way. However, despite this rapid development, issues such as the risk

of mechanization in the doctor-patient relationship, ethical concerns and professional role confusion are on the agenda (Kahraman et al., 2024). In these branches where knowledge of clinical anatomy is fundamental, the issue of whether AI systems can adequately recognize individual differences in human anatomy should be carefully considered.

Clinical Anatomy and AI in Digital Imaging Processes

In dentistry practice, it is seen that AI-supported systems directly affect clinical anatomical evaluations. The process of identifying anatomical structures such as the jaw, mandible, maxilla, and related neurovascular structures, especially on panoramic radiographs, can be time-consuming and interpretation-based with manual methods. For this reason, AI-supported automatic identification systems have been developed (Özcan, Karayılan, & Yılmaz, 2024). In studies where these systems were evaluated with statistical parameters such as accuracy, precision and sensitivity, high success was found for some anatomical structures, while low performance was reported for others. In terms of clinical anatomy, this situation shows that AI may be inadequate, especially when it comes to varying or complex structures. Therefore, model training should include detailed anatomical classifications and be supported by datasets that contain more examples and are rich in terms of age, gender and variation.

The contribution of large language models such as ChatGPT is also increasing in the field of anatomy education. Providing students with descriptive information about systems such as cranial nerves, vascular structures, and muscle groups, which are particularly challenging topics, facilitates learning (Lee, 2024). With interactive question-answer support, ChatGPT enables students to reinforce anatomical concepts that they have difficulty understanding with different forms of expression. From a clinical

anatomy perspective, thanks to such supporting tools, students can be more successful in reconciling their theoretical knowledge with clinical scenarios. However, it should not be forgotten that using these technologies independently of trainer guidance may lead to misinformation. Therefore, AI-powered tools such as ChatGPT should be guided under instructor supervision and in accordance with anatomy terminology.

Generally speaking, AI systems have become integrated into many medical processes that are directly related to clinical anatomy (Bhatt et al., 2022). However, this integration can only be effective if the systems are sensitive to anatomical diversity, fed with up-to-date morphological data, and used in an educationally controlled manner. Considering the importance of individual variations, pathological changes and surgical planning in clinical anatomy applications, the contributions of AI as well as its limits should be carefully evaluated.

Conclusion

In clinical and basic anatomy education, AI stands out as a powerful supporting tool that accelerates the learning process, facilitates access to information, and reinforces concepts. However, this technology is not yet fully reliable; the accuracy of the information presented still requires academic supervision and expert control.

Kaynakça

Abdellatif, H., Al Mushaiqri, M., Albalushi, H., Al-Zaabi, A. A., Roychoudhury, S., & Das, S. (2022). Teaching, learning and assessing anatomy with artificial intelligence: The road to a better future. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14209. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114209>

Arun, G., Perumal, V., Urias, F. P. J. B., Ler, Y. E., Tan, B. W. T., Vallabhajosyula, R., Tan, E., Ng, O., Ng, K. B., & Mogali, S. R. (2024). ChatGPT versus a customized AI chatbot (Anatbuddy) for anatomy education: A comparative pilot study. *Anatomical Sciences Education*, 17(7), 1396–1405. <https://doi.org/10.1002/ase.2502>

Bal, T. (2022). Antimikrobiyal direnç tehdidinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi. *Türkiye Klinikleri Infectious Diseases-Special Topics*, 15(3), 41–45.

Bhatt, P., Liu, J., Gong, Y., Wang, J., & Guo, Y. (2022). Emerging artificial intelligence–empowered mHealth: Scoping review. *JMIR mHealth and uHealth*, 10(6), e35053. <https://doi.org/10.2196/35053>

Chheang, V., Sharmin, S., Márquez-Hernández, R., Patel, M., Rajasekaran, D., Caulfield, G., ... & Barmaki, R. L. (2024, January). Towards anatomy education with generative AI-based virtual assistants in immersive virtual reality environments. In *2024 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and eXtended and Virtual Reality (AIxVR)* (pp. 21–30). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIxVR58341.2024.00012>

Chytas, D., Noussios, G., Paraskevas, G., Vasiliadis, A. V., Giovanidis, G., & Troupis, T. (2025). Can ChatGPT play a significant role in anatomy education? A scoping review. *Morphologie*, 109(365), 100949. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2024.100949>

Ganapathy, A., & Kaushal, P. (2025). Cognitive domain assessment of artificial intelligence chatbots: A comparative study between ChatGPT and Gemini's understanding of anatomy education. *Medical Science Educator*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40670-025-02050-9>

Jeyaraman, M., K. S. P., Jeyaraman, N., Nallakumarasamy, A., Yadav, S., & Bondili, S. K. (2023). ChatGPT in medical education and research: A boon or a bane? *Cureus*, 15(8), e44316. <https://doi.org/10.7759/cureus.44316>

Kahraman, F., Aktaş, A., Bayrakçeken, S., Çakar, T., Tarcan, H. S., Bayram, B., Durak, B., & Ulman, Y. İ. (2024). Physicians' ethical concerns about artificial intelligence in medicine: A qualitative study: “The final decision should rest with a human”. *Frontiers in Public Health*, 12, 1428396. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1428396>

Kung, T. H., Cheatham, M., Medenilla, A., Sillos, C., De Leon, L., Elepaño, C., ... & Tseng, V. (2023). Performance of ChatGPT on USMLE: Potential for AI-assisted medical education using large language models. *PLOS Digital Health*, 2(2), e0000198. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000198>

Lee, H. (2024). The rise of ChatGPT: Exploring its potential in medical education. *Anatomical Sciences Education*, 17(5), 926–931. <https://doi.org/10.1002/ase.2468>

Li, Y. S., Lam, C. S. N., & See, C. (2021). Using a machine learning architecture to create an AI-powered chatbot for anatomy education. *Medical Science Educator*, 31(6), 1729–1730. <https://doi.org/10.1007/s40670-021-01440-7>

Orhan, K. (2024). 3B modelleme ve tasarımda yapay zeka. Ankara: Türkiye Klinikleri Yayınevi, 12–14.

Özcan, T., Karayılan, R., & Yılmaz, S. (2024). Panoramik radyograflarda anatomik yer işaretlerinin yapay zeka destekli otomatik tespiti. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 40(3), 535–558.

<https://doi.org/10.48097/eurse.1320303>

Xue, V. W., Lei, P., & Cho, W. C. (2023). The potential impact of ChatGPT in clinical and translational medicine. Clinical and Translational Medicine, 13(3), e1216.

<https://doi.org/10.1002/ctm2.1216>

BÖLÜM 5

PLEXUS BRACHIALIS

Hakan Ocak¹

1. Giriş

Plexus brachialis, üst ekstremitenin innervasyonu ile ilgili olan sinir ağıdır. C5-C8 ve T1 spinal sinirlerin ramus anterior'larına bazen de C4 ve T2 spinal sinirlerin ramus anterior'larının bir kısmının katılmasıyla oluşur.

Plexus brachialis'in truncus, fasciculus ve terminal dalları denilen bölümleri vardır. C5 ve C6 servikal spinal sinirlerin ön dallarına bazen de C4 spinal sinirin ramus anterior'larının katılmasıyla truncus superior; C7'nin ön dalından truncus medius; C8 ve T1 spinal sinirlerin ramus anterior'larına bazen T2 spinal sinirin ramus anterior'unun katılmasından truncus inferior oluşur. Oluşan truncus'lar kısa bir seyirden sonra ön ve arka dallarına ayrılırlar. Truncus superior ve truncus medius'un ön dalları birleşerek fasciculus lateralis'i, truncus inferior'un ön dalı fasciculus medialis'i oluştururken; tüm truncus'ların arka dalları birleşerek fasciculus posterior'u oluşturur. Oluşan fasciculus'lardan üst ekstremitayı innerve edecek olan sinirlerin büyük bölümü çıkarken; bir kısmı ise radix'lerden ve truncus'lardan çıkar. Bahsedilen spinal sinirlerin ramus anterior'ları plexus'un radix'lerini oluşturur.

¹Dr.Öğretim Üyesi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı, e-mail: hocak06@gmail.com, ORCID ID 0000-0002-0288-4167

Clavicula ile yaptığı komşuluğa bağlı olarak plexus brachialis'in pars supraclavicularis ve pars infraclavicularis denilen bölümleri vardır. Pars infraclavicularis axilla'da yer alırken; pars supraclavicularis ise trigonum occipitale posterius'ta yer alır (Sargon, M.F. (2019)).

2. RADIX'LERDEN AYRILAN SİNİRLER

N. phrenicus'a katılan bir dal

M. longus colli ve skalen kasları innerve eden dallar

Nn. phrenici accessorii: Her zaman bulunmaz.

N. dorsalis scapulae: M. rhomboideus major, m. rhomboideus minor ve m. levator scapulae'yi innerve eder.

N. thoracicus longus: M. serratus anterior'u innerve eder.

3. TRUNCUS'LARDAN AYRILAN SİNİRLER

N. subclavius: M. subclavius'u innerve eder.

N. supraclavicularis: M. supraspinatus ve m. infraspinatus'u innerve eder. Ayrıca omuz eklemi ve scapula'ya sensitif dallar verir.

4. FASCICULUS'LARDAN AYRILAN SİNİRLER

4.1. Fasciculus Lateralis'ten Ayrılan Sinirler

Fasciculus lateralis'ten ayrılan sinirlerin hepsi C5, C6, C7 spinal sinirlerden köken alırlar. Bu fasciculus'tan ayrılan sinirler aşağıdaki gibidir:

N. pectoralis lateralis (C5, C6, C7): M. pectoralis major'u innerve eder.

N. musculocutaneus (C5, C6, C7): M. coracobrachialis, m. brachialis ve m. biceps brachii'yi innerve eder. Ayrıca önkolun lateralinin derisini innerve eder. Bu sinir m. coracobrachialis'i delen sinirdir.

N. medianus'un radix medialis'i (C5, C6, C7): N. medianus'un oluşumuna katılır (Yıldırım, M. (2018)).

4.2. Fasciculus Medialis'ten Ayrılan Sinirler

Fasciculus medialis'ten ayrılan sinirlerin hepsi C8, T1 spinal sinirlerden köken alırlar. Bu fasciculus'tan ayrılan sinirler aşağıdaki gibidir (Ozan, H. (2004)):

N. ulnaris (C8, T1): Dirsek eklemine kadar dal vermez. Sulcus nervi ulnaris'ten geçip; m. flexor carpi ulnaris'in iki başı arasından da geçerek önkola gelir. Dirsek eklemine verdiği sensitif dallar vardır. Ayrıca avuç derisinde dağılan dalları bulunur. Musküler dalları m. flexor carpi ulnaris'i ve m. flexor digitorum digitorum'un ulnar yarısını innerve eder. 4. ve 5. parmağın derisinin bir kısmını innerve eden dalları vardır. Hypothenar kasları da innerve eden dalları bulunur.

N. medianus'un radix medialis'i (C8, T1): N. medianus'un oluşumuna katılır.

N. cutaneus brachii medialis (C8, T1): Kolun medial kısmındaki deriyi innerve eder.

N. cutaneus antebrachii medialis (C8, T1): Önkolun medialindeki deriyi innerve eder. Ayrıca kolda m. brachialis'in üzerini örten deride dağılır.

N. pectoralis medialis (C8, T1): M. pectoralis major ve m. pectoralis minor'u innerve eder.

4.3. Fasciculus Posterior'dan Ayrılan Sinirler

Fasciculus posterior'dan ayrılan sinirler C5-T1 spinal sinirlerden köken alıp; bu kökenlerin hepsi birbirleriyle aynı değildir. Bu fasciculus'tan ayrılan sinirler aşağıdaki gibidir (Arıncı, K. Elhan, A. (2020)):

Nn. subscapulares (C5,C6): M. subscapularis'i ve m. teres major'ü innerve eder.

N. throacodorsalis (C6, C7, C8): M. latissimus dorsi'yi innerve eder.

N. axillaris (C5, C6): M. teres minor'u, m. deltoideus'u ve m. deltoideus'un üzerindeki küçük bir deri bölgesini innerve eder.

N. radialis (C5,C6, C7, C8, T1): Kolun arkasındaki ve önkolun arkasındaki kasların tümünü innerve eder. Ayrıca kolun arkası ve laterali ile önkolun arkasındaki deriyi innerve eder. Elin dorsal yüzünün laterali ile parmakların dorsal yüzünün derisinde dağılan dalları vardır

5. KLİNİK BİLGİLER

Plexus brachialis'in **truncus superior**'unun zedelenmesi durumunda **Erb-Duchenne felci** meydana gelir. Ortaya çıkan bu tabloda, kolun ve önkolun lateral bölümünde duyu kaybı oluşur. Ayrıca kolun dış rotasyon yaptıran kasları, önkolun ve elin fleksör kaslarının etkilenmesi sonucunda bahşiş bekleyen garson eli şeklinde bir patoloji ortaya çıkar. Kolda abduksiyon, fleksiyon ve dış rotasyon kaybı olur.

Truncus inferior'un zedelenmesi durumunda ise **Klumpke felci** meydana gelir. Bu tabloda belirgin olarak n. ulnaris ve n. medianus zedelenmesine bağlı bulgular ön plandadır. Kişide pençe el durumu ortaya çıkar. Ayrıca 4. ve 5. parmaklarda hem dorsal hem de

palmar yüzde duyu kaybı görülür. Truncus inferior yaralanmalarında n. ulnaris'e ek olarak n. pectoralis medialis de zedelenebilir. Bunun sonucunda da kolun adduksiyonu zayıflar. N. cutaneus brachii medialis ve n. cutaneus antebrachii medialis etkilendiğinden kolun ve önkolun medial kısmında duyu kaybı meydana gelir (Sınav, A. (2025)).

Truncus medius'un tek başına zedelenmesi ise nadir görülmekte olup; bu durumda daha çok n. radialis etkilenir. Bu durum ise önkol, el ve parmakların ekstansiyonunda zayıflamaya yol açar. En belirgin fonksiyon kaybı m. triceps brachii'de gözlenir (Taner D. (2013)).

N. thoracicus longus: Bu sinir zedelenirse, kişi kollarını duvara dayadığı zaman ipsilateral tarafta scapula'nın thorax duvarına tespit edilmesi mümkün olmaz ve kanat scapula (winged scapula) denilen durum ortaya çıkar.

N. suprascapularis: N. suprascapularis zedelenirse m. supraspinatus ve m. infraspinatus çalışamaz. Dolayısıyla kolun ilk 15°'lik abduksiyonu yapılamaz ve kolun dış rotasyonu biraz zayıflar.

N. axillaris: N. axillaris lezyonunda kolun abduksiyonu önemli derecede kısıtlanır ve omzun dış tarafında deriden duyu alınamaz. Lezyon uzun süreli olursa m. deltoideus atrofiye olur omzun şekli kaybolur.

N. musculocutaneus: Bu sinirin zedelenmesi durumunda kolun ön bölgesindeki kasların çalışmamasına bağlı olarak kolun fleksiyonu bir miktar zayıflarken; önkolun flkesiyonu ve supinasyonu önemli derecede zayıflar. Ayrıca önkolun ön ve lateral kısmından deri duyusu alınamaz.

N. medianus: N. medianus'un zedelenmesi durumunda elin lateral yarımında üç parmakta duyu kaybı meydana gelir. Ayrıca bu bölgeye gelen fleksör kaslar etkileneceğinden dolayı **maymun eli**

denilen durum ortaya çıkar. Bu sinirin karpal tünel (canalis carpi) içerisinde sıkışması sonucu karpal tunnel sendromu ortaya çıkar. Bu sendromda, ilk olarak şiddetli ağrı, parestezi ve thenar bölge kaslarında zayıflık ortaya çıkar. Daha sonra elin palmar tarafında lateralde ilk 3 parmağın tümünde ve 4. parmağın lateral yarısında duyu kaybı ortaya çıkar ve thenar bölge kaslarında atrofi meydana gelir. Ayrıca elin palmar kısmının lateral tarafında duyu kaybı ortaya çıkar.

N. ulnaris: En sık görülen n. ulnaris zedelenmesi epicondylus medialis seviyesinde olan zedelenmelerdir. Bu seviyedeki zedelenmelerde el bileğinde fleksiyon ve ulnar adduksiyon zayıflığı meydana gelir. Kişi yumruk yapmada zorlanır. Parmakların adduksiyon ve abduksiyon hareketleri yapılamaz. Başparmak adduksiyonu ortadan kalkar. İki parmak arasına sıkıştırılan kağıt çekildiğinde kişi bunu engelleyemez. Ayrıca **pençe el** görünümü olur. Elin palmar ve dorsal kısımlarının medial yüzlerinde 4. parmağın yarısı ile 5. parmağın tamamında duyu kaybı meydana gelir. El bileği seviyesindeki n. ulnaris zedelenmelerinde ise el bileğinin fleksiyonu ile ulnar adduksiyonu ve parmakların fleksiyon hareketleri sağlam kalır.

N. radialis: Axilla bölgesindeki lezyonda diresek ekstansiyonu ve triceps refleksinde zayıflama meydana gelir. Humerus gövdesi veya dirsek bölgesindeki lezyonlarda **düşük el** sendromu ortaya çıkar. Ayrıca parmak ve başparmak ekstansiyonu ile ekstansiyon durumundaki kolun supinasyonunda zayıflama vardır. Önkolun arka kısmında, parmaklar arasında ve elin radial tarafındaki iki buçuk parmağın sırt tarafında duyu azalması görülür. Eğer sadece r. profundus m. supinator'den geçtiği esnada sıkışırsa duyuusal hasarlar meydana gelmez. R. profundus lezyonunda düşük el sendromu da meydana gelmez. Yumruğu güçlü şekilde kapatmak mümkün olmaz. R. superficialis el bileği eklemi seviyesinde zedelenirse, motor kayıp meydana gelmez fakat parmaklar

arasındaki ilk alanda ve elin lateral kısmının dorsal tarafında iki buçuk parmakta duyu azalması meydana gelir (Taner D. (2013)). .

Kaynaklar:

Sargon, M.F. (2019). *Anatomi Akıl Notları*. (2. Baskı). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri

Taner D. (2013). *Fonksiyonel Anatomi-Ekstremite ve Sırt Bölgesi* (7. Baskı). Ankara: HYB Basım Yayın

Yıldırım, M. (2018). *Temel Nöroanatomi*. (4. Baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri

Sınav, A. (2025). *SNöroanatomi*. İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi

Arıncı, K. Elhan, A. (2020). *Anatomi*. 2. Cilt, (7. Baskı). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri

Ozan, H. (2004). *Ozan Anatomi*. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri

BÖLÜM 6

BÖLÜM I

KULAK (İŞİTME VE DENGE ORGANI)

Ayla ARSLAN¹

Giriş

Kulak (auris) yaşadığımız ortamdaki ses dalgalarını toplayan, oluşan uyarıları alan ve kortikal merkezlere ileten organdır. Kulak işitme ve denge organı olarak işlev görür. Kulak anatomik olarak; dış kulak (auris externa), orta kulak (auris media) ve iç kulak (auris interna) olarak üç kısımda incelenir. Dış ve orta kulak yalnızca işitmeyle ilgili yapılar içerir, iç kulak hem denge hem işitmeyle ilgili yapılar bulundurur (Unur, Ülger & Ekinci, 2015).

¹ Dr.Öğretim Üyesi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı, e-mail: aaylaarslan@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-5859-7784

1. Dış kulak (Auris externa): Dış kulak yolu (meatus acusticus externus) ve kulak kepçesi (auricula) olarak iki kısımdan oluşur.

a. Kulak kepçesi (Auricula): Başın yan tarafındadır ve dışarıdaki ses titreşimlerini toplar. Büyüklük ve şekli kişiler arasında değişkendir (Sınav, 2025).

Helix kulak kepçesini dıştan sınırlayan kenardır. Antihelix ise helix'in önündeki ve ona paralel çıkıntıdır. Helix ile antihelix arasında scapha olarak adlandırılan yapı yer alır. Ortadaki dış kulak yoluyla devam eden çukura concha auriculae denilir. Bu çukurun ön kısmında tragus denen yapı vardır ve bunun üzerinde yetişkin erkeklerde tragi olarak adlandırılan kıllar yer alır (Unur, Ülger & Ekinci, 2015).

Lobulus auriculae kulak kepçesinin alt ucundaki yumuşak yapıdır ve burada kıkırdak bulunmaz, yağ dokusu ile gevşek bağ dokusu yer alır (Arıncı & Elhan, 2020).

b. Dış kulak yolu (Meatus acusticus externus): Yaklaşık 2.5-3 cm uzunluğunda olup concha auricularis'ten membrana tympani'ye kadar uzanan kemik ve kıkırdaktan meydana gelen kısımdır.

Dış kulak yolu düz değildir, S harfi şeklindedir ve ince deriyle örtülüdür. Dış kulak yolundaki serumen (kulak kiri) denen madde ölü epitel hücrelerinin ve gll. ceruminosae olarak adlandırılan bezlerin salgısından oluşur (Denk, 2024).

2. Orta kulak (Auris media): Temporal kemik içinde yer alır. Timpan zarı vasıtasıyla dış kulaktan ayrılır ve östaki borusu (tuba auditiva) ile de nasopharynx'le bağlantı sağlar. Orta kulak timpan

boşluğu, cellula mastoidea ve antrum mastoideum ve östaki borusundan oluşur.

Timpan boşluğu (Cavitas tympanica): Timpan zarıyla iç kulak arasındaki aralıktır. Bu boşlukta üst, alt, dış, iç, arka ve ön olarak altı duvar yer alır (Sargon, 2019).

1. Üst duvarı (paries tegmentalis) kafatası boşluğuyla komşudur. Orta kulaktaki enfeksiyon bu duvarla temporal lob ve beyin zarlarına ulaşabilir.

2. Alt duvarı (paries jugularis) ise fossa jugularis'le komşudur.

3. Ön duvar (paries caroticus) canalis caroticus'la komşuluk yapar ve üst kısmında Östaki borusu'nun ağzı ve buranın üzerinde de semicanalis musculi tensoris tympani bulunur (Denk, 2024).

4. Arka duvar (paries mastoideus) da eminentia pyramidalis denilen çıkıntı ve içerisinde m. stapedius denilen kas yer alır. Bu duvarın arka-üst kısmındaki boşluklara antrum mastoideum ve cellula mastoidea denilir.

5. Dış duvarın (Paries membranaceus) büyük bölümünü timpan zarı (membrana tympanica) ile zarın yapıştığı kemik halka oluşturur (Sınav, 2025).

Kulak zarı (Membrana tympanica): Orta kulak ve dış kulak arasındaki sınırı oluşturur. 45°'lik açıyla konumludur ve ışıkla bakıldığında sedef renginde görülür. Zarın ortasına umbo membrana tympanica denir ve içe çöktür. Kulak kemikçiklerinden malleus'un sap kısmı kulak zarının içerisine gömülü olarak bulunur. Zarın üst kısmına pars flaccida, alt bölümüne de pars tensa denilir.

Politzer üçgeni pars tensa'da umbo'dan öne aşağı doğru olan üçgen alandır (Arıncı & Elhan, 2020).

6. İç duvar (paries labyrinthicus), bu duvarda pek çok girinti, çıkıntı bulunur ve orta kulağı iç kulaktan ayırır. Promontorium ile tympan zarı arası iç duvarla dış duvar arasındaki en kısa mesafedir. Promontorium iç duvarda kulak zarının karşısındaki kabartıdır. Promontorium'un arka-üst tarafındaki delik fenestra vestibuli (oval pencere) olarak adlandırılır. İç kulaktaki vestibulum'a açılan bu delik stapes'in tabanıyla kapatılmıştır. Promontorium'un arka-alt kısmındaki yuvarlak delik fenestra cochleae (yuvarlak pencere) olarak adlandırılır. İç kulaktaki cochlea'ya açılan bu delik membrana tympani secundaria denen zarla kapatılmıştır (Sargon, 2019).

Kulak kemikcikleri (Ossicula aditus): Malleus, incus ve stapes denilen orta kulak boşluğunda bulunan ve oynar eklemler vasıtasıyla birbirine bağlanan üç adet kemikçik bulunmaktadır. Fenestra vestibuli aracılığıyla tympan zarındaki ses titreşimlerini iç kulaktaki ses duyusunu alan özel hücrelere ve perilympha denen sıvıya aktarır. Ayrıca orta kulakta m. stapedius ve m. tensor tympani denen çizgili kaslar yer almaktadır (Arıncı & Elhan, 2020).

Östaki borusu (Tuba auditiva): Dışardaki atmosfer basıncıyla orta kulak boşluğundaki hava basıncının eşit olmasını sağlayan, timpan boşluğunu nasopharynx'e bağlayan yapıdır. Bu yapı dıştan içe, yukarıdan aşağıya ve arkadan öne doğrudur. Duvarlarının iç 2/3 kısmı bağ ve kıkırdak yapıdan, dış 1/3'lük kısmı kemiktendir. Timpan boşluğundaki delik ostium thympanicum tuba auditivae,

nasopharynx'e açılan delik ostium pharyngeum tuba auditivae olarak adlandırılır. Bu delik üzerinde tonsilla tubaria denen lenfoid yapı yer alır (Yıldırım, 2024).

3. İç kulak (Auris interna): Ses duyusu ve vücudumuzun dengesiyle ilgili özel duyu hücreleri içeren, temporal kemiğin petroz parçasında yer alan kısımdır. İç kulakta, dolambaçlı yollar ve bunları birbirine bağlayan kanallar bulunur. Bu kanallar labyrinthus olarak adlandırılır ve kemik labirent (labyrinthus osseus) ile zar labirent (labyrinthus membranaceus) olarak iki parçadan meydana gelir (Yıldırım, 2024).

A. Labyrinthus osseus (Kemik labirent): Kapsül gibi zar labirenti saran ve yapı olarak vücudun dışlardan sonraki en sert yapısıdır. Kemik ve zar labirent arasında yer alan boşlukta perilympa denen sıvı bulunur. Cochlea, vestibulum ve canales semicirculares ossei olarak üç parçadan meydana gelmektedir (Gökmen, 2003).

a. Vestibulum: Kemik labirentin ortasındaki oval şekildeki boşluktur. Arkada semicircular kanallarla, önde cochlea ile birleşir. Sacculus ve utriculus olarak adlandırılan gövde dengesiyle alakalı olan yapılar bu boşlukta yer alırlar. Tympan boşluğuyla vestibulum arasındaki delik fenestre vestibuli'dir. Semicircular kanallar vestibulum'a açılır.

b. Canales semicirculares: Bu kanallar yarım daire şeklindedir ve vestibulum'un arka üst bölümüne açılırlar. Birbiriyle dik açı yapan, canalis semicircularis anterior, lateralis ve posterior olarak üç adet

yarım daire kanalı bulunur. Ampulla ossea denen kanalların ucunda geniş bölüm bulunur. Crus simplex denen diğer uçları düz yapıdadır.

c. Cochlea: İşitmeyle ilgili yapılar vardır ve kendi üzerine 2.5 kez kıvrılan salyangoz gibidir. Vestibulumun ön iç tarafında bulunur. Cochlea'nın iç kulak yolunun dibinde yer alan taban kısmı (basis cochleae) ile ön ve dışa bakan tepe kısmı (cupula cochleae) bulunur. Eksenini yapan merkezi kemik yapısı modiolus olarak adlandırılır ve içinde tepeden tabana uzanan canales longitudinales modioli denilen kanacıklar yer alır. Cochlea'nın tabanından tepesine uzanan kemik kanal canalis spiralis cochleae olarak adlandırılır. Bunun üst parçası vestibulum'a açıldığından scala vestibuli, alt parçası fenestra cochleae vasıtasıyla tympan boşluğuyla bağlantıyı sağladığından scala tympani olarak isimlendirilir. İki skalayı cochlea'nın tepe kısmında birleştiren delik helicotrema'dır (Gökmen, 2003).

Scala tympani'nin fenestra cochleae'ya yakın kısmındaki kanalcık fossa jugularis'e apertura externa canaliculi cochleae denen yapıyla bağlıdır. Aquaductus cochleae denen yapı bu kanal içerisinde yer alır. Böylece subarachnoid aralıktaki BOS'la perilympha bağlantıyı sağlar.

Meatus acusticus internus denen kanal iç kulağı fossa crani media'ya bağlar. Porus acusticus internus ise kanalın fossa crani posterior'a açılan kısmıdır (Yıldırım, 2024).

B. Labyrinthus membranaceus (Zar labirent): Kemik ve zar labirentin arasındaki boşlukta perilympha denen sıvı bulunur. Zar labirentte ise endolympha denen sıvı vardır. Zar labirentin vücut

dengesiyile olan kısımları utriculus ve sacculus denen iki kesecik ile ductus semicircularis denen üç yarım daire kanalıdır (Unur, Ülger & Ekinci, 2015).

Ductus semicircularislerin içini endolympha denilen sıvı doldurur. Zar kanalların bir ucunda ampulla membranaceae denen şişkin yapı yer alır ve gövde dengesiyile alakalı hücreler burada bulunur. Zar ampullaların kemik ampullaya yapıştığı bölümde crista ampullaris denen çıkıntı yer alır. Burada n. vestibularis'in lifleri sonlanmaktadır. Crista ampullaris üzerinde cupula denen jelatinöz yapı vardır. Eksenleri etrafında semisirküler kanallar hareket ettiklerinde aynı hızda endolenf sıvısı hareket edemez ve geride kalır. Böylece cupula içindeki tüycükleri başın hareketinin zıt yönünde eğer ve hassas hücrelerce impulsa dönüştürülür ve n. vestibularis vasıtasıyla beyine iletilmektedir (Gökmen, 2003).

Utriculus, oval şekildedir ve recessus ellipticus denen çukurda vestibulum'un iç duvarında yer alır. Buraya ductus semicirculares'ler açılmaktadır. Utriculus'un recessus ellipticus'a yaslanan duvarının iç kısmında macula utriculi denen küçük alan yer alır. Buradan n. vestibularisin n. utricularis kısmı duyu almaktadır. Utriculus'un gövde dengesiyile alakalı özel hücreleri burada yer almaktadır. Ductus utriculosaccularis denen kanal utriculusu ductus endolymphaticus'a bağlamaktadır ve böylece utriculus ile sacculus birbirlerine bağlanmaktadır (Yıldırım, 2024).

Sacculus, utriculus'a göre daha yuvarlak, küçüktür ve recessus sphericus'ta yer alır. Recessus sphericus'a bitişik iç kısmında macula

sacculi denen, dengeyle alakalı özel hücrelerin olduğu alan bulunur. N. vestibularisin n. saccularis dalı buradan duyu alır. Sacculusun arka bölümünden çıkan ductus endolymphaticus, ductus utriculosaccularis'le birleşir. Ductus endolymphaticus pyramisin arka iç kısmındaki saccus endolymphaticus'a açılır. Sacculus ile ductus cochlearis'i birleştiren kanal ductus reuniens (Hensen kanalı) olarak adlandırılır. Utriculus ve sacculus'un maculalarındaki hücrelerin siliaları üzerinde otolith denen ve kalsiyum karbonat kristallerinden meydana gelen parçalar bulunur. Macullardaki hücreler endolympha'nın ve otolithlerin hareketine duyarlıdır. Ayrıca başın uzaydaki statik pozisyonunu bu hücreler algılamaktadır (Arıncı & Elhan, 2020).

Ses duyusuyla ilgili olan kısımları ise ductus cochlearis denen oluşumdur. İçinde yer aldığı spiral kanala benzer şekilde 2,5 defa kıvrılarak cochlea'nın taban kısmından tepesine dek uzanır ve kör bir uçla sonlanır. Bu kanal scala tympaniyle scala vestibuli arasında, taban bölümü canalis spiralis cochleae'ya yaslanmış biçimdedir. Ses duyusunu alan özel hücreleri içeren organum spirale (corti organı) alt duvarı (lamina basilaris) üzerindedir. Corti organında duyu ve destek hücreleri hücreleri yer alır. Epitel hücrelerin farklılaşmasıyla oluşan yapıya membrana tectoria denilmektedir. (Arıncı & Elhan, 2020).

Kaynaklar

- Arıncı, K. Elhan, A. (2020). *Anatomi*. 2. Cilt, (7. Baskı). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri
- Denk, C.C. (2024). *Sistematik Bir Çırpıda Anatomi*. Ankara: Palme yayınevi
- Gökmen, F.G. (2003). *Sistematik Anatomi*. İzmir: İzmir Güven Kitabevi
- Ozan, H. (2004). *Ozan Anatomi*. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri
- Sargon, M.F. (2019). *Anatomi Akıl Notları*. (2. Baskı). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri
- Sınav, A. (2025). *SNöroanatomi*. İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi
- Unur, E. Ülger, H, Ekinci, N. (2015). *Anatomi*. Kayseri: Kıvılcım Kitabevi
- Yıldırım, M. (2024). *İnsan Anatomisi*. (12. Baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri

BÖLÜM 7

BÖLÜM II

PLEXUS CERVICALES

Ayla ARSLAN¹

Giriş

İlk dört servikal spinal sinirin ön dalının birleşmesiyle oluşmaktadır. Bu pleksus m. sternocleidomastoideus'un altında, m. scalenus medius ve m. levator scapula'nın başlangıç bölümleri arasında yer alır. Ön dalların (birincisi hariç) tekrar üst ve alt dallara ayrılarak birbirleriyle birleşmesiyle üç halka oluşmaktadır. Plexus cervicalis'ten ayrılan dallar boyun ile baş derisinin duyu innervasyonuna, boyun ve baş kaslarında motor innervasyonuna

¹ Dr.Öğretim Üyesi, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı, e-mail: aaylaarslan@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-5859-7784

katılırlar. Kranial sinirlerle bağlantı sağlayan dalları da bulunmaktadır (Sınav, 2025).

A. Plexus cervicalis'in deri dalları

Plexus cervicalis'in deri dallarına boyun yüzeyel pleksus'u da denilmektedir. Bu sinirler m. sternocleidomastoideus'un arka kenarının ortasına yakın yerde yüzeye çıkarlar. Sinirlerin birbirine yakın yüzeyelleştiği yere punctum nervorum adı verilmektedir (Denk, 2024).

Plexus cervicalis'in deri dalları:

1-N. occipitalis minor (C2)

2-N. auricularis magnus (C2, C3)

3-N. transversus colli (cervicis) (C2, C3)

4-Nn. supraclaviculares (C3,C4) (Ozan, 2004).

1-N. occipitalis minor (C2): Bu plexus'un deri dallarından en ince olanıdır. M. sternocleidomastoideus'un arka kenarının orta kısmından (punctum nervorum) çıkar, yukarı ve arkaya gider. Processus mastoideus'a doğru yüzeyelleşir ve processus mastoideus'u ile kulak kepçesinin arka kısım derisine sensitif dallar verir. N. occipitalis minor'un n. occipitalis majör, n. auricularis magnus ve n. facialis'in r. auricularis posterior dalı ile bağlantısı bulunur (Yıldırım, 2018).

2-N. auricularis magnus (C2, C3): M. sternocleidomastoideus'un arka kenarından yüzeyelleşir ve kasin üzerinde yukarı seyreder. Glandula parotidea, angulus mandibulae ile kulağın yüzlerini örten deri kısmına sensitif dallar vermektedir.

3-N. transversus colli (C2, C3): N. auricularis magnus'un alt kısmında, m. sternocleidomastoideus'un arka tarafından (punctum nervorum) yüzeye çıkarak kasın üzerinde öne ilerler ve boyunun öni dış ve üst bölümündeki deride dağılmaktadır.

4-Nn. supraclaviculares (C3, C4): M. sternocleidomastoideus'un arka kenarının orta kısmına (punctum nervorum) geldikten sonra aşağıya ilerler. Platysma'yı deler ve yüzeyelleşir. Burada nn. supraclaviculares intermedii, nn. supraclaviculares mediales ve nn. supraclaviculares laterales diye üç dala ayrılmaktadır.

a. Nn. supraclavicularis mediales: Clavicula üzerinden geçer ve göğüs ön duvarı üst kısmındaki deri bölgesinde dağılırlar.

b. Nn. supraclavicularis intermedii: Clavicula orta kısmında yüzeyel olan dallar clavicula ile m. pectoralis major ve m. deltoideus'un claviculaya yakın kısımlarındaki deride dağılırlar.

c. Nn. supraclaviculares laterales: Clavicula dış uç kısmını çaprazlayarak omzun arka üst bölümündeki deri kısmında dağılırlar (Arıncı & Elhan, 2020).

B. Plexus cervicalis'in kaslara giden dalları

Bu sinirlerin bazıları kısadır ve boyundaki kasları innerve ederler. Bazılarıda baya uzun dallardır (n. phrenicus) ve diğer yerlerdeki kasların innervasyonunu sağlarlar.

1. M. rectus capitis anterior ve m. rectus capitis lateralis (C1.C2)

2. M. longus colli ve m. longus capitis (C1)

3. M. geniohyoideus, m. thyrohyoideus ve m. omohyoideus'un venter superior'una (C1, C2)

4. M. sternothyroideus, m. sternohyoideus ile m. omohyoideus'un venter inferior kısmına (C2, C3)

5. Diaphragma'ya n. phrenicus (C3, C4, C5)

6. M. sternocleidomastoideus'a n. accessorius aracılığıyla (C2, C3)

7. M. trapezius'a n. accessorius aracılığı ile (C2, C3)

8. M. trapezius'a n. accessorius aracılığı ile (C3, C4)

9. M. levator scapulae'ye n. dorsalis scapulae aracılığı ile (C3, C4) (Arıncı & Elhan, 2020).

1. M. rectus capitis anterior ve m. rectus capitis lateralis, C1 ile C2'nin meydana getirdiği halka yapıdan çıkan dal innervasyonunu sağlar.

2. M. longus colli'ye C1, C2 ve C3' den, m. longus capitis'e C2, C3 ve C4' den somatomotor dallar gelmektedir.

3. M. thyrohyoideus, m. geniohyoideus ile m. omohyoideus'un venter superior'unun somatomotor innervasyonu n. hypoglossus aracılığı ile plexus cervicalis'in C1-C2 dallarından gelmektedir.

R. descendens hypoglossi ya da radix anterior denen bu dal jugularis interna ile a. carotis communis'in yüzeysel kısmında C2-C3'ten gelen dalla (radix posterior ya da a. r. descendens cervicalis) birleşerek ansa cervicalis denen yapıyı oluştururlar (Arıncı & Elhan, 2020).

Ansa cervicalis: N. hypoglossus'tan ayrılan radix anterior (r. descendens hypoglossi) ile, plexus cervicalis'ten ayrılan radix posterior (r. descendens cervicalis)'in m. omohyoideus'un ara kirişi hizasında birleşmesiyle oluşan sinir halkasına ansa cervicalis denir.

Bu halka a. carotis communis ve v. jugularis internanın yüzeyinde carotis kılıfının üzerinde bulunur (Gökmen, 2003).

4. M. sternohyoideus, m. sternothyroideus ve m. omohyoideus'un venter inferior kısmına (C2-C3) ansa cervicalis'ten dallar alır. C2 ile C3. spinal sinirlerin ön dalları m. sternocleidomastoideus'a C3 ve C4'ün ön dalları da m. trapezius'a proprioseptif lifler taşımaktadırlar.

5. N. Phrenicus (C3-C5): Diaphragma'ya motor ve duyuşal lifler göndermektedir. Esas olarak C4'ten gelen liflerle oluşun n. phrenicus'a C3 ve C5'ten lifler katılır.

M. scalenus anterior'un ön kısmında dıştan içe dikey uzanır. Bu seyri esnasında m. sternocleidomastoideus'un ve m. omohyoideus'un alt karnının altından geçer. N. phrenicus, göğüs boşluğuna v. subclavia ile a. subclavia arasından geçerek girer. A. thoracica interna'nın başlangıç kısmını çaprazladıktan sonra a. pericardiophrenica'yla birlikte göğüs boşluğunda ilerler. Cupula pleurae üst kısmından ve radix pulmonis'in ön kısmından geçer, pleura mediastinalis ve pericardium arasından aşağıya uzanır. Diaphragma'ya gelince pekçok dala ayrılmaktadır (Yıldırım, 2018).

Sağ n. phrenicus: Göğüs boşluğunda sol n. phrenicus'tan derinde, daha kısa ve dikey olarak uzanmaktadır. Göğüs boşluğunun üst kısmında v. cava superior ile v. brachiocephalica dextra'nın dış yanında aşağıya doğru iner. Sağ akciğerin radix pulmonis'in önünden geçerek pericardium'un sağ tarafında uzanır. Sinirin dalları foramen vena cavae'den geçerek karın boşluğuna girer. Centrum

tendineum'un alt tarafındaki peritoneum parietale'nin innervasyonunu sağlamaktadır (Yıldırım, 2024).

Sol n. phrenicus: Kalbin göğüs boşluğunun sol kısmında bulunmasından dolayı kalbin kavsine uyarak aşağıya uzanmaktadır. Bu nedenle sağdakinden uzundur. Boyun kökünde ductus thoracicus tarafından çaprazlanır. A. subclavia sinistra ile a. carotis communis sinistra arasından mediastinum superius'ta ilerler. Arcus aortae'yı n. vagus'un solunda ilerlerken çaprazlar.

Sol akciğerin radix pulmonis'in önünden geçer ve pericardium'un sol yüzünde aşağıya inmektedir. Diaphragma'ya dallarını verir ve kas ile altında bulunan peritoneum'un innervasyonunu sağlar. Diaphragma lifleri arasından karın boşluğuna giden dalları dalak kapsülü ve mide fundus'unun duysal innervasyonunu sağlamaktadır (Yıldırım, 2018).

N. phrenicus'un dalları

a. R. pericardiacus: Pericardium'un üst kısmından duyu alan dallardır.

b. Rr. phrenicoabdominales: Diaphragma'yı örten peritoneum parietale'ye sensitif dallar ve diaphragma'ya somatomotor dallar vermektedir. Diaphragma'dan ayrı ayrı lifler şeklinde geçmeleri bu dalların özelliğidir.

c. Rr. pleurales: Akciğerin üst bölümünü örten pleura parietalis kısmından duyu alan liflerdir.

d. N. phrenicus accessorius: Her zaman bulunmayan bir sinirdir. M. subclavius'a giden sinirden ya da C5'ten ayrılan bir dal şeklinde

görülür. Daha sonra boyun kökünde veya göğüs boşluğunda n. phrenicus'a katılır (Arıncı & Elhan, 2020).

N. phrenicus'a ait lifler beyinde çapraz yapmazlar. N. phrenicus göğüs boşluğunda bulunan tümöral yapıların sinire dağılması veya cerrahi girişim esnasında kesilmesine bağlı olarak felce uğrayabilir. Böyle bir durumda diaphragma kubbesi düzleşir ve hareketsiz hal alır.

6. M. sternocleidomastoideus'a n. accessorius aracılığı ile (C2, C3)
7. M. trapezius'a n.accessorius aracılığıyla (C2,C3)
8. M. scalenus medius'a n.accessorius aracılığı ile (C3,C4)
9. M. levator scapulae'ye n.dorsalis scapulae aracılığı ile (C3,C4) (Arıncı & Elhan, 2020).

C. Plexus cervicalis'in kranial sinirlerle bağlantı kuran dalları:

1. N. vagus'la bağlantı dalı (C1, C2): C1 ve C2'nin meydana getirdiği halka ve n. vagus'un ganglion inferior'u arasında bir bağlantı dalı bulunmaktadır.
2. N. accessorius'la bağlantı dalı (C2, C3, C4): Plexus cervicalis'ten pekçok bağlantı dalı ayrılmaktadır.
3. N. hypoglossus'la bağlantı dalı (C1, C2): C1 ve C2'nin meydana getirdiği halka kısmından ayrılan dallar n. hypoglossus'la beraber aşağı doğru uzanarak v. jugularis interna üzerinden aşağı inmektedir. Radix anterior (R. descendens hypoglossi) denen dal ansa cervicalis yapısına katılarak boyunun ön tarafındaki kaslara somatomotor lifler verir.

N. hypoglossus ile bağlantı dalı (C1, C2) (Arıncı & Elhan, 2020).

Kaynaklar

- Arıncı, K. Elhan, A. (2020). *Anatomi*. 2. Cilt, (7. Baskı). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri
- Gökmen, F.G. (2003). *Sistematik Anatomi*. İzmir: İzmir Güven Kitabevi
- Ozan, H. (2004). *Ozan Anatomi*. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri
- Sargon, M.F. (2019). *Anatomi Akıl Notları*. (2. Baskı). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri
- Sınav, A. (2025). *SNöroanatomi*. İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi
- Unur, E. Ülger, H, Ekinci, N. (2015). *Anatomi*. Kayseri: Kıvılcım Kitabevi
- Yıldırım, M. (2024). *İnsan Anatomisi*. (12. Baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri
- Yıldırım, M. (2018). *Temel Nöroanatomi*. (4. Baskı). İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri

Büyükbaş Hayvanlarda Sürü Takip Sistemleri ve Yenilikçi Sistemlerin Fertilite Üzerine Etkisi

Fatih Yücel¹ Fırat Can Temur² İsmail İlker Kocaer³ Gökhan Bozkurt⁴

¹Vet. Hek.Fatih YÜCEL Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Burdur /Türkiye ORCID: 0009-0008-3292-3391 mail: vethekfatihyucel@gmail.com

² Vet. Hek.Fırat Can TEMUR Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Burdur /Türkiye ORCID: 0009-0005-4836-3534 mail: firatcantemur07@gmail.com

³ Vet. Hek.İsmail İlker KOCAER Selçuk Üniversitesi Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı Konya /Türkiye ORCID: 0009-0007-5387-0375 mail: ilkerkocaer@atasancak.com.tr

⁴ Doç. Dr.Gökhan BOZKURT Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Doğum ve jinekoloji Anabilim Dalı Burdur /Türkiye ORCID: 0000-0003-1837-4492 mail: gokhanbozkurt325@gmail.com

1. Giriş

Süt sığırcılığı, hayvancılık sektöründe ekonomik sürdürülebilirliği belirleyen en kritik üretim alanlarından biri olarak kabul edilmektedir (Walsh ve ark., 2011). Sürü yönetiminde karşılaşılan başlıca sorunlardan biri ise, kızgınlık dönemlerinin zamanında ve doğru biçimde tespit edilememesidir (Roelofs ve ark., 2010). Kızgınlık (östrus) döneminde yapılan suni tohumlama uygulamalarının zamanlaması, kızgınlık dönemlerinin atlanmasıyla birlikte gebelik oranlarında düşüş görülmektedir (Knight, 2020).

Geleneksel kızgınlık tespit yöntemleri, çoğunlukla üretici gözlemlerine ve deneyimlerine dayalıdır ve sınırlı insan kaynağı ile büyük sürülerin yönetilmesinde yetersiz kalabilmektedir (Firk ve

ark., 2002). Özellikle “gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları” gibi davranışsal belirtilerin görülmediği durumlarda, klasik yöntemlerle doğru tespit oranı ciddi şekilde düşmektedir (Van Eerdenburg ve ark., 2002). Ayrıca gözlemci faktörü, çevresel stres etmenleri ve sürü büyüklüğü gibi değişkenler, klasik yöntemlerin güvenilirliğini sınırlandırmaktadır (Reith ve ark., 2017).

Bu bağlamda, tarım 4.0 ve dijitalleşme kavramlarının hayvancılık sektörüne entegrasyonu, kızgınlık tespiti başta olmak üzere birçok alanda otomatik sistemlerin yaygınlaşmasına yol açmıştır (Rutten ve ark., 2013). Geliştirilen sensör tabanlı teknolojiler ve yapay zekâ destekli karar sistemleri hem davranışsal hem de fizyolojik değişiklikleri gerçek zamanlı olarak izleyerek kızgınlık dönemlerini yüksek doğrulukla saptayabilmektedir (De Vries ve ark., 2023).

Pedometre, ivmeölçer, termal kamera, basınç sensörü, mikrofon tabanlı cihazlar ve vücut içi sensörler gibi teknolojiler sayesinde, ineklerdeki aktivite artışı, seslenme sıklığı, vücut sıcaklığı değişimleri gibi parametreler sürekli izlenebilmekte ve bu veriler yapay zekâ algoritmaları ile işlenerek östrus tahmini yapılabilmektedir (Alsaad ve ark., 2015; Higaki ve ark., 2018; Wang ve ark., 2023). Bu teknolojiler yalnızca kızgınlık dönemlerinin tespitinde değil, aynı zamanda hayvan refahı, hastalıkların erken teşhisi ve yem davranışı gibi birçok parametrenin izlenmesinde de etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Aquilani ve ark., 2022; Borchers ve ark., 2017).

Modern sistemlerin kullanımıyla birlikte, klasik gözlem yöntemlerinin sınırlılıkları aşılmakta; fertilité yönetiminde verimlilik, doğruluk ve sürdürülebilirlik sağlanmaktadır (Roelofs ve ark., 2010; Cabrera, 2014). Bu bağlamda, bu bitirme çalışmasında, kızgınlık tespitinde kullanılan geleneksel ve modern teknolojik yöntemler karşılaştırmalı olarak ele alınacak; sensör sistemlerinin

işleyiş prensipleri, uygulama alanları ve reproduktif performansa etkileri detaylı biçimde incelenecektir (Selvaggi ve ark., 2024).

2. Sürü Takip Sistemleri

2.1 Geleneksel Yöntemler

Geleneksel sürü yönetimi sistemlerinde sığırlarda kızgınlık tespiti, çoğunlukla doğrudan gözlem ve üretici deneyimine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir . Kızgınlık belirtileri arasında diğer ineklerin üzerine atlama, atlamaya izin verme, huzursuzluk, vulva şişliği ve çara adı verilen berrak vajinal akıntı gibi davranışsal ve fizyolojik değişimler yer almaktadır. Bu belirtiler, özellikle sabah erken ve gece geç saatlerde belirgin hâle gelmekte, bu nedenle gözlemin gün içinde en az üç kez ve her biri en az 30 dakika olacak şekilde yapılması önerilmektedir (Güngör ve ark., 2006).

Kızgınlık tespiti için en güvenilir işaretlerden biri, ineğin üzerine atlama davranışına tepki vermeden durması, yani “standing heat” olarak adlandırılan davranıştır (Reith ve ark., 2017). Ancak modern süt sığırı sürülerinde bu birincil belirtiyi gösteren inek oranının %50’nin altına düştüğü, dolayısıyla sadece gözlemlerle kızgınlık saptamanın yetersiz kalabileceği bildirilmiştir (Reith ve ark., 2017).

Sınırlı personel ve artan sürü büyüklüğü, gözleme dayalı kızgınlık tespiti yöntemlerinin başarısını azaltmakta, sonuçta kızgınlık dönemlerinin atlanmasıyla birlikte gebelik oranlarında düşüş görülmektedir (Britt ve ark., 1986). Gözlemin yapıldığı yüzeyin bile kızgınlık davranışlarını etkilediği, örneğin toprak zeminde östrus davranışlarının daha uzun sürdüğü ve daha sık gözlemlendiği gösterilmiştir (Britt ve ark., 1986). Buna karşılık beton zeminlerde hem mounting (atlama) hem de standing (durma) davranışlarında belirgin azalma yaşanmaktadır (Reith ve ark., 2017).

Geleneksel yöntemlerin bir başka zorluğu da “gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları” adı verilen durumlardır; bu tür olgularda hayvan hormonal olarak kızgınlıkta olmasına rağmen tipik davranışsal belirtiler göstermeyebilir. Bu gibi durumlarda yalnızca gözlem yetersiz kalmakta ve hayvan kayıtlarının düzenli tutulması, geçmişteki döngülerin takibi gibi destekleyici yöntemlere başvurulması gerekmektedir (Güngör ve ark., 2006). Ayrıca, gözlemin etkili yapılabilmesi için ortam koşulları da kritik öneme sahiptir; sıcaklık, nem oranı ve barınak içi alan darlığı gibi faktörler kızgınlık davranışlarının baskılanmasına neden olabilir (Reith ve ark., 2017). Özellikle yaz aylarında ısı stresi altında kalan ineklerin kızgınlık süresi kısalmakta ve davranış şiddeti azalmaktadır (Brith ve ark., 1986).

Sonuç olarak, geleneksel yöntemlerle kızgınlık tespiti düşük maliyetli olmakla birlikte yüksek dikkat, deneyim ve zaman gerektirmektedir; ayrıca gözlem koşullarına, sürü yoğunluğuna ve hayvanın bireysel fizyolojik farklılıklarına bağlı olarak başarı oranı ciddi ölçüde değişmektedir (Reith ve ark., 2017). Bu nedenlerle, günümüzde geleneksel yöntemlerin tek başına kullanımı yetersiz kalmakta ve modern teknolojilerle desteklenmeleri gerekmektedir (Güngör ve ark., 2006).

2.2 Modern Teknolojik Yöntemler

2.2.1. Pedometreler

Pedometreler, sığırlarda kızgınlık dönemini saptamak amacıyla kullanılan en eski ve yaygın sensör tabanlı sistemlerden biridir (Roelofs ve ark., 2005). Bu cihazlar, hayvanların adım sayısını ve dolayısıyla genel hareketlilik düzeylerini ölçerek kızgınlık dönemine ait davranışsal artışları belirleme esasına dayanır (Brehme ve ark., 2008). Kızgınlık döneminde sığırların aktivitesinde

ortalama %30 ile %393 arasında artış görüldüğü bildirilmektedir (Brehme ve ark., 2008).

Pedometrelerle yapılan kızgınlık tespitinde, hayvanın gün içinde yaptığı adım sayısındaki ani artışlar esas alınarak algoritmalar tarafından uyarı oluşturulur (Roelofs ve ark., 2005). Bu cihazlar genellikle hayvanın ön veya arka bacağına sabitlenerek kullanılır ve verileri belirli zaman aralıklarında kaydeder (Roelofs ve ark., 2005). Elde edilen veriler, önceki günlerin ortalama hareket düzeyleriyle karşılaştırılarak anormal artışlar analiz edilir ve bu artışlar potansiyel kızgınlık belirtisi olarak değerlendirilir (Roelofs ve ark., 2005).

Yeni nesil pedometre sistemleri, adım sayısının yanı sıra yürüyüş süresi, yatma-kalkma sıklığı ve hatta vücut sıcaklığı gibi parametreleri de izleyerek kızgınlık tespitinde doğruluğu artırmayı hedeflemektedir. RumiWatch gibi üç boyutlu ivmeölçer entegreli pedometreler, hayvanın davranışsal değişimlerini hassas bir şekilde analiz edebilecek algoritmalarla geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmalar, ayakta durma, yürüme, yatma gibi aktiviteleri yüksek doğrulukla ayırt edebilmekte ve klinik gözlemlerle karşılaştırıldığında %98'e varan güvenilirlik sunmaktadır (Alsaad ve ark., 2015).

Yapılan başka bir çalışmada, pedometreler ile elde edilen verilerin doğrudan mobil cihazlarla okunabilmesi ve cihazların IT altyapısı gerektirmeden çalışabilmesi, çiftçilerin bu sistemlere yönelmesini kolaylaştıran önemli faktörler arasında yer almaktadır. Araştırmada, çiftçilerin pedometre kullanımına yönelik istekliliği üzerinde fiyatlandırma, veri erişim kolaylığı ve cihazın sunduğu bilgi türü (örneğin kızgınlık tespiti) gibi parametrelerin belirleyici olduğu tespit edilmiştir (Selvaggi ve ark., 2024).

Pedometrelerin bir diğer önemli avantajı, gözleme dayalı yöntemlere kıyasla daha tutarlı veri sunmasıdır; örneğin klasik

yöntemlerle yapılan gözlemlerde bazı gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olgularının atlanması mümkünken, pedometreler bu dönemlerdeki davranışsal artışları tespit edebilmektedir (Roelofs ve ark., 2005). Bununla birlikte, çiftlikte kullanılan zemin tipi, sürü yoğunluğu ve hayvanların bireysel aktivite düzeyleri gibi çevresel ve biyolojik faktörler cihazın performansını etkileyebilmektedir (Brehme ve ark., 2008).

Sonuç olarak pedometreler, sığırlarda kızgınlık döneminin izlenmesinde etkin bir araç olmakla birlikte, doğru analiz algoritmaları ve kullanıcı dostu arayüzlerle desteklendiklerinde, fertilitite yönetimi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır (Alsaad ve ark., 2015; Selvaggi ve ark., 2024).

2.2.2. İvmeölçerler

İvmeölçerler, sığırlarda kızgınlık döneminin belirlenmesi ve davranış temelli izlenmesi amacıyla yaygın biçimde kullanılan üç eksenli hareket sensörleridir (Benaissa ve ark., 2023). Bu sensörler hayvanın hareketlerini x, y ve z düzlemlerinde milisaniyelik hassasiyetle ölçerek yürüme, yatma, ayakta durma, geviş getirme ve benzeri davranışları sınıflandırabilir (Chang ve ark., 2022).

İvmeölçerler genellikle hayvanın kulak, boyun ya da bacak bölgesine entegre edilmekte olup, yerleştirildiği konuma göre davranış örüntülerinin algılanmasında farklı derecelerde başarı sağlamaktadır (Arablouei ve ark., 2024). Örneğin, boyun bölgesine takılan cihazlar geviş getirme ve yeme davranışlarını daha net izleyebilirken, bacak üzerindeki sensörler yatma ve adım atma gibi motor aktivitelere odaklanmaktadır (Benaissa ve ark., 2020).

Kızgınlık döneminde hayvanlarda artan aktivite seviyeleri, ivmeölçerler tarafından güvenilir şekilde algılanabilir ve bu

değişimler genellikle kızgınlığın başlangıcına işaret etmektedir. CowManager gibi kulak etiketi tabanlı sistemlerde yüksek aktivite ile kulak sıcaklığında artış gibi biyometrik değişkenler de ölçülmekte, böylece kızgınlık tespiti daha hassas hâle getirilmektedir (Perez Marquez ve ark., 2023).

İvmeölçerlerle toplanan veriler sıklıkla makine öğrenimi algoritmaları ile analiz edilmekte, bu sayede davranış örüntüleri yüksek doğrulukla sınıflandırılabilir (Chang ve ark., 2022). Bu analizlerde destek vektör makineleri, karar ağaçları ve lineer diskriminant analiz gibi algoritmaların kullanıldığı; bireysel hayvana özel modellerin daha yüksek doğruluk sağladığı bildirilmiştir (Kour ve ark., 2021).

Bazı araştırmalarda ivmeölçer ile elde edilen davranışsal veriler, süt progesteron düzeyleri ile karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı korelasyonlar bulunduğu ortaya konmuştur. Bu bulgu, ivmeölçerlerin hormonal analizlere kıyasla daha pratik ve maliyet etkin bir alternatif sunduğunu göstermektedir (Perez Marquez ve ark., 2023).

İvmeölçerlerin veri toplama frekansı da tespit doğruluğunu etkilemektedir; örneğin 5 dakikalık örnekleme aralıklarının 1 saatlik aralıklara göre kızgınlık saptamada daha başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir (Smolik ve ark., 2024). Ayrıca, bazı çalışmalarda ivmeölçerlerin lokalizasyon sistemleriyle birleştirildiğinde, kızgınlık ve buzağılama gibi olayların tahmin doğruluğunun anlamlı şekilde arttığı da belirtilmiştir (Benaissa ve ark., 2020).

Sonuç olarak, ivmeölçer teknolojisi, hayvanların fizyolojik döngülerine dair davranışsal ipuçlarını izleyerek, kızgınlık döneminin erken ve güvenilir biçimde tespit edilmesine imkân tanımaktadır (Arablouei ve ark., 2024). Uygun sensör konumlandırması, yüksek örnekleme sıklığı ve etkili algoritmik

analizle desteklendiğinde bu sistemler, süt sığırlarında fertilité yönetiminde önemli avantajlar sağlamaktadır (Chang ve ark., 2022).

2.2.3. Basınç Sensörü- Heatwatch

HeatWatch, kızgınlık dönemindeki ineklerin üzerine binme (mounting) davranışlarını tespit eden ve bu sayede kızgınlığın başlangıcını doğru bir şekilde belirlemeye olanak tanıyan basınç sensörü tabanlı bir radyo telemetri sistemidir (Xu ve ark., 1998). Sistem, ineğin kuyruk sokumuna yerleştirilen bir basınç algılayıcı sensör aracılığıyla çalışır ve hayvanın üzerine başka bir hayvan bindiğinde oluşan mekanik basıncı elektronik sinyale dönüştürerek merkeze iletir (At-Taras ve ark.,2001).

Bu sistemin temel bileşenleri arasında, pil ile çalışan basınca duyarlı vericiler, sinyal alıcısı, veri tampon ünitesi ve analiz yazılımı yer alır (Xu ve ark., 1998). Basınç algılayıcı, ineğin sırt bölgesine (sacrum bölgesi) sağlam bir şekilde yapıştırılır ve ≥ 1 saniyelik bir binme davranışı meydana geldiğinde sinyal gönderir (At-Taras ve ark., 2001). Alıcı sistem, sinyalleri alarak bilgisayara iletir ve zaman, süre ve verici kimliğini içeren veriler analiz edilerek kızgınlık teşhisi konur (Xu ve ark., 1998).

HeatWatch sistemi ile bir ineğin kızgınlıkta olduğu kabul edilmesi için, 4 saatlik bir zaman dilimi içinde en az üç adet binme davranışı kaydedilmiş olmalıdır (At-Taras ve ark., 2001). Bu eşik değerin altındaki binmelerde, sistem ineği “şüpheli kızgınlık” listesine alır; böylece hem yüksek doğruluk hem de çiftçiye erken uyarı sağlanmış olur (Xu ve ark., 1998).

Sistemin en önemli avantajlarından biri, binme davranışlarını 7/24 kesintisiz olarak izleyebilmesi ve böylece gözleme dayalı yöntemlerin kaçırabileceği kızgınlık dönemlerini tespit

edebilmesidir (At-Taras ve ark, 2001). Ayrıca, sistemin sinyal aktarımı kablosuz olarak gerçekleştirildiği için geniş alanlı otlatma koşullarında da etkili çalışabilmektedir (Xu ve ark., 1998).

Çalışmalarda HeatWatch sisteminin östrus tespit etkinliği %91,7, doğruluğu ise %100 olarak bildirilmiştir; bu değerler, klasik görsel gözlem (tail painting + gözlem) yöntemiyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir hassasiyet göstermektedir . Ayrıca sistemin kullanıldığı çiftliklerde, suni tohumlama başarısı da anlamlı düzeyde artmıştır ve en yüksek gebelik oranı, binme davranışından 12–18 saat sonra yapılan tohumlamalarda elde edilmiştir (Xu ve ark., 1998).

Bununla birlikte, sistemin etkinliği bazı teknik faktörlerden etkilenebilir. Örneğin, sensörün yerinden oynaması ya da tamamen düşmesi durumunda binme davranışı kaydedilemeyebilir; bu da sistemin gözden kaçırabileceği kızgınlıklara neden olabilir (At-Taras ve ark.,2001). Özellikle kızgınlık sürecinde fazla hareket eden veya kızgınlık davranışı düşük olan hayvanlarda, cihazın sık sık kontrol edilmesi önerilmektedir (Xu ve ark., 1998).

HeatWatch ayrıca, bireysel ineğe ait kızgınlık profillerinin oluşturulmasına imkân vererek fertilité yönetimini bireyselleştirme yönünde de önemli katkılar sunmaktadır (At-Taras ve ark., 2001). Bu özellik, özellikle büyük sürülerde suni tohumlama zamanlamasının optimizasyonu açısından önemlidir (Xu ve ark., 1998).

2.2.4. Vücut Sıcaklığı Sensörü

Vücut sıcaklığı sensörleri, hayvanların fizyolojik durumlarını izlemek amacıyla cilt yüzeyine yerleştirilen kablosuz cihazlardır. Miura ve arkadaşlarının Japonya’da yürüttüğü

Çalışmada, bu tür sensörlerin ineklerde kuyruk altı bölgesine uygulanarak kızgınlık döneminin saptanmasında etkin olduğu gösterilmiştir (Miura ve ark., 2017).

Çalışmada kullanılan sensör, 2 dakikalık aralıklarla sıcaklık verilerini kaydeden bir termistrle donatılmış olup, 100 metre mesafeye kadar kablosuz veri aktarımı sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sensör, hayvanın kuyruğuna elastik bantlarla sabitlenmiş ve yaklaşık 6 ay pil ömrü sunacak şekilde optimize edilmiştir. Bu sensörler, invaziv olmayan yapısı sayesinde vajinal sıcaklık ölümüne göre daha az stres oluşturarak hayvan refahını da destekler (Miura ve ark., 2017).

Araştırmada, kızgınlık öncesi dönemde vücut yüzey sıcaklığında artış gözlemlenmiş ve bu değişimin luteinize edici hormon (LH) salınımı ile eşzamanlı gerçekleştiği belirlenmiştir. Ortalama 1.27 ± 0.30 C'lik sıcaklık artışı, kızgınlığın başlamasından yaklaşık 2.4 saat önce ve ovulasyondan 26,9 saat önce kaydedilmiştir (Miura ve ark., 2017).

Bu sıcaklık verileri, çevresel ve sirkadiyen etkilerden arındırılarak "rezidüel sıcaklık" (residual temperature, RT) kavramı ile analiz edilmiş ve RT değerlerinin zaman içindeki dalgalanmasının kızgınlıkla doğrudan ilişkili olduğu ortaya konmuştur. RT analizine dayalı eşik değerler kullanılarak yapılan tahminlerde kızgınlık tespitinde %89'a varan duyarlılık ve %71'e ulaşan doğruluk elde edilmiştir (Miura ve ark., 2017).

Bu alışma, vücut yüzey sıcaklığına dayalı kablosuz sensörlerin, büyükbaş hayvanlarda kızgınlık saptamasında kullanılabilecek güvenilir ve etkili bir biyoteknolojik araç olduğunu göstermektedir (Miura ve ark., 2017).

2.2.5. Mikrofon Tabanlı Sistemler

Mikrofon tabanlı sistemler, süt sığırlarında kızgınlık ( strus) dönemini belirlemek amacıyla geliştirilen yenilikçi biyosensör teknolojilerindendir (Röttgen ve ark., 2020). Bu sistemler, dişı sığırın kızgınlık döneminde ortaya çıkan karakteristik ses değişimlerini analiz ederek, bireysel düzeyde kızgınlık tespiti yapabilmektedir (Schön ve ark., 2007). Kızgınlık döneminde seslenme sıklığında belirgin bir artış gözlenmiş ve bu artışın östrus zirvesiyle örtüştüğü ortaya konmuştur (Schön ve ark., 2007; Röttgen ve ark., 2020).

Grup h linde serbest dolaşan hayvanlar arasında bireysel tanımlamayı sağlamak amacıyla geliştirilen sistemler hem hava yoluyla hem de yapısal (vücut kaynaklı) sesleri aynı anda toplayarak bireysel çağrının kaynağını tanımlayabilmektedir (Röttgen ve ark., 2020). Bu sistemler, çağrının frekansı, süresi ve formant yapısını analiz ederek hangi hayvanın ses çıkardığını tespit edebilir (Green ve ark., 2018). Böylece birey bazında östrus döneminin tanımlanması mümkün olurken, aynı zamanda çiftlik yönetimi açısından inseminasyon zamanlaması daha verimli hâle gelmektedir (Wang ve ark., 2023).

Yeni geliştirilen çift kanallı mikrofon etiketleri, gürültülü çiftlik ortamlarında dahi yüksek doğrulukla östrus çağrılarını filtreleyip analiz edebilmektedir (Wang ve ark., 2023). Bu amaçla yönlü ve yönsüz mikrofon içeren bir etiket tasarlamış; makine öğrenimi algoritmalarıyla ( zellikle Geriye Yayılım Sinir Ağı) %97,6'ya varan doğrulukla kızgınlık tespiti gerçekleştirmiştir. Bu gelişmeler, mikrofon tabanlı sistemlerin pedometre gibi klasik yöntemlere göre daha erken ve hassas kızgınlık belirleme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Wang ve ark., 2023).

Sığırların sesleri yalnızca üreme davranışı değil, aynı zamanda duygusal durumlar hakkında da bilgi taşımaktadır. Özellikle açık ağızla çıkan yüksek frekanslı çağrılar, stres, izolasyon gibi olumsuz duygusal durumlarla ilişkilidir ve bu çağrılar bireysel tanımlamaya uygun “akustik parmak izi” niteliği taşır. Bu özellik, bireysel refah takibinin yanı sıra fertlitleyle yakından ilişkili olan stres faktörlerinin izlenmesini de mümkün kılar (Gavojdian ve ark., 2024).

Mikrofon tabanlı sistemler, ses verilerini ivmeölçer, sıcaklık sensörü ve pedometre gibi diğer sensör verileriyle entegre ederek daha güvenilir bir kızgınlık tahmini sağlamaktadır (Green ve ark., 2018). Bu çoklu sensör verilerinin analizi, özellikle gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları tespitinde önemli avantajlar sunmaktadır (Röttgen ve ark., 2020).

Ayrıca, sığırların bireysel olarak ayırt edilebilen çağrılar üretmesi, ses analizine dayalı otomasyonun sürü büyüklüğü artsa bile etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermektedir (Gavojdian ve ark., 2024). Bu yöntem, yalnızca üreme yönetimini değil, aynı zamanda genel sürü refahını da izleyebilecek potansiyele sahiptir (Green ve ark., 2018).

Sonuç olarak, mikrofon tabanlı sistemler hem kızgınlık tespitinin doğruluğunu artırmakta hem de fertlitleyi etkileyen stres faktörlerinin izlenmesine olanak tanımaktadır. Bu teknolojinin, ileri düzey süt sığırcılığı sistemlerinde yaygın kullanımı, üreme başarısını önemli ölçüde artırabilir (Wang ve ark., 2023; Gavojdian ve ark., 2024).

2.3 Fizyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Takip

2.3.1.Vajinal ve Vücut İçi Sensörler

Vajinal ve vücut içi sensörler, süt sığırlarında kızgınlık (östrus) tespitinin hassasiyetini artırmak, gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları belirlemek ve fertilité yönetimini optimize etmek amacıyla geliştirilen ileri biyosensör sistemleridir (Ferreira ve ark., 2025). Bu sensörler genellikle vajinal kanal içerisine ya da rumen gibi vücut boşluklarına yerleştirilerek sıcaklık, iletkenlik, pH, hareket gibi fizyolojik verileri doğrudan ölçmekte ve bu verileri kablosuz olarak analiz sistemlerine aktarmaktadır (Andersson ve ark., 2016).

Östrus döneminde vajinal sıcaklıkta ani artışlar ve mukozal iletkenlikte belirgin düşüşler meydana gelir. Bu parametrelerin birlikte ölçülmesi, tek başına sıcaklık veya iletkenlik ölçümüne kıyasla çok daha doğru sonuçlar vermektedir. Higaki ve arkadaşlarının (2018) gerçekleştirdiği bir çalışmada, 17 inek üzerinde sürekli olarak ölçülen vajinal sıcaklık (VT) ve vajinal iletkenlik (VC) verileri, östrus öncesi progesteron düzeyinin düşmesi ve LH dalgasının başlamasıyla paralel olarak değişim göstermiştir. Bu fizyolojik veriler, denetimli makine öğrenme algoritmaları (özellikle yapay sinir ağı) kullanılarak analiz edildiğinde %94'ün üzerinde hassasiyetle östrus tespiti sağlanmıştır (Higaki ve ark., 2018).

Kitwood ve arkadaşları (1993) tarafından yürütölen başka bir deneyde ise vajinal mukusun elektriksel empedansında östrus döneminde anlamlı bir azalma olduğu belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan empedans ölçüm cihazı, vajinal kanal boyunca farklı derinliklerden veri toplamış ve 15–20 cm derinliğinde ölçölen minimum empedans değeri lerinin östrusun güvenilir bir göstergesi

olduğu gösterilmiştir. Bu sistem sayesinde, yalnızca davranışsal gözleme dayalı yöntemlerle tespit edilemeyen ek östrus olayları da belirlenebilmiştir (Kitwood ve ark., 1993).

Andersson ve arkadaşları (2016) tarafından geliştirilen kablosuz vajinal sensör, sıcaklık, iletkenlik ve hareket gibi üç farklı parametreyi aynı anda ölçebilmekte, bu sayede klasik sistemlerin karşılaştığı yanlış pozitif ve negatif oranlarını düşürmektedir. Söz konusu cihaz, hayvanın vajinal kanalına yerleştirildikten sonra haftalarca enerji tüketimini minimize ederek çalışabilmekte ve veri iletimini kesintisiz sürdürebilmektedir. Bu sayede hem küçük ölçekli hem de geniş alanlara yayılmış çiftliklerde etkin bir kullanım imkânı sunmaktadır (Andersson ve ark., 2016).

Ferreira ve arkadaşları (2025), güncel bir derleme çalışmasında vücut içi sensörlerin yalnızca kızgınlık takibinde değil, aynı zamanda sindirim sağlığı, iç sıcaklık ve metabolik denge gibi çok sayıda biyobelirtecini izlenmesinde de kullanılabileceğini belirtmektedir. Özellikle rumene yerleştirilen bolus sensörler, ısı değişimlerinden çevresel etkilenmelerden izole olduğu için vücut içi sıcaklığını en doğru şekilde yansıtmaktadır. Bu sistemler, aynı zamanda pH, su alımı, hareket ve rumen fonksiyonlarını da izleyerek hayvanın genel sağlığına ilişkin erken uyarı sağlayabilmektedir (Ferreira ve ark., 2025).

Vajinal ve rumen sensörlerin bir diğer önemli avantajı da davranışsal gözlem gerektirmemeleridir. Özellikle büyük sürülerde gözlem süresinin sınırlı olması ya da hayvanların sınırlı alanda tutulmaları gibi durumlar, klasik yöntemlerin etkinliğini azaltmaktadır. Oysa bu iç sensörler, hayvanın davranışına değil doğrudan biyolojik tepkilerine odaklandıkları için gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları da başarıyla tespit edilmesine olanak tanımaktadır (Higaki ve ark., 2018; Andersson ve ark., 2016).

Sonuç olarak, vajinal ve vücut içi sensörler, geleneksel kızgınlık tespit yöntemlerine kıyasla daha yüksek doğruluk, düşük iş gücü ihtiyacı ve erken teşhis olanağı sağlayarak fertlileteyi artırmakta ve üreme yönetimini optimize etmektedir. Bu sistemlerin gelişen yapay zekâ algoritmalarıyla entegre edilmesi, gelecekte daha hassas ve bireyselleştirilmiş hayvan yönetim sistemlerinin temelini oluşturacaktır (Ferreira ve ark., 2025).

2.3.2. Termal Kameralar ile Kızgınlık Tespiti

Termal kameralar (infrared thermography – IRT), süt sığırlarında östrus dönemine özgü vücut sıcaklığı değişimlerinin temassız şekilde saptanmasına imkân tanıyan, invazif olmayan görüntüleme sistemleridir (Perez Marquez ve ark., 2021). Canlı organizmalar kızılötesi (IR) dalga boyunda ısı yayar; termal kameralar bu radyasyonu algılayarak deri yüzeyinde sıcaklık farklılıklarını milimetrik düzeyde haritalayabilir (Talukder ve ark., 2015).

Kızgınlık döneminde östrojen hormonunun etkisiyle vulva bölgesinde hiperemi ve vazodilatasyon oluşur, bu da bölgesel sıcaklığın artmasına yol açar. Perez Marquez ve arkadaşlarının (2019) çalışmasında, kızgınlık öncesi 48 saat içinde vulva, yanak, ense ve kuyruk başı gibi anatomik bölgelerde 0,3°C ile 1,2°C arasında sıcaklık artışı gözlenmiştir . Aynı çalışmada, bu termal değişimlerin 24 saat öncesinden tespit edilmesi sayesinde ovulasyonun zamanlamasına dair erken uyarı üretilebildiği belirtilmiştir (Perez Marquez ve ark., 2019).

Talukder ve arkadaşları (2015) ise, farklı vücut bölgelerinin termal hassasiyetini karşılaştırmış ve vulva bölgesinin ovulasyon tahmininde en yüksek özgüllüğe (%80), ancak nispeten düşük duyarlılığa (%21) sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, pratikte vulva sıcaklığının ölçümünde kuyruk örtüsünün kaldırılması ve dışkı

kalıntılarının temizlenmesi gibi işlemlerle ölçüm güvenilirliği artırılabilir (Talukder ve ark., 2015).

Perez Marquez ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği çalışmada, termal ölçümler kızgınlık davranışlarıyla (özellikle kuyruk ve kalça hareketleri) birlikte değerlendirildiğinde, yalnız başına termal veriden daha yüksek doğrulukla östrus tespiti sağlandığı gösterilmiştir. Çalışmada, vulva bölgesi (özellikle kuyruk örtüsüz bölge- Vnotail) PM süt sağımından sonra ölçülen kalıntı sıcaklık değerlerinin (Residual IR), en yüksek özgüllük (%97) ve pozitif öngörü değeri (%90) sunduğu rapor edilmiştir (Perez Marquez ve ark., 2021).

Bununla birlikte, el tipi termal kameraların açısı, mesafe ve ortam ısısı gibi değişkenlere bağlı olarak sonuçlarında sapmalar oluşabileceği belirtilmiş ve bu nedenle standardize edilmiş ölçüm protokollerinin kullanılması gerektiği vurgulanmıştır (Talukder ve ark., 2015). Özellikle serbest ahır sistemlerinde hayvanların hareketliliği ve dışkı kirliliği gibi faktörler, IRT'nin doğruluğunu etkileyebilir; ancak bağlamalı sistemlerde yapılan çalışmalarda daha stabil ve tekrar edilebilir sonuçlar elde edilmiştir (Perez Marquez ve ark., 2019).

Sonuç olarak, termal kameralar süt sığırlarında östrus tespitinde davranışsal gözlem eksikliklerini tamamlayan, temassız ve biyofiziksel temele dayanan önemli bir teknolojidir. Bu sistemlerin sensör tabanlı veri analiz sistemlerine entegrasyonu ile doğru zamanlı suni tohumlama olanakları artmakta ve fertilitite yönetimi optimize edilmektedir (Perez Marquez ve ark., 2021; Talukder ve ark., 2015).

2.3.3. Yapay Zekâ Makine Öğrenmesi ile Kızgınlık ve Fertilite Tahmin

Yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi (MÖ), modern süt sığırcılığında fertilite yönetimini daha öngörülebilir ve veriye dayalı hale getiren yenilikçi teknolojiler arasında öne çıkmaktadır (De Vries ve ark., 2023). Bu yaklaşımlar, klasik gözlemsel yöntemlerin ötesine geçerek süt verimi, vücut kondisyon skoru, yeme erişim, süt bileşimi, yürüyüş paterni gibi çok çeşitli veri kaynaklarını analiz ederek hayvan bazlı östrus tahminleri yapabilmektedir (Distant ve ark., 2025).

Makine öğrenmesi algoritmaları, bu karmaşık veri setlerinden desen öğrenerek tohumlama başarısını tahmin etmeyi amaçlamaktadır (Lou ve ark., 2024). Mid-infrared (MIR) spektroskopisiyle süttten elde edilen veri setleri, ineklerin fizyolojik durumuna dair hassas bilgiler sunmakta ve bu bilgiler tohumlama öncesi gebe kalma olasılığını belirlemede kullanılmaktadır (Hempstalk ve ark., 2015).

Barden ve ark. (2024), Birleşik Krallık'ta 108 süt çiftliğinden toplanan verilerle XGBoost algoritması kullanarak her bir tohumlamanın gebelikle sonuçlanma olasılığını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Model, nullipar, primipar ve multipar inek grupları üzerinde ayrı ayrı çalıştırılmış ve ECE (expected calibration error) değerlerinin kabul edilebilir düzenlerde olduğu bildirilmektedir (Barden ve ark., 2024).

Yapay zekaya dayalı modellerin başarısı, sadece tahmin doğruluğuyla değil, aynı zamanda öğrenilen modelin karar verme sürecine dair sağladığı yorumlanabilirlikle de önem kazanmaktadır. Özellikle random forest, support vector machine (SVM) ve PLS-DA gibi yöntemler, süt MIR spektrumları ve çiftlik verileri ile kullanıldığında östrus tahmini ve tohumlama zamanlaması için

başarılı sonuçlar vermektedir (Lou ve ark., 2024; Mahato ve ark., 2024).

Ayrıca, yüz tanıma, yürüme paterni, kuyruk hareketleri gibi verilerin bilgisayarla görü ve derin öğrenme teknikleriyle analiz edilmesi sayesinde ineklerin bireysel davranış örüntülerine göre östrus tahmini yapılabilmektedir (Mahato ve ark., 2024). Bu bireyselleştirilmiş yaklaşım hem hayvan refahını hem de reproduktif verimliliği optimize etme potansiyeli taşımaktadır.

Sonuç olarak, yapay zekâ destekli tahmin modelleri, klasik gözlemsel ve istatistiksel yöntemlerin ötesine geçerek süt sığırcılığında östrus zamanlaması, gebelik olasılığı ve hedefli çiftleştirme kararlarını daha bilinçli hale getirmektedir (De Vries ve ark., 2023; Distant ve ark., 2025; Barden ve ark., 2024).

3. Kızgınlık Takibi ve Otomatik Tespit Sistemleri

3.1. Klasik Kızgınlık Tespit Yöntemleri

Klasik kızgınlık tespiti, süt sığırlarında fertilite yönetiminin temel taşlarından birini oluşturur ve genellikle davranışsal gözlem ile referans testleri gibi yöntemlere dayanır (Firk ve ark., 2002). Bu yöntemler, teknolojik sistemlerin yaygınlaşmasından önce, çiftliklerde kızgınlık döngüsünü belirlemek için temel başvuru araçları olmuştur (Roelofs ve ark., 2010).

Davranışsal gözlem yöntemi, ineklerin kızgınlık esnasında sergilediği belirgin davranışların izlenmesine dayanır. En güvenilir kızgınlık belirtisi, hayvanın üzerine çıkılmasına izin vermesi yani "standing heat" durumudur (Roelofs ve ark., 2010). Bunun yanında, kuyruk kaldırma, huzursuzluk, diğer hayvanları koklama, çene dayama ve anırma gibi ikincil belirtiler de gözlemlenebilir (Firk ve ark., 2002). Ancak bu belirtiler her hayvanda net şekilde

görülmeyebilir; Van Eerdenburg ve ark. (2002), gözlem yapılan sürülerin %50'sinde ineklerin hiç ayağa kalkma davranışı göstermediğini bildirmiştir.

Bu yöntemin başarısı, gözlem süresi ve sıklığı ile doğrudan ilişkilidir. Sabah ve akşam olmak üzere günde en az üç kez 30 dakikalık gözlemler önerilmekte, ancak bu pratik ticari çiftliklerde nadiren uygulanabilmektedir (Firk ve ark., 2002). Ayrıca, gözlemcinin deneyimi ve dikkat düzeyi gibi insan faktörleri de hata payını artırmaktadır (Roelofs ve ark., 2010).

Referans testleri, kızgınlığın varlığını doğrulamak veya davranışsal gözlemleri desteklemek amacıyla kullanılan yöntemlerdir. Bunlar arasında progesteron düzeylerinin ölçülmesi, ultrasonografik incelemeler, vaginal mukus direnci ölçümleri ve vücut sıcaklığı takibi gibi testler yer alır. Progesteron seviyesi düşüken başlayan ve daha sonra hızla yükselen bir hormonal profil, başarılı ovulasyonun işareti olarak kabul edilir (Firk ve ark., 2002).

Van Eerdenburg ve ark. (2002), davranış puanlaması ile ovulasyon zamanı arasında anlamlı bir ilişki kurmuş ve özellikle yüksek davranış puanı toplayan ineklerin çoğunun 24 saat içinde ovulasyon gösterdiğini bildirmiştir. Buna karşılık, 24 saatten sonra ovulasyon gösteren ineklerin gebelik oranı yalnızca %15 olarak bulunmuştur (Van Eerdenburg ve ark., 2002).

Her ne kadar klasik yöntemler uzun süredir kullanılmakta olsa da gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları, tespit oranlarını ciddi şekilde düşürmektedir. Roelofs ve arkadaşları (2010), modern süt sığırı ırklarında, yüksek süt veriminin estrus davranışlarını baskılayabileceğini ve bunun da klasik yöntemlerin güvenilirliğini sınırladığını belirtmiştir. Bu nedenle klasik yöntemler günümüzde genellikle otomatik sistemlerin doğrulama aracı olarak

kullanılmakta, tek başlarına yeterli görülmemektedir (Roelofs ve ark., 2010; Firk ve ark., 2002).

3.2. Otomatik Kızgınlık Tespit Sistemleri (AED)

3.2.1. Heatime, SenseHub ve CowManager Sistemlerinin Çalışma Prensibi

Heatime sistemi, kızgınlık döneminde artan fiziksel aktiviteyi algılamak amacıyla ineklerin boynuna takılan ivmeölçer tabanlı sensörler kullanır. Sistem, hayvanın aktivite düzeyindeki ani artışları kaydederek potansiyel östrus dönemlerini belirler ve bu veriler bilgisayarlı analizlerle bir aktivite piki olarak değerlendirilir. Heatime, özellikle 6–8 saatlik aktivite süresi ve sınır değer üzerinde oluşan piklerde estrus tespit doğruluğunu %87,5'e kadar çıkartabilmektedir (Aungier ve ark., 2012).

SenseHub, kulak etiketi veya boyun tasması şeklinde takılan akıllı sensörler aracılığıyla aktivite, geviş getirme, yeme davranışı ve vücut sıcaklığı gibi parametreleri izler. Bu sistem, kızgınlık tespiti amacıyla ineklerin davranış örüntülerini analiz ederek olası östrus periyotlarını yüksek doğrulukla belirleyebilir (Knight, 2020). SenseHub, aynı zamanda sürü yönetim yazılımıyla entegre çalışarak çiftçilere erken uyarı sağlar ve reproduktif verimliliği artırmayı hedefler (Aquilani ve ark., 2022).

CowManager, kulağa takılan ivmeölçerli elektronik etiketlerle çalışan bir sistem olup, ineklerin yeme, geviş getirme ve aktivite gibi davranışlarını gerçek zamanlı olarak takip eder. Sistem, özellikle “yüksek aktivite” durumlarını östrus göstergesi olarak sınıflandırmakta ve bu verileri çiftçi ekranlarına anlık olarak aktarmaktadır. CowManager, kızgınlık dışında sağlık ve beslenme davranışlarını da analiz ederek hastalıkların erken tanısını mümkün kılar (Reynolds ve ark., 2019).

Üç sistemin ortak noktası, kızgınlık sırasında fiziksel aktivite artışına dayalı verileri analiz ederek suni tohumlama zamanlamasını optimize etmeleridir. Ancak farklı sensör yerleşimleri (boyun, kulak), kullanılan algoritmalar ve ek fonksiyonlar (örneğin ruminasyon, sıcaklık takibi) bakımından sistemler arasında farklılıklar bulunmaktadır (Valenza ve ark., 2012; Gaude ve ark., 2017). Bu sistemlerin kullanımı hem iş gücünü azaltmakta hem de reproduktif başarı oranlarını artırarak ekonomik verimliliğe katkı sağlamaktadır (Knight, 2020).

3.2.2. Kullanılan Parametreler

Otomatik kızgınlık tespit sistemleri (AED), sığırlarda kızgınlık dönemine özgü davranışsal ve fizyolojik değişimleri sürekli izleyerek belirleme amacı taşır (Higaki ve ark., 2018). Bu sistemlerde en yaygın kullanılan parametrelerden biri hareketlilik artışıdır (Walker ve ark., 1977). Kızgınlık döneminde ineklerde adım sayısı ve fiziksel aktivite düzeyinde önemli oranda artış meydana gelir; bazı çalışmalarda bu artış %200 ile %300 arasında bildirilmiştir (Walker ve ark., 1977). Bu parametre, pedometre ve ivmeölçer sensörleri kullanılarak otomatik sistemlerle yüksek doğrulukta saptanabilmektedir (Gaude ve ark., 2021).

Bir diğer önemli davranışsal gösterge durma kabulü (standing to be mounted) davranışdır. Bu davranış kızgınlığın doğrudan belirtisi olup, görsel tespit yöntemlerinde en yüksek kızgınlık puanını alır ve genellikle altın standart kabul edilir (Röttgen ve ark., 2018). Bu davranış basınç sensörleriyle donatılmış tasmalar veya sırt etiketleriyle otomatik olarak tespit edilebilmektedir (Higaki ve ark., 2018).

Vokalizasyon (sesli iletişim), kızgınlık döneminde artış gösteren bir diğer önemli davranışsal parametredir. Holstein düveler üzerinde yapılan çalışmalarda, kızgınlık tepe noktasına yakın zaman

diliminde vokalizasyon sıklığında anlamlı artış saptanmıştır (Röttgen ve ark., 2018). Bu değişim, ses sensörleri ile saptanarak kızgınlığın tespiti için kullanılabilir (Gaude ve ark., 2021).

Kızgınlık döneminde geviş getirme süresinde azalma olduğu da belirlenmiştir. Bir çalışmada, kızgınlık gününde ineklerin geviş getirme süresinde ortalama %17 oranında azalma saptanmış, bu değer bazı bireylerde %24'e kadar çıkmıştır. Bu değişim, artan aktiviteye ve azalan yem alımına bağlı olarak yorumlanmaktadır (Reith ve Hoy, 2012).

Vücut sıcaklığı değişimi, kızgınlık döneminin fizyolojik bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Vajinal sıcaklık, kızgınlık öncesinde artış göstermekte ve hormon düzeyleri ile korelasyon göstermektedir. Geliştirilen vajinal sensörler sayesinde bu parametre sürekli olarak izlenebilmekte ve kızgınlık tespiti için güvenilir veriler sağlamaktadır (Higaki ve ark., 2018).

Sonuç olarak, bu parametrelerin her biri tek başına anlamlı bilgiler sunarken, birlikte değerlendirilmesi durumunda kızgınlık tespitinde duyarlılık ve özgüllük önemli ölçüde artmaktadır (Röttgen ve ark., 2018; Higaki ve ark., 2018).

4. Yenilikçi Sistemlerin Fertilitate Etkisi

4.1. Otomatik Kızgınlık Tespit Sistemlerinin Fertilitate Performansına Etkisi

Süt sığırlarında fertilitate performansı, işletmelerin verimliliğini ve ekonomik sürdürülebilirliğini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür (Walsh ve ark., 2011). Kızgınlık döneminin zamanında ve doğru biçimde tespiti, tohumlamanın başarı oranını artırarak gebelik sürecini hızlandırır. Otomatik kızgınlık tespit sistemleri, ineklerin davranışsal ve fizyolojik verilerini gerçek

zamanlı izleyerek, gözle tespiti zor olan gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olgularını bile saptayabilmektedir (Roelofs ve ark., 2010). Bu sistemler sayesinde insan kaynaklı gözlem hataları azalmakta, tohumlama zamanlaması daha isabetli yapılmaktadır (Walsh ve ark., 2011).

Doğru zamanlamayla yapılan tohumlamalar sayesinde hem doğum aralıkları kısaltmakta hem de sürü başına düşen yavru sayısı artmaktadır (Roelofs ve ark., 2010). Aynı zamanda iş gücü ihtiyacı azalmakta ve veteriner müdahalesi gibi dışsal maliyetler düşmektedir (Walsh ve ark., 2011). Bu teknolojiler yalnızca fertilitite performansını değil, işletmenin genel üretim ve sağlık yönetimi başarısını da doğrudan desteklemektedir (Roelofs ve ark., 2010).

4.2. Yapay Zekâ ve Veri Analitiği Tabanlı Karar Destek Sistemleri

Modern süt sığırıcılığında, büyük miktarda sensör verisinin toplanması ve anlamlı hale getirilmesi, yapay zekâ (YZ) ve veri analitiği tabanlı sistemlerin önemini artırmaktadır (Rutten ve ark., 2013). Bu sistemler, aktivite, vücut sıcaklığı, geviş süresi gibi çoklu parametreleri aynı anda değerlendirerek kızgınlık tespiti ve tohumlama zamanlaması gibi kararları otomatikleştirir (Borchers ve ark., 2017). Makine öğrenimi algoritmaları sayesinde geçmiş veriler analiz edilerek östrus tahmini yapılabilir ve her hayvan için bireyselleştirilmiş yönetim stratejileri oluşturulabilir (Rutten ve ark., 2013).

Bu tür karar destek sistemleri yalnızca kızgınlık değil, fertilitiyle ilişkili genel sağlık durumunun izlenmesini de sağlar (Borchers ve ark., 2017). Böylece sadece yüksek doğrulukla kızgınlık saptanmaz, aynı zamanda reproduktif kayıpların erken önlenmesine katkı sunulur (Rutten ve ark., 2013). Yapay zekâ uygulamaları, özellikle yüksek verimli sürülerde gözlem eksikliğini

telafl ederek, tohumlama başarısını ve gebelik oranlarını dolaylı olarak iyileştirme potansiyeline sahiptir (Borchers ve ark., 2017).

4.3. Teknolojik Uygulamaların Ekonomik ve Reprodüktif Kazanımları

Süt sığırcılığında teknolojik uygulamalar, özellikle otomatik kızgınlık tespit sistemleri (AOD) ve zamanlanmış suni tohumlama programlarının entegre edilmesi hem ekonomik verimliliğı hem de reprodüktif başarıyı artıran stratejik araçlardır (Adenuga ve ark., 2020). Bu teknolojilerin uygulanması, sığırlarda kızgınlık dönemlerinin daha hassas ve zamanında tespitiyle doğrudan gebelik oranlarının artmasına ve doğumlar arası sürenin azalmasına katkı sağlar. Artan gebelik oranı, laktasyon eğrisinin en verimli döneminde daha fazla sayıda hayvanın yer almasına olanak tanır ve bu da birim başına süt üretimini yükseltir (Cabrera ve ark.,2014).

Ekonomik açıdan bakıldığında, AOD sistemleri ve benzeri dijital yönetim araçları ilk yatırım maliyeti yüksek sistemler olsa da zaman içinde iş gücü ihtiyacını azaltmaları, süt geliri üzerindeki yem maliyetini optimize etmeleri ve erken gebelik teşhisiyle tedavi maliyetlerini düşürmeleri sayesinde yatırımın geri dönüşünü sağlar (Adenuga ve ark., 2020). Ayrıca, reprodüktif performanstaki artış, buzağı satışları ve sürü yenileme stratejileri açısından da doğrudan kazanç yaratmakta; bu durum özellikle yüksek üretimli işletmelerde agresif sürü yönetimi kararlarının alınmasına olanak sunmaktadır (Cabrera,ve ark., 2014). Sonuç olarak, teknolojik uygulamaların verimli kullanımı, yalnızca teknik performansı değil, aynı zamanda işletmenin uzun vadeli finansal istikrarını da güçlendirmektedir (Adenuga ve ark., 2020).

5. Sonuç

Süt sığırcılığında verimliliği etkileyen en kritik faktörlerden biri, kızgınlık dönemlerinin doğru ve zamanında tespit edilmesidir. Geleneksel yöntemler uzun yıllardır kullanımda olmakla birlikte, artan sürü büyüklükleri, gözlemciye bağlı hata payları ve gözle görülmeyen (sessiz) kızgınlık olguları nedeniyle bu yöntemler tek başına yeterli olmaktan çıkmıştır. Özellikle süt verimi yüksek ineklerde davranışsal belirtilerin baskılanması, klasik tespit yöntemlerinin doğruluğunu ciddi ölçüde sınırlandırmaktadır.

Bu gereksinimlerden hareketle geliştirilen sensör tabanlı sistemler, kızgınlık döneminde ortaya çıkan davranışsal ve fizyolojik değişimleri yüksek hassasiyetle izleyebilmekte ve elde edilen verileri analiz ederek çiftçiye erken ve doğru bilgi sunabilmektedir. Pedometre, ivmeölçer, termal kamera, basınç sensörü, mikrofon ve vücut içi sensörler gibi çeşitli teknolojik araçlar, kızgınlık belirtilerini otomatik olarak izleyerek klasik yöntemlerde karşılaşılan pek çok sınırlılığı ortadan kaldırmaktadır. Bu sistemlerin etkinliği, özellikle yapay zekâ ve makine öğrenimi algoritmalarıyla entegre edildiğinde önemli ölçüde artmakta ve bireyselleştirilmiş sürü yönetimi olanakları sunmaktadır.

Çalışma kapsamında değerlendirilen sistemler, sadece kızgınlık tespitiyle sınırlı kalmayıp aynı zamanda hayvan sağlığı, refahı ve genel üretim verimliliğine yönelik kapsamlı çözümler de sunmaktadır. Bu durum, modern süt sığırcılığı işletmeleri için hem reproduktif başarıyı artırmakta hem de iş gücünden tasarruf sağlamakta, böylece ekonomik sürdürülebilirliği güçlendirmektedir.

Sonuç olarak, geleneksel yöntemlerin modern teknolojik uygulamalarla desteklenmesi, süt sığırlarında üreme yönetimini optimize etmenin anahtarı olarak öne çıkmaktadır. Bu entegrasyon, hem bireysel hayvan bazında doğru kararlar alınmasına olanak

tanımakta hem de sürü genelinde yüksek verimliliği mümkün kılmaktadır. Gelecekte, bu sistemlerin daha da gelişerek yapay zekâ temelli bütünleşik karar destek platformlarına dönüşmesi beklenmekte; böylece çiftlik yönetiminde dijitalleşmenin daha yaygın ve etkin bir şekilde kullanılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

1. **Adenuga, A. H., Jack, C., Olagunju, K. O., & Ashfield, A. (2020).** Economic viability of adoption of automated oestrus detection technologies on dairy farms: A review. *Animals*, 10(7), 1241
2. **Alsaaod, M., Niederhauser, J. J., Beer, G., Zehner, N., Schuepbach-Regula, G., & Steiner, A. (2015).** Development and validation of a novel pedometer algorithm to quantify extended characteristics of the locomotor behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6236-6242.
3. **Andersson, L. M., Okada, H., Miura, R., Zhang, Y., Yoshioka, K., Aso, H., & Itoh, T. (2016).** Wearable wireless estrus detection sensor for cows. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 101-108.
4. **Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F., & Pugliese, C. (2022).** Precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*, 16(1), 100429.
5. **Arablouei, R., Bishop-Hurley, G. J., Bagnall, N., & Ingham, A. (2024).** Cattle behavior recognition from accelerometer data: Leveraging in-situ cross-device model learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 227, 109546.
6. **Arshad, M. F., Burrai, G. P., Varcasia, A., Sini, M. F., Ahmed, F., Lai, G., ... & Parpaglia, M. L. P. (2024).** The groundbreaking impact of digitalization and artificial intelligence in sheep farming. *Research in Veterinary Science*, 105197.
7. **At-Taras, EE, & Spahr, SL (2001).** Elektronik ısı dağılımı dedektörü ve elektronik aktivite etiketi ile süt sığırlarında östrusun tespiti ve karakterizasyonu. *Süt Bilimi Dergisi* , 84 (4), 792-798.
8. **Aungier, S. P. M., Roche, J. F., Sheehy, M., & Crowe, M. A. (2012).** Effects of management and health on the use of activity monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2452-2466.
9. **Aungier, S. P. M., Roche, J. F., Sheehy, M., & Crowe, M. A. (2012).** Effects of management and health on the use of activity

- monitoring for estrus detection in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(5), 2452-2466.
10. **Barden, M., Hyde, R., Green, M., Bradley, A., Can, E., Clifton, R., ... & O'Grady, L. (2024).** Development and evaluation of predictive models for pregnancy risk in UK dairy cows. *Journal of dairy science*, 107(12), 11463-11476.
 11. **Benaissa, S., Tuytens, F. A. M., Plets, D., Trogh, J., Martens, L., Vandaele, L., ... & Sonck, B. (2020).** Calving and estrus detection in dairy cattle using a combination of indoor localization and accelerometer sensors. *Computers and electronics in agriculture*, 168, 105153.
 12. **Borchers, M. R., Chang, Y. M., Proudfoot, K. L., Wadsworth, B. A., Stone, A. E., & Bewley, J. M. (2017).** Machine-learning-based calving prediction from activity, lying, and ruminating behaviors in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 100(7), 5664-5674.
 13. **Brehme, U., Stollberg, U., Holz, R., & Schleusener, T. (2008).** ALT pedometer—New sensor-aided measurement system for improvement in oestrus detection. *Computers and electronics in agriculture*, 62(1), 73-80.
 14. **Bretzinger, L. F., Hölper, M., Tippenhauer, C. M., Plenio, J. L., Madureira, A., Heuwieser, W., & Borchardt, S. (2024).** Evaluation of Four Different Automated Activity Monitoring Systems to Identify Anovulatory Cows in Early Lactation. *Animals*, 14(21), 3145.
 15. **Britt, J. H., Scott, R. G., Armstrong, J. D., & Whitacre, M. D. (1986).** Determinants of estrous behavior in lactating Holstein cows. *Journal of dairy science*, 69(8), 2195-2202.
 16. **Burgers, E. E. A., Kok, A., Goselink, R. M. A., Hogeveen, H., Kemp, B., & Van Knegsel, A. T. M. (2021).** Fertility and milk production on commercial dairy farms with customized lactation lengths. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 443-458.
 17. **Cabrera, V. E. (2014).** Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. *Animal*, 8(s1), 211-221.
 18. **Cerri, R. L. A., Burnett, T. A., Madureira, A. M. L., Silper, B. F., Denis-Robichaud, J., LeBlanc, S., ... & Vasconcelos, J. L. M.**

- (2021). Symposium review: Linking activity-sensor data and physiology to improve dairy cow fertility. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1220-1231.
19. **Chang, A. Z., Fogarty, E. S., Moraes, L. E., García-Guerra, A., Swain, D. L., & Trotter, M. G. (2022).** Detection of rumination in cattle using an accelerometer ear-tag: A comparison of analytical methods and individual animal and generic models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106595.
 20. **De Vries, A., Bliznyuk, N., & Pinedo, P. (2023).** Invited Review: Examples and opportunities for artificial intelligence (AI) in dairy farms. *Applied Animal Science*, 39(1), 14-22.
 21. **Distante, D., Albanello, C., Zaffar, H., Faralli, S., & Amalfitano, D. (2025).** Artificial Intelligence Applied to Precision Livestock Farming: A Tertiary Study. *Smart Agricultural Technology*, 100889.
 22. **Ferreira, C., Todorovic, M., Sugrue, P., Teixeira, S., & Galvin, P. (2025).** Emerging Sensors and Instrumentation Systems for Bovine Health Monitoring. *animal*, 101527.
 23. **Firk, R., Stamer, E., Junge, W., & Krieter, J. (2002).** Automation of oestrus detection in dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, 75(3), 219-232.
 24. **Gaude, I., Kempf, A., Strüve, K. D., & Hoedemaker, M. (2017).** Comparison of visual and computerized estrous detection and evaluation of influencing factors. *Animal Reproduction Science*, 184, 211-217.
 25. **Gavojdian, D., Mincu, M., Lazebnik, T., Oren, A., Nicolae, I., & Zamansky, A. (2024).** BovineTalk: machine learning for vocalization analysis of dairy cattle under the negative affective state of isolation. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1357109.
 26. **Green, A. C., Johnston, I. N., & Clark, C. E. F. (2018).** Invited review: The evolution of cattle bioacoustics and application for advanced dairy systems. *animal*, 12(6), 1250-1259.
 27. **Güngör, M., & Tümer, S. (1999).** Sığırlarda Kızgınlığın Saptanması, Kimi Üreme Problemleri ve Tohumlamalar. *Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Çiftçi broÇürü*, (88).

28. **Hempstalk, K., McParland, S., & Berry, D. P. (2015).** Machine learning algorithms for the prediction of conception success to a given insemination in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 98(8), 5262-5273.
29. **Higaki, S., Miura, R., Suda, T., Andersson, L. M., Okada, H., Zhang, Y., ... & Yoshioka, K. (2019).** Estrous detection by continuous measurements of vaginal temperature and conductivity with supervised machine learning in cattle. *Theriogenology*, 123, 90-99.
30. **Higaki, S., Miura, R., Suda, T., Andersson, L. M., Okada, H., Zhang, Y., ... & Yoshioka, K. (2019).** Estrous detection by continuous measurements of vaginal temperature and conductivity with supervised machine learning in cattle. *Theriogenology*, 123, 90-99.
31. **Ipema, A. H., Goense, D., Hogewerf, P. H., Houwers, H. W. J., & Van Roest, H. (2008).** Pilot study to monitor body temperature of dairy cows with a rumen bolus. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1), 49-52.
32. **Kiddy, C. A. (1977).** Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cow Gaude, I., Kempf, A., Strüve, K. D., & Hoedemaker, M. (2021). Estrus signs in holstein friesian dairy cows and their reliability for ovulation detection in the context of visual estrus detection. *Livestock science*, 245, 104449.s. *Journal of Dairy Science*, 60(2), 235-243.
33. **Kitwood, S. E., Phillips, C. J. C., & Weise, M. (1993).** Use of a vaginal mucus impedance meter to detect estrus in the cow. *Theriogenology*, 40(3), 559-569.
34. **Knight, C. H. (2020).** Sensor techniques in ruminants: more than fitness trackers. *Animal*, 14(S1), s187-s195.
35. **Kour, H., Patison, K. P., Corbet, N. J., & Swain, D. L. (2021).** Recording cattle maternal behaviour using proximity loggers and tri-axial accelerometers. *Applied Animal Behaviour Science*, 240, 105349.

36. **Lou, W., Bonfatti, V., Bovenhuis, H., Shi, R., van der Linden, A., Mulder, H. A., ... & Ducro, B. (2024).** Prediction of likelihood of conception in dairy cows using milk mid-infrared spectra collected before the first insemination and machine learning algorithms. *Journal of Dairy Science*, 107(11), 9415-9425.
37. **Mahato, S., & Neethirajan, S. (2024).** Integrating artificial intelligence in dairy farm management– biometric facial recognition for cows. *Information Processing in Agriculture*.
38. **Marquez, H. P., Ambrose, D. J., Schaefer, A. L., Cook, N. J., & Bench, C. J. (2019).** Infrared thermography and behavioral biometrics associated with estrus indicators and ovulation in estrus-synchronized dairy cows housed in tiestalls. *Journal of dairy science*, 102(5), 4427-4440.
39. **Miura, R., Yoshioka, K., Miyamoto, T., Nogami, H., Okada, H., & Itoh, T. (2017).** Estrous detection by monitoring ventral tail base surface temperature using a wearable wireless sensor in cattle. *Animal reproduction science*, 180, 50-57.
40. **Nadimi, E. S., Jørgensen, R. N., Blanes-Vidal, V., & Christensen, S. (2012).** Monitoring and classifying animal behavior using ZigBee-based mobile ad hoc wireless sensor networks and artificial neural networks. *Computers and electronics in agriculture*, 82, 44-54.
41. **Perez Marquez, H. J., Ambrose, D. J., & Bench, C. J. (2023).** Behavioral changes to detect estrus using ear-sensor accelerometer compared to in-line milk progesterone in a commercial dairy herd. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1149085.
42. **Reith, S., & Hoy, S. (2012).** Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(11), 6416-6420.
43. **Reith, S., & Hoy, S. (2018).** Behavioral signs of estrus and the potential of fully automated systems for detection of estrus in dairy cattle. *Animal*, 12(2), 398-407.
44. **Reynolds, M. A., Borchers, M. R., Davidson, J. A., Bradley, C. M., & Bewley, J. M. (2019).** An evaluation of technology-recorded

- rumination and feeding behaviors in dairy heifers. *Journal of dairy science*, 102(7), 6555-6558.
45. **Roelofs, J. B., Van Eerdenburg, F. J. C. M., Soede, N. M., & Kemp, B. (2005).** Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 63(5), 1366-1377.
 46. **Roelofs, J. B., van Eerdenburg, F. J., Soede, N. M., & Kemp, B. (2005).** Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology*, 64(8), 1690-1703.
 47. **Roelofs, J., Lopez-Gatius, F., Hunter, R. H. F., Van Eerdenburg, F. J. C. M., & Hanzen, C. H. (2010).** When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology*, 74(3), 327-344.
 48. **Röttgen, V., Becker, F., Tuchscherer, A., Wrenzycki, C., Döpjan, S., Schön, P. C., & Puppe, B. (2018).** Vocalization as an indicator of estrus climax in Holstein heifers during natural estrus and superovulation. *Journal of dairy science*, 101(3), 2383-2394.
 49. **Röttgen, V., Schön, P. C., Becker, F., Tuchscherer, A., Wrenzycki, C., Döpjan, S., & Puppe, B. (2020).** Automatic recording of individual oestrus vocalisation in group-housed dairy cattle: development of a cattle call monitor. *Animal*, 14(1), 198-205.
 50. **Rutten, C. J., Velthuis, A. G. J., Steeneveld, W., & Hogeveen, H. (2013).** Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of dairy science*, 96(4), 1928-1952.
 51. **Schön, P. C., Hämel, K., Puppe, B., Tuchscherer, A., Kanitz, W., & Manteuffel, G. (2007).** Altered vocalization rate during the estrous cycle in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 90(1), 202-206.
 52. **Selvaggi, R., Pappalardo, G., Zarbà, C., & Lusk, J. L. (2024).** Driving factors behind precision livestock farming tools adoption: The case of the pedometer on dairy farms. *Agricultural Systems*, 220, 104090.
 53. **Smith, R. F., Oultram, J., & Dobson, H. (2014).** Herd monitoring to optimise fertility in the dairy cow: making the most of herd records, metabolic profiling and ultrasonography (research into practice). *Animal*, 8(s1), 185-198.

54. **SMOLÍK, P., VRHEL, M., SMUTNÝ, L., & ŠOCH, M. (2024).** Overview of current methods for monitoring behavioral activities and reproduction in dairy cattle: a review. *Journal of Central European Agriculture*, 25(3), 606-619
55. **Talukder, S., Thomson, P. C., Kerrisk, K. L., Clark, C. E. F., & Celi, P. (2015).** Evaluation of infrared thermography body temperature and collar-mounted accelerometer and acoustic technology for predicting time of ovulation of cows in a pasture-based system. *Theriogenology*, 83(4), 739-748.
56. **Valenza, A., Giordano, J. O., Lopes Jr, G., Vincenti, L., Amundson, M. C., & Fricke, P. M. (2012).** Assessment of an accelerometer system for detection of estrus and treatment with gonadotropin-releasing hormone at the time of insemination in lactating dairy cows. *Journal of dairy science*, 95(12), 7115-7127.
57. **Van Eerdenburg, F. J. C. M., Karthaus, D., Taverne, M. A. M., Mercis, I., & Szenci, O. (2002).** The relationship between estrous behavioral score and time of ovulation in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1150-1156.
58. **Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2011).** A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal reproduction science*, 123(3-4), 127-138.
59. **Walsh, SW, Williams, EJ, & Evans, ACO (2011).** Yüksek süt üreten süt ineklerinde düşük doğurganlığın nedenlerine ilişkin bir inceleme. *Hayvan üreme bilimi* , 123 (3-4), 127-138.
60. **Wang, J., Chen, H., Wang, J., Zhao, K., Li, X., Liu, B., & Zhou, Y. (2023).** Identification of oestrus cows based on vocalisation characteristics and machine learning technique using a dual-channel-equipped acoustic tag. *animal*, 17(6), 100811.
61. **Xu, Z. Z., McKnight, D. J., Vishwanath, R., Pitt, C. J., & Burton, L. J. (1998).** Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 81(11), 2890-2896.

ANATOMİK TEMELLER VE YAPAY ZEKA

