

Derleme Review article

Geliş tarihi: 1 Haziran 2026

Kabul tarihi: 17 Haziran 2026

Anahtar kelimeler:

Kalp pili,
Kedi,
Köpek

Key words:

Pacemaker,
Cat,
Dog

Sorumlu yazar:

Hakan SALCI

Adres:

Bursa Uludağ Üniversitesi,
Veteriner Fakültesi, Cerrahi
Anabilim Dalı, 16059, Bursa,
Türkiye

E-posta:

hsalci@uludag.edu.tr

ORCID ID

Hilal Nur ÖZKAN
<https://orcid.org/0009-0000-0770-9985>
Hakan SALCI
<https://orcid.org/0000-0001-6548-8754>

Kedi ve Köpeklerde Kalp Pili (Pacemaker) Uygulaması

Pacemaker Implantation in Cats and Dogs

Hilal Nur ÖZKAN¹, Hakan SALCI¹

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Cerrahi Anabilim Dalı, 16059, Bursa, Türkiye

Öz

Kalp pili (pacemaker), kalbin yeterli elektriksel uyarı oluşturamadığı veya kalpteki iletim bozukluğu nedeniyle kalp hızının düştüğü durumlarda miyokardı elektriksel olarak uyarak ritmi düzenleyen bir cihazdır. Kedi ve köpeklerde özellikle semptomatik bradikardilerde uygulanmakla birlikte hasta sinüs sendromu, II.-III. derece atriyoventriküler blokaj (AVB) ve kalıcı atriyal duraklama gibi patolojilerde de kalp pili endike olmaktadır. Pacemaker sistemi; jeneratör, batarya, elektronik devreler ve kalbe yerleştirilen elektrotlardan oluşur. Modern cihazlar kalbin doğal aktivitesini algılayabilir, gerektiğinde uyarı verebilir, hız adaptasyonu sağlayabilir ve programlanabilir özellikleri sayesinde klinik takipte önemli avantajlar sunar. Bu derlemede küçük hayvan pratiğinde kalbin elektriksel iletimine ait patolojilerin tedavisinde kalp pili uygulamasının detayları özetlenerek aktarılmıştır.

ABSTRACT

A pacemaker is a device that regulates the heart rhythm by electrically stimulating the myocardium when the heart cannot generate sufficient electrical impulses or when the heart rate decreases due to conduction disorders. While primarily used in cats and dogs for symptomatic bradycardia, pacemakers are also indicated in pathologies such as sick sinus syndrome, grade II-III atrioventricular block (AVB), and permanent atrial arrest. A pacemaker system consists of a generator, battery, electronic circuits, and electrodes implanted in the heart. Modern devices can sense the heart's natural activity, provide stimulation, when necessary, adapt the heart rate, and offer significant advantages in clinical monitoring thanks to their programmable features. This review summarizes the details of pacemaker implantation in the treatment of pathologies related to the electrical conduction of the heart in small animal practice.

GİRİŞ

Kalp pili (pacemaker) uygulaması ilk kez 1968 yılında kullanılmış ve o günden günümüze köpeklerde çeşitli bradiaritmilerin tedavisinde rutin olarak uygulanır hale gelmiştir. Kalp pilinin en yaygın endikasyonu II. ve III. derece atriyoventriküler blokaj (AVB)'dir.¹ Köpeklerde kalp pili genellikle endokardiyal elektrotların yerleştirilmesiyle yapılır. Küçük ırk köpek ve kedilerin kalbe ait bazı patolojilerinde epikardiyal elektrotlar yerleştirilir. Semptomatik bradikardilerin tedavisinde kullanılan kalp pilinin hangi yöntemle kalbe yerleştirileceği bir dizi ele alınması gereken parametrelere bağlıdır.² Bu derlemede kedi ve köpeklerde karşılaşılan kalbin elektriksel iletimine ait patolojilerde tedavi amaçlı kalp pili (pacemaker) uygulamasının detayları verilmektedir.

Kalp Pili ve Endikasyonları

Kalp kasına yetersiz impulsların gittiği veya kalp kasında uyarımın hiç oluşmadığı patolojilerde, kalp pili ile kalbe elektriksel uyarılar gönderilerek kalp frekansı artırılır veya azaltılır (kronotropik etki).³ Kalp pili ya da pacemaker sistemi, pacing elektrotları ve batarya (pacing jeneratörü) olmak üzere iki bileşenden oluşur (Şekil 1).^{2,4} Elektrotlar çeşitli yöntemlerle kalbin içine ulaştırılarak kalp kasına sabitlenir.³ Elektrotlar, kalbe uyarımların gönderilmesinin yanı sıra kalbin intrinsik aktivitesini algılayıp cihaza iletirler.⁴

Kedi ve köpeklerde kalp pilinin en önemli endikasyonu semptomatik bradikardilerdir. Ayrıca sinüs düğümünün fonksiyon bozukluğu (hasta sinüs sendromu), II ve III. derece atriyoventriküler blokaj (AVB), kalıcı atriyal duraklama, atriyal fibrilasyon ve kardiyomiyopatilerde de kalp pili endike olmaktadır.³ Kalbin uyarı sistemindeki geçici veya kalıcı kesintiye AVB denilmektedir.² Birinci derece AVB'de atriyoventriküler kavşakta ileti süresi uzamakta, II. derece AVB'de atriyal uyarıların bir kısmı ventriküllere ulaşamamaktadır. Üçüncü derece AVB'de ise supraventriküler iletiler ventrikülleri çalıştıramamaktadır.⁵ Sinüs sendromu olarak adlandırılan patolojide elektrokardiyografide (EKG) şiddetli sinüs bradikardi ve sinoatriyal duraklama ile kendini gösteren sinüs düğümünün disfonksiyonu görülür.² Sinüs düğümü disfonksiyonu, birçok köpekte tedavi gerektirmesede bu köpeklerde senkop oluşum sıklığını azaltmak için kalp pili uygulanması gerekir.⁶



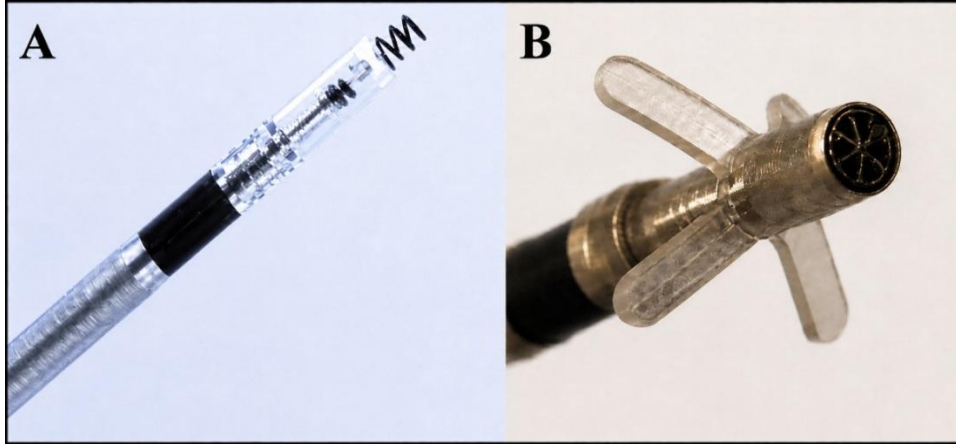
Şekil 1. Elektrotu ile birlikte bir pacemaker jeneratörü.²

Günümüzde kullanılanlardan farklı olarak ilk kalp pilleri bir batarya ve zamanlayıcıdan oluştuğu için veri elde etme ve programlama gibi özellikleri bulunmuyordu. Daha basit olan bu cihazların yerini, atriyumlardan gelen uyarılara göre ventrikülleri senkronize eden programlanabilir cihazlar almıştır. Programlanabilir ve elektrotsuz olmalarından dolayı hekimleri tarafından kolaylıkla hastaların durumu evlerinde izlenebilir ve implante edilen cihazla veri alışverişi de yapılabilir. Verilerin içerdiği bilgiler; cihazda depolanan hız histogramlarını, elektrot ve pil performansını, uyarı durumlarını ve olası sorunları gösterebilir. Elektrotsuz olan kalp pilleri gerektiğinde

geri alınabildiği gibi elektronik bileşenleri silindirik bir gövdede olacak şekilde 8-10 yıl uygulandığı yerde durabilir. Kalp pilleri kateter ile direkt miyokardın çeşitli noktalarına sabitlenir. Bu kalp pilleri atriyoventriküler senkronizasyon sağlamadığı için günümüzde sadece ventriküllere uygulanırlar.⁴

Jeneratörün en büyük bileşeni olan bataryanın gerilimi genellikle 2,75-3 volt arasındadır. Devre içindeki yükseltici veya düşürücü transformatörler yardımıyla istenen farklı elektriksel çıkışlar elde edilebilir. Pilin boyutu ve tasarımı yıllar içinde gelişerek daha küçük ve ergonomik hale gelmiştir. Kalp pilinden çıkan enerji, miyokardla temas eden elektrotun ucuna iletilir. Elektrottan gelen sinyaller önce algılama yükselteciye ulaşır. Devrenin bu kısmı çok zayıf elektriksel sinyalleri büyüterek cihazın işleyebileceği seviyeye getirir. Ardından sinyal, kalp pilinin beyni kabul edilen mantık devresine aktarılır. Mantık devresi, algılama devresinden gelen sinyallerin fizyolojik olup olmadığını analiz eder ve sinyal kalbin doğal aktivitesine aitse cihaz uyarıyı baskılar, değilse çıkış devresi devreye girerek pacing sinyali üretir ve kalbin uyarılmasını sağlar. Bu üç devrenin koordineli biçimde çalışmasını iletişim devresi sağlar.

Elektrotlar, pilin çıkış devresini miyokarda bağlayan çapları yaklaşık 5-8 French (5,24-8,34 mm) olan unipolar veya bipolar özellikteki ince tellerdir.⁴ Küçük ırk köpekler için insanlarda pediatrik hastalarda kullanılan 4,1-5,1 French çapa sahip elektrotlar önerilir.⁷ Unipolar elektrotlar daha ince yapıdadırlar⁷ ve elektrot ucu katot kalp pili cihazı ise anot olarak kullanılır. Bipolar elektrotlarda anot ve katot uçları aynı elektrot teli olarak bulunur.⁴ Unipolar kalp pillerinin en büyük dezavantajı elektrik devresi iskelet kasına yakın olduğunda iskelet kaslarında seğirmelerin meydana gelmesidir.⁸ Teller nikel-krom-molibden-kobalt alaşımındandır ve korozyona karşı dirençlidirler. Kalbin kasılıp gevşemesine dirençli olması için koradial ve koaksiyel şekilde sarılırlar. Her bir tel demeti "etilen tetrafloroetilen" kaplama ile yalıtılmıştır. Tüm teller daha sonra silikon, poliüretan veya kopolimer ile sarılırlar. Elektrot uçları genellikle poröz veya spiral yapıdadır. Elektrotlar endokardiyal ve epikardiyal olarak miyokarda sabitlenirler. Endokardiyal yerleşimde aktif (vida veya dikişle sabitleme) ve pasif (kas dokusuna takılarak) tutunma yöntemleri kullanılırken, epikardiyal yerleştirmede direkt olarak vida veya dikişle miyokarda sabitleme yapılır (Şekil 2).



Şekil 2. Aktif fiksasyonda kullanılan spiral yapıdaki elektrot ucu (A) ve pasif fiksasyonda kullanılan poröz elektrot ucu (B).⁴

Güncel NBG Tanımlamaları					
Pozisyon	I	II	III	IV	V
Kategori	Uyarılan Odacık(lar)	Hissedilen Odacık(lar)	Cevap Modu Varlığı	Adaptif Hız Özelliği	Stimülasyon Yer(ler)i
	O = Yok	O = Yok	O = Yok	O = Yok	O = Yok
	A = Atriyum	A = Atriyum	T = Tetiklenme	R = Hız ayarlama	A = Atriyum
	V = Ventrikül	V = Ventrikül	I = Durdurma		V = Ventrikül
	D = Çift (A + V)	D = Çift (A + V)	D = Çift (T + I)		D = Çift (A + V)
Üreticinin tasarımına göre:	S = Tek (A veya V)	S = Tek (A veya V)			

Şekil 3. Güncellenen NBG tanımlamalarının özeti.⁹

Kalp pilleri uyardıkları ve algıladıkları kalbin bölümlerine göre (tek odacıklı: single chamber veya çift odacıklı: dual chamber) farklı elektrotlara sahiptirler.⁴ Kalp pili özelliklerini tanımlamada kolaylık sağlaması açısından harf kodları verilerek genel kalp pili kod tanımlamaları (NBG) yapılmıştır (Şekil 3). Bu kodlama beş pozisyondan oluşmaktadır. İlki yani I. pozisyon pacemaker'ın uyardığı yeri; II. pozisyon pacemaker tarafından hangi kalp bölümünün hissedildiğini; III. pozisyon ise cevap modunu göstermektedir. Kısacası IV. pozisyona kadar olan kısım uyarılan ve algılamanın gerçekleştiği kalp bölümlerini; diğerleri ise uyarıların tetiklenmesi veya engellenmesini göstermektedir. IV. pozisyon hastanın fiziksel aktivitesine göre adaptif hız mekanizmasının var ya da yok olduğunu ifade eder ve bu bağlamda sensör olarak da tanımlanmaktadır. Pozisyon V, multisite özelliğini temsil eder ve gelişmiş kalp pillerinde birden fazla stimülasyon bölgesini tanımlamaktadır. O, odacıkların hiçbirinde; A, bir veya iki atriyumda; V, bir veya iki atriyumda; D ise A ve V'nin herhangi bir kombinasyonunda mevcut olup olmadığı hakkında bilgi verir.⁹ Köpeklerde yaygın olarak kullanılan VVIR tip olarak adlandırılan kalp pili sisteminde; bir sensör aracılığıyla kalp hızı algılanarak kalp hızının artışının gerekliliği doğrultusunda kalp hızı ayarlanır.¹⁰ Bu kalp pili sisteminde; hayvanın fiziksel aktivitesi veya solunum frekansına göre kalp hızı artar

ancak atriyoventriküler asenkronizasyon devam eder. Bu uyumsuzluğu ortadan kaldırmak için iki sistem mevcuttur.¹¹ Bunlardan biri olan çift odacıklı kalp pili (DDD tip) sistemlerinde hem sağ ventriküle hem de sağ atriyumda yerleştirilen elektrotlar uyarım sağlamakta, aynı zamanda her iki kalp bölümünün aktivitesi algılanmaktadır.^{4,8} Bir diğer sistem ise bir elektrotun artere yerleştirilerek kalp pilinin VDD moduna ayarlanmasıdır. Bu sistemde atriyoventriküler senkronizasyon geri kazandırılır ancak sağ atriyumda uyarı olmaz.¹¹ Tek odacıklı ve çift odacıklı elektrotların yanı sıra biventriküler kalp pilleri kalbin senkronizasyonunun geri kazanılmasını sağlayan, kalbin pompalama gücünü arttırmak için sağ atriyumun yanında hem sağ ve hem de sol ventriküle implante edilen kalp pili tipleridir.⁸ Tek odacıklı kalp pili sistemlerinin daha az komplikasyona sahip ve tedaviye alınan cevapların başarılı olduğu bilinir. AVB'li köpeklerde biventriküler kalp pili sistemlerinin uzun süreli atriyoventriküler senkronizasyonu geri kazanma yetisi ve uygulanabilirliği incelendiğinde; kalp pili sistemi DDD veya DDDR moduna ayarlanınca AVB'li köpeklerde hız adaptasyon fonksiyonunda başarılı olduğu görülmüştür.¹¹

Kalp pili çevreden gelen gürültü ve parazit sesleri tanıyabilir. Böyle bir durumda gerektiğinde pacing modundan asenkron pacing moduna geçebilir. Bu özellik kalp piline bağımlı hastalarda kalbin uyarısız

kalmasını önleyerek yedek pacing görevi sağlar. Örneğin, elektrikli çit sistemi kullanan evcil hayvan sahiplerinde, çitin oluşturduğu elektromanyetik gürültü kalp piline karıştığında modern cihazlar bu sinyali tanıyıp reddeder ama yine de yedek pacing sağlayarak “çıktı yok” durumunu önler. Günümüzdeki tüm sistemler, fizyolojik olmayan sinyalleri ayırt etme ve inhibe moddan uyarı moduna geçebilme yeteneğine sahiptir. Eski nesil cihazlar bu özelliğe sahip olmadığı için parazit sinyaller kalp pilinin görevini durdurabilmekteydi. Buna karşılık, günümüzdeki cihazlarda havaalanı güvenlik sistemleri veya mikrodalga fırınlardan gelen elektromanyetik alanlar artık bir sorun teşkil etmemektedir. Bu “gürültüye dönüş” modu, mevcut tüm modern cihazlarda programlanabilir durumdadır. Kalp pilleri manyetik rezonans görüntüleme (MRG) için uyumlu, koşullu uyumlu ve uyumlu olmayan şeklinde üç kategoriden birine sahiptir. Koşullu uyumlu cihazlar, doğru programlama yapıldığı sürece güvenlidir, ancak genellikle implant bölgesinin taranması önerilmez. Bu cihazlar için tipik öneri 1,5 Tesla veya daha düşük kapasiteli MRG cihazı kullanılmasıdır. Uyumlu olmayan kalp pilleri geçmişte MRG için kontrendike sayılıyordu; ancak daha sonra kalp pili uyumlu olmayan hastaların 1,5 Tesla gücündeki cihazlarda toraks hariç görüntüleme işlemleri güvenle yapılmıştır. Ancak bu hastaların kalp pillerinin programlanması ve MRG sonrası kontrol edilmesi gerekir. Kalp atım sayısı >40/dk olan hastalarda, cihazın manyetik alana verdiği yanıt yok sayılacak şekilde, non-pacing moda programlanabilir. Kalp pilline bağımlı hastalarda pacemaker cihazı mıknaş tepkisini yok sayacak (non-sensing) moda alınmalıdır. MRG sırasında cihaz çevresinde yüksek düzeyde elektromanyetik parazit oluşabilir. Bu durumda non-sensing mod, cihazın dış gürültüleri algılamadan göreve devam etmesini sağlar. İşlem öncesinde ve sonrasında cihazın sorgulanması ve tüm parametrelerin eski değerlere geri getirilmesi gerekir. Yeni nesil MRG uyumlu cihazlarda, işlem öncesinde “MRG modu” etkinleştirilebilir ve işlem sonrası cihaz otomatik olarak eski programına döndürülür.⁴

Kalp Pili Türleri

Geçici kalp pili

Veteriner hekimlik literatüründe tanımlanan geçici kalp pili, transvenöz yerleşimi olan bir sistemdir.⁸ Transvenöz kalp pili yerleşimi, AVB ve sinüs düğümünün fonksiyon kaybı nedeniyle meydana gelen bradiaritmiler ile birlikte görülen hemodinamik instabilite, değişken ventriküler taşikardi (torsades de pointes) gibi durumlarda özellikle acil tıpta sıklıkla başvuru bir yöntemdir.¹² Bradikardili hastalarda acil olarak kalbin normal uyarımını sağlamak ve kalp frekansını arttırmak amacıyla minimal invazif veya non-invazif yöntemlerle geçici kalp pilleri kullanılır. Bu

süreç genellikle kalıcı pacemaker uygulamasına bir geçiş dönemidir. Geçici kalp pilleri transözefagal, transkutanöz ve transvenöz olarak yerleştirilir. Veteriner hekimlikte genellikle transvenöz geçici pacemaker (TVP) sistemi tercih edilir. Transözefagal uygulanan sistemde özefafusa yerleştirilen elektrotun ucu kalbin dorsalinde yer alır ve kalbin sadece atriyumları uyarılır. Bu sebeple sinüs düğümüne problemlili olan hastalarda bu kalp pilleri kullanılır ancak atriyoventriküler düğümde fonksiyon kaybı bulunan hastalarda bu sistem yararlı olmaz. Transtorakal kutanöz geçici kalp pili, daha kısa sürede uygulanabilmesi nedeniyle transvenöz kalp pili uygulamaya alternatif non-invazif bir teknik olarak son yıllarda tercih edilir. Elektrot yamaları kalbin tam üzerine denk gelecek şekilde (prekordiyal impuls alanı) sağ ve sol hemitoraks derisine yapıştırılmalıdır. Prekordiyal impuls alanı ventriküller için en düşük enerjinin gerekli olduğu yerleşim yeridir.¹³ Karşılıklı yerleştirilen yamalar arasında oluşan akım ile kalp uyarılır.¹⁴ Yamalar dakikada 40-170 impuls üretir ve her impuls 20 ms sürer. Akımın şiddeti ise 0-200 mA arasında değişmektedir. Daha sonra pace hızı ve akım, ventriküler uyarı yanıtı EKG’de görülene ve arteriyel nabız hissedilene kadar kademeli olarak artırılmalıdır. Ventriküler yanıt, pace impulsunu takiben görülen geniş QRS-T kompleks olarak tanımlanır. Akım, yakalanan eşğin hemen üzerinde tutularak optimum aralıklar belirlenir.¹³

Transvenöz kalp pili implantasyonu, III. derece AVB veya sinüs sendromu olan köpeklerin %90’ından fazlasında klinik belirtileri azaltmada veya ortadan kaldırmada başarılıdır. Bu sürecin aşamaları; sinüs ritim veya sinüs taşikardi, ardından sinüs bradikardi ve/veya hipotansiyon, daha sonra senkop gelişimi, son olarak ise normal sinüs ritme dönüş olarak sıralanır. Kalp pili yalnızca sık semptom gösteren ve senkop sırasında belirgin bradikardiye sahipi olan köpeklerde önerilmelidir. Uygulama öncesinde hastaya diüretik ve anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörleri verilir ve ardından vena jugularis’e santral venöz kateter yerleştirilerek elektrot(lar) için kalbe bir yol oluşturulur. Sonrasında elektrot(lar) floroskopi eşliğinde önce sağ atriyuma ve triküspit kapak aracılığıyla sağ ventrikül apeksine ilerletilerek trabeküllere aktif veya pasif olarak sabitletir.^{12,15} Bu geçişi kolaylaştırmak için balon uçlu kateter kullanılması fayda vardır.¹⁴ Floroskopinin bulunmadığı durumlarda ultrason ile de elektrotun konumu doğrulanabilir (Şekil 4). Elektrotun uç kısmı endokardiyal duvarla temas ettiğinde EKG’de ST segmenti yükselir ve böylece elektrot konumlandırılmış olur. En son elektrot ve kalp pili jeneratörünün bağlantısı sağlanır.¹² İnsanlarda ilk yapılan epikardiyal yaklaşımdan iki yıl sonra transvenöz kalp pili implantasyonu uygulanmıştır.¹⁶ Bu yaklaşımın kullanımı ilk olarak 1976 yılında Stokes-

Adams nöbetleriyle ilişkilendirilen ve kardiyak out-putu azaltan bradikardiyal bir köpekte olmuştur.⁵



Şekil 4. Sağ atriyumdan sağ ventriküle doğru uzanan transvenöz pil yerleştirme işlemine ait ultrason görüntüsü.¹²

Kalıcı kalp pili

Hastaya kalıcı kalp pili uygulanması için en önemli bulgu gerçek bradikardi olmalıdır. AVB ve sinüs sendromu olan hastalarda kalp pili elektrotu yerleştirilmesi için en çok kullanılan bölge sağ ventrikülün apeksidir. Ancak, sağ ventrikül apeksine kalp pili uygulanması sonrası hastaların çoğunda uzun dönemde sol ventrikül fonksiyonunda olumsuz etkiler oluştuğu için halen daha kalp pilinin kalp üzerinde alternatif yerleşim yeri aranmaktadır. Kalp pili uygulamasında sağ vena jugularis'e ulaşmak için hasta sol lateral pozisyonunda masaya yatırılır. Bu pozisyonunda gerek sağ ventrikül ve gerekse sağ atriya elektrotlar yerleştirilirken, elektrotun pozisyonunu ayarlamak için hasta rahatlıkla saat yönünün tersine/operatöre ve masaya doğru (dorsal yönde) çevrilebilir. Koroner sinüs/sol ventrikül elektrotu yerleştirilirken hasta sağ lateral pozisyonunda yatırılırsa, koroner sinüs ostiumu kollabe olabilir ve giriş zorlaşır.⁷

Sinoatriyal düğümde fonksiyon kaybı bulunan küçük ırk köpeklerde tek odacıklı olan atriyum pacemaker'ları değerlendirilmiş ve bu hastaların çoğunda klinik olarak anlamlı AVB ile karşılaşmadığı ve atriyoventriküler iletinin desteklenmesiyle senkron olarak ventriküler kontraksiyon oluştuğu saptanmıştır. Transvenöz atriyal pace elektrotları günümüzde erişkin insanlar için üretilmekte ve küçük ırk köpekler için ancak pediatrik hastalarda kullanılan elektrotlar önerilmektedir. Atriya yerleştirilen pacemakerlar için "J" uçlu stile, düz stile, bipolar ve unipolar elektrotlar ile aktif ve pasif fiksasyonlu elektrotlar kullanılmaktadır. "J" uç, elektrotun triküspit kapaktan geçmesini önler ancak atriyumda aşırı basınç oluşturabilir. Unipolar elektrotlar tek iletkenli olup daha ince yapıdadırlar ancak büyük T dalgasına sebep oldukları için daha az tercih edilirler. Juguler venotomi sonrası elektrot düz bir stileyle birlikte vena

jugularis'ten ilerletilir ve sağ atriya ulaşılır. Elektrotun ucu vena cava caudalis sınırına geldiğinde (ancak halen sağ atriya içindeyken), düz stile çıkarılır ve "J" uçlu stile yerleştirilir. Elektrotun ve stilenin dorsale rotasyonu veya hafif ileri itilmesi ile elektrot ucunun sağ atriya apendikse takılması sağlanır. Uygun pozisyon elde edildiğinde, elektrotun ve stilenin hafif geri çekilmesi, elektrot ucunun atriya miyokardına temas ederek sabitlenmesini sağlar. Elektrot uygun konumdayken atriyal kontraksiyon sırasında elektrot ucunun "silecek hareketi" yaptığı görülmelidir ve stile çıkarılmalıdır. Elektrotun atriyal miyokarda iyi tutunduğunu doğrulamak için elektrot hafifçe ileri itilir ve pozisyonun değişmediği gözlenir. Elektrot boyun hareketlerine izin verecek kadar gevşek bırakılmalı ancak aşırı gevşek olmamalıdır. Çünkü bu durumda elektrot triküspit kapaktan geçerek yerinden çıkabilir. Aktif fiksasyonlu elektrotlarda ise, terminal pinden saat yönünde yapılan rotasyon, heliksin atriyal miyokarda ilerlemesini sağlar. Elektrot vena jugularis'e yerleştirilmeden önce gerekli rotasyon sayısı değerlendirilmelidir.⁷

Ventriküle kalp pili yerleşiminde genellikle sağ ventrikül apeksi kullanılır. Sağ ventrikül-atrium elektrotları için genellikle düz stile kullanılmaktadır ancak bu elektrotların ucu daha esnek olduğu için 14 Gauge kılavuz teli tercih edilmelidir. Juguler venotomi sonrası elektrot sağ atriya içerisine ilerletilir ve hasta boyutuna göre düz stileye küçük bir eğim verilerek triküspit kapaktan elektrotun geçişi sağlanır. Daha sonra tekrar düz stile kullanılarak elektrot sağ ventrikül-atrium'a yönlendirilir. Elektrot ucunun yerinin belirlenmesinde floroskopi veya sol lateral ve ventrodorsal pozisyonlarda alınan radyografilerden yararlanılır. Aktif fiksasyonlu elektrotlarda, heliksin tam açılımı için gereken saat yönündeki rotasyon sayısı önceden belirlenip floroskopide izlenir. Pasif fiksasyonlu elektrotlarda ise elektrot mümkün olduğunca derin sağ ventrikül-atrium'a yerleştirilir ve stile çıkarıldığında uç hareketi dikkatlice gözlenir. Sol ventriküle yerleştirilen kalp pili genellikle tek başına kullanılmaz, daha çok kardiyak re-senkronizasyonun sağlanması amacıyla sağ atriya, sağ ventrikül ve kardiyak vena (çoğunlukla sol marjinal veya sol posterior vena) üzerine yerleştirilen elektrotlar birlikte kullanılır. Köpeklerde koroner venöz anatomi insanlarınkine benzerdir ancak sol serbest duvar üzerinde açılardan, anastomozların veya çok sayıda küçük venaların bulunması, sol ventriküle elektrot yerleşimini oldukça zorlaştırmaktadır.⁷ Hem sağlıklı köpeklerde hem de III. derece AVB'li köpeklerde, sol ventriküle yerleştirilen kalp pilinin sağ ventrikül apeksine yerleştirilen kalp piline kıyasla daha iyi kardiyak sistolik fonksiyon sağladığına ilişkin raporlar olduğu bildirilir.^{17,18} Epikardiyal kalp pili ileride muhtemelen köpeklerde de endikasyon bulacaktır.¹⁹

Kalp Piliin Uygulanması**Epikardiyal yaklaşım**

Epikardiyal kalp pili, ilk olarak 1957 yılında ventriküler septal defektli bir insanda²⁰ ve takiben on yıl sonra da ilk kez bir köpekte uygulanmıştır. Köpekte uygulanan epikardiyal kalp pili VOO tip sabit hızlı, bipolar elektrotlu, dakikada 70 kalp atımı olacak şekilde ayarlanmış ve elektrotlar subkutan ilerletilip torakotomi ile sol ventrikül epikardına yerleştirilmiştir.²¹ Epikardiyal kalp pili özellikle başka bir kardiyotorakal veya abdominal cerrahi müdahale geçiren hastalarda kalp pili implantasyonu gerektiğinde endike olduğu belirtilse de kalıcı epikardiyal kalp pilinin hangi durumlarda tercih edileceğine dair henüz bir netlik yoktur. Kediler gibi küçük boyuttaki, enfeksiyonu bulunan ve trombus riski olan hastalara uygulanmaktadır. Epikardiyal kalp pilinin avantajı kan ve intrakardiyak yapılarla temasının olmamasıdır. Epikardiyal kalp pili için elektrotlar transdiyaframatik veya mini-torakotomi ile yönlendirilir ve elektrotların yer değiştirme komplikasyonu hemen hemen yoktur. Mini-torakotomi sonrası sol kardiyak apeks üzerine elektrotlar uygulanır ve kalp pili jeneratörü de kaudal abdomenin lateral duvarına yerleştirilir. Mini-torakotomi, sol hemitoraksın ventral üçte birlik kısmında, kardiyak apeks hizasında ve genellikle 8. interkostal aralıktan yapılır. Perikardiyotomi sonrası sol ventrikül apeksi ortaya çıkar. Epikardiyal tip elektrotların ucundaki deliklerden ve miyokarttan geçen "mattress" dikişler uygulanır. Bipolar pacing elektrotu kullanılıyorsa işlem yaklaşık 2 cm aralıkla tekrarlanır. Kalp pili jeneratörü için kraniyal lateral abdomen üzerinde deri ve *m. obliquus eksternus abdominis*'e ensizyon yapılır. Elektrot teli, ensizyon içerisinden subkutan tünel oluşturularak geçirilir ve ardından jeneratör bağlantısı sağlanır. Jeneratör, abdominal kaslar arasında oluşturulan cebe yerleştirilir. Torakostomi tüpü yerleştirilerek her iki ensizyon rutin olarak kapatılır.¹⁹ Transdiyaframatik yaklaşımda sol ventrikülün epikardına ulaşmak için laparotominin ardından diyaframın ensizyonu yapılır ancak belirgin bir kardiyomegali yoksa kalbin apeksine erişim bu yaklaşımda zordur.^{4,19} Günümüzde hayvanlarda epikardiyal kalp pili için tercih edilen elektrot, steroid salınımı bulunan ucu düğmeli tip elektrotlardır. Bu elektrotların unipolar veya bipolar tipleri vardır ve uzunlukları 15-60 cm'dir. Epikardiyal elektrotlar atriya ya da ventriküle implante edilebilir.¹⁹ Transdiyafragmatik yaklaşım ile epikardiyal düğme tipi elektrotlar kullanıldığında, elektrotların yer değiştirme oranı %15 olarak bildirilmiştir.²²

Endokardiyal yaklaşım

Kalp pilinin uygulandığı ilk zamanlarda minimal invazif olarak kabul edilen endokardiyal yaklaşım; diyaframın

ensize edildiği ve toraksın açıldığı epikardiyal yaklaşıma göre daha fazla tercih edilmekteydi. Bu yaklaşımda elektrotlar kan ve intrakardiyak yapılarla sürekli temas ettiği için az da olsa karşılaşılabilecek komplikasyonlar açısından daha az tehlikelidir.¹⁹ Günümüzde köpeklerdeki kalp pillerinin implantasyonu endokardiyal elektrotlar kullanılarak transvenöz yolla yapılır. Elektrotlar genellikle sağ ventrikülün apeksine veya interventriküler septuma uygulanır.² Transvenöz yerleşimde elektrotun miyokardiyuma sabitlenmesi için aktif veya pasif fiksasyon gereklidir. Pasif fiksasyon gerektiren elektrotların uç yapısı çatallıdır ve böylece elektrot sağ ventrikülün trabeküllerine sabitlenir. Aktif fiksasyona olanak sağlayan elektrotların ucu ise metal sarmal yapısındadır.⁸

Kalp Pili Konumunun Doğrulanması

Elektrotlar sabitlenmeden veya jeneratöre bağlanmadan önce, "*pace sistem analizörü (PSA)*" ile değerlendirilen birçok parametre bulunmaktadır. Atriyal elektrotlar için P dalgası amplitüdü, ventriküler elektrotlar için R dalgası amplitüdü, elektrot impedansı, pace eşiği (threshold) ve ST amplitüdü değerlendirilir. Pace eşiği, minimal elektriksel uyarı ile miyokardın kontraksiyonunun sağlandığı noktadır ve $\leq 1,0$ V ve 0,5 ms eşik değerleri uygun olarak kabul edilir. Güvenlik açısından başlangıçta eşik değer 2-3 katı olarak programlanır. Eşik değer testleri ertesi gün, 2-3. haftalarda ve 3. ayda tekrarlanır. Birçok cihazda bulunan "capture management" özelliği, her uyarıma eşiği otomatik ayarlayarak batarya ömrünü uzatır. PSA bağlantısında bipolar elektrotlar için kırmızı uç kalp pili kablosunun halkasına, siyah kablo ucu elektrotun ucuna, unipolar elektrotlarda ise siyah kablo ensizyon kenarına bağlanır. Literatürde bu bağlantı "*kırmızı halka, siyah arka*" olarak geçmektedir.⁷ Pacing eşik değeri hastalığın akut döneminde genelde daha düşükken kronik dönemde artış gösterir. Günümüzdeki elektrotların çoğunun uç kısmında zamanla salınan deksametazon gibi bir steroid bulunur. Bu steroid uzun dönemde pacing eşığının stabil kalmasını sağlar.⁴ Sağ atriya uygulanılan elektrotlarda 2 mV'ın altındaki P dalgası değeri yeterli değildir. Aktif ve pasif fiksasyonlu elektrotlar başlangıçta miyokartta travma oluşturabilir ve geçici olarak pace eşiğini yükseltebilir. Bu durum "*hasar akım (current of injury)*" olarak tanımlanır ve EKG'de depolarizasyon süresinin uzamasıyla ve ST elevasyonu ile saptanır. Bu sebeple aktif fiksasyonlu elektrotlarda eşik testinden önce rutin olarak 5-10 dakika beklenir. İmpedans değerleri sağ atriyal ve sağ ventriküler-atriyal elektrotlar için genellikle 500-1.000 Ω , sağ atriyal septal elektrotlar için 900-1.200 Ω , koroner sinüs yoluyla yerleştirilen sol ventriküler elektrotlar için ise 3.000-4.000 Ω olabilir.⁷

Kalp Pili Uygulanmasının Komplikasyonları

Son yıllarda kalp pili uygulanmasına ait komplikasyonlar azalmıştır. Ameliyat sonrası oluşan enfeksiyonlar, ikinci kez kullanılan kalp pillerinde görülen jeneratör arızaları ve iatrojenik hatalar başlıca komplikasyonlardır. Major komplikasyonlar arasında elektrotun yerinden çıkması, elektrotla bağlı enfeksiyon, yerleştirilen kalp pili jeneratörünün yerinin değişmesi ve elektrotun ventriküler perforasyona sebep olması yer alır. Minör komplikasyonlar ise ventriküler aritmi, jeneratörün yerleşim yerinde küçük hacimli seröz sıvı birikimi ve implantasyon sonrası kas seğirmeleridir. Bir çalışmada komplikasyonların çoğunun (%64) kalp pili implantasyonu sonrası 3 ay içinde meydana geldiği bildirilir.¹ Epikardiyal ve transvenöz pacemaker uygulanmasına ait komplikasyonlarının karşılaştırıldığı farklı bir çalışmada ise implantasyon tekniği ile kalp piline ilişkin ölüm arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır.²³

SONUÇ

Kedi ve köpeklerde karşılaşılan semptomatik bradiaritmi ve yüksek dereceli AVB'lerin tedavisinde kalp pili uygulaması etkili ve önemli bir yöntemdir. Kalp pili uygulanmasında endokardiyal elektrot yerleşimi köpeklerde daha yaygın olarak tercih edilir. Hastanın türü, vücut büyüklüğü, mevcut kardiyak patoloji ve klinik durum gibi faktörlere bağlı olarak epikardiyal uygulama da kullanılabilir. Kedi ve köpeklerde kalp pili uygulamasındaki başarı; uygun hasta seçimi, doğru elektrot yerleşim tekniği ve karşılaşılabilecek komplikasyonlara müdahale gibi hususların önceden bilinmesi açısından önemlidir.

Yazar Katkıları

Fikir/Konsept: Hakan SALCI

Metodoloji: Hakan SALCI, Hilal Nur ÖZKAN

İnceleme/Danışma: Hakan SALCI

Veri Toplama ve/veya İşleme: Hilal Nur ÖZKAN

Analiz ve/veya Yorumlama: Hakan SALCI, Hilal Nur ÖZKAN

Literatür Tarama: Hilal Nur ÖZKAN

Makale Yazımı: Hakan SALCI, Hilal Nur ÖZKAN

Süpervizyon: Hakan SALCI

Tüm yazarlar makalenin son halini inceleyip onaylamıştır.

KAYNAKLAR

1. Ward J.L., DeFrancesco T.C., Tou S.P., Atkins C.E., Griffith E.H., Keene B.W.: Complication rates associated with transvenous pacemaker implantation in dogs with high-grade atrioventricular block performed during versus after normal business hours. *J. Vet. Intern Med.* 2015, 29(1): 157-163.
2. Akshata B., Shukla R. M., Tanwar C., Rathore G., Chaudhary S.: Pacemaker implantation in small animal practice: Indications, types of pacing and implantation technique. *J. Anim. Res.* 2024, 14(1): 39-46.
3. Özkanlar Y., Ertürk N.: Kedi ve köpeklerde kalp pili (pacemaker) tedavisi. *Türkiye Klinikleri J. Vet. Sci.* 2014, 5(1): 129-132.
4. DeForge W.F.: Cardiac pacemakers: A basic review of the history and current technology. *J. Vet. Cardiol.* 2019, 22: 40-50.

5. Musselman E.E., Rouse G.P., Parker A.J.: Permanent pacemaker implantation with transvenous electrode placement in a dog with complete atrioventricular heart block, congestive heart failure and Stokes-Adams syndrome. *J. Small Anim. Pract.* 1976, 17(3): 149-162.
6. Estrada A.H., Pariaut R., Hemsley S., Gatson B.H., Moise, N.S.: Atrial-based pacing for sinus node dysfunction in dogs: Initial results. *J. Vet. Intern. Med.* 2012, 26(3): 558-564.
7. Estrada A.H., Maisenbacher H.W.3rd., Jones A.E., Prošek R., Kleman M.E., Bryant R.M.: Transvenous pacing implantation: techniques, tips, and lessons learned along the way. *J. Vet. Cardiol.* 2019, 22: 51-64.
8. Changkija B., Thakur D.: An Insight to Cardiac Pacemaker Therapy in Veterinary Medicine. In: Verma A.K., Sarkar T.K., Kumar A., Singh A., Thakur V., Rawat S., Deepak D., Jithin M.V., Varun V.K., Singh A.K., Tripathi A., Verma H. Editor, *Breaking Barriers: Advancement in Veterinary Medicine*. Learning Media Publication, India, 2024, page: 175-185.
9. Bernstein A.D., Daubert J.C., Fletcher R.D., Hayes D.L., Lüderitz B., Reynolds D.W., Schoenfeld M.H., Sutton R.: The revised NASPE/BPEG generic code for antibradycardia, adaptive-rate, and multisite pacing. *North american society of pacing and electrophysiology/british pacing and electrophysiology group. Pacing Clin. Electrophysiol.* 2002, 25(2): 260-264.
10. Ferasin L., Faena M., Henderson S.M., Langford K., Darke P.G.G.: Use of a multistage exercise test to assess the responsiveness of rate-adaptive pacemakers in dogs. *J. Small. Anim. Pract.* 2005, 46: 115-120.
11. Hildebrandt N., Stertmann W.A., Wehner M., Schneider I., Neu H., Schneider M.: Dual chamber pacemaker implantation in dogs with atrioventricular block. *J. Vet. Intern. Med.* 2009, 23(1): 31-38.
12. Long B., Bridwell R.E., DeVivo A., Gottlieb M.: Transvenous pacemaker placement: A review for emergency clinicians. *J. Emerg. Med.* 2024, 66(4): 492-502.
13. DeFrancesco T.C., Hansen B.D., Atkins C.E., Sidley J.A., Keene B.W.: Noninvasive transthoracic temporary cardiac pacing in dogs. *J. Vet. Intern. Med.* 2003, 17(5): 663-667.
14. DeFrancesco T.C.: Temporary Cardiac Pacing. In: Silverstein D.C., Hopper K., Editor, *Small Animal Critical Care Medicine*. 3. Edition, W.B. Saunders, Philadelphia, 2023, page: 1157-1162.
15. Johnson M.S., Martin M.W.S., Henley W.: Results of pacemaker implantation in 104 dogs. *J. Small Anim. Pract.* 2007, 48(1): 4-11.
16. Furman S., Schwedel J.B.: An intracardiac pacemaker for Stokes-Adams seizures. *N. Engl. J. Med.* 1959, 261: 943-948.
17. Maisenbacher H.W., Estrada A.H., Prošek R., Shih A.C., VanGilder J.M.: Evaluation of the effects of transvenous pacing site on left ventricular function and synchrony in healthy anesthetized dogs. *Am. J. Vet. Res.* 2009, 70: 455-463.
18. Estrada A.H., Maisenbacher H.W., Prošek R., Schold J., Powell M., VanGilder J.M.: Evaluation of pacing site in dogs with naturally occurring complete heart block. *J. Vet. Cardiol.* 2009, 11: 79-88.
19. Orton E.C.: Epicardial pacemaker implantation in small animals. *J. Vet. Cardiol.* 2019, 22: 65-71.
20. Lillehei C.W., Levy M.J., Bonnabeau Jr R.C., Long D.M., Sellers R.D.: The use of a myocardial electrode and pacemaker in the management of acute postoperative and postinfarction complete heart block. *Surgery.* 1964, 56: 463-472.
21. Buchanan J.W.: First pacemaker in a dog: a historical note. *J. Vet. Intern. Med.* 2003, 17(5): 713-714.
22. Visser L.C., Keene B.W., Mathews K.G., Browne W.J., Chanoit G.: Outcomes and complications associated with epicardial pacemakers in 28 dogs and 5 cats. *Vet. Surg.* 2013, 42(5): 544-550.
23. Köster L.S., Zhu X., Smith C.K., Aisa J.: Single center retrospective clinical audit and comparison of outcome between epicardial and transvenous endocardial permanent pacemaker implantations in dogs. *PLoS One.* 2023, 18(11): e0290029.