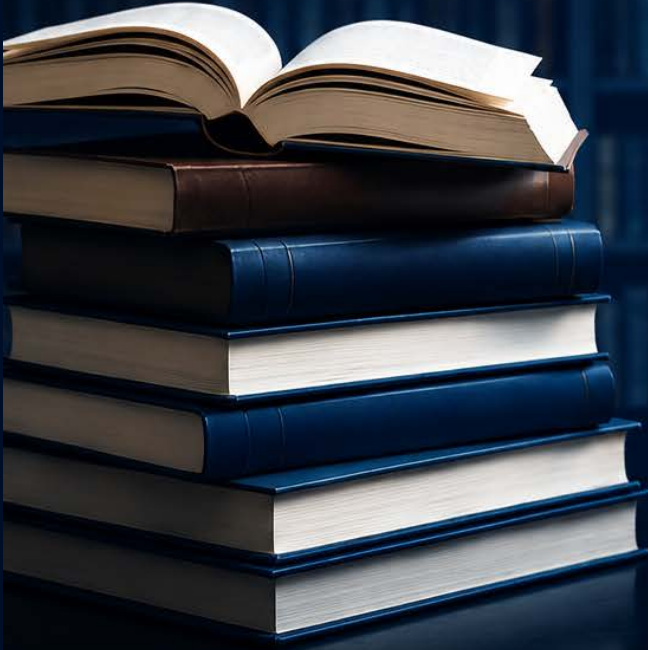


VETERİNER ANATOMİSİ ALANINDA
GÜNCEL KONULAR VE
AKADEMİK DEĞERLENDİRMELER

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Mahmut YARDIMCI



yaz
yayınları

**Veteriner Anatomisi Alanında
Güncel Konular ve Akademik Değerlendirmeler**

Editör

Dr.Öğr.Üyesi Mahmut YARDIMCI

yaz
yayınları

2026

**Veteriner Anatomisi Alanında Güncel
Konular ve Akademik Değerlendirmeler**

Editör: Dr.Öğr.Üyesi Mahmut YARDIMCI

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5450-35-7

Ekim 2026 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

İÇİNDEKİLER

Evcil Hayvanlarda Bölgesel Anatomik Organizasyon....	1
<i>Mahmut YARDIMCI</i>	
Köpeklerde Koku Duyusu Anatomisi.....	13
<i>Yasemin ÜSTÜNDAĞ</i>	
Köpekte Nervus Vagus'un Anatomisi, Fonksiyonları ve Klinik Önemi	31
<i>Esin ÜNSALDI</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

EVCİL HAYVANLARDA BÖLGESEL ANATOMİK ORGANİZASYON

Mahmut YARDIMCI¹

1. GİRİŞ

Veteriner anatomi, hayvan vücudunu oluşturan yapıların biçimini, konumunu, birbirleriyle olan ilişkilerini ve fonksiyonel özelliklerini inceleyen temel bilim dallarından biridir. Anatomik yapıların yalnızca tek tek tanımlanması, canlı organizmanın bütüncül olarak anlaşılması açısından yeterli değildir. Bir organın veya dokunun vücuttaki konumu, komşu yapılarla ilişkisi, damar ve sinirlerle bağlantısı ve bulunduğu anatomik bölgenin özellikleri, veteriner hekimlik uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle veteriner anatomide sistematik yaklaşımın yanında bölgesel veya topografik yaklaşım da önemli bir yere sahiptir (König ve Liebich 2020).

Bölgesel anatomi, vücudu belirli anatomik bölgelere ayırarak bu bölgelerde bulunan yapıların birbirleriyle olan ilişkilerini inceleyen bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Sistematik anatomide kemik, kas, sinir, damar veya sindirim sistemi gibi yapılar belirli sistemler altında ayrı ayrı ele alınırken, bölgesel anatomide aynı anatomik bölgede bulunan farklı sistemlere ait yapılar birlikte değerlendirilir. Böylece belirli bir bölgenin anatomik bütünlüğü ve yapıların birbirleriyle olan ilişkileri daha iyi ortaya konulabilir (Singh, 2018). Evcil hayvanlarda vücut yapısının türlere göre farklılık göstermesi,

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Muş Alparslan Üniversitesi, Bulanık Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Laborant ve Veteriner Sağlık Pr. ORCID: 0000-0002-1542-3968.

bölgesel anatomik yaklaşımın önemini daha da artırmaktadır. Kedi, köpek, at, sığır, koyun ve keçi gibi farklı türlerde aynı anatomik bölge içerisinde yer alan yapıların konumu, büyüklüğü, şekli ve komşuluk ilişkileri değişiklik gösterebilir. Hayvanların vücut şekli, hareket biçimi, beslenme özellikleri ve fonksiyonel gereksinimleri bu farklılıkların ortaya çıkmasında rol oynar (König ve Bragulla 2007). Bölgesel anatomik bilgilerin doğru şekilde değerlendirilmesi; klinik muayene, cerrahi girişimler, anestezi uygulamaları, radyolojik görüntüleme ve veteriner anatomi eğitimi açısından temel oluşturmaktadır. Bu nedenle evcil hayvanlarda bölgesel anatomik organizasyonun bilinmesi, temel anatomi ile klinik uygulamalar arasında önemli bir bağlantı sağlamaktadır (Gürbüz, Demiraslan ve Dayan 2024).

2. BÖLGESEL ANATOMİK ORGANİZASYONUN TEMEL İLKELERİ

Hayvan vücudunun bölgesel olarak incelenebilmesi için öncelikle anatomik yönler, düzlemler ve bölgelerin doğru şekilde tanımlanması gerekir. Veteriner anatomide dorsal, ventral, cranial, caudal, medial, lateral, proximal ve distal gibi yön bildiren terimler, yapıların birbirlerine göre konumlarının tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu terminoloji, farklı hayvan türlerinde ortak ve anlaşılır bir anatomik dil oluşturulmasını sağlar (Saini ve Choudhary 2025).

Vücut genel olarak baş, boyun, gövde ve ekstremiteler şeklinde bölgesel olarak değerlendirilebilir. Gövde ise thorax, abdomen ve pelvis gibi daha küçük bölümlere ayrılabilir. Bu bölgelerin her biri kendi içerisinde farklı anatomik yapılara ve komşuluk ilişkilerine sahiptir. Örneğin thorax içerisinde kalp, akciğerler, büyük damarlar ve mediastinal yapılar birbiriyle yakın ilişkide bulunurken, abdomen içerisinde sindirim, üriner ve

üreme sistemlerine ait çeşitli organlar birlikte yer almaktadır (Alexandra van Iwaarden, 2012).

Bölgesel anatomide yalnızca organların konumları değil, organların vücut duvarı, kaslar, damarlar ve sinirlerle olan ilişkileri de dikkate alınır. Bu nedenle bölgesel anatomi, anatomik yapıların üç boyutlu organizasyonunun anlaşılmasına katkı sağlar. Özellikle kesitsel anatomi ve tıbbi görüntüleme yöntemlerinin yorumlanmasında yapıların birbirlerine göre konumlarının bilinmesi önemlidir (König ve Liebich 2020).

3. BAŞ VE BOYUN BÖLGESİNİN ANATOMİK ORGANİZASYONU

Baş ve boyun bölgesi; merkezi sinir sistemi ile duyu organların yanı sıra sindirim ve solunum sistemlerinin başlangıç bölümlerini, önemli damarları, sinirleri ve kasları içeren karmaşık bir anatomik alandır. Baş bölgesi genel olarak neurocranium ve viscerocranium bölümleri ile bunların çevresindeki yüz, çene ve ağız bölgeleri şeklinde değerlendirilebilir (Hermanson ve Lahunta 2018). Başın iskeletini oluşturan kemikler, beyin ve duyu organları için koruyucu bir yapı oluştururken aynı zamanda çiğneme ve yüz hareketlerinde görev alan kasların tutunma alanlarını meydana getirir. Mandibula, temporomandibular eklem aracılığıyla kafatasıyla bağlantı kurar ve çiğneme hareketlerinin gerçekleştirilmesinde önemli rol oynar. Baş bölgesindeki kaslar, damarlar ve sinirler birbirleriyle yakın komşuluk içerisinde. Özellikle trigeminal ve facial sinirlerin dalları ile büyük damarların bölgesel seyirlerinin bilinmesi, klinik uygulamalar açısından önemlidir (Evans ve Lahunta 2013).

Boyun bölgesi ise baş ile gövde arasında anatomik ve fonksiyonel bir geçiş alanıdır. Bu bölgede cervical vertebralar, boyun kasları, trachea, oesophagus, büyük damarlar, sinirler ve lenfatik yapılar bulunur. Özellikle trachea ve oesophagus'un

konumları ile büyük damar ve sinirlerin bölgesel seyirlerinin bilinmesi, klinik muayene ve cerrahi uygulamalar bakımından önem taşır (Evans ve Lahunta 2013).

Türler arasında baş ve boyun bölgesinin morfolojisinde önemli farklılıklar görülebilir. Örneğin atlarda uzun ve hareketli boyun yapısı belirgin iken, ruminantlarda başın şekli ve boyun bölgesinin anatomik organizasyonu farklı özellikler göstermektedir (Nickel ve ark., 1986). Köpeklerde ise kafatası morfolojisi ırklar arasında dahi belirgin değişiklikler gösterebilir. Bu durum, veteriner hekimlikte bölgesel anatomik bilgilerin tür ve birey özellikleri dikkate alınarak değerlendirilmesini gerekli kılar (Evans ve Lahunta 2013).

4. THORAX BÖLGESİNİN ANATOMİK ORGANİZASYONU

Thorax, solunum ve dolaşım sistemlerinin temel yapılarını barındıran ve göğüs duvarı tarafından çevrelenen anatomik bölgedir. Thoracic vertebralar, sternum ve bunlar arasında bulunan kaslar thoracic cavity'nin iskelet ve kas yapısını oluşturur. Thoracic cavity içerisinde kalp, akciğerler, büyük damarlar, trachea ve oesophagus gibi önemli anatomic yapılar bulunur (Singh, 2018). Kalp, pericardium içerisinde yer alır ve mediastinum içerisinde konumlanır. Kalbin thorax içerisindeki pozisyonu türler arasında farklılık gösterebilir. Akciğerler ise pleura ile çevrilidir ve thoracic cavity'nin önemli bir bölümünü oluşturur. Sağ ve sol akciğerlerin loblaşma özellikleri de türlere göre değişiklik gösterebilir (König ve Bragulla 2007).

Thoracic bölgenin anatomik organizasyonunda mediastinum önemli bir yere sahiptir. Mediastinum içerisinde kalbin yanı sıra büyük damarlar, trachea, oesophagus, sinirler ve lenfatik yapılar bulunur. Bu yapıların birbirleriyle olan yakın ilişkileri nedeniyle thorax bölgesindeki anatomik bilgilerin klinik

açıdan doğru şekilde değerlendirilmesi gerekir (Vázquez Odo, 2018). Thorax bölgesinin yüzey anatomisi de klinik uygulamalar bakımından önemlidir. Kalbin ve akciğerlerin vücut duvarındaki izdüşümleri, fiziksel muayene ve görüntüleme yöntemlerinin uygulanmasında anatomik referans olarak kullanılabilir. Ayrıca intercostal aralıkların ve kaburgaların doğru şekilde belirlenmesi, çeşitli klinik girişimlerde önem taşımaktadır (Evans ve Lahunta 2013).

5. ABDOMEN BÖLGESİNİN ANATOMİK ORGANİZASYONU

Abdomen, çok sayıda organın bir arada bulunduğu ve bölgesel anatomik ilişkilerin oldukça karmaşık olduğu vücut bölgelerinden biridir. Abdominal cavity içerisinde karaciğer, mide, bağırsaklar, pankreas, dalak ve böbrekler gibi çok sayıda organ bulunur. Bu organların konumları ve birbirleriyle olan ilişkileri hayvan türlerine göre önemli ölçüde değişebilir (König ve Bragulla 2007). Abdominal bölgenin incelenmesinde organların yalnızca tek tek konumlarının bilinmesi yeterli değildir. Organların abdominal duvar, peritoneum, damarlar ve komşu organlarla olan ilişkileri de değerlendirilmelidir. Özellikle karaciğerin diaphragma ile ilişkisi, midenin abdominal cavity içerisindeki konumu ve bağırsakların yerleşimi türler arasında belirgin farklılıklar gösterebilir (Singh, 2018).

Karnivor hayvanlarda mide daha basit bir yapıya sahipken, ruminantlarda sindirim sisteminin önemli bir bölümü abdominal cavity içerisinde geniş bir alan kaplar. Ruminantlarda rumen, reticulum, omasum ve abomasumun topografik ilişkileri, bu hayvanların abdominal anatomisinin temel özelliklerinden biridir. Atların abdominal cavity'sinde ise geniş ve hareketli colon yapıları dikkat çekmektedir (Vázquez Odo, 2018). Böbreklerin konumu da türler arasında farklılık gösterebilir. Özellikle sağ ve

sol böbreğin cranial–caudal konumları, abdominal organlarla olan ilişkileri ve retroperitoneal yerleşimleri bölgesel anatomik değerlendirmelerde dikkate alınmalıdır (Misk ve ark. 1986). Abdominal organların topografik konumlarının bilinmesi, palpasyon ve görüntüleme yöntemleri ile yapılan klinik değerlendirmelerde büyük önem taşır. Ultrasonografi, radyografi, bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntüleme gibi yöntemlerden elde edilen görüntülerin doğru yorumlanabilmesi için normal anatomik ilişkilerin bilinmesi gerekmektedir (König ve Bragulla 2007).

6. PELVIS BÖLGESİNİN ANATOMİK ORGANİZASYONU

Pelvis bölgesi, axial skeleton ile pelvic limb arasında bağlantı sağlayan ve abdominal cavity'nin caudal devamı niteliğindeki pelvic cavity'yi çevreleyen önemli bir anatomik bölgedir. Os coxae, sacrum ve ilişkili vertebralar pelvisin temel iskelet yapısını meydana getirir (Singh, 2018). Pelvic cavity içerisinde rectum, urinary bladder ve tür ile cinsiyete bağlı olarak farklı ürogenital organlar bulunur. Bu yapıların birbirleriyle olan komşulukları özellikle cerrahi girişimler, doğum olayları ve ürogenital sistem hastalıklarının değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (Vázquez Odo, 2018).

Pelvisin anatomik şekli ve genişliği hayvan türleri arasında farklılık gösterir. Bu farklılıklar özellikle doğum kanalı uygulamalarında önemlidir. Dişi hayvanlarda pelvisin iç çapları ve kemik yapılarının konumu, doğum sırasında fetüsün geçişini etkileyebilmektedir (Singh, 2018). Pelvik bölgede bulunan damar ve sinirlerin seyri de bölgesel anatomik organizasyonun önemli bir parçasıdır. Özellikle pelvic limb'e ulaşan büyük sinirlerin ve damarların anatomik konumlarının bilinmesi, cerrahi ve anestezi uygulamalarda önem taşır (Misk ve ark. 1986).

7. EKSTREMİTELERİN BÖLGESEL ANATOMİK ORGANİZASYONU

Ekstremiteler, hayvanın vücut ağırlığının taşınması, hareket ve dengenin sağlanması açısından temel yapılardır. Thoracic ve pelvic limbs, anatomik olarak benzer temel planı paylaşmakla birlikte türlere ve fonksiyonel gereksinimlere bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir (König ve Liebich 2020). Thoracic bölgesinde scapula, humerus, radius, ulna ve distal ekstremiteye ait yapılar bulunur. Kasların, tendonların, damarların ve sinirlerin bu kemik yapılarla olan ilişkileri, ekstremitenin fonksiyonel organizasyonunu oluşturur. Özellikle peripheral nerves'in seyri ve önemli damarların konumu klinik muayene ve cerrahi uygulamalar açısından önemlidir (Evans ve Lahunta 2013). Pelvic limb ise pelvis ile bağlantılı olarak coxal, femoral ve distal bölümlerden oluşur. Femur, tibia, fibula ve distal ekstremitte yapıları arasında anatomik ve fonksiyonel bir bütünlük bulunur. Kas gruplarının ve eklem yapılarının organizasyonu, hayvanların hareket biçimlerine göre farklılaşmaktadır (Miller, Christensen ve Evans 1964). Atlarda ekstremitelerin anatomisi, yüksek hızlı lokomasyon ve ağırlığın distal bölümlerde mümkün olduğunca azaltılması yönündeki fonksiyonel özelliklerle ilişkilidir. Ruminantlarda ise ekstremitenin distal bölümlerinde iki ana parmağın belirginleşmesi, türün fonksiyonel ve gelişimsel özellikleriyle ilişkilidir. Karnivorlarda ise ekstremitelerin anatomik organizasyonu, hareketlilik ve avlanma davranışlarıyla bağlantılı özellikler taşır (Vázquez Odo, 2018).

8. TÜRLER ARASI BÖLGESEL ANATOMİK FARKLILIKLARIN ÖNEMİ

Evcil hayvanlar arasında bölgesel anatomik organizasyon bakımından görülen farklılıklar, veteriner anatomisinin temel

özelliklerinden biridir. Aynı organ veya anatomik yapı farklı türlerde farklı konum, şekil ve komşuluk ilişkilerine sahip olabilir. Bu nedenle bir tür için öğrenilen anatomik bilginin başka bir türe doğrudan aktarılması doğru değildir (Singh, 2018). Özellikle sindirim sistemi, thoracic cavity ve ekstremitelerde türler arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Ruminantların çok bölmeli midesi, atların gelişmiş colon yapısı ve karnivorların daha basit sindirim sistemi bu farklılıklara örnek olarak verilebilir. Benzer şekilde ekstremit anatomisindeki farklılıklar, hayvanların lokomasyon biçimleri ve vücut ağırlığını taşıma mekanizmalarıyla ilişkilidir (Vázquez Odo, 2018).

Türler arasındaki bu farklılıkların bilinmesi yalnızca temel anatomi açısından değil, klinik uygulamalar açısından da önemlidir. Cerrahi yaklaşım, fiziksel muayene, anestezi, görüntüleme ve enjeksiyon uygulamalarında anatomik bölgenin türe özgü özellikleri dikkate alınmalıdır. Nitekim güncel bir çalışmada, köpek ekstremitelerinde yüzeysel anatomik işaretlerin ve bölgesel yapıların bilinmesinin klinik yaklaşım ve cerrahi girişimlerin planlanması açısından önemi vurgulanmıştır (Orhan ve Nur, 2025).

9. BÖLGESEL ANATOMİK ORGANİZASYONUN KLİNİK VE EĞİTİMSEL ÖNEMİ

Bölgesel anatomi, veteriner hekimin hayvan vücudunu bir bütün olarak değerlendirmesine yardımcı olur. Klinik muayene sırasında palpasyonla belirlenen bir yapının doğru şekilde yorumlanabilmesi, o yapının normal anatomik konumunun bilinmesini gerektirir. Benzer şekilde cerrahi girişimlerde hedeflenen yapıya ulaşılırken çevredeki damar, sinir, kas ve organların konumlarının bilinmesi, anatomik yapıların korunmasına ve komplikasyonların azaltılmasına katkı sağlar (Orhan ve Nur, 2025). Radyolojik görüntüleme yöntemlerinin

kullanımının yaygınlaşması da bölgesel anatomik bilginin önemini artırmıştır. Radyografi, ultrasonografi, bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntüleme ile elde edilen görüntülerde yapıların tanımlanması, normal anatomik ilişkilerin bilinmesine bağlıdır. Özellikle kesitsel görüntüleme yöntemlerinde yapıların üç boyutlu konumunun anlaşılması, bölgesel anatomi bilgisini gerekli kılmaktadır (König ve Bragulla 2007).

Veteriner anatomi eğitiminde de bölgesel yaklaşım önemli avantajlar sağlamaktadır. Öğrencilerin yalnızca tek tek yapıların isimlerini öğrenmeleri yerine, belirli bir bölgedeki yapıların birbirleriyle olan ilişkilerini kavramaları, anatomik bilginin klinik uygulamalara aktarılmasını kolaylaştırabilir. Türkiye'de veteriner hekimler ve veteriner fakültesi öğrencileri üzerinde gerçekleştirilen güncel bir çalışmada, katılımcıların büyük çoğunluğunun anatomi bilgisini klinik uygulamalar açısından önemli gördüğü ve topografik anatominin radyolojik görüntüler ve klinik bilimlerle ilişkilendirilmesi gerektiğini düşündüğü bildirilmiştir (Gürbüz, Demiraslan ve Dayan 2024).

10. SONUÇ

Evcil hayvanlarda bölgesel anatomik organizasyon, vücut yapılarını yalnızca sistemler temelinde değil, anatomik bölgeler ve bu bölgelerde bulunan yapıların birbirleriyle olan ilişkileri üzerinden değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. Baş-boyun, thorax, abdomen, pelvis ve ekstremiteler gibi bölgelerin anatomik organizasyonunun bilinmesi, veteriner hekimin normal anatomiye doğru şekilde değerlendirmesi için temel oluşturmaktadır.

Türler arasında görülen anatomik farklılıklar, bölgesel anatomik yaklaşımın veteriner hekimlik açısından önemini daha da artırmaktadır. Anatomik yapıların konumu ve komşuluk ilişkilerinin türe özgü olarak değerlendirilmesi; klinik muayene,

cerrahi, anestezi ve görüntüleme uygulamalarının doğru şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle bölgesel anatomi, temel veteriner anatomi bilgileri ile klinik veteriner hekimlik arasında önemli bir köprü niteliğindedir.

KAYNAKÇA

- Alexandra van Iwaarden, B. S. (2012). Topographical anatomy of the equine M. cutaneus trunci in relation to the position of the saddle and girth. *Journal of Equine Veterinary Science*, 30, 1-6.
- Evans, H. E., & de Lahunta, A. (2013). *Miller's anatomy of the dog* (4th ed.). Elsevier.
- Gürbüz, İ., Demiraslan, Y., & Dayan, O. (2024). Students and Veterinarians Views About Clinical Anatomy and Topographic Anatomy Courses in Veterinary Education. *Kocatepe Veterinary Journal*, 17(4), 368-374.
- Hermanson, J. W., & de Lahunta, A. (2018). *Miller and Evans' anatomy of the dog* (5th ed.). St. Louis, MO: Elsevier Health Sciences.
- König, H. E., & Bragulla, H. (2007). *Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and colour atlas*. Schattauer Verlag.
- König, H. E., & Liebich, H. G. (2020). *Veterinary anatomy of domestic animals. Textbook and color atlas*.
- Miller, M. E., Christensen, G. C., & Evans, H. E. (1964). *Anatomy of the dog*.
- Misk, N. A., Makady, F. M., Samy, M. T., & Hifny, A. (1986). surgical anatomy of the trachea in some domestic animals. *Assiut Veterinary Medical Journal*, 17(33), 138-145.
- Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E., Frewein, J., Wilkens, H., Wille, KH, & Stokoe, WM (1986). *Evcil hayvanların anatomisi. Cilt 1. Evcil memelilerin hareket sistemi*.
- Orhan, İ., & Nur, İ. H. (2025). *Topographic and Clinical New Approaches and Correlations of Extremities in Dogs*.

Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 22(2), 95-102.

- Saini, J., & Choudhary, O. P. (2025). Gross anatomy and computed tomography-based three-dimensional modeling of the humerus and femur in goat (*Capra hircus*) for enhanced veterinary anatomy education. *Indian Journal of Animal Sciences*, 95(6), 430-436.
- Singh, B. (2018). Dyce, Sack, and Wensing's textbook of veterinary anatomy. St. Louis, Missouri: Saunders.
- Vázquez Odo, N. S. (2018). Anatomía cardiovascular del Venado de Campo (*Ozotoceros bezoarticus*).

KÖPEKLERDE KOKU DUYUSU ANATOMİSİ

Yasemin ÜSTÜNDAĞ¹

1. GİRİŞ

Köpeklerin burun yapısı ve koku alma hassasiyeti, dünyayı anlamlandırmanın ve çevreleriyle iletişim kurmalarının en temel yoludur; bu organ yalnızca bir solunum aracı değil, aynı zamanda dış dünyanın kimyasal haritasını çıkarabilen bir algı merkezidir. Burun boşluklarının sahip olduğu milyonlarca bipolar nöron ile birlikte beyinlerindeki iki ayrı koku işleme merkezine sahiptirler (Jenkins ve ark., 2018; Jendry ve ark., 2021; Kokocińska-Kusiak ve ark., 2021). Bu özellikleri sayesinde uçucu organik bileşikler trilyonda bir seviyesindeki konsantrasyonlarda bile tespit edebilen mükemmel birer makrosmatik canlıdır. İnsanlara kıyasla 10.000 ile 100.000 kat daha hassas olan bu koku duyusu, sadece davranışsal bir üstünlükten ibaret olmayıp, gelişmiş bir anatomik ve nörolojik mimarinin doğrudan sonucudur (Jenkins ve ark., 2018; Kokocińska-Kusiak ve ark., 2021).

Bu mimari yapının ilk bölümü, burun boşluğunun çok iyi diyazn edilmiş aerodinamik yapısıyla başlar. Aktif koklama sırasında, içeri çekilen havanın yaklaşık %12-13'ü koku yolu vasıtasıyla üst koku bölgesine yönlendirilirken, geri kalanı ise soluk yolu vasıtasıyla akciğerlere yönlendirilir. Nefes verme

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Anatomi AD., ORCID: 0000-0002-8836-0371.

sırasında ise hava burun deliklerinin yan yarıklarından dışarı atılır; böylece koku boşluğundaki laminar hava akışı bozulmaz ve koku moleküllerinin reseptörlerle teması kesintisiz devam eder (Jenkins ve ark.,2018; Kokocińska-Kusiak ve ark., 2021). Ayrıca köpeklerin yeni veya tehdit edici kokuları ilk olarak sağ burun deliğiyle, tanıdık ve olumsuz olmayan kokuları ise sol burun deliğiyle incelemesi biçimindeki nörolojik lateralizasyon, bu anatomik organizasyonun işlevsel bir yansımasıdır.

Periferik epitelden toplanan duyuşsal bilgi, etmoid kemik üzerindeki foraminallardan geçerek olfaktör bulbus'a (bulbus olfactorius) aktarılır. Burada işlenen sinyaller ipsilateral yollarla piriform korteks, amigdala ve entorinal korteks gibi merkezi beyin bölgelerine iletilir. Köpeklerde koku anatomisinin bir diğer kritik bölümü, ana koku sistemini tamamlayan Vomeronasal Organdır (VNO/ Jacobson Organı). Nasal septumun ventrorostral tabanında ikili olarak yer alır ve "J" şeklindeki bir kıkırdak kılıf ile korunur. Çoğunlukla feromonların ve uçucu olmayan kimyasal sinyallerin tespitinden sorumludur. VNO'dan gelen nöral iletiler doğrudan aksesuar olfaktör bulbus'a (AOB) ve limbik sisteme ulaşarak sosyal ve üreme davranışlarını şekillendirir (Evans ve Lahunta, 2013).

2. KOKU SİSTEMİ

Koku sisteminin temel yapısını burun boşluğu, vomeronasal organ, olfaktorik mukoza (epitel ve reseptörler) ve olfaktör bulbusla başlayan koku yolağı oluşturur (Jenkins ve ark.,2018).

2.1. Burun Boşluğu (Cavum Nasi)

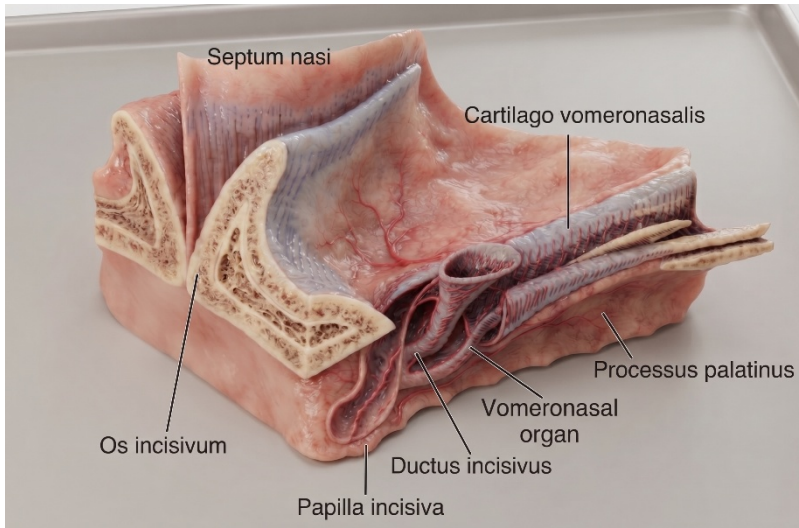
Burun boşluğu solunum yolunun yüz bölgesindeki kısmını oluşturur. Bu boşluk, burun deliklerinden (nares) choana'ya kadar uzanır ve bir nazal septum vasıtasıyla iki eş boşluğa ayrılır. Her bir burun boşluğu içinde nazal konkalar (conchae nasales) adı verilen kıkırdak yapıda veya kemikleşmiş kıvrımlı yapılar bulunur. Bu konkalar sırasıyla; dorsal burun konkası, medial burun konkası ve ventral burun konkasıdır. Dorsal ve ventral burun konkası solunum mukozası ile döşeliyken, medial burun mukozası koku duyusunun alımında görevli olan olfaktorik mukoza ile döşelidir (Jenkins ve ark.,2018; Kokocińska-Kusiak ve ark., 2021).

2.2. Vomer nazal Organ (Jacobson Organı)

Vomer nazal organ burun boşluğunun ventrorostral kısmı boyunca uzanır, bilateral simetrik ve koku algılaması için ek bir bölge olarak görev yapar. Cartilago vomeronasalis adı verilen bir kıkırdak tarafından çevrelenmiş olfaktorik epitelden oluşan tübüler bir cep şeklindedir (Evans; Dennis ; Salazar) Her bir VNO rostral yönde ağız ve burun boşluğunu birbirine bağlayan insisiv kanala açılır (ductus incisivus) (Şekil 1). Mukozasında hem reseptör içeren hem de reseptör içermeyen alanlar bulunur (Dennis ve ark., 2003; Jenkins ve ark.,2018). Köpek VNO'daki reseptörler, silyaların hareketli tipte olmaması nedeniyle kedi ya da tavşaninkinden farklı bir özelliğe sahiptir. Lateral duvarı geniş bir venöz pleksus bulunmaktadır. Vomer nazal mukozadan gelen uyarıların beyne iletilmesinde kullanılan nöral yollar, normal olfaktorik mukozanın yollarından farklıdır. Duyu nöronları, davranışsal ve/veya fizyolojik değişiklikleri uyaran kimyasal sinyalleri algılar, hipotalamusa alternatif bir nöronal yolak sağlar ve kokulara karşı oldukça yavaş adapte olur. uçucu olmayan

kokulu maddelerin, özellikle feromonların, algılanmasında görev yapar ve sosyal davranış ile üremede rol oynadığı düşünülmektedir (Adams ve Wiekamp, 1984). Bununla birlikte VNO'nun cinsel işleviyle ilişkili olarak, birçok memelide görülen ve “flehmen” olarak tanımlanan davranışsal “olfaktör refleks” veya “dudak kıvrırma” davranışından sorumlu olduğu bilinmektedir (Evans ve Lahunta, 2013). Bununla birlikte bazı türlerle karşılaştırıldığında, köpeklerin VNO'sunda VR2 geni temelli bir vomeronazal alt sistem bulunmamaktadır. Bu durum, köpek sisteminin Gao eksprese etmemesi, buna karşılık AOB'nin yanı sıra VNSe boyunca Gai2 eksprese etmesi ve köpek genomunda işlevsel VR2 genlerinin bulunmaması ile doğrulanmıştır (Young ve Trask, 2007; Salazar, 2015)

Şekil 1. Vomeronazal Organın Yapısı



2.3. Olfaktörik Mukoza

Olfaktör epitel; lamina cribrosa'yı, dorsal septumu, dorsal ve medial konkaları döşeyen nöroepitelden ve milyonlarca

olfaktör reseptör hücrelerini (ORC) içeren yalancı çok katlı prizmatik epitelden oluşur (Hawkes ve Doty, 2009). Olfaktör epitel ayrıca kokulu maddelerle etkileşmek üzere hava boşluğuna doğru uzanan bipolar nöronların yanı sıra sustentaküler ve bazal hücrelerden oluşmaktadır. Bir ORC'nin yaşam süresi yalnızca birkaç haftadır ve yeni ORC'ler, ORC'lere veya sustentaküler hücrelere (destek hücrelerine) farklılaşabilen pluripotent bazal hücrelerden gelişmektedir. Sustentaküler hücreler, ORC'leri sararak yapısal destek sağlamakta ve ölü nöronların fagositozunda ve kokulu maddeler ile ksenobiyotik maddelerin dönüştürülmesinde rol oynamaktadır (Liang, 2020). Olfaktör mukozanın mukus tabakası, olfaktör epitel içerisinde yer alan olfaktör bezlerden (Bowman bezleri) kaynaklanır; bu bezler, kokulu maddelerin çözündürülmesi amacıyla salgı üretiminden sorumludur ve aynı zamanda solunan hava ile burun boşluğuna ulaşan zararlı ajanlara karşı nöroepitelin korunmasında rol oynar (Menko ve Morrison, 2003; Hawkes ve Doty, 2009). Oluşan bu mukus tabakası, normal nazal nem düzeylerini korur ve odorantları tutarak reseptörlerle temasını sağlar. Normal olfaktör algı da işte bu nemli reseptör bölgesinin varlığına bağlıdır. İnsanlarla karşılaştırıldığında köpekler, olfaktör nöron yoğunluğu ve sayısı, nazal hava akımındaki değişiklikler ve merkezi işleme özgülüğünün birleşimi nedeniyle çok daha düşük konsantrasyonlardaki kokulu maddeleri algılayabilmektedir. ORC yüzeyinde silyalar bulunmakta olup, her bir ORC yalnızca bir tip olfaktör reseptör (OR) eksprese etmektedir. Bir kokunun doğru şekilde tanınmasının, OR'lerin kendine özgü bir kombinasyonunun aktive olmasını içerdiği düşünülmektedir. Aktive olan ORC'lerin sayısının, kokunun şiddetinin belirlenmesinden sorumlu olduğu düşünülmektedir (Jenkins ve ark., 2018); bununla birlikte maksimum şiddet sınırlıdır ve koku

şiddeti ile aktive olan ORC sayısı arasındaki ilişki doğrusal değildir. Ayrıca koku şiddeti, kokuya maruz kalma süresi ve koku konsantrasyonu gibi ek dış faktörlere bağlıdır. Koku şiddeti, adaptasyon fenomeninden de etkilenebilir (Sirotin ve ark., 2015). Nörotransmitter reseptörlerine ek olarak ORC’lerde hormonlara yönelik reseptörler de bulunmaktadır ve insanlar ile kemirgenlerde gerçekleştirilen çalışmalar, koku ayırt etme kapasitesinin dolaşımdaki leptin veya ghrelin gibi bazı hormon düzeylerinden etkilenebileceğini göstermiştir (Karlsson ve ark., 2002; Loch ve ark., 2015).

2.4. Koku Yolağı

Koku yolağı olfaktör mukozada bulunan bipolar özel visseral afferent nöronlar ile başlar. Bu nöronların olfaktör mukus içerisine gömülü uzun silyaları vardır ve silyalar, mukus tarafından tutulan kokulu maddelere duyarlı reseptörler içerir. Bipolar nöronlardan çıkan miyelinsiz aksonlar, olfaktör sinirler (nn. olfactorii) olarak os ethmoidale’nin lamina cribrosa’sı içerisinden geçen demetler hâlinde toplanır ve kraniyal sinir I’i (CNI) oluşturur. Bu sinirler, frontal lobların altında yer alan olfaktör bulbusta (OB) sonlanır (Kavoi ve Jameela, 2011).

2.4.1. Olfaktör Bulbus (Bulbus olfactorius)

OB, gelen reseptör hücre aksonlarının sinaptik bağlantılar yoluyla mitral nöronların dendritleri ile temas ettiği, sinir lifi demetlerinden oluşan glomerülleri içeren bir yapıdır. Mitral nöronların aksonları ise impulsları beyindeki diğer bölgelere taşır. OB, olfaktör pedünkül (pedunculus olfactorius) aracılığıyla serebral hemisfere bağlanır. Bu nedenle OB, hem modülatör hem de duyuşsal bir role sahiptir. Koku bilgilerinin başlangıçta işlenmesi ve filtrelenmesine katılır; kokular arasında ayrım

yapılmasına olanak sağlarken aynı zamanda koku tespitinin duyarlılığını artırır ve arka plandaki kokuları filtreler (Jia ve ark., 2014; Jenkins ve ark., 2018)

OB'nin duvarı yedi histolojik tabakadan oluşur Yüzeyden derine doğru bunlar: (1) olfaktör sinirler tabakası, (2) glomerüller tabakası (çok sayıda olfaktör akson, bir glomerül içerisinde tek bir mitral hücre ile sinaps yapar), (3) dış pleksiform tabaka, (4) mitral hücre tabakası (konik nöron hücre gövdelerinin bir sıra hâlinde dizildiği tabaka), (5) ince iç pleksiform tabaka, (6) granül hücre tabakası (granül hücreleri inhibitör internöronlardır) ve (7) olfaktör bulbustan çıkan veya olfaktör bulbusa giren aksonlardan oluşan periventriküler tabakadır. Olfaktör yolaklara katılan mitral hücre aksonları, olfaktör bulbusun çıkışını oluşturur. OB, esas olarak bir iletim istasyonu olarak işlev gören ve duyuşal girdiyi filtreleyen çift taraflı bir yapıdır (Evans ve Lahunta, 2013). Frontal lobların altında ve lamina cribrosa üzerinde bulunurken, köpeklerde insanlardan daha uzundur ve daha rostral konumlanmıştır; bu durum insanlardan daha fazla gelişmiş koku duyusuyla ilişkilidir (Şekil 2) (Jenkins ve ark., 2018).

OB'de ikinci sıra nöron başına yaklaşık 1.000 ORC aksonu bulunur ve bu durum koku sinyalinde önemli ölçüde amplifikasyon sağlar. Olfaktör bulbusun mitral hücreleri, bir glomerüle bir primer dendrit ve olfaktör kortekse bir akson gönderir (Jenkins ve ark., 2018). Duyusal yolun çaprazlandığı diğer duyuların aksine, olfaktör yolaklar burun boşluğundaki algılama bölgesinden beyindeki algılama bölgesine ipsilateral olarak ilerler. Bu durum, sağ burun deliğindeki reseptörlerden kaynaklanan impulsların sağ serebral hemisfere, sol burun deliğindeki reseptörlerden kaynaklanan impulsların ise sol

serebral hemisfere iletildiği anlamına gelmektedir (Kokoci 'nska-Kusiak ve ark., 2021).

2.4.2. Olfaktör Pedinkül (Pedunculus olfactorius)

Olfaktör pedinkül, olfaktör bulbustan olfaktör tüberkül düzeyine kadar uzanır. Frontal lobdan, pedinkülün dorsalinde birleşen medial ve lateral rinal sulkuslar tarafından ayrılır. Olfaktör pedinkül, üç olfaktör yolak ve rostral olfaktör çekirdek olarak adlandırılan üç tabakalı bir paleokorteks tarafından çevrelenen bir olfaktör ventrikül içerir. OB ve pedinkülün içi boştur ve beyin omurilik sıvısı ile dolu bir olfaktör ventrikül içerir (Evans ve Lahunta, 2013).

2.4.3. Olfaktör Yolaklar (Tractus olfactorius)

Olfaktör yolaklar üçe ayrılır (Şekil 2). Lateral olfaktör yolak (tractus olfactorius lateralis), rostral olfaktör çekirdeğe, olfaktör tüberküle, lateral olfaktör yolak çekirdeğine, amigdalaya ve lateral olfaktör girus ile piriform lobun kortekslerine ulaşacak olan mitral hücre aksonlarını taşır. Medial olfaktör yolak (tractus olfactorius medialis), septal çekirdekler ve paraterminal girusu içeren septal bölgeye aksonlar taşır. İntermediyer olfaktör yolak (tractus olfactorius intermedius) ise, aksonları rostral komissür aracılığıyla karşı taraftaki OB'ye yönlendirir ve komissürün rostral koluna bağlanır. Bu yolak, ipsilateral OB başına hem afferent hem de efferent aksonlar içerir (Evans ve Lahunta, 2013).

2.4.4. Olfaktör Tüberkül (Tuberculum olfactorium) ve Diagonal Girus (Gyrus diagonalis)

Olfaktör tüberkül, olfaktör pedinkülün kaudalinde ve diagonal girusun rostralinde yer alan ventral bir kabarıklık bölgesidir. Lateral olfaktör traktustan entorhinal sulkus ile ayrılır.

Tüberkül, medial ön beyin demeti aracılığıyla hipotalamusa aksonlar gönderen üç tabakalı bir korteksten oluşur. Diagonal girus, olfaktör tüberkül ile optik kiazma ve optik traktus arasında yer alır. Septumun paraterminal girusu ile devamlılık gösterir. Her iki girus, diagonal lamellayı (lamella diagonalis; Broca'nın diagonal bandı) içerir. Lamellanın aksonları, olfaktörle ilişkili çekirdeklerden hipotalamusa bilgi taşımak üzere medial ön beyin demetine (fasciculus medialis telencephali) katılır. Ayrıca, diagonal girusun derininde bulunan bazal çekirdek (Meynert çekirdeği), nöromodülasyon aracılığıyla kortikal aktiviteyi artırmak amacıyla serebral kortekse geniş ölçüde projeksiyon yapan büyük kolinerjik nöronlar içerir (Evans ve Lahunta, 2013).

2.4.5. Piriform Lob (Lobus piriformis)

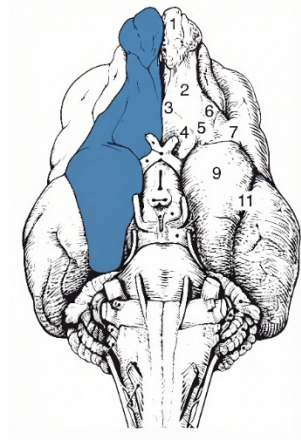
Piriform lob (lobus piriformis), bilinçli olfaksiyon ile ilişkilidir. Olfaktör bulbustan lateral olfaktör traktus aracılığıyla gelen mitral hücre aksonlarını alır. Piriform lob; şişkin kaudal bölümden bir fossa (fossa lateralis cerebri) ile ayrılan düz rostral bir bölümden oluşur. Rostral bölüm olfaktör tüberkül tarafından sınırlandırılır (Şekil 2). Bu bölüm, prepiriform paleokorteks olan lateral olfaktör girusu (gyrus olfactorius lateralis) içerir.

Piriform lobun şişkin kaudal bölümü, altında bulunan amigdala, hipokampus ve lateral ventrikül nedeniyle kabarıklık gösterir. Bu kabarıklık farklı korteks tipleriyle örtülüdür. Piriform kabarıklığın rostral üçte birlik kısmında lateral olarak prepiriform paleokorteks, medial olarak ise amigdalanın kortikal çekirdekleri bulunur. Kaudal üçte ikilik kısım, yaklaşık altı tabakadan oluşan ve ikinci tabakasındaki hücre kümeleri ile histolojik olarak tanımlanabilen entorhinal korteks ile örtülüdür (Woznicka ve ark., 2006). Piriform lob, kaudale doğru parahipokampal girus (gyrus parahippocampalis) ile devam eder; bu girus da entorhinal

korteks ile örtülüdür. Entorhinal korteksin ikinci tabakasını oluşturan kümelenmiş nöronlar, aksonlarını komşu ve kendisine bağlı olan hipokampusu gönderir.

Piriform lob içerisinde yer alan amigdala adını bademe benzeyen şekilden alır ve yaklaşık bir düzine çekirdek içerir. Amigdala, duyuşsal bilgilere özellikle korkuyla ilişkili olanlar olmak üzere duyuşsal tepkiler atar. Limbik sistemin önemli bir bileşenidir. Amigdala; lateral olfaktör traktustan, hipokampustan, rostral hipotalamustan ve eksternal kapsül aracılığıyla neokorteksin bölgelerinden aksonal girdiler alır. Amigdaladan çıkan aksonlar piriform kortekse, hipokampal formasyona, dorsomedial talamik çekirdeğe, nucleus accumbens'e ve hipotalamusa gider. Ayrıca amigdalanın orta beyne ve pontomedüller retiküler formasyona doğrudan projeksiyonları vardır.

Şekil 2. Koku Yolağının Anatomik Oluşumları



1-Bulbus olfactorius, 2- Pedunculus olfactorius, 3- Tractus olfactorius medialis, 4-Stria olfactoria medialis, 5- Tractus olfactorius lateralis, 6-Stria olfactoria lateralis, 9-Lobus piriformis, 7 ve 11-Sulcus rhinalis lateralis

2.4.6. Olfaktör Korteks

Olfaktör korteks, medial temporal loblar içerisinde yer alır ve serebral korteks ile doğrudan iletişim kurar. Olfaktör korteks; OB'den duyuşal girdiyi almak, kokunun bilinçli olarak fark edilmesini sağlamak, kokuyu tanımlamak, koku hafızasını oluşturmak ve alt memelilerde kokunun lokalizasyonunu sağlamak gibi işlevlere sahiptir. OB'nin hem duyuşal bir rolü yani olfaktör bilginin başlangıç düzeyinde işlenmesi hem de ön beyin, hipotalamus ve limbik sistem üzerinde modölatör bir rolü bulunmaktadır (Cain, 1974).Beynin olfaktör serebral alanları, iki fonksiyonel kategoriye ayrılır: bilinçli koku algısını düzenleyen neokortikal alanlar (örneğin orbitofrontal kompleks) ve limbik alanlar (Soudry ve ark.,2011).

Limbik sistem, birlikte kokuyu, hafızayı, davranışı ve motivasyonu düzenleyen bir beyin yapıları topluluğudur. Limbik sistemin bileşenleri arasında olfaktör bulbus, hipokampus, amigdala ve entorhinal kompleks bulunur. Limbik sistemin büyüklüğü ve işlevi memeli türleri arasında farklılık gösterir; ancak tüm türlerde limbik sistem hem olfaktör hem de olfaktör olmayan bileşenlere sahiptir (Reep ve Finlay, 2007). Beynin izokorteksi, duyuşal algı ve biliş gibi daha yüksek düzeyli işlevleri düzenler. İnsanlar da dâhil olmak üzere primatlarda izokorteks ile limbik sistem hacmi arasında ters yönlü bir ilişki bulunurken, köpekler gibi karasal karnivorlarda hem izokorteksin hem de limbik sistemin göreceli hacimleri yüksektir (Reep ve Finlay, 2007). Beyin bileşenlerinin hacimlerindeki bu anatomik farklılıklar, insanlar ve köpekler arasındaki olfaktör kapasite farklılıklarından kısmen sorumlu olabilir.

Son olarak vomeronazal organdan gelen aksonlar, olfaktör mukozadan gelen aksonlara eşlik ederek lamina cribrosa

içerisinden geçer ve OB'nin dorsomedial yüzeyine gömülü olan AOB'de sonlanır. AOB küçük olmakla birlikte, OB'dekine benzer tabakalı bir yapıya sahiptir ve amigdala ile karşılıklı bağlantılar kurar; bu bağlantılar aracılığıyla vomeronazal organ, cinsel davranışı etkileyen feromonları algılar. OB'den gelen olfaktör sinyaller ise anterior olfaktör korteks, piriform korteks, periamigdaloid korteks ve entorhinal korteksi içeren olfaktör kortekse iletilir. İlk üç bölge olfaktör sinyali frontal kortekse ve talamusa taşırken, entorhinal korteks impulsları, kokuların bellek yoluyla tanınmasında rol oynayan hipokampal formasyona gönderir. Koku eşiğinin belirlenmesinden ise talamusun sorumlu olduğu düşünülmektedir (Jia ve ark., 2014).

Bu iki yolak birbirinden bağımsız işler; nitekim ana olfaktör epitel (AOE) ile VNO, hem topladıkları koku sinyalleri hem de yanıt verdikleri özgül uyaranlar bakımından fizyolojik olarak birbirinden ayrıdır (Jerierski ve ark., 2016). AOE ve VNO tarafından algılanan sinyaller beyne giden yollarda da ayrılmaya devam eder ve bu ayrışma, iki yapının farklı türde uyaranları algılamak üzere farklı görevler üstlenmesini sağlar (Swaney ve Keverne, 2009).

3. SONUÇ

Köpeklerde gözlenen koklama lateralizasyonu fenomeninden söz edilmelidir. Bu fenomenin, köpeklerdeki işitsel ve görsel algıya benzer olduğu gösterilmiştir (Siniscalchi ve ark., 2008; Siniscalchi ve ark., 2010). Köpeklerde güçlü bir sağ burun deliği eğilimi bulunmaktadır; çünkü koklamaya ilk başladıkları burun deliği sağ burun deliğidir. Daha sonra, kokunun yiyecek gibi tanıdık veya kaçınılmayan bir koku olduğu

anlaşılsa, sol burun deliğini kullanmaya geçerler. Bununla birlikte, uyarının adrenalin gibi yeni, tehdit edici veya uyarıcı olduğu anlaşılsa, köpek yalnızca sağ burun deliğini kullanmaya devam eder. Bu bulgular, Vallortigara ve ark. (1999; 2011) tarafından gözden geçirilen teoriyle uyumludur; bu teoriye göre sağ hemisfer yeni bilgilerin işlenmesini kontrol ederken, sol hemisfer daha sonra tanıdık uyaranlara yönelik davranışsal yanıtların kontrolünü üstlenmekte ve sağ hemisfer sempatik–hipotalamus–hipofiz–adrenal eksen üzerindeki baskınlığını sürdürmektedir (Craig, 2005). Davranışsal lateralizasyon, beyin fonksiyonlarının asimetrisini doğrudan yansıtmaktadır (Siniscalchi ve ark., 2016); bu durum eğitim sürecinin daha iyi anlaşılmasını ve dolayısıyla koku tespiti yapan köpekler için yeni eğitim yöntemlerine duyulan ihtiyacı sağlayabilir. D’Aniello ve ark. (2018) tarafından gösterildiği üzere, hemisferik uzmanlaşma ve kimyasal sinyalleşme de köpekler ile insanlar arasındaki kimyasal iletişim sürecinde rol almakta ve stres veya mutluluk gibi duygusal durumlara ilişkin bilgilerin aktarılmasına olanak sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Adams, D. R., & Wiekamp, M. D. (1984). The canine vomeronasal organ. *Journal of Anatomy*, 138, 771–787.
- Cain, D. P. (1974). The role of the olfactory bulb in limbic mechanisms. *Psychological Bulletin*, 81(10), 654–671. <https://doi.org/10.1037/h0036954>
- Craig, A. D. (2005). Forebrain emotional asymmetry: A neuroanatomical basis? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.10.005>
- D’Aniello, B., Semin, G. R., Alterisio, A., Aria, M., & Scandurra, A. (2018). Interspecies transmission of emotional information via chemosignals: From humans to dogs (*Canis lupus familiaris*). *Animal Cognition*, 21(1), 67–78. <https://doi.org/10.1007/s10071-017-1139-8>
- Dennis, J. C., Allgier, J. G., Desouza, L. S., Eward, W. C., & Morrison, E. E. (2003). Immunohistochemistry of the canine vomeronasal organ. *Journal of Anatomy*, 202(6), 515–524. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.2003.00190.x>
- Evans, H. E., & de Lahunta, A. (2013). *Miller’s Anatomy of the Dog* (4th ed.). Elsevier Saunders.
- Hawkes, C. H., & Doty, R. L. (2009). *The Neurology of Olfaction*. Cambridge University Press.
- Jezierski, T., Ensminger, J., & Papet, L. E. (2016). *Canine Olfaction Science and Law: Advances in Forensic Science, Medicine, Conservation, and Environmental Remediation*. CRC Press.

- Jendryn, P., Twele, F., Meller, S., Osterhaus, A. D. M. E., Schalke, E., & Volk, H. A. (2021). Canine olfactory detection and its relevance to medical detection. *BMC Infectious Diseases*, 21(1), Article 838. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-06523-8>
- Jenkins, E. K., DeChant, M. T., & Perry, E. B. (2018). When the nose doesn't know: Canine olfactory function associated with health, management, and potential links to microbiota. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, Article 56. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00056>
- Jia, H., Pustovyy, O. M., Waggoner, P., Beyers, R. J., Schumacher, J., Wildey, C., Barrett, J., Morrison, E., Salibi, N., Denney, T. S., Vodyanoy, V. J., & Deshpande, G. (2014). Functional MRI of the olfactory system in conscious dogs. *PLoS ONE*, 9(1), Article e86362. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086362>
- Karlsson, A. C., Lindroos, A. K., Lissner, L., Torgerson, J. S., Carlsson, B., Carlsson, L. M., & Sjöström, L. (2002). Evidence for gender-specific associations between leptin and olfaction. *Journal of Gender-Specific Medicine*, 5(6), 25–32.
- Kavoi, B. M., & Jameela, H. (2011). Comparative morphometry of the olfactory bulb, tract and stria in the human, dog and goat. *International Journal of Morphology*, 29(3), 939–946. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022011000300039>
- Kokocińska-Kusiak, A., Woszczyło, M., Zybała, M., Maciocha, J., Barłowska, K., & Dzięcioł, M. (2021). Canine olfaction: Physiology, behavior, and possibilities for

- practical applications. *Animals*, 11(8), Article 2463. <https://doi.org/10.3390/ani11082463>
- Liang, F. (2020). Sustentacular cell enwrapment of olfactory receptor neuronal dendrites: An update. *Genes*, 11(5), Article 493. <https://doi.org/10.3390/genes11050493>
- Loch, D., Breer, H., & Strotmann, J. (2015). Endocrine modulation of olfactory responsiveness: Effects of the orexigenic hormone ghrelin. *Chemical Senses*, 40(7), 469–479. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjv028>
- Menco, B., & Morrison, E. (2003). Morphology of the mammalian olfactory epithelium: Form, fine structure, function, and pathology. In R. L. Doty (Ed.), *Handbook of Olfaction and Gustation* (p. 17–49). Wiley Blackwell.
- Reep, R. L., Finlay, B. L., & Darlington, R. B. (2007). The limbic system in mammalian brain evolution. *Brain, Behavior and Evolution*, 70(1), 57–70. <https://doi.org/10.1159/000101491>
- Salazar, I. (2015). The nasal cavity and its olfactory sensory territories. *Frontiers in Neuroanatomy*, 9, Article 31. <https://doi.org/10.3389/fnana.2015.00031>
- Siniscalchi, M., D’Ingeo, S., & Quaranta, A. (2016). The dog nose “KNOWS” fear: Asymmetric nostril use during sniffing at canine and human emotional stimuli. *Behavioural Brain Research*, 304, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2016.02.015>
- Siniscalchi, M., Quaranta, A., & Rogers, L. J. (2008). Hemispheric specialization in dogs for processing

- different acoustic stimuli. *PLoS ONE*, 3(10), Article e3349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003349>
- Siniscalchi, M., Sasso, R., Pepe, A. M., Dimatteo, S., Vallortigara, G., & Quaranta, A. (2011). Sniffing with the right nostril: Lateralization of response to odour stimuli by dogs. *Animal Behaviour*, 82(2), 399–404. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.05.018>
- Siniscalchi, M., Sasso, R., Pepe, A. M., Vallortigara, G., & Quaranta, A. (2010). Dogs turn left to emotional stimuli. *Behavioural Brain Research*, 208(2), 516–521. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.12.030>
- Sirotnin, Y. B., Shusterman, R., & Rinberg, D. (2015). Neural coding of perceived odor intensity. *eNeuro*, 2(6), Article ENEURO.0083-15.2015. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0083-15.2015>
- Soudry, Y., Lemogne, C., Malinvaud, D., Consoli, S. M., & Bonfils, P. (2011). Olfactory system and emotion: Common substrates. *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck Diseases*, 128(1), 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2010.09.007>
- Swaney, W. T., & Keverne, E. B. (2009). The evolution of pheromonal communication. *Behavioural Brain Research*, 200(2), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.09.039>
- Vallortigara, G., Chiandetti, C., & Sovrano, V. A. (2011). Brain asymmetry (animal). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 2(2), 146–157. <https://doi.org/10.1002/wcs.99>

- Vallortigara, G., Rogers, L., & Bisazza, A. (1999). Possible evolutionary origins of cognitive brain lateralization. *Brain Research Reviews*, 30(2), 164–175. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(99\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(99)00020-7)
- Woźnicka, A., Malinowska, M., & Kosmal, A. (2006). Cytoarchitectonic organization of the entorhinal cortex of the canine brain. *Brain Research Reviews*, 52(2), 346–367. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.04.004>
- Young, J. M., & Trask, B. J. (2007). V2R gene families degenerated in primates, dog and cow, but expanded in opossum. *Trends in Genetics*, 23(5), 212–215. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2007.03.004>

KÖPEKTE NERVUS VAGUS'UN ANATOMİSİ, FONKSİYONLARI VE KLİNİK ÖNEMİ

Esin ÜNSALDI¹

1. GİRİŞ

Nervus vagus (X. nervus cranialis), otonom sinir sisteminin parasempatik bölümünün en önemli bileşenlerinden biri olup, baş-boyun bölgesinden başlayarak toraks ve abdomen organlarına kadar uzanan geniş bir innervasyon alanına sahiptir. Vücuttaki en uzun ve en yaygın dağılım gösteren kranial sinir olması nedeniyle "gezgir sinir" olarak da adlandırılmaktadır. Köpeklerde kardiyovasküler, respiratorik ve gastrointestinal sistemlerin fonksiyonel kontrolünde temel rol oynar (Evans ve de Lahunta, 2013; Singh, 2018).

Nervus vagus, organizmanın dinlenme ve sindirim (rest-and-digest) faaliyetlerinden sorumlu temel parasempatik sinirdir. Kalpte negatif kronotropik ve negatif dromotropik etki oluşturarak kalp hızını azaltır ve atriyoventriküler iletimi yavaşlatır (Hall ve Hall, 2021).

Solunum sisteminde bronş düz kasları üzerinde konstriktör etki gösterirken, gastrointestinal sistemde motiliteyi ve salgı aktivitesini artırır. Bu etkiler sindirim fonksiyonlarının etkin şekilde sürdürülmesini sağlar (Klein, 2020).

Son yıllarda nervus vagusun yalnızca otonom kontrol mekanizmalarında değil, aynı zamanda immün yanıtların düzenlenmesinde de önemli rol oynadığı gösterilmiştir.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Anatomi Anabilim Dalı, Konya, Türkiye; ORCID: 0000-0003-1656-329X

"Kolinerjik antiinflamatuvar yol" olarak tanımlanan mekanizma sayesinde proinflamatuvar sitokinlerin salınımı baskılanabilmektedir (Tracey, 2002; Bonaz ve ark., 2016).

Köpeklerde vagal sinirin veya dallarının hasar görmesi ciddi klinik sonuçlara yol açabilir. Özellikle nervus laryngeus recurrens'in dejenerasyonu veya paralizisi larinks fonksiyonlarının bozulmasına ve üst solunum yolu obstrüksiyonuna neden olur (Fossum, 2019).

Megaözofagus olgularında özofagus motilitesinin bozulması vagal disfonksiyon ile ilişkili bulunmuştur. Ayrıca aşırı vagal aktivite sonucu gelişen bradikardi ve senkop vakaları klinik uygulamada sıklıkla karşılaşılan durumlar arasındadır (Tilley ve Smith, 2016).

2. NERVUS VAGUS'UN ANATOMİSİ

2.1. Anatomik Kökeni

Nervus vagus, medulla oblongata'nın sulcus retroolivaris bölgesinden çok sayıda radikül halinde çıkar ve bu radiküller birleşerek tek bir sinir gövdesini oluşturur. Sinirin motor lifleri başlıca nucleus ambiguus ve nucleus dorsalis nervi vagi'den kaynaklanırken, visseral duysal lifleri nucleus tractus solitarius ile ilişkilidir (de Lahunta ve ark., 2021).

Kafatasını foramen jugulare aracılığıyla terk eden sinir, burada ganglion superius ve ganglion inferius (ganglion nodosum) olmak üzere iki duysal ganglion oluşturur. Ganglion nodosum özellikle visseral afferent liflerin hücre gövdelerini içermesi bakımından önemlidir (Getty, 1975; Singh, 2018).

2.2. Boyun Bölgesindeki Seyri

Köpekte nervus vagus boyun bölgesinde arteria carotis communis ve truncus sympathicus ile yakın ilişki içerisinde.

Sinir, truncus sympathicus ile birlikte ilerleyerek truncus vagosympathicus adı verilen yapıyı meydana getirir. Bu oluşum evcil memelilerin çoğunda görülmekte olup klinik ve cerrahi girişimlerde önemli bir anatomik referans noktasıdır (Evans ve de Lahunta, 2013; König ve Liebich, 2020).

Boyun bölgesinde nervus vagus; pharynx, larynx ve özofagusa yönelik çeşitli dallar verir. Özellikle nervus laryngeus recurrens ve nervus laryngeus cranialis, larinks kaslarının motor innervasyonundan sorumludur (de Lahunta ve ark., 2021).

2.3. Toraks İçerisindeki Seyri

Toraks boşluğuna girdikten sonra nervus vagus kalp, trakea ve akciğerlere dallar gönderir. Kalbe ulaşan rami cardiaci, sempatik sinir lifleriyle birlikte plexus cardiacus'u oluşturur. Bu plexus kalp hızının ve atriyoventriküler iletimin düzenlenmesinde görev yapar (Hall ve Hall, 2021).

Trakea ve bronşlara giden dallar plexus pulmonalis içerisinde dağılarak bronş düz kaslarının tonusunu ve solunum yollarındaki glandüler sekresyonları kontrol eder. Parasempatik uyarı sonucunda bronkokonstriksiyon ve mukus sekresyonunda artış meydana gelir (Klein, 2020).

Toraks içerisinde sağ ve sol vagus sinirleri özofagus çevresinde birleşerek plexus oesophageus'u oluşturur. Bu ağ diyafram seviyesinde yeniden organize olarak truncus vagalis dorsalis ve truncus vagalis ventralis şeklinde devam eder (König ve Liebich, 2020).

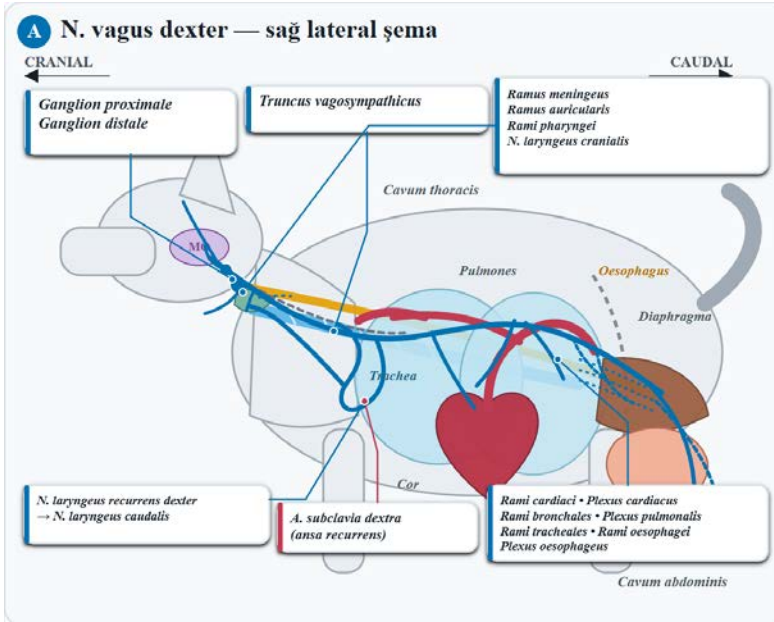
2.4. Abdominal Dağılımı

Diyaframı geçtikten sonra nervus vagus mide, karaciğer, pankreas ve ince bağırsaklara parasempatik lifler gönderir. Mide motilitesinin artırılması, gastrik sekresyonların düzenlenmesi ve pilorik sfinkter fonksiyonlarının kontrolü vagal innervasyonun temel görevleri arasındadır (Klein, 2020).

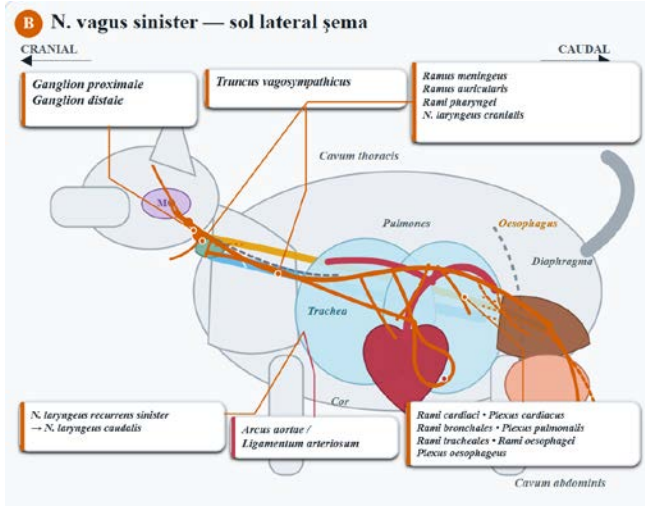
Pankreas düzeyinde ekzokrin ve endokrin sekresyonlar üzerinde etkili olan vagal lifler, özellikle insülin salınımının düzenlenmesine katkıda bulunur. İnce bağırsaklarda ise peristaltik hareketlerin ve sindirim sekresyonlarının artırılmasını sağlar (Hall ve Hall, 2021).

Köpekte vagal innervasyon genellikle colon transversum seviyesine kadar uzanmakta olup daha distal bağırsak segmentlerinin parasempatik innervasyonu nervi pelvici aracılığıyla sağlanmaktadır (Singh, 2018).

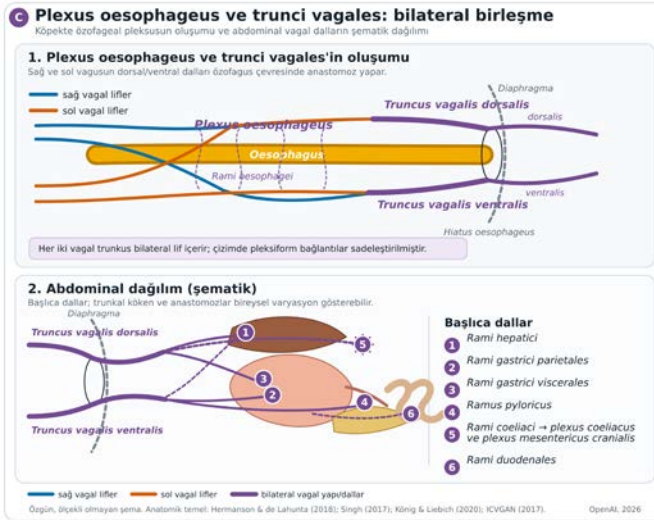
2.5. Şematik Dallanma ve Sağ-Sol Karşılaştırması



Şekil 1. Köpekte sağ nervus vagus'un boyun ve toraks boyunca seyri ile başlıca dallarının şematik gösterimi. Ölçekli değildir (Hermanson ve ark., 2020; Singh, 2018).



Şekil 2. Köpekte sol nervus vagus'un torakal dağılımı ve sol rekürrent laringeal sinirin arcus aortae ile ilişkisi. Ölçekli değildir (Hermanson ve ark., 2020; Singh, 2018).



Şekil 3. Köpekte plexus oesophageus, dorsal ve ventral vagal trunkuslar ve başlıca abdominal dalların şematik gösterimi. Ölçekli değildir (Hermanson ve ark., 2020; König ve Liebich, 2020; Singh, 2018).

Tablo 1. Köpekte sağ ve sol nervus vagus'un topografik farklılıkları

Özellik	Sağ vagus	Sol vagus
Rekürrent laringeal sinirin dönüş noktası	A. subclavia dextra	Arcus aortae
Özofageal pleksusa ağırlıklı katkı	Dorsal	Ventral
Abdominal vagal trunkusa ağırlıklı katkı	Truncus vagalis dorsalis	Truncus vagalis ventralis
Gastrik dağılım	Dorsal yüz	Ventral yüz

Not: Vagal trunkusların sağ ve sol sinirlerden karşılıklı lif katkısı aldığı unutulmamalıdır (Singh, 2018; König ve Liebich, 2020).

3. FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Nervus vagus, brankiyomotor, genel visseral efferent, genel visseral afferent ve sınırlı genel somatik afferent lifler içeren karma bir kranial sinirdir (Hermanson ve ark., 2020; de Lahunta ve ark., 2021). Sinirin efferent bileşenleri farinks, larinks, özofagus, kalp, solunum yolları ve gastrointestinal sistem üzerinde motor veya parasempatik kontrol sağlarken, afferent lifleri torasik ve abdominal organlardan gelen mekanik ve kimyasal bilgileri beyin sapına taşır (Singh, 2018; Klein, 2020).

3.1. Farinks, Larinks ve Yutma Fonksiyonu

Vagus siniri, farinks kaslarının motor innervasyonuna katılarak yutmanın faringeal evresinin oluşturulması ve besin bolusunun özofagusa aktarılmasında önemli rol oynar (Hermanson ve ark., 2020; de Lahunta ve ark., 2021). Farinks düzeyindeki vagal motor işlev kaybı, yutma güçlüğü, öğürme refleksinin motor komponentinde azalma ve besin ya da sıvının nazofaringeal veya laringeal bölgeye kaçmasıyla sonuçlanabilir (de Lahunta ve ark., 2021).

Nervus laryngeus cranialis'in iç dalı, larinks mukozasından duysal bilgi taşır ve yabancı materyalin algılanması, glottisin refleks olarak kapatılması ve öksürük

refleksinin başlatılmasına katkıda bulunur (Hermanson ve ark., 2020). Sinirin dış dalı ise başlıca m. cricothyroideus'u innerve ederek ses tellerinin gerginliğinin ayarlanmasına katılır (Hermanson ve ark., 2020).

Nervus laryngeus recurrens, larinkse ulaştıktan sonra nervus laryngeus caudalis olarak devam eder ve m. cricothyroideus dışındaki intrinsik larinks kaslarının motor innervasyonunu sağlar (Hermanson ve ark., 2020; de Lahunta ve ark., 2021). Bu kaslar arasında yer alan m. cricoarytenoideus dorsalis, arytenoid kıkırdakları inspirasyon sırasında abduksiyona getiren başlıca ve işlevsel olarak tek kas olduğundan, rekürrent laringeal sinir lezyonlarında üst solunum yolu açıklığı belirgin biçimde bozulabilir (Kitshoff ve ark., 2013).

3.2. Kardiyovasküler Fonksiyon

Vagus sinirinin kardiyak parasempatik lifleri başlıca sinoatriyal ve atriyoventriküler düğümlerde sonlanır ve asetilkolinin M₂ tipi muskarinik reseptörlere bağlanması yoluyla kalp hızını ve atriyoventriküler iletiyi azaltır (Klein, 2020). Bu etkiler sırasıyla negatif kronotropik ve negatif dromotropik etki olarak tanımlanır (Klein, 2020). Vagusun miyokard kontraktilitesi üzerindeki doğrudan etkisi esas olarak atriyumlarda belirgindir; ventriküler miyokard üzerindeki negatif inotropik etkisi kalp hızı ve ileti üzerindeki etkisine kıyasla daha sınırlıdır (Klein, 2020).

Şiddetli vagal uyarı köpeklerde sinüs bradikardisi, sinüs duraklaması, ikinci derece atriyoventriküler blok ve kaçış ritimlerine neden olabilir (Hendrix ve ark., 1995). Deneysel sağ vagus uyarımı sırasında belirgin bradikardi ve atriyoventriküler blok gelişebildiği de gösterilmiştir (Hayashi ve ark., 1998).

Vagal afferentler, aortik ve kardiyopulmoner reseptörlerden gelen bilgileri beyin sapına ileterek baroreseptör refleksine ve kan basıncının kısa süreli düzenlenmesine katkıda

bulunur (Klein, 2020). Vagal efferent aktivitenin kaybı kalbin intrinsik pacemaker aktivitesini ortadan kaldırmaz; bunun yerine kalp hızında artış, solunumsal sinüs aritmisinde azalma ve kalp hızı değişkenliğinde düşme beklenir (Klein, 2020).

3.3. Solunum Sistemi Üzerindeki Fonksiyonlar

Pulmoner vagal efferent lifler bronş düz kaslarında konstriksiyon ve bronşiyal bezlerde sekresyon artışı oluşturur (Klein, 2020). Vagal afferent lifler ise hava yolu iritanları, akciğer gerilimi ve bronş duvarındaki mekanik değişiklikler hakkında merkezi sinir sistemine bilgi taşır; bu nedenle öksürük, bronkomotor ve akciğer gerilme reflekslerine katılır (Klein, 2020; Holland ve ark., 2002).

Vagus sinirinin kesilmesi doğrudan diyafram paralizisine neden olmaz; çünkü diyaframın motor innervasyonu nervus phrenicus tarafından sağlanır (Hermanson ve ark., 2020). Bununla birlikte proksimal vagal veya rekürrent laringeal sinir hasarı, larinksin inspirasyon sırasında yeterince açılmamasına, öksürük ve hava yolu koruma reflekslerinin zayıflamasına ve aspirasyon riskinin artmasına neden olabilir (Stanley ve ark., 2010; de Lahunta ve ark., 2021).

3.4. Özofagus ve Gastrointestinal Sistem

Köpekte özofagus kas tabakası uzunluğu boyunca çizgili kas niteliğindedir ve özofagusun motor kontrolünde vagal efferent lifler temel öneme sahiptir (Hermanson ve ark., 2020; Hudson ve Cummings, 1985). Vagal afferentler özofagus duvarındaki gerilme reseptörlerinden bilgi taşıırken, vagal motor lifler yutma sonrasında oluşan primer peristaltizmin ve distansiyona yanıt olarak gelişen sekonder peristaltizmin düzenlenmesine katılır (Holland ve ark., 1994; Holland ve ark., 1996).

Mide düzeyinde vagus siniri, besin alımından sonra proksimal midenin gevşeyerek hacim artışına uyum sağlaması olarak tanımlanan gastrik akomodasyona katkıda bulunur (Ouyang ve ark., 2004). Ayrıca antral kontraksiyonların, pilorik fonksiyonun, gastrik sekresyonların ve pankreasın ekzokrin salgılarının düzenlenmesine katılır (Klein, 2020).

Köpeklerde uygulanan truncal vagotomi sonrasında gastrik atoni, katı gıdaların boşalmasında gecikme ve gastrik akomodasyonda bozulma meydana gelebildiği gösterilmiştir (Grundfest-Broniatowski ve ark., 1990; Ouyang ve ark., 2004). Bununla birlikte vagal denervasyon gastrointestinal sistemdeki bütün hareketleri tamamen ortadan kaldırmaz; çünkü enterik sinir sistemi ve lokal refleks devreleri bağırsak motilitesinin önemli bir bölümünü vagustan bağımsız olarak sürdürebilir (Klein, 2020).

3.5. Visseral Duyu ve İmmünomodülasyon

Vagusun visseral afferent lifleri mide ve bağırsak distansiyonu, besin içeriği, kimyasal ortam, bulantı ve inflamatuvar değişiklikler hakkında beyin sapına bilgi taşır (Klein, 2020). Bu afferent bilgiler, iştahın, doyma hissinin, gastrointestinal reflekslerin ve otonom yanıtların düzenlenmesine katkıda bulunur (Klein, 2020).

Vagal aktivasyonun kolinerjik antiinflamatuvar yol aracılığıyla bazı proinflamatuvar sitokinlerin üretimini azaltabildiği bildirilmiştir (Tracey, 2002). Köpeklerde yapılan deneysel miyokardiyal iskemi-reperfüzyon çalışmalarında vagus uyarımının inflamatuvar yanıtı ve doku hasarını azaltabildiği gösterilmiştir (Zhang ve ark., 2014). Bununla birlikte vagal işlev kaybının köpeklerde bağımsız ve özgül bir sistemik inflamasyon sendromuna yol açtığı henüz gösterilmemiş olup, bu mekanizma klinik veteriner hekimlikte daha çok deneysel bir araştırma alanı olarak değerlendirilmelidir (Zhang ve ark., 2014).

4. VAGAL LEZYONLAR VE KLİNİK PATOLOJİ

4.1. Tam Vagal İşlev Kaybı

“Vagus sinirinin olmaması” ifadesi yerine bilimsel olarak bilateral vagal agenezi, bilateral tam vagal denervasyon veya bilateral proksimal vagus lezyonu ifadelerinin kullanılması daha uygundur. Köpeklerde klinik olarak karşılaşılan tablolar çoğunlukla sinirin doğuştan tamamen yokluğundan değil, vagal çekirdeklerin, sinir köklerinin, servikal vagosimpatik trunkusun veya vagusun belirli dallarının hasarından kaynaklanır (de Lahunta ve ark., 2021).

Her iki vagus sinirinin foramen jugulare veya çok proksimal servikal düzeyde tam işlev kaybı; bilateral laringeal paralizi, ciddi disfaji, özofagus motilite bozukluğu, kalp hızında artma, kalp hızı değişkenliğinde azalma, gastrik akomodasyon bozukluğu ve aspirasyon riskinde artışla sonuçlanabilir (de Lahunta ve ark., 2021; Klein, 2020). Böyle bir lezyon yaşamı tehdit edici olmakla birlikte yalnızca vagal işlevin kaybı kalbin durmasına veya merkezi solunum ritminin tamamen ortadan kalkmasına neden olmaz; kalbin intrinsik pacemaker sistemi, diyaframın frenik innervasyonu ve gastrointestinal sistemin enterik sinir sistemi çalışmaya devam eder (Klein, 2020).

Vagal işlev kaybında ölüm riski daha çok bilateral üst solunum yolu obstrüksiyonu, yutma bozukluğu, aspirasyon pnömonisi, ileri gastrik ve özofageal dismotilite, sıvı-besin alımının bozulması ve eşlik eden merkezi sinir sistemi hasarıyla ilişkilidir (Stanley ve ark., 2010; de Lahunta ve ark., 2021).

4.2. Lezyonun Yerine Göre Klinik Bulgular

Beyin sapı, vagal çekirdekler veya foramen jugulare düzeyindeki lezyonlarda disfaji, ses değişikliği, faringeal reflekslerde azalma, laringeal paralizi ve diğer kaudal kranial sinir bozuklukları birlikte görülebilir (de Lahunta ve ark., 2021).

Tek taraflı servikal vagus lezyonlarında karşı taraftaki vagus sinirinin kısmi kompensasyonu nedeniyle kardiyovasküler ve gastrointestinal belirtiler hafif kalabilir; buna karşılık ipsilateral laringeal hareket bozukluğu, ses değişikliği, öksürme veya öğürme görülebilir (de Lahunta ve ark., 2021).

Servikal vagosimpatik trunkus lezyonlarında vagal belirtilere Horner sendromu eşlik edebilir (Yap ve Pratschke, 2016). Bu durumda miyozis, pitozis ve enoftalmus vagus siniri hasarından değil, vagusla birlikte seyreden sempatik trunkusun etkilenmesinden kaynaklanır (Yap ve Pratschke, 2016).

Rekürrent laringeal sinir lezyonlarında etkilenen aritenoid kıkırdak inspirasyon sırasında yeterince abduksiyona gelemmez (Kitshoff ve ark., 2013). Tek taraflı lezyonlar hafif ses değişikliği veya egzersiz sırasında solunum sesi oluşturabilirken, bilateral lezyonlar inspiratuvar stridor, egzersiz ve sıcak intoleransı, dispne, siyanoz ve kollapsa neden olabilir (Kitshoff ve ark., 2013).

Torakal veya abdominal vagal trunkus lezyonlarında gastrik akomodasyon bozukluğu, gastrik boşalmada gecikme, özofagus motilite bozukluğu, regürjitasyon ve abdominal distansiyon gelişebilir (Grundfest-Broniatowski ve ark., 1990; Ouyang ve ark., 2004). Lezyon abdominal trunkuslarla sınırlı olduğunda laringeal ve faringeal işlevlerin korunması beklenir.

4.3. Başlıca Patolojik Tablolar

4.3.1. Laringeal Paralizi ve Yaygın Polinöropati

Köpeklerde edinsel laringeal paralizi, rekürrent laringeal sinirlerin veya bu sinirlere ait motor nöronların dejenerasyonu sonucu oluşur (Braund ve ark., 1989). Özellikle yaşlı ve büyük ırk köpeklerde görülen ve geçmişte “idiopatik laringeal paralizi” olarak adlandırılan tablonun önemli bir kısmının yaygın ve

ilerleyici bir polinöropatinin erken bulgusu olduğu gösterilmiştir (Braund ve ark., 1989; Thieman ve ark., 2010).

Bu klinik tablo günümüzde sıklıkla geriyatrik başlangıçlı laringeal paralizi-polinöropati kompleksi olarak tanımlanmaktadır (Stanley ve ark., 2010). Larinksteki hareket bozukluğu ilk fark edilen bulgu olabilir; zamanla pelvik ekstremitelerde propriyoseptif bozukluk, kas zayıflığı, yürüme değişiklikleri ve özofageal disfonksiyon gelişebilir (Stanley ve ark., 2010; Thieman ve ark., 2010). Histopatolojik incelemelerde periferik sinirlerde akson kaybı, dejenerasyon, miyelin değişiklikleri ve laringeal kaslarda nörojenik atrofi saptanabilir (Thieman ve ark., 2010).

Laringeal paralizi bulunan köpeklerde solunum sırasında gürültülü inspirasyon, havlama sesinde değişiklik, egzersiz intoleransı, sıcak havada kötüleşme, öksürme, öğürme ve ileri olgularda siyanoz veya kollaps görülebilir (Kitshoff ve ark., 2013). Larinks cerrahisi hava yolu açıklığını artırabilmekle birlikte, eşlik eden özofageal disfonksiyon ve laringeal kapanmanın azalması nedeniyle aspirasyon pnömonisi riski devam edebilir (Stanley ve ark., 2010).

4.3.2. Megaözofagus ve Özofageal Vagal Disfonksiyon

Vagal motor veya duysal yolların bozulması özofagus peristaltizminin azalmasına ve megaözofagus gelişimine katkıda bulunabilir (Holland ve ark., 1994). Ancak megaözofagusun görülmesi doğrudan vagus sinirinin anatomik olarak kesildiğini veya tamamen hasar gördüğünü göstermez; hastalık vagus dışındaki nöromüsküler, metabolik veya edinsel nedenlerle de gelişebilir (Gaynor ve ark., 1997).

Konjenital idiopatik megaözofaguslu köpeklerde yapılan çalışmalarda özofagus distansiyonunu algılayan vagal afferent sistemde bozukluk saptanmış, buna karşılık vagal efferent motor iletimin bazı olgularda normal kalabildiği gösterilmiştir (Holland

ve ark., 1994; Holland ve ark., 1996). Başka bir çalışmada bu bozukluğun bütün vagal afferent sistemleri tutan genel bir nöropati olmadığı, özofagusa özgü seçici bir vagal afferent disfonksiyon olabileceği bildirilmiştir (Holland ve ark., 2002).

Megaözofagusta başlıca klinik belirti pasif regürjitasyondur; kusmadan farklı olarak genellikle belirgin abdominal kasılma ve prodromal bulantı bulunmaz (de Lahunta ve ark., 2021). Kronik regürjitasyon kilo kaybı, yetersiz beslenme ve aspirasyon pnömonisine neden olabilir (Stanley ve ark., 2010).

4.3.3. Vagal Hiperaktivite ve Bradiaritmiler

Vagus sinirinin patolojisi yalnızca işlev kaybı şeklinde ortaya çıkmaz; sinirin aşırı uyarılması veya refleks vagal tonusun artması da klinik bozukluklara neden olabilir (Klein, 2020). Aşırı vagal aktivite sinüs bradikardisi, sinüs arresti, sinoatriyal blok, ikinci derece atriyoventriküler blok, hipotansiyon, halsizlik ve senkopa yol açabilir (Hendrix ve ark., 1995).

Köpeklerde opioid uygulanması, gastrointestinal veya servikal yapıların manipülasyonu ve bazı visseral refleksler belirgin vagal bradiaritmilere neden olabilir (Hendrix ve ark., 1995). Bu durumda oluşan bradikardi yapısal bir vagus siniri lezyonunu göstermek zorunda değildir; fonksiyonel veya refleks kaynaklı vagal aktivite artışı da benzer elektrokardiyografik bulgular oluşturabilir (Klein, 2020).

Vagal hiperaktivite ile vagal denervasyon birbirinin tersine yakın kardiyak sonuçlar doğurur; hiperaktivite bradikardi ve ileti bloğu oluştururken, vagal işlev kaybı kalp hızında artma ve fizyolojik kalp hızı değişkenliğinde azalma eğilimi oluşturur (Klein, 2020).

4.3.4. Travmatik ve İyatrojenik Yaralanmalar

Servikal travma, penetran yaralar, sinirin aşırı gerilmesi, boyun veya toraks cerrahileri ve servikal kitlelerin çıkarılması

sırasında vagus ya da rekürrent laringeal sinir zarar görebilir (de Lahunta ve ark., 2021). Hafif kompresyon veya nöropraksi geçici ileti bloğuna neden olabilirken, aksonların kesilmesi distal segmentte Wallerian dejenerasyon ve innerve edilen kaslarda nörojenik atrofi meydana getirir (de Lahunta ve ark., 2021).

Rekürrent laringeal sinirin tam kesilmesi sonucunda ilgili larinks kaslarında denervasyon gelişir ve arytenoid kıkırdak inspirasyon sırasında hareketsiz kalır (Hermanson ve ark., 2020). Bilateral hasar acil üst solunum yolu obstrüksiyonuna neden olabilirken, tek taraflı hasar daha hafif veya yalnızca egzersiz sırasında belirgin olabilir (Kitshoff ve ark., 2013).

4.3.5. Vagus Siniri Tümörleri

Vagus siniri kaynaklı periferik sinir kılıfı tümörleri köpeklerde nadirdir (Yap ve Pratschke, 2016). Servikal vagus tümörlerinde öksürme, öğürme, aşırı salivasyon, kusma veya regürjitasyon, ses değişikliği, laringeal paralizi ve vagosimpatik trunkus etkilenmişse Horner sendromu görülebilir (Yap ve Pratschke, 2016).

Proksimal vagus siniri tümörleri beyin sapına bası yaparak birden fazla kranial sinirin birlikte etkilendiği nörolojik tablolara neden olabilir (Giraud ve ark., 2020). Yakın tarihli bir köpek olgusunda vagosimpatik trunkus kökenli malign periferik sinir kılıfı tümörünün kronik öğürme ve kusmaya neden olduğu bildirilmiştir (Shitamori ve ark., 2025).

5. KLİNİK DEĞERLENDİRME

Vagal disfonksiyon şüphesi bulunan bir köpekte havlama sesindeki değişiklik, inspiratuvar gürültü, yutma güçlüğü, regürjitasyon, öksürme, kusma, egzersiz intoleransı ve senkop öyküsü birlikte değerlendirilmelidir (de Lahunta ve ark., 2021). Laringeal fonksiyon hafif anestezi altında laringoskopiyle

değerlendirilirken, megaözofagus ve aspirasyon pnömonisi açısından toraks radyografileri çekilmelidir (Stanley ve ark., 2010).

Özofagus motilitesinin değerlendirilmesinde kontrastlı özofagografi veya videofloroskopik yutma incelemesi kullanılabilir (Stanley ve ark., 2010). Kardiyak belirtilerde elektrokardiyografi ve uzun süreli Holter kaydı, servikal veya kranial kitle şüphesinde ultrasonografi, bilgisayarlı tomografi ya da manyetik rezonans görüntüleme uygulanabilir (de Lahunta ve ark., 2021; Yap ve Pratschke, 2016).

İzole bir vagus siniri lezyonunu kanıtlayan tek bir rutin test bulunmadığından, tanı klinik bulguların anatomik lokalizasyonu, görüntüleme, laringoskopi, elektrofizyolojik incelemeler ve eşlik eden hastalıkların dışlanmasına dayanır (de Lahunta ve ark., 2021).

6. SONUÇ

Vagus siniri köpekte yutma, larinks hareketleri, hava yolu korunması, kalp hızı, bronş tonusu, özofagus motilitesi, gastrik akomodasyon ve visseral reflekslerin koordinasyonunda görev yapan temel bir kranial sinirdir. Vagal hasarın klinik sonucu lezyonun tek veya çift taraflı olmasına, sinirin hangi düzeyde etkilendiğine ve motor, parasempatik ya da afferent liflerden hangilerinin zarar gördüğüne bağlıdır.

Bilateral proksimal lezyonlar disfaji, bilateral laringeal paralizi, aspirasyon ve çoklu otonom bozukluklara neden olabilirken, rekürrent laringeal sinir lezyonları daha çok larinks fonksiyon bozukluğuyla kendini gösterir. Vagal hiperaktivite ise denervasyondan farklı olarak bradikardi, atriyoventriküler blok, hipotansiyon ve senkopa neden olabilir.

Megaözofagus veya laringeal paralizi saptanması tek başına doğrudan vagus siniri kesisi anlamına gelmemelidir. Özellikle yaşlı büyük ırk köpeklerde laringeal paralizi, yaygın ve ilerleyici bir polinöropatinin ilk klinik belirtisi olabilir.

KAYNAKÇA

- Bonaz, B., Sinniger, V., & Pellissier, S. (2016). Anti-inflammatory properties of the vagus nerve: Potential therapeutic implications of vagus nerve stimulation. *Journal of Physiology*, 594(20), 5781–5790. doi:10.1113/JP271539
- Braund, K. G., Steinberg, H. S., Shores, A., Steiss, J. E., Mehta, J. R., Toivio-Kinnucan, M., & Amling, K. A. (1989). Laryngeal paralysis in immature and mature dogs as one sign of a more diffuse polyneuropathy. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 194, 1735–1740.
- de Lahunta, A., Glass, E. N., & Kent, M. (2021). *de Lahunta's veterinary neuroanatomy and clinical neurology* (5th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Evans, H. E., & de Lahunta, A. (2013). *Miller's anatomy of the dog* (4th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Fossum, T. W. (2019). *Small animal surgery* (5th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Gaynor, A. R., Shofer, F. S., & Washabau, R. J. (1997). Risk factors for acquired megaesophagus in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 211, 1406–1412.
- Getty, R. (Ed.). (1975). *Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals* (5th ed.). Philadelphia, PA: Saunders.
- Giraud, L., Lezmi, S., Gomes, E., & Cauzinille, L. (2020). A rare case of malignant vagus nerve sheath tumor presenting with multiple cranial nerve dysfunction in a dog. *Canadian Veterinary Journal*, 61(10), 1049–1054.

- Grundfest-Broniatowski, S., Davies, C. R., Olsen, E., Jacobs, G., Kasick, J., Chou, S. M., . . . Hermann, R. E. (1990). Electrical control of gastric emptying in denervated and reinnervated canine stomach: A pilot study. *Artificial Organs*, 14(4), 254–259. doi:10.1111/j.1525-1594.1990.tb02966.x
- Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Hayashi, I., Yamamoto, T., & Hosoda, Y. (1998). Right vagal nerve stimulation during minimally invasive direct coronary artery bypass grafting in dogs: A preliminary study. *Journal of Cardiovascular Surgery*, 39(4), 469–471.
- Hendrix, P. K., Robinson, E. P., & Raffe, M. R. (1995). Methoctramine, a cardioselective muscarinic cholinergic antagonist, prevents fentanyl-induced bradycardia in the dog. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*, 18, 87–93. doi:10.1111/j.1365-2885.1995.tb00560.x
- Hermanson, J. W., de Lahunta, A., & Evans, H. E. (2020). *Miller and Evans' anatomy of the dog* (5th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- Holland, C. T., Satchell, P. M., & Farrow, B. R. H. (1994). Vagal afferent dysfunction in naturally occurring canine esophageal motility disorder. *Digestive Diseases and Sciences*, 39, 2090–2098. doi:10.1007/BF02090355
- Holland, C. T., Satchell, P. M., & Farrow, B. R. H. (1996). Vagal esophagomotor nerve function and esophageal motor performance in dogs with congenital idiopathic megaesophagus. *American Journal of Veterinary Research*, 57, 906–913.

- Holland, C. T., Satchell, P. M., & Farrow, B. R. H. (2002). Selective vagal afferent dysfunction in dogs with congenital idiopathic megaoesophagus. *Autonomic Neuroscience*, 99, 18–23. doi:10.1016/S1566-0702(02)00054-1
- Hudson, L. C., & Cummings, J. F. (1985). The origins of innervation of the esophagus of the dog. *Brain Research*, 326, 125–136. doi:10.1016/0006-8993(85)91391-5
- Kitshoff, A. M., Van Goethem, B., Stegen, L., Vandekerckhove, P., & de Rooster, H. (2013). Laryngeal paralysis in dogs: An update on recent knowledge. *Journal of the South African Veterinary Association*, 84, 1–9.
- Klein, B. G. (Ed.). (2020). *Cunningham's textbook of veterinary physiology* (6th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.
- König, H. E., & Liebich, H. G. (2020). *Veterinary anatomy of domestic animals: Textbook and colour atlas* (7th ed.). Stuttgart, Germany: Thieme.
- Ouyang, H., Xing, J., & Chen, J. D. Z. (2004). Electroacupuncture restores impaired gastric accommodation in vagotomized dogs. *Digestive Diseases and Sciences*, 49, 1418–1424. doi:10.1023/B:DDAS.0000042240.05247.01
- Shitamori, F., Nakagawa, T., Takahashi, N., Sakamoto, M., Takahashi, Y., Yamamoto, K., . . . Tomiyasu, H. (2025). Malignant peripheral nerve sheath tumor in the vagus nerve causing upper gastrointestinal signs in a dog. *Journal of Veterinary Medical Science*, 87(10), 1194–1198. doi:10.1292/jvms.25-0152
- Singh, B. (Ed.). (2018). *Dyce, Sack, and Wensing's textbook of veterinary anatomy* (5th ed.). St. Louis, MO: Elsevier.

- Stanley, B. J., Hauptman, J. G., Fritz, M. C., Rosenstein, D. S., & Kinns, J. (2010). Esophageal dysfunction in dogs with idiopathic laryngeal paralysis: A controlled cohort study. *Veterinary Surgery*, 39, 139–149. doi:10.1111/j.1532-950X.2009.00626.x
- Thieman, K. M., Krahwinkel, D. J., Sims, M. H., & Shelton, G. D. (2010). Histopathological confirmation of polyneuropathy in 11 dogs with laryngeal paralysis. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 46, 161–167. doi:10.5326/0460161
- Tilley, L. P., & Smith, F. W. K. (Eds.). (2016). *Blackwell's five-minute veterinary consult: Canine and feline* (6th ed.). Hoboken, NJ: Wiley Blackwell.
- Tracey, K. J. (2002). The inflammatory reflex. *Nature*, 420, 853–859. doi:10.1038/nature01321
- Yap, F., & Pratschke, K. (2016). Peripheral nerve sheath tumor of the vagus nerve in a dog. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 52, 57–62. doi:10.5326/JAAHA-MS-6249
- Zhang, R., Wugeti, N., Sun, J., Yan, H., Guo, Y., Zhang, L., . . . Ma, Y. (2014). Effects of vagus nerve stimulation via cholinergic anti-inflammatory pathway activation on myocardial ischemia/reperfusion injury in canine. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 7(9), 2615–2623.

VETERİNER ANATOMİSİ ALANINDA
GÜNCEL KONULAR VE
AKADEMİK DEĞERLENDİRMELER

yaz
yayınları

YAZ Yayınları
M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar / AFYONKARAHİSAR
Tel : (0 531) 880 92 99
yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com