

## Βιβλιογραφική ανασκόπηση

# Επεμβατικές τεχνικές με στόχο τη θεραπεία των συγγενών καρδιοπαθειών των ζώων συντροφιάς

**Μαυροπούλου Α.** Κτηνίατρος, κάτοχος μεταπτυχιακού διπλώματος, διδάκτορας, MRCVS, Διπλωματούχος του Ευρωπαϊκού Κολλεγίου της Εσωτερικής Παθολογίας (Ειδικευθείσα στην Καρδιολογία), με αναγνωρισμένη εξειδίκευση στην Καρδιολογία από το Βασιλικό Κολλέγιο Κτηνιάτρων του Ηνωμένου Βασιλείου (Royal College of Veterinary Surgeons, RCVS), Κτηνιατρική Κλινική Πλακεντία

## Review

# Interventional procedures for treatment of congenital cardiac disease in small animals

**Μανρωπούλου Α.** DVM, Ms, PhD, MRCVS, Diplomate of the European College of Internal Medicine (Specialty of Cardiology), RCVS Recognized specialist in Cardiology, Plakentia Veterinary Clinic

## Περίληψη

Οι διαδερμικές καρδιολογικές επεμβάσεις ξεκίνησαν στην κτηνιατρική επιστήμη το 1970 και από τότε και στη συνέχεια το πεδίο αυτό εμφάνισε αξιόλογη εξέλιξη. Στις μέρες μας είναι εφικτό ένα μεγάλο εύρος από επεμβάσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν τη διαστολή με μπαλονάκι και την τοποθέτηση μεταλλικού αγγειονάρθηκα (stent) σε περιπτώσεις στένωσης των βαλβίδων ή των μεγάλων αγγείων, τη σύγκλειση συγγενών αγγειακών ανωμαλιών με ειδικές συσκευές ή ελάσματα, τη σύγκλειση παραμένοντος μεσοκοιλιακού ή μεσοκοιλιακού τρήματος με ειδική συσκευή, την τοποθέτηση ενδοκαρδιακού βηματοδότη σε περιπτώσεις συμπτωματικής βραδυαρρυθμίας, τη διενέργεια βιοψίας ενδοκαρδιακών μαζών και τη χειρουργική απομάκρυνση παρασίτων. Το παρόν άρθρο αποτελεί μια ανασκόπηση των πιο συχνών επεμβατικών τεχνικών που πραγματοποιούνται με στόχο τη θεραπεία των συγγενών καρδιοπαθειών.

## Abstract

Percutaneous cardiac interventions were introduced in veterinary medicine in the 1970s and the field has had a remarkable growth since then. Nowadays a wide variety of procedures are being performed including balloon dilation and stent implantation for stenotic valves or vessels, closure of abnormal vessels with devices or coils, closure of septal defects with devices, intracardiac pacing for symptomatic bradyarrhythmias, biopsy of intracardiac masses and extraction of parasites. The present article reviews the most common procedures that are performed in congenital cardiac diseases.

**Λέξεις ευρετηρίου:** Παραμένων αρτηριακός πόρος, σκύλος, στένωση πνευμονικής αρτηρίας

**MeSH keywords:** Patent ductus arteriosus, dog, pulmonic stenosis

## Εισαγωγή

Η επεμβατική καρδιολογία αποτελεί ένα εξελιγμένο πεδίο της καρδιολογίας το οποίο χρησιμοποιεί ελάχιστα επεμβατικές τεχνικές μέσω διαδερμικού καθετηριασμού των μεγάλων αγγείων για τη διάγνωση και τη θεραπεία αρκετών δομικών καρδιοπαθειών. Κατά τη διάρκεια των επεμβατικών τεχνικών, διενεργείται συνεχής απεικόνιση του πεδίου με διαγνωστικά μέσα (συνήθως ακτινοσκόπηση με ή χωρίς ταυτόχρονο υπερηχοκαρδιογράφημα), παρέχοντας καθοδήγηση και επιτρέποντας την διακαθετηριακή προσπέλαση της καρδιάς μέσω περιφερικών αγγείων, τόσο για τη διενέργεια διαγνωστικών τεχνικών (π.χ. αγγειογραφία) όσο και για τη θεραπευτική αντιμετώπιση των νοσημάτων.

Οι διαδερμικές καρδιολογικές επεμβάσεις ξεκίνησαν στη δεκαετία του 1960 στην ιατρική του ανθρώπου (Faxon και Williams 2016) και έχουν αναφερθεί από τη δεκαετία του 1970 στην κτηνιατρική επιστήμη (Musselman και συν 1976, Bright και συν 1987). Από τις πρώτες βιβλιογραφικές αναφορές το πεδίο αυτό της κτηνιατρικής καρδιολογίας έχει επεκταθεί και στις μέρες μας περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος επεμβάσεων όπως την αγγειοπλαστική με μπαλονάκι και την τοποθέτηση μεταλλικού αγγειοδόχου (stent) σε περιπτώσεις στενώσεων σε βαλβίδες ή αγγεία (Scansen 2015, Kleman 2015), την επιδιόρθωση συγγενών αγγειακών ανωμαλιών με συσκευές ή ελάσματα (Gordon και Miller 2005, Gordon και συν 2010, Leach και συν 2010), την σύγκλιση μεσοκοιλιακής ή μεσοκοιλιακής επικοινωνίας με ειδικές συσκευές (Bussadori και συν 2007, Gordon και συν 2009, Saunders και συν 2013), την τοποθέτηση βηματοδότη σε περιστατικά συμπτωματικής βραδυαρρυθμίας (Oyama και συν 2001, Hildebrandt και συν 2009, Estrada 2015), τη βιοψία των ενδοκαρδιακών μαζών και την αφαίρεση παρασίτων (Saunders 2015). Το παρόν άρθρο εστιάζει στις επεμβάσεις αυτές που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση των συγγενών καρδιοπαθειών.

### Στένωση της πνευμονικής αρτηρίας

Η στένωση της πνευμονικής αρτηρίας (ΣΠ) είναι η συχνότερη συγγενής καρδιοπάθεια στο σκύλο (Oliveira και συν 2011, Schrope 2015) και κατηγοριοποιείται ως υπερβαλβιδική, βαλβιδική και υποβαλβιδική. Από τις τρεις αυτές περιπτώσεις, η βαλβιδική στένωση της πνευμονικής αρτηρίας είναι η συχνότερα εμφανιζόμενη στο σκύλο (Schrope 2005). Η βαλβιδική στένωση διαφοροποιείται κυρίως σε δύο τύπους. Ο τύπος Α χαρακτηρίζεται από φυσιολογική διάμετρο του ινώδους δακτυλίου, σύντηξη των γλωχίνων της βαλβίδας με ήπια πάχυνση και από μεταστενωτική διάταση της

## Introduction

Interventional cardiology is an advanced field of cardiology that uses minimally invasive catheter-based techniques to diagnose and treat several structural heart diseases. During the procedures, imaging (usually fluoroscopy alone or together with echocardiography) provides guidance and allows catheterization of the heart from peripheral blood vessels so that diagnostic tests (e.g. angiography) and therapeutic management of the disease can occur.

Percutaneous cardiac interventions were introduced in the 1960s in human medicine (Faxon and Williams 2016) and have been described since the 1970s in veterinary medicine (Musselman et al 1976, Bright et al 1987). Since the first reports this field of veterinary cardiology has expanded and nowadays includes a wide variety of procedures like balloon dilation and stent implantation for stenotic valves or vessels (Scansen 2015, Kleman 2015), closure of abnormal vessels with devices or coils (Gordon and Miller 2005, Gordon et al 2010, Leach et al 2010), closure of septal defects with devices (Bussadori et al 2007, Gordon et al 2009, Saunders et al 2013), intracardiac pacing for symptomatic bradyarrhythmias (Oyama et al 2001, Hildebrandt et al 2009, Estrada 2015), biopsy of intracardiac masses and extraction of parasites (Saunders 2015). This article focuses on those procedures that are performed in congenital cardiac disease.

### Pulmonary valve stenosis

Pulmonic stenosis (PS) is the most common congenital heart disease in dogs (Oliveira et al 2011, Schrope 2015) and can be classified into supra-valvular, valvular and subvalvular stenosis. Of the three, valvular pulmonic stenosis is the most commonly reported in dogs (Schrope 2005). The valvular stenosis can be differentiated into 2 main types. Type A is characterized by normal annular size, fusion of the valve leaflets that are mildly thickened and post stenotic dilation of the pulmonary artery. Type B is characterized by hypoplasia of the annulus and the main pulmonary artery and various degrees of leaflet thickening/immobility with minimal fusion (Bussadori et al 2000). Cases with aspects of both type A and type B stenosis also exist.

When considering whether balloon valvuloplasty (BVP) is indicated for a patient, the severity and type of stenosis, the presence of clinical signs and the concurrent cardiac defects/ systemic disease are considered. The severity of the stenosis can be determined by several methods but the most used one is the indirect measurement via continuous

πνευμονικής αρτηρίας. Η τύπου Β στένωση χαρακτηρίζεται από υποπλασία του ινώδους δακτυλίου και της κύριας πνευμονικής αρτηρίας και διαφόρου βαθμού πάχυνση των γλωχίνων/ακίνησια με ελάχιστη συνένωση μεταξύ τους (Bussadori και συν 2000). Υπάρχουν επίσης περιστατικά με μικτά ευρήματα μεταξύ των δύο τύπων (mixed form).

Όταν σκεφτόμαστε αν ενδείκνυται η αγγειοπλαστική με μπαλονάκι (AMM) σε έναν ασθενή σκύλο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ο βαθμός και ο τύπος της στένωσης, η παρουσία συμπτωμάτων, και οι συνυπάρχουσες συγγενείς καρδιοπάθειες ή τα συνυπάρχοντα συστηματικά νοσήματα. Ο βαθμός της στένωσης μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορες μεθόδους ωστόσο η πιο συχνή από αυτές είναι έμμεση με τη μέτρηση μέσω Doppler συνεχούς κύματος κατά το υπερηχοκαρδιογράφημα. Μετρώντας την μέγιστη ταχύτητα ροής του αίματος στην πνευμονική αρτηρία, μπορεί να υπολογιστεί η διαφορά ή η διαβάθμιση πίεσης μέσω της στένωσης: η ήπια στένωση ορίζεται ως διαβάθμιση πίεσης 10-50 mmHg, η μέτρια στένωση υπάρχει όταν η διαβάθμιση πίεσης ισούται με 50- 80 mmHg και η σοβαρή στένωση όταν η διαβάθμιση πίεσης είναι >80 mmHg (Kittleson 1998, Martin και Dukes-Mc Ewan 2010).

Γενικά, οι σκύλοι με ήπια ΣΠ έχουν φυσιολογικό προσδόκιμο ζωής και παραμένουν ασυμπτωματικοί κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Η AMM δε συστήνεται σε αυτά τα περιστατικά. Οι σκύλοι με σοβαρού βαθμού ΣΠ έχουν αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης επιδεινούμενων συμπτωμάτων, συμπεριλαμβανομένων των λιποθυμικών κρίσεων, της αδυναμίας κατά την άσκηση, της συμφορητικής καρδιακής ανεπάρκειας και του αιφνίδιου θανάτου (Francis και συν 2011). Η AMM συστήνεται ιδιαίτερα σε αυτά τα περιστατικά καθώς μελέτες έχουν επιβεβαιώσει ότι οι σκύλοι ζουν για περισσότερο χρόνο μετά την επέμβαση (Johnson και συν 2004, Ewey και συν 1988). Σε ασθενείς σκύλους με μέτρια στένωση, δεν υπάρχουν ξεκάθαρες οδηγίες. Ωστόσο μια μελέτη προτείνει ότι οι σκύλοι με κλίση πίεσης πάνω από 60 mmHg και ανεπάρκεια της τριγλώχινης βαλβίδας έχουν αυξημένα ποσοστά καρδιογενούς θνησιμότητας οπότε η AMM θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και σε αυτά τα ζώα (Francis και συν 2011).

Ο τύπος της στένωσης μπορεί να επηρεάσει την επιτυχία της AMM και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν συζητούνται τα ποσοστά επιτυχίας της με τους κηδεμόνες των ασθενών. Σκύλοι με στένωση τύπου Α εμφανίζουν μεγαλύτερη βελτίωση στο βαθμό της ΣΠ συγκριτικά με την τύπου Β στένωση (Bussadori και συν 2001). Οι σύγχρονες οδηγίες, ωστόσο, συστήνουν να διενεργείται AMM

wave Doppler in echocardiography. By measuring the peak velocity of the pulmonary artery flow, the peak pressure gradient through the stenosis is estimated; mild stenosis is defined as a 10-50 mmHg pressure gradient; moderate stenosis is when the gradient is 50- 80 mmHg and severe stenosis when the gradient is >80 mmHg (Kittleson 1998, Martin and Dukes-Mc Ewan 2010).

Generally, dogs with mild PS have normal life span and remain asymptomatic throughout life. BVP is not recommended in these patients. Dogs with severe PS are at increased risk of developing clinical signs, including syncope, exercise intolerance, congestive heart failure and sudden death (Francis et al 2011). BVP is strongly recommended in these patients as studies have confirmed that dogs live longer after intervention (Johnson et al 2004, Ewey et al 1988). In patients with moderate stenosis, recommendations are not clear; however a study suggests that dogs with a pressure gradient above 60 mmHg and tricuspid regurgitation have an increased probability of cardiac death and BVP is usually considered in these patients (Francis et al 2011).

The type of stenosis can affect the success of BVP and should be considered when the success rate of BVP is discussed. Dogs with type A stenosis have a greater improvement in severity of PS compared to type B stenosis (Bussadori et al 2001). Current recommendation, however, is to consider performing BVP in all patients with severe obstruction regardless of the type of stenosis (Schrope 2005).

### The procedure

Two approaches are possible for BVP, the jugular vein or the femoral vein, and the access to the vein can be achieved by surgical cut-down (which allows visualization of the vessel) or transcutaneous approach (Seldinger technique).

Regardless of the type of approach and the vein used, with the patient under general anesthesia, a vascular sheath is placed in the vein and this provides access to the vessel for the catheters and guidewires that are used during the procedure.

Under fluoroscopic guidance, a first catheter is passed into the heart and pulmonary artery and the pressures within the pulmonary artery, the right ventricle and the right atrium are measured and recorded. The catheter is then replaced by an angiographic catheter, usually a pigtail, that is placed in the right ventricle. An angiogram is performed and measurement/ accurate localization of the pulmonary valve annulus is achieved. Based on the measurement, the balloon catheter size is selected. The angiographic catheter is then replaced

σε όλους τους ασθενείς με σοβαρού βαθμού έμφραξη ασχέτως του τύπου της στένωσης (Schrope 2005).

### Η επέμβαση

Δύο προσπελάσεις είναι εφικτές για τη διενέργεια ΑΜΜ, μέσω της σφαγίτιδα φλέβας ή της μηριαίας φλέβας, όπου η πρόσβαση στο αγγείο μπορεί να γίνει μέσω χειρουργικής τομής πάνω από αυτό (η οποία καθιστά ορατό το αγγείο) ή διαδερμικά (τεχνική Seldinger).

Ασχέτως της προσπέλασης και του αγγείου μέσω του οποίου γίνεται, με τον ασθενή σκύλο υπό γενική αναισθησία, τοποθετείται κεντρικός αγγειακός καθετήρας ώστε να υπάρχει πρόσβαση στο αγγείο για τους καθετήρες και τα οδηγά σύρματα που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της επέμβασης.

Υπό ακτινοσκοπική καθοδήγηση, ο πρώτος καθετήρας εισάγεται στην καρδιά και στην πνευμονική αρτηρία όπου μετρούνται και καταγράφονται οι πιέσεις μέσα στην πνευμονική αρτηρία, τη δεξιά κοιλία και το δεξιό κόλπο. Στη συνέχεια ο καθετήρας αυτός αντικαθίσταται από καθετήρα αγγειογραφίας, συνήθως τύπου *rigtail*, το οποίο τοποθετείται στη δεξιά κοιλία. Ακολουθεί αγγειογραφία και ακριβής εντόπιση/ καταμέτρηση του δακτυλίου της πνευμονικής βαλβίδας. Με βάση τις μετρήσεις, επιλέγεται η διάμετρος που θα έχει το μπαλονάκι. Στη συνέχεια αντικαθίσταται ο καθετήρας αγγειογραφίας από ένα κατευθυντήριο (οδηγό) σύρμα με τη βοήθεια ενός καθετήρα που τοποθετείται εντός της πνευμονικής αρτηρίας. Ο καθετήρας με μπαλονάκι που έχει επιλεχθεί, προωθείται προς την πνευμονική αρτηρία μέσω του οδηγού σύρματος, τοποθετείται διαμέσω της στένωσης και διαστέλλεται. Η διαστολή συνήθως επαναλαμβάνεται τουλάχιστον δύο φορές. Η συμπίεση που παρατηρείται στο μπαλονάκι από την ίδια τη στένωση της βαλβίδας (το “waist”) είναι αρχικά ορατή και κατόπιν διαστολής του μειώνεται, και αυτό αποτελεί ένδειξη ότι ήταν επιτυχής η επέμβαση. Αν επιμένει να εμφανίζεται τότε διαστέλλεται ξανά το μπαλονάκι ή αντικαθίσταται από άλλο μεγαλύτερης διαμέτρου. Κατόπιν αφαιρείται ο καθετήρας με το μπαλονάκι και επανεκτιμούνται οι πιέσεις (Schrope 2005). Αφού αφαιρεθούν όλοι οι καθετήρες από την καρδιά, αφαιρείται και ο κεντρικός καθετήρας, και, στην περίπτωση της διαδερμικής προσπέλασης, εφαρμόζεται πίεση για 15 λεπτά. Κατά τη χειρουργική προσέγγιση, απολινώνεται η φλέβα και η σύγκλιση του δέρματος γίνεται κατά τα γνωστά.

Η επέμβαση θεωρείται επιτυχής αν μειωθεί η διαφορά πίεσης κατά μήκος της στένωσης τουλάχιστον

by an exchange guidewire, with the help of an end-hole catheter, that is passed into the pulmonary artery. The selected balloon catheter is then advanced through the guide-wire across the stenosis and inflated. The inflation is typically repeated at least twice. A “waist” of the stenosis against the balloon is visualized at the beginning and it is reduced after inflation indicating that the “ballooning” was successful. If the waist persists then the balloon is re-inflated or is replaced by a bigger balloon. Then the balloon catheter is removed and pressures are re-assessed (Schrope 2005). Once all catheters have been removed from the heart the vascular introducer is also removed and, in the case of the transcutaneous approach, pressure is applied for 15 minutes. In the case of the surgical approach, the jugular vein is ligated and the skin is closed routinely.

The procedure is considered successful if the gradient across the stenosis is reduced by at least 50% after BVP (Thomas 1995). Follow-up echocardiograms are usually performed 24h, 3 months and 6-12 months post-surgery while, beyond this point, re-examinations depend on the degree of residual stenosis. Uncommonly, significant re-stenosis can occur (Schrope 2005, Bussadori et al 2001).

Newer treatment options have been developed to address the variable results of balloon valvuloplasty on annular hypoplasia and/or severely thickened (dysplastic) valves. These include high-pressure balloon valvuloplasty (that uses balloon dilation catheters with higher inflation pressures than normal balloon catheters for better results) (Belanger et al 2018), cutting balloon valvuloplasty (balloons that have microblades on their outer surface causing controlled tears at the valve that is then ruptured more effectively by a high-pressure balloon) (Goya et al 2018, Markovic and Scansen 2019) and intravascular stent placement of the right ventricular outflow tract (RVOT) (Scansen 2017, Scansen 2018, Markovic et al 2020, Borgeat et al 2021). Results with these techniques are variable and, especially as far as the two latter techniques are concerned, are not performed routinely.

### Patent ductus arteriosus (PDA)

PDA is recognized as one of the most common congenital heart diseases in dogs with an incidence that ranges between 17% and 26% (Oliveira et al 2011, Schrope 2015, Brambilla et al 2020). Female and toy-breed dogs (Maltese, Pomeranians, Poodles, Yorkshire Terriers) are overrepresented. The disease is usually suspected based on the clinical signs and the characteristic murmur and it is confirmed by echocardiography. In the typical PDA,

χιστον κατά 50% κατόπιν της βαλβιδοπλαστικής με μπαλονάκι (Thomas 1995). Επαναληπτικό υπερηχοκαρδιογράφημα για λόγους παρακολούθησης των περιστατικών συνήθως γίνεται στις 24 ώρες, τους 3 μήνες, τους 6 και 12 μήνες μετά την επέμβαση, ενώ πέρα από αυτό το σημείο οι επανεξετάσεις θα εξαρτηθούν από το βαθμό της στένωσης που παραμένει. Σε σπάνιες περιπτώσεις, έχει αναφερθεί η επαναστένωση της βαλβίδας μετά από κάποιο χρονικό διάστημα (Schrope 2005, Bussadori και συν 2001).

Νεότερες θεραπευτικές επιλογές έχουν εξελιχθεί για να αντιμετωπίσουν τα ποικίλα αποτελέσματα της αγγειοπλαστικής με μπαλονάκι σε περιστατικά με υποπλασία του δακτυλίου ή/και μεγάλου βαθμού πάχυνση (δυσπλασία) της βαλβίδας. Οι νεότερες τεχνικές περιλαμβάνουν τη βαλβιδοπλαστική με μπαλονάκι υψηλής πίεσης (στην οποία χρησιμοποιούνται καθετήρες με μπαλονάκι με ψηλότερες πιέσεις κατά τη διαστολή από τους τυπικούς καθετήρες για καλύτερα αποτελέσματα) (Belanger και συν 2018), την αγγειοπλαστική με μπαλονάκι αγγειοπλαστικής με ειδικές λεπίδες (το μπαλονάκι έχει μικρολεπίδες στην εξωτερική του επιφάνεια οι οποίες προκαλούν ελεγχόμενες ρήξεις στην επιφάνεια της βαλβίδας, η οποία στη συνέχεια διανοίγεται πιο αποτελεσματικά με μπαλονάκι υψηλής πίεσης) (Goya και συν 2018, Markovic και Scansen 2019) και την ενδοαγγειακή τοποθέτηση μεταλλικού αγγειονάρθηκα (stent) στο χώρο εξώθησης της δεξιάς κοιλίας (Scansen 2017, Scansen 2018, Markovic και συν 2020, Borgeat και συν 2021). Τα αποτελέσματα των δύο τεχνικών που αναφέρθηκαν τελευταίες ποικίλουν και δεν επιλέγονται ως επεμβάσεις ρουτίνας.

### Παραμένων αρτηριακός πόρος (ΠΑΠ)

Ο ΠΑΠ έχει αναγνωριστεί ότι είναι από τις συχνότερες συγγενείς καρδιοπάθειες στους σκύλους με συχνότητα εμφάνισης μεταξύ 17% και 26% (Oliveira και συν 2011, Schrope 2015, Brambilla και συν 2020). Συχνότερα εμφανίζεται σε θηλυκούς σκύλους και σκύλους νανόσωμων φυλών (Maltese, Pomeranian, Poodle, Yorkshire Terrier). Τίθεται υποψία για τη νόσο με βάση τα κλινικά ευρήματα και το χαρακτηριστικό φύσημα και η παρουσία της επιβεβαιώνεται με υπερηχοκαρδιογράφημα. Στο τυπικό περιστατικό με ΠΑΠ, με διαφυγή από αριστερά προς τα δεξιά, το αίμα ρέει από την αορτή προς την πνευμονική αρτηρία μέσω του πόρου. Η αυξημένη ροή του αίματος οδηγεί σε συμφόρηση πνευμόνων, υπερφόρτωση όγκου του αριστερού κόλπου και της αριστερής κοιλίας και οδηγεί σε αριστερή συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια (ΣΚΑ). Ορισμένοι σκύλοι μπορεί να γεννηθούν με

with a left to right shunt, blood flows from the aorta to the pulmonary artery through the ductus. The increased blood flow causes pulmonary overcirculation, volume overload of the left atrium and left ventricle and leads to left-sided CHF. Some dogs are born with or develop pulmonary hypertension due to the chronic volume overload and reversal of flow through the PDA (from the pulmonary artery to the aorta) may occur (right to left or reversed PDA) (Kittleson and Kienle 1998, Buchanan 2001).

If ligation or occlusion is not performed, most dogs with typical PDA develop congestive heart failure (CHF) within the first year of age; for this reason, ductal closure is recommended in these cases (Kittleson and Kienle 1998, Buchanan 2001). On the other hand, occlusion is contraindicated in dogs with right-to-left shunting because of severe pulmonary vascular disease or in dogs with concurrent cardiac conditions that rely on the PDA for survival (e.g. tetralogy of Fallot) (Kittleson and Kienle 1998, Buchanan 2001).

Various techniques for PDA closure have been described and include surgical PDA ligation, thoracoscopic PDA occlusion and transcatheter occlusion. Selection of the method of closure depends on the patient's size, PDA size and morphology as well as cost of the procedure.

The first report of PDA surgical closure in a dog was reported in 1952 while, since 1994, when the first transvascular PDA closure was performed, minimally-invasive percutaneous techniques have been employed in dogs and have become the treatment of choice for most cardiologists (Stokhof et al 2000, Glaus et al 2002, Sisson 2003, Gordon and Miller 2005, Campbell et al 2006, Hogan et al 2006, Nguyenba and Tobias 2007, Smith and Martin 2007, Nguyenba and Tobias 2008, Achen et al 2008, Henrich et al 2010, Hildebrandt et al 2010, Blossom et al 2010, Gordon et al 2010, Singh et al 2012). A variety of occlusion devices intended for human use, such as thrombogenic or embolization coils (Stokhof et al 2000, Gordon and Miller 2005, Campbell et al 2006, Schneider et al 2007, Henrich et al 2010, Hildebrandt et al 2010, Blossom et al 2010, Gordon et al 2010), Amplatzer vascular plug (Smith and Martin 2007, Achen et al 2008), Amplatzer Duct Occluder (Glaus et al 2002, Sisson 2003), and different routes, such as transvenous and transarterial (Stokhof et al 2000, Schneider et al 2001, Sisson 2003, Hogan et al 2006, Achen et al 2008, Henrich et al 2010, Hildebrandt et al 2010, Blossom et al 2010, Stauthammer 2015), have been used. More recently, the Amplatzer Canine Duct Occluder (ACDO), a device developed specifically to fit the shape of the canine PDA, has replaced the previously used de-

πνευμονική υπέρταση ή να την αναπτύξουν λόγω της χρόνιας υπερφόρτωσης με όγκο αίματος και μπορεί να καταλήξουν με αντιστροφή της ροής του αίματος μέσω του ΠΑΠ (από την πνευμονική αρτηρία προς την αορτή) (από δεξιά προς τα αριστερά ή ανάστροφο ΠΑΠ ή δεξιά-αριστερή διαφυγή) (Kittleson και Kienle 1998, Buchanan 2001).

Αν δεν διενεργηθεί απολίνωση ή σύγκλιση του πόρου, οι περισσότεροι σκύλοι με τυπικό ΠΑΠ θα εμφανίσουν συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια (ΣΚΑ) μέσα στον πρώτο χρόνο ζωής και, για αυτό το λόγο, συστήνεται η σύγκλιση του (Kittleson και Kienle 1998, Buchanan 2001). Από την άλλη, η σύγκλιση αντενδείκνυται σε σκύλους με ανάστροφη ροή του αίματος από δεξιά προς τα αριστερά (δεξιο-αριστερή διαφυγή) εξαιτίας σοβαρής νόσου των πνευμονικών αγγείων ή σε σκύλους με συνυπάρχοντα καρδιολογικά νοσήματα που βασίζονται στον ΠΑΠ για την επιβίωσή τους (π.χ. τετραλογία του Fallot) (Kittleson και Kienle 1998, Buchanan 2001).

Διάφορες τεχνικές έχουν περιγραφεί για την σύγκλιση του ΠΑΠ και περιλαμβάνουν την χειρουργική απολίνωση του ΠΑΠ και τη διακαθετηριακή σύγκλιση υπό ακτινοσκοπική καθοδήγηση. Η επιλογή της μεθόδου σύγκλισης εξαρτάται από το μέγεθος του ασθενή, το μέγεθος του ΠΑΠ και τη μορφολογία του καθώς και το κόστος της επέμβασης.

Η πρώτη αναφορά χειρουργικής σύγκλισης σε περιστατικό ΠΑΠ σε σκύλο αναφέρθηκε το 1952, ενώ από το 1994, όταν έγινε η πρώτη διακαθετηριακή σύγκλιση ΠΑΠ, και έπειτα διενεργούνται στο σκύλο ελάχιστα επεμβατικές διαδερμικές τεχνικές και έχουν γίνει η θεραπεία εκλογής για τους περισσότερους καρδιολόγους (Stokhof και συν 2000, Glaus και συν 2002, Sisson 2003, Gordon και Miller 2005, Campbell και συν 2006, Hogan και συν 2006, Nguyenba και Tobias 2007, Smith και Martin 2007, Nguyenba και Tobias 2008, Achen και συν 2008, Henrich και συν 2010, Hildebrandt και συν 2010, Blossom και συν 2010, Gordon και συν 2010, Singh και συν 2012). Έχει χρησιμοποιηθεί στο σκύλο ένα εύρος συσκευών σύγκλισης που προορίζονταν για ανθρώπινη χρήση, όπως τα θρομβογόνα ή ελάσματα εμβολής (Stokhof και συν 2000, Gordon και Miller 2005, Campbell και συν 2006, Schneider και συν 2007, Henrich και συν 2010, Hildebrandt και συν 2010, Blossom και συν 2010, Gordon και συν 2010), η αγγειακή συσκευή σύγκλισης Amplatzer (Smith και Martin 2007, Achen και συν 2008), ή η συσκευή σύγκλισης αρτηριακού πόρου Amplatzer (Glaus και συν 2002, Sisson 2003), και διαφορετικές μέθοδοι προσπέλασης, διαφλεβική ή διααρτηριακή (Stokhof και συν 2000, Schneider και συν 2001,

for its ease of use, degree of PDA closure and low complication rate (Nguyenba and Tobias 2007, Nguyenba and Tobias 2008, Gordon et al 2010, Singh et al 2012) and it is now the device of choice for the majority of PDA occlusions<sup>38,44</sup>.

### The procedure

The ACDO is a self-expanding device, made of 2-3 layers of nitinol mesh, with two distinct disks: a smaller distal disk designed to expand into the pulmonary artery and a bigger proximal disk that expands into the ductal ampulla. The two disks are separated by a short “waist” that occludes the PDA (Nguyenba and Tobias 2007).

With the patient under general anesthesia and in lateral recumbency the femoral artery is surgically isolated and cannulated with a vascular sheath. Under fluoroscopic guidance, a sizing pigtail angiographic catheter is introduced and advanced into the aorta immediately cranial to the junction between the aorta and PDA. This catheter has radiopaque reference markers near its tips and allows accurate measurement of the minimal ductal diameter (MDD) for ACDO selection. Angiography is performed by injecting iodine contrast solution with an angiographic injector and allows visualization of the ductal morphology as well as accurate measurement. If transesophageal echocardiography is available PDA sizing as well as procedure monitoring can be achieved without the need for angiography limiting (Silva et al 2013) or eliminating (Porciello et al 2014) fluoroscopy exposure.

Following ACDO size selection, a flexible exchange wire is placed across the PDA from the aorta into the main pulmonary artery with the aid of an angle-tipped end-hole catheter. A guiding catheter and its dilator are then advanced over the exchange wire across the PDA into the pulmonary artery. The dilator and the exchange wire are then removed and the selected ACDO is advanced through the guiding catheter until the first disk is deployed within the main pulmonary artery. The partially deployed ACDO and the catheter are then retracted and the second disk is released into the ductus ampulla. Correct ACDO position and stability are confirmed and the ACDO is detached. The catheter and vascular sheath are then removed and the femoral artery is repaired (Nguyenba and Tobias 2007). The incision is then closed routinely.

### Subvalvular aortic stenosis (SAS)

Aortic stenosis is one of the most common congenital cardiac diseases in dogs and cats (Oliveira et al 2011, Schrope 2015). Subvalvular stenosis is

Sisson 2003, Hogan και συν 2006, Achen και συν 2008, Henrich και συν 2010, Hildebrandt και συν 2010, Blossom και συν 2010, Stauthammer 2015). Πιο πρόσφατα, η συσκευή σύγκλεισης αρτηριακού πόρου Amplatzer (Amplatzer Canine Duct Occluder, ACDO), που εξελίχθηκε αποκλειστικά για να ταιριάζει στο σχήμα του ΠΑΠ του σκύλου, έχει αντικαταστήσει τις συσκευές που τοποθετούνταν στο παρελθόν, για την ευχρηστία του, για το βαθμό σύγκλεισης που επιτυγχάνεται και για το χαμηλό ποσοστό επιπλοκών (Nguyenba και Tobias 2007, Nguyenba και Tobias 2008, Gordon και συν 2010, Singh και συν 2012) και είναι πλέον η σύγχρονη συσκευή εκλογής για την πλειονότητα των επεμβάσεων σε περιστατικά με ΠΑΠ.

### Η επέμβαση

Η συσκευή ACDO είναι μια αυτόματα διαστελλόμενη συσκευή, φτιαγμένη από 2-3 στρώσεις πλέγματος νιτινόλης, με δύο χωριστούς δίσκους: έναν μικρότερο άπω δίσκο που είναι σχεδιασμένος να διαστέλλεται εντός της πνευμονικής αρτηρίας και ένα μεγαλύτερο εγγύς δίσκο που διαστέλλεται μέσα στον παραμένοντα πόρο. Οι δύο δίσκοι διαχωρίζονται από έναν μικρό στενότερο δακτύλιο που κλείνει τον ΠΑΠ (Nguyenba και Tobias 2007).

Με τον ασθενή σκύλο υπό γενική αναισθησία και σε πλάγια κατάκλιση η μηριαία αρτηρία παρασκευάζεται χειρουργικά και καθετηριάζεται με κεντρικό αρτηριακό καθετήρα. Υπό ακτινοσκοπική καθοδήγηση ένας καθετήρας αγγειογραφίας τύπου pigtail εισάγεται στην αορτή για την εκτίμηση του μεγέθους του ΠΑΠ και προωθείται στο σημείο που ο ΠΑΠ εκφύεται από την αορτή. Ο καθετήρας αυτός έχει ακτινοσκοπικά σημεία αναφοράς κοντά στο άκρο του και επιτρέπει τις ακριβείς μετρήσεις της ελάχιστης διαμέτρου του πόρου για την επιλογή του ACDO. Διενεργείται αγγειογραφία με την έγχυση ιωδιούχου σκιαγραφικού διαλύματος μέσω καθετήρα αγγειογραφίας και επιτρέπει την επισκόπηση της μορφολογίας του πόρου καθώς και ακριβείς μετρήσεις. Αν το διοισοφάγειο υπερηχοκαρδιογράφημα είναι διαθέσιμο, είναι επιπλέον η εκτίμηση του μεγέθους του ΠΑΠ καθώς και η διεγχειρητική παρακολούθηση της επέμβασης, χωρίς να χρειάζεται αγγειογραφία, περιορίζοντας (Silva και συν 2013) ή εξαλείφοντας (Porciello και συν 2014) την έκθεση στο ακτινοσκόπιο.

Κατόπιν της επιλογής του ACDO, με τη βοήθεια σύρματος οδηγού, τοποθετείται καθετήρας μέσα στην κύρια πνευμονική αρτηρία διαμέσω του ΠΑΠ. Το σύρμα αφαιρείται και η συσκευή ACDO που έχει επιλεγεί προωθείται μέσω του οδηγού καθετήρα μέχρι ο πρώτος δίσκος να διανοιχθεί εντός του κύριου κλάδου της πνευμονικής αρτηρίας. Το ACDO,

the most common form of the disease while valvular stenosis is more rarely seen. In large breed dogs and particularly in certain breeds (Boxer, Bull Terriers, Bullmastiffs, German Shepherds, Dogues de Bordeaux, Golden Retrievers, Newfoundlands and Rottweilers) the disease is more common (Ontiveros and Stern 2021). Subvalvular stenosis is characterized by the presence of fibromuscular nodules, a ridge or a ring of fibrous tissue located underneath the aortic valve that cause obstruction of the left ventricular outflow tract. Dogs with severe disease are at increased risk for sudden death that occurs commonly early in life (within the first 3 years of age) (Kienle et al 1994).

Over the years, treatment options have included: medical therapy (use of beta-adrenergic blockers (i.e. atenolol)), transcatheter balloon valvuloplasty and open-heart resection of the fibrotic ridge or ring. However, the available treatment options remain controversial; surgical and interventional options have not showed a survival benefit compared to treatment with atenolol (Orton et al 2000, Meurs et al 2005) and, similarly, treatment with atenolol did not influence survival compared to control group in dogs with severe stenosis (Eason et al 2014). The use of cutting balloon catheter (a balloon that features 3-4 microsurgical blades on its outer surface) combined with high-pressure balloon valvuloplasty (balloons with increased inflation pressures) has been described in dogs (Kleman et al 2012) and results show that this procedure is a potential option for symptomatic dogs with severe disease (Schmidt et al 2010, Kleman et al 2013, Sykes et al 2020). The rationale behind this procedure is that the microblades of the cutting balloon cause controlled tears to the obstruction/ vessel and allow to the high-pressure balloon to stretch and dilate it more effectively. Previous reports show that reduction in severity gradient is possible in some dogs with severe disease and owners report improvement of clinical signs. However, data comparing the benefits of this procedure to medical treatment or no treatment are currently lacking.

### The procedure

With the patient under general anaesthesia and lateral recumbency the right carotid artery is accessed and cannulated with a vascular introducer. Under fluoroscopy, a pigtail catheter is advanced through the aortic valve into the left ventricle and aortic root for pressure measurements and angiography. The diameter of the subvalvular obstruction and the aortic annulus are measured, and the appropriate cutting balloon and high-pressure balloon are selected. A thin guidewire is advanced

που είναι μερικώς ανοιχτό, και ο καθετήρας στη συνέχεια έλκονται προς τα πίσω και ο δεύτερος δίσκος διαστέλλεται μέσα στον πόρο. Η σωστή τοποθέτηση και σταθερότητα του ACDO επιβεβαιώνονται και το ACDO αποδεσμεύεται στον αρτηριακό πόρο. Ο καθετήρας και ο κεντρικός αγγειακός καθετήρας αφαιρούνται και η μηριαία αρτηρία συρράφεται (Nguyenba και Tobias 2007). Ακολουθεί η σύγκλιση της τομής κατά τα γνωστά.

### Υποβαλβιδική αορτική στένωση (ΥΑΣ)

Η αορτική στένωση είναι μια από τις συχνότερες συγγενείς καρδιοπάθειες στους σκύλους και στις γάτες (Oliveira και συν 2011, Schroppe 2015). Η υποβαλβιδική στένωση είναι η πιο συχνή μορφή της νόσου ενώ η βαλβιδική στένωση ανευρίσκεται πιο σπάνια. Σε σκύλους μεγαλόσωμων φυλών και ιδιαίτερα σε ορισμένες φυλές (Boxer, Bull Terrier, Bullmastiff, Γερμανικοί Ποιμενικοί, Dogues de Bordeaux, Golden Retriever, Newfoundland και Rottweiler) είναι συχνότερη η εμφάνιση της νόσου (Ontiveros και Stern 2021). Η υποβαλβιδική στένωση χαρακτηρίζεται από την παρουσία ινομυώδων οζιδίων, ή από ένα έπαρμα ή δακτύλιο ινώδους ιστού που εντοπίζεται κάτω από την αορτική βαλβίδα και παρεμποδίζει το χώρο εξώθησης της αριστερής κοιλίας. Οι σκύλοι με βαριά νόσο έχουν αυξημένο κίνδυνο για αιφνίδιο θάνατο που επέρχεται σχετικά νωρίς (μέσα στα 3 πρώτα χρόνια ζωής) (Kienle και συν 1994).

Οι θεραπευτικές επιλογές περιλαμβάνουν: τη φαρμακευτική θεραπεία (χορήγηση βήτα αδρενεργικών αποκλειστών (π.χ. ατενολόλη), τη διακαθετηριακή βαλβιδοπλαστική με μπαλονάκι και την χειρουργική επέμβαση ανοιχτής καρδιάς με εκτομή του ινώδους ιστού ή δακτυλίου. Ωστόσο, οι απόψεις όσον αφορά τις διαθέσιμες θεραπευτικές επιλογές συνεχίζουν να διίστανται: οι χειρουργικές και οι επεμβατικές τεχνικές δεν έχουν προσφέρει πλεονεκτήματα ως προς την επιβίωση συγκριτικά με τη θεραπεία με ατενολόλη (Orton και συν 2000, Meurs και συν 2005) και, ομοίως, η θεραπεία με ατενολόλη σε σκύλους με σοβαρού βαθμού στένωση δεν μεταβάλλει το χρόνο επιβίωσης συγκριτικά με σκύλους με σοβαρή στένωση που δεν λαμβάνουν φαρμακευτική αγωγή (Eason και συν 2014). Η χρήση καθετήρα με μπαλονάκι αγγειοπλαστικής με ειδικές λεπίδες (το μπαλονάκι έχει 3-4 μικρολεπίδες στην εξωτερική του επιφάνεια) σε συνδυασμό με μεταδιάνοιξη με βαλβιδοπλαστική υψηλής πίεσης (μπαλονάκι που διαστέλλεται με υψηλές πιέσεις) έχει αναφερθεί στο σκύλο (Kleman και συν 2012) και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η επέμβαση αυτή είναι μια πιθανή επιλογή για τους συμπτωματικούς σκύλους με σοβαρού βαθμού

through the pigtail catheter into the left ventricle and the catheter is removed. The cutting balloon is then advanced over the guidewire and inflated 2-3 times rapidly at the level of the subaortic obstruction. The cutting balloon and the guidewire are then removed.

The pigtail catheter is placed again into the left ventricle and an exchange stiff guidewire is placed into the left ventricle through the pigtail. The pigtail catheter is then removed and the high-pressure balloon catheter is advanced over the guidewire and across the center of the SAS. The balloon is inflated 2-3 times and both the balloon dilation catheter and the guidewire are removed. Left ventricular and aortic pressure measurements and another angiography (to evaluate the degree of aortic regurgitation) are performed. Finally, the vascular introducer is removed and the carotid artery is ligated. The incision is then closed routinely (Kleman et al 2012).

## Other congenital cardiac defects

### Atrial and ventricular septal defects

Percutaneous transcatheter closure of atrial and ventricular septal defects has been reported in dogs (Sanders et al 2005, Bussadori et al 2007, Margiocco et al 2008, Gordon et al 2009, Gordon 2015, Durham et al 2015).

Atrial septal defects (ASD) are relatively rare congenital anomalies in dogs and cats and long-term prognosis is usually good for small-sized, isolated ASDs (Margiocco et al 2008). Large ASDs (> 12 mm) and the presence of concurrent congenital or acquired disease may worsen prognosis and intervention may be indicated (Gordon et al 2009).

Ventricular septal defects (VSD) are common in cats and dogs and are typically located in the perimembranous portion of the septum, high in the ventricular septum beneath the aortic and pulmonary valve. Most animals with isolated, small, "restrictive" VSDs have a very good prognosis and normal life expectancy (Bomassi et al 2015).

Device occlusion is usually recommended when a hemodynamically significant shunt exists causing moderate to severe cardiac remodeling and the anatomy of the defect is favorable for occlusion (sufficient tissue rim around the defect). Devices that have been used for this purpose include various types of Amplatzer (Amplatzer Atrial Septal Occluder, Amplatzer Patent Foramen Ovale (PFO) Occluder, Amplatzer Multi-Fenestrated Septal Occluder, Amplatzer muscular Ventricular Septal Defect Occluder) and detachable coils (Gordon et al



νόσο (Schmidt και συν 2010, Kleman και συν 2013, Sykes και συν 2020). Η λογική πίσω από αυτή την επέμβαση βασίζεται στο ότι οι μικρολεπίδες πάνω στο μπαλονάκι προκαλούν ελεγχόμενες ρήξεις στο σημείο έμφραξης ή τη βαλβίδα και επιτρέπουν στο υψηλής πίεσης μπαλονάκι να διασταλεί και να διανοίξει πιο αποτελεσματικά την περιοχή. Προηγούμενα δημοσιευμένα περιστατικά δείχνουν ότι η μείωση του βαθμού στένωσης είναι πιθανή σε ορισμένους σκύλους με σοβαρή νοσο και οι ιδιοκτήτες αναφέρουν βελτίωση των συμπτωμάτων. Ωστόσο προς το παρόν δεν υπάρχουν δεδομένα που να συγκρίνουν τα οφέλη αυτής της επέμβασης με τη φαρμακευτική θεραπεία ή με την απουσία θεραπείας.

### Η επέμβαση

Με τον ασθενή σκύλο σε γενική αναισθησία και σε πλάγια κατάκλιση, διενεργείται προσπέλαση και καθετηριασμός της δεξιάς καρωτίδας αρτηρίας με κεντρικό αγγειακό καθετήρα. Υπό ακτινοσκόπηση, ένας καθετήρας τύπου *rigtail* προωθείται μέσω της αορτικής βαλβίδας μέσα στην αριστερή κοιλία και στο αορτικό τόξο για να καταμετρηθούν οι πιέσεις και να γίνει αγγειογραφία. Γίνεται μέτρηση της διαμέτρου της υποβαλβιδικής στένωσης και του ινώδους δακτυλίου της αορτής και επιλέγεται η κατάλληλη διάμετρος για το μπαλονάκι αγγειοπλαστικής με λεπίδες και το μπαλονάκι διαστολής με υψηλή πίεση. Ένα λεπτό οδηγό σύρμα προωθείται μέσω του καθετήρα *rigtail* μέσα στην αριστερή κοιλία και στη συνέχεια ο καθετήρας αφαιρείται. Το μπαλονάκι με τις μικρολεπίδες προωθείται στη συνέχεια πάνω από το οδηγό σύρμα και διαστέλλεται γρήγορα 2-3 φορές στο επίπεδο της υπαορτικής στένωσης. Το μπαλονάκι αγγειοπλαστικής και το οδηγό σύρμα αφαιρούνται. Ο καθετήρας τύπου *rigtail* επαναπροωθείται στην αριστερή κοιλία και ένα άκαμπτο οδηγό σύρμα τοποθετείται στην αριστερή κοιλία μέσω του καθετήρα *rigtail*. Ο καθετήρας *rigtail* στη συνέχεια αφαιρείται και το μπαλονάκι υψηλής πίεσης προωθείται δια μέσου του σύρματος ώστε να διαπερνά το κέντρο της ΥΑΣ. Το μπαλονάκι διαστέλλεται 2-3 φορές και τόσο ο καθετήρας διαστολής όσο και το οδηγό σύρμα αφαιρούνται. Γίνονται μετρήσεις στην αριστερή κοιλία, μετράται η πίεση μέσω της αορτής και επαναλαμβάνεται η αγγειογραφία (για να αξιολογηθεί ο βαθμός της αορτικής αναγωγής αίματος). Τέλος, ο κεντρικός αγγειακός καθετήρας αφαιρείται και γίνεται συρραφή της καρωτίδας αρτηρίας. Ακολουθεί η σύγκλιση και συρραφή της τομής κατά τα γνωστά (Kleman και συν 2012).

2009, Gordon 2015). Hybrid techniques have also been described where a surgical approach (usually through direct access to the left atrium) is combined with the transcatheter techniques (Gordon et al 2009, Saunders et al 2013, Gordon 2015).

Access to the heart is obtained through the femoral or jugular vein and fluoroscopy and transesophageal echocardiography are used for device selection, wire and catheter exchange, secure device positioning and release.

### Tricuspid valve stenosis

Tricuspid valve stenosis is a rare congenital malformation in dogs and cats (Oliveira et al 2011, Schroppe 2015). It is more commonly seen in Labrador Retrievers, Dogue de Bordeaux, German Shepherds, Irish Setters and Great Danes. Severe cases develop right-sided congestive heart failure (CHF) and syncope/episodic weakness that affect quality of life and life expectancy (Kittleson 1998, Navarro-Cubas et al 2017). There are only limited reports of balloon valvuloplasty in dogs with tricuspid stenosis (Brown and Thomas 1995, Kunze et al 2002, Navarro-Cubas et al 2017, Lake-Bakaar et al 2017) that show improvement or resolution of clinical signs post-procedure. However, recurrence of clinical signs, in particular ascites, may occur in these dogs and the procedure is contraindicated in patients that have moderate-to-severe tricuspid regurgitation (TR) to begin with, due to the risk of TR worsening and development of severe CHF following valvuloplasty (Lake-Bakaar et al 2017).

### Cor triatriatum dexter (CTD)

CTD is a rare congenital defect associated with the failure of the right sinus venosus valve to regress during embryogenesis causing presence of an intra-atrial membrane in the right atrium. This membrane may be imperforate or perforate to varying degrees and causes obstruction of the blood flow through the caudal vena cava towards the right atrium. Clinical signs include hepatic congestion and ascites or cyanosis due to right-to-left shunt flow through a patent foramen ovale (Kittleson and Kienle 1998, Moral et al 2016).

Several minimally-invasive techniques have been described for CTD treatment and include conventional balloon dilation, cutting-balloon dilation and intravascular stent implantation (Adin and Thomas 1999, Atkins and DeFrancesco 2000, Leblanc et al 2012, Barncord et al 2016). Hybrid balloon dilation has also been described (Uemura et al 2019).

## Άλλοι τύποι ελειμμάτων στις συγγενείς καρδιοπάθειες

### Μεσοκολπική ή μεσοκοιλιακή επικοινωνία

Η διαδερμική σύγκλιση μέσω καθετήρα μεσοκολπικής ή μεσοκοιλιακής επικοινωνίας έχει αναφερθεί στο σκύλο (Sanders και συν 2005, Bussadori και συν 2007, Margiocco και συν 2008, Gordon και συν 2009, Gordon 2015, Durham και συν 2015).

Τα μεσοκολπικά τρήματα (ΜΚοΤ) είναι σχετικά σπάνια συγγενή ελείμματα στους σκύλους και στις γάτες και η μακροπρόθεσμη πρόγνωση είναι συνήθως καλή για τα μικρού μεγέθους, απομονωμένα ΜΚοΤ (Margiocco και συν 2008). Ευμεγέθη ΜΚοΤ (> 12 mm) με ταυτόχρονη παρουσία συγγενούς ή επίκτητης καρδιοπάθειας μπορεί να επιδεινώσουν την πρόγνωση και σε αυτές τις περιπτώσεις συστήνεται η χειρουργική προσέγγιση (Gordon και συν 2009).

Τα μεσοκοιλιακά τρήματα (ΜΚοιλΤ) είναι συχνά στους σκύλους και στις γάτες και συνήθως εντοπίζονται στο περιμεμβρανώδες τμήμα του μεσοκοιλιακού διαφράγματος ψηλά στο μεσοκοιλιακό διάφραγμα κάτω από την βαλβίδα της αορτής και της πνευμονικής αρτηρίας. Τα περισσότερα ζώα με απομονωμένα, μικρά, «περιοριστικά» ΜΚοιλΤ έχουν πολύ καλή πρόγνωση και φυσιολογική διάρκεια ζωής (Bomassi και συν 2015).

Η σύγκλιση με συσκευή συστήνεται συνήθως όταν υπάρχει αιμοδυναμικά σημαντικό τρήμα προκαλώντας μέτριο ως σοβαρό βαθμού καρδιακή αναδιαμόρφωση και εφόσον η ανατομία του ελλείμματος επιτρέπει τη σύγκλιση (επαρκής ιστός περιμετρικά του ελλείμματος). Οι συσκευές που έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό περιλαμβάνουν διάφορους τύπους Amplatzer (Amplatzer Σύγκλισης Μεσοκολπικού Τρήματος, Amplatzer Σύγκλισης Ανοιχτού Ωοειδούς Τρήματος, Amplatzer για τη Σύγκλιση Διάτρητου Ελλείμματος, Amplatzer για τη Σύγκλιση μυϊκού Παραμένοντος Μεσοκοιλιακού Τρήματος) και αποσπώμενα ελάσματα (coils) (Gordon και συν 2009, Gordon 2015). Οι υβριδικές τεχνικές έχουν επίσης αναφερθεί, στις οποίες η χειρουργική προσέγγιση (συνήθως μέσω άμεσης πρόσβασης στον αριστερό κόλπο) συνδυάζεται με τις διακαθετηριακές τεχνικές (Gordon και συν 2009, Saunders και συν 2013, Gordon 2015).

Η καρδιακή προσπέλαση επιτυγχάνεται μέσω καθετηριασμού της μηριαίας αρτηρίας ή της σφαιγίτιδας φλέβας και γίνεται ακτινοσκόπηση ή διοισοφάγειο υπερηχοκαρδιογράφημα για την επιλογή της συσκευής, για την τοποθέτηση των οδηγών

### Double-chambered right ventricle

Double-chambered right ventricle (DCRV) is a rare congenital cardiac anomaly resulting from anomalous muscle or fibromuscular band that divide the right ventricle into two compartments: a proximal, high pressure, chamber and a distal, low pressure, chamber, close to the pulmonary artery (Winter et al 2021, Schober et al 2017). Due to the obstruction the proximal chamber becomes hypertrophied and as the disease progresses clinical signs develop like exercise intolerance, syncope, right-sided CHF and sudden death. To prevent or alleviate clinical signs early intervention is indicated. Techniques like balloon angioplasty, cutting balloon followed by high-pressure balloon dilation, hybrid surgery-interventional procedure and open-heart surgical excision have been described. Most of the interventional procedures reported in veterinary literature provide temporary but not long-term relief of clinical signs and surgical approach seems to be the preferred treatment for DCRV patients (Winter et al 2021, Schober et al 2017).

### Conclusion

Techniques that are currently commonly performed to treat congenital diseases in small animals were reviewed in this report. Interventional cardiology continues to expand in veterinary medicine and more techniques, that are routinely used in the human field, are becoming available for animal treatment as equipment and training advance.

### Conflict of interest

The author declare that there is no conflicts of interest

συρμάτων και την εναλλαγή των καθετήρων, καθώς και την ασφαλή τοποθέτηση και διάνοιξη της συσκευής.

### Στένωση της τριγλώχινης βαλβίδας

Η στένωση της τριγλώχινης βαλβίδας είναι μια σπάνια συγγενής καρδιοπάθεια στους σκύλους και στις γάτες (Oliveira και συν 2011, Schroppe 2015). Συχνότερα εκδηλώνεται στα Labrador Retrievers, στα Dogue de Bordeaux, στους Γερμανικούς Ποιμενικούς, στα Ιρλανδικά Setters και στους Μεγάλους Δανούς. Τα βαριά περιστατικά εμφανίζουν δεξιά συμφορητική καρδιακή ανεπάρκεια (ΣΚΑ) και λιποθυμικές κρίσεις/επεισοδιακή μυϊκή αδυναμία που επηρεάζει την ποιότητα ζωής και το χρόνο επιβίωσης (Kittleson 1998, Navarro-Cubas και συν 2017). Υπάρχουν περιορισμένες αναφορές σε βαλβιδοπλαστική με μπαλονάκι σε σκύλους με στένωση της τριγλώχινης βαλβίδας (Brown και Thomas 1995, Kunze και συν 2002, Navarro-Cubas και συν 2017, Lake-Bakaar και συν 2017) στις οποίες υπήρξε βελτίωση ή υποχώρηση των συμπτωμάτων μετά την επέμβαση. Ωστόσο, η επανεμφάνιση των συμπτωμάτων, ειδικά του ασκίτη, μπορεί να προκύψει σε αυτούς τους σκύλους, και η επέμβαση αυτή αντενδείκνυται σε ασθενείς σκύλους που έχουν ήδη μέτρια προς σοβαρού βαθμού ανεπάρκεια της τριγλώχινης βαλβίδας (AT), εξαιτίας του κινδύνου επιδείνωσης της AT και της ανάπτυξης σοβαρής ΣΚΑ μετά την βαλβιδοπλαστική (Lake-Bakaar και συν 2017).

### Διαιρεμένος δεξιός κόλπος (ΔΔΚ, COR triatriatum dexter)

Ο ΔΔΚ είναι μια σπάνια συγγενής δυσπλασία που σχετίζεται με την μη εξάλειψη της βαλβίδας του δεξιού φλεβώδους κόλπου κατά την εμβρυογένεση, οδηγώντας στην εμφάνιση μιας ενδοκολπικής μεμβράνης στο δεξιό κόλπο. Η μεμβράνη αυτή μπορεί να είναι μη διάτρητη ή διάτρητη σε διάφορους βαθμούς και παρεμποδίζει την κυκλοφορία του αίματος μέσω της οπίσθιας κοίλης φλέβας προς το δεξιό κόλπο. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν την ηπατική συμφόρηση και τον ασκίτη ή την κυάνωση εξαιτίας ροής από δεξιά προς τα αριστερά μέσω ανοιχτού ωοειδούς τρήματος (Kittleson και Kienle 1998, Moral και συν 2016).

Διάφορες ελάχιστες επεμβατικές τεχνικές έχουν περιγραφεί για την θεραπεία του ΔΔΚ και περιλαμβάνουν την τυπική διαστολή με μπαλονάκι, τη διαστολή με μπαλονάκι αγγειοπλαστικής με ειδικές λεπίδες και την τοποθέτηση μεταλλικού αγγειονάρθηκα ("stent") (Adin και Thomas 1999, Atkins και DeFrancesco 2000, Leblanc και συν 2012,

Barncord και συν 2016). Η υβριδική διαστολή με μπαλονάκι έχει επίσης αναφερθεί (Uemura και συν 2019).

### Δίχωρη δεξιά κοιλία

Η δίχωρη δεξιά κοιλία (ΔΔΚ) είναι μια σπάνια συγγενής καρδιοπάθεια που προκύπτει από δυσπλαστικούς μυς ή ινομυώδεις ταινίες που διαχωρίζουν τη δεξιά κοιλία σε δύο εσωτερικά διαμερίσματα: ένα εγγύς, υψηλής πίεσης διαμέρισμα και ένα άπω, χαμηλής πίεσης διαμέρισμα κοντά στην πνευμονική αρτηρία (Winter και συν 2021, Schober και συν 2017). Εξαιτίας της έμφραξης το εγγύς διαμέρισμα οδηγείται στην υπερτροφία και καθώς επιδεινώνεται η νόσος εμφανίζονται κλινικά συμπτώματα όπως μειωμένη αντοχή στην άσκηση, λιποθυμικές κρίσεις, δεξιά ΣΚΑ και αιφνίδιος θάνατος. Για την πρόληψη και την υποχώρηση των κλινικών συμπτωμάτων ενδείκνυται η πρώιμη αντιμετώπιση. Τεχνικές όπως η διαστολή με μπαλονάκι, ή με μπαλονάκι αγγειοπλαστικής με ειδικές λεπίδες και στη συνέχεια η μεταδιάταση με μπαλονάκι σε υψηλές πιέσεις, οι υβριδικές χειρουργικές και διαδερμικές επεμβάσεις και οι επεμβάσεις ανοιχτής καρδιάς έχουν αναφερθεί στο παρελθόν. Οι περισσότερες από τις διαδερμικές επεμβατικές τεχνικές που αναφέρονται στην κτηνιατρική βιβλιογραφία παρέχουν προσωρινή αλλά όχι μακροπρόθεσμη υποχώρηση των κλινικών συμπτωμάτων και η χειρουργική αντιμετώπιση φαίνεται να είναι η προτιμώμενη θεραπεία για τους ασθενείς με ΔΔΚ (Winter και συν 2021, Schober και συν 2017).

### Συμπέρασμα

Στην παρούσα ανασκόπηση αναφέρονται οι σύγχρονες τεχνικές που πραγματοποιούνται συχνότερα με στόχο τη θεραπευτική αντιμετώπιση των συγγενών καρδιοπαθειών στα ζώα συντροφιάς. Η επεμβατική καρδιολογία συνεχίζει να εξελίσσεται στην κτηνιατρική επιστήμη, και περισσότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται τυπικά στην ιατρική του ανθρώπου, αρχίζουν να γίνονται διαθέσιμες και για τη θεραπεία των κατοικίδιων ζώων καθώς εξελίσσονται τόσο ο εξοπλισμός όσο και η εκπαίδευση των κτηνιάτρων.

### Σύγκρουση συμφερόντων

Η συγγραφέας δηλώνει ότι δεν υπάρχει σύγκρουση συμφερόντων.



#### Υπεύθυνη αλληλογραφίας:

Τόνια Μαυροπούλου  
cardiology@plakentiaevet.gr

#### Corresponding author:

Tonia Mavrouloulou  
cardiology@plakentiaevet.gr

## Βιβλιογραφία / References

- Achen SE, Miller MW, Gordon SG, Saunders AB, Roland RM, Drourr LT (2008) Transarterial ductal occlusion with the Amplatzer vascular plug in 31 dogs. *J Vet Intern Med* 22, 1348-1352.
- Adin DB, Thomas WP (1999) Balloon dilation of cor triatriatum dexter in a dog. *J Vet Intern Med* 13, 617-9.
- Atkins C, DeFrancesco T (2000) Balloon dilation of cor triatriatum dexter in a dog. *J Vet Intern Med* 14, 471-2.
- Barncord K, Stauthammer C, Moen SL, Hanson M, Guenstein DH (2016) Stent placement for palliation of cor triatriatum dexter in a dog with suspected patent foramen ovale. *J Vet Cardiol* 18, 79-87.
- Belanger C, Gunther-Harrington GT, Nishimura S, Oldach MS, Fousse SL, Visser LC, Stern JA (2018) High-pressure balloon valvuloplasty for severe pulmonary valve stenosis: a prospective observational pilot study in 25 dogs. *J Vet Cardiol* 20, 115-122.
- Blossom JE, Bright JM, Griffiths LG (2010) Transvenous occlusion of patent ductus arteriosus in 56 consecutive dogs. *J Vet Cardiol* 12, 75-84.
- Bomassi E, Misbach C, Tissier R, Gouni V, Trehiou-Sechi E, Petit AM, Desmyter A, Damoiseaux C, Pouchelon JL, Chetboul V (2015) Signalment, clinical features, echocardiographic findings and outcome of dogs and cats with ventricular septal defects: 109 cases (1992-2013). *J Am Vet Med Assoc* 247, 166-175.
- Borgeat K, Kilkenny E, Chanoit G, Hezzell MJ, Payne JR (2021) Transvalvular pulmonic stent angioplasty: procedural outcomes and complications in 15 dogs with pulmonic stenosis. *J Vet Cardiol* 38, 1-11.
- Brambilla PG, Polli M, Pradelli D, Papa M, Rizzi R, Bagardi M, Bussadori C (2020) Epidemiological study of congenital heart diseases in dogs: Prevalence, popularity, and volatility throughout twenty years of clinical practice *PLoS ONE* 15, e0230160.
- Bright JM, Jennings J, Toal R, Hood ME (1987) Percutaneous balloon valvuloplasty for treatment of pulmonic stenosis in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 191, 995-6.
- Brown WA, Thomas WP (1995) Balloon valvuloplasty of tricuspid stenosis in a Labrador retriever. *J Vet Intern Med* 9, 419-424.
- Buchanan JW (2001) Patent ductus arteriosus: morphology, pathogenesis, types and treatment. *J Vet Cardiol* 3, 7-16.
- Bussadori C, Amberger C, Le Bobiniec G, Lombard CW (2000) Guidelines for the echocardiographic studies of suspected subaortic and pulmonic stenosis. *J Vet Cardiol* 2, 15-22.
- Bussadori C, Carminati M, Domenech O (2007) Transcatheter Closure of a Perimembranous Ventricular Septal Defect in a Dog. *J Vet Intern Med* 21, 1396-1400.
- Bussadori C, Carminati M, Domenech O (2007) Transcatheter closure of a perimembranous ventricular septal defect in a dog. *J Vet Intern Med* 21, 1396-400.
- Bussadori C, DeMadron E, Santilli RA, Borgarelli M (2001) Balloon valvuloplasty in 30 dogs with pulmonic stenosis: Effect of valve morphology and annular size on initial and 1-year outcome. *J Vet Intern Med* 15, 553-558.
- Campbell FE, Thomas WP, Miller SJ, Berger D, Kittleson MD (2006) Immediate and late outcomes of transarterial coil occlusion of patent ductus arteriosus in dogs. *J Vet Intern Med* 20, 83-96.
- Durham JA, Scansen BA, Bonagura JD, Schober KE, Cheatham SL, Sheatham JP (2015) Iatrogenic embolization and trans-catheter retrieval of a ventricular septal defect occluder in a dog. *J Vet Cardiol* 17, 304-313.
- Eason BD, Fine DM, Leeder D, Stauthammer C, Lamb K, Tobias AH (2014) Influence of beta blockers on survival in dogs with severe subaortic stenosis. *J Vet Intern Med* 28, 857-862
- Estrada AH (2015) Cardiac pacing. In: *Veterinary image-guided interventions*. Weisse C, Berent C, ed. John Wiley & Sons Ltd, Ames (IA), pp. 518-30.
- Ewey PD, Pion PD, Hird DW (1988) Survival in treated and untreated dogs with pulmonic stenosis. *J Vet Int Med* 6, 114, (abstr).
- Faxon DP, Williams DO (2016) Interventional cardiology. Current status and future directions in coronary disease and valvular heart disease. *Circulation* 133, 2697-2711.
- Francis AJ, Johnson MJ, Culshaw GC, Corcoran BM, Martin MWS, French AT (2011) Outcome in 55 dogs with pulmonic stenosis that did not undergo balloon valvuloplasty or surgery. *J Small Anim Pract* 52, 282-288.
- Glaus TM, Berger F, Ammann FW, Klowski W, Ohlert S, Boller M, Kastner S, Reusch CE, Sisson D (2002) Closure of large patent ductus arteriosus with a self-expanding duct occluder in two dogs. *J Small Anim Pract* 43, 547-550.
- Gordon SG, Miller MW, Roland RM, Saunders AB, Achen SE, Drourr LT, Nelson DA (2009) Transcatheter atrial septal defect closure with the Amplatzer atrial septal occluder in 13 dogs: Short- and mid- term outcome. *J Vet Intern Med* 23, 995-1002.
- Gordon SG, Miller MW, Roland RM, Saunders AB, Achen SE, Drourr LT, Nelson DA (2009) Transcatheter atrial septal defect closure with the Amplatzer atrial septal occluder in 13 dogs: short- and mid-term outcome. *J Vet Intern Med* 23, 995-1002.
- Gordon SG, Miller MW (2005) Transarterial coil embolization for canine patent ductus arteriosus occlusion. *Clin Tech Small Anim Pract* 20, 196-202.
- Gordon SG, Saunders AB, Achen SE, Roland RM, Drourr LT, Hariu C, Miller MW (2010) Transarterial ductal occlusion using the Amplatzer Canine Duct Occluder in 40 dogs. *J Vet Cardiol* 12, 85-92.
- Gordon SG (2015) Septal defects. In: *Veterinary image-guided interventions*. Weisse C, Berent A, editors. John Wiley & Sons Inc, Ames (IA), p. 610-20.
- Goya S, Wada T, Shimada K, Uemura A, Tanaka R (2018) Combined cutting balloon and conventional balloon angioplasty in

- a dog with supraaortic pulmonary stenosis. *J Vet Med Sci* 80, 1754-1757.
- Henrich E, Hildebrandt N, Schneider C, Hassdenteufel E, Schneider M (2010) Trans-venous coil embolization of patent ductus arteriosus in small (<math>\leq 3.0\text{ kg}</math>) dogs. *J Vet Intern Med* 25, 65-70.
  - Hildebrandt N, Schneider C, Schweigl T, Schneider M (2010) Long-term follow-up after transvenous single coil embolization of patent ductus arteriosus in dogs. *J Vet Intern Med* 24, 1400-1406.
  - Hildebrandt N, Stertmann WA, Wehner M, Schneider I, Neu H, Schneider M (2009) Dual chamber pacemaker implantation in dogs with atrioventricular block. *J Vet Intern Med* 23, 31-8.
  - Hogan DF, Green HW, Sanders RA (2006) Transcatheter closure of patent ductus arteriosus in a dog with a peripheral vascular occlusion device. *J Vet Cardiol* 8, 139-143.
  - Johnson MS, Martin M, Edwards D, French A, Henley W (2004) Pulmonic stenosis in dogs: balloon dilation improves clinical outcome. *J Vet Intern Med* 18, 656-662.
  - Kienle RD, Thomas WP, Pion PD (1994) The natural history of canine congenital subaortic stenosis. *J Vet Intern Med* 8, 423-431.
  - Kittleson MD, Kienle RD (1998) Pulmonic Stenosis. In: *Small Animal Cardiovascular Medicine*. Mosby. St. Louis, MO, USA, pp. 603.
  - Kittleson MD, Kienle RD (1998) Other congenital cardiovascular abnormalities. In: *Small animal cardiovascular medicine*. Kittleson MD, Kienle RD, editors. Mosby. St. Louis, MO, USA, pp. 282-296.
  - Kittleson MD, Kienle RD (1998) Patent Ductus Arteriosus In: *Small Animal Cardiovascular Medicine*. Mosby. St. Louis, MO, USA, pp. 218-230.
  - Kittleson MD (1998) Congenital abnormalities of the atrioventricular valves. In: *Small Animal Cardiovascular Medicine*. Mosby. St. Louis, MO, USA, pp. 360.
  - Kleman ME, Estrada AH, Maisenbacher HW III, Prosek R, Pogue B, Shih A, Paolillo JA (2012) How to perform combined cutting balloon and high pressure balloon valvuloplasty for dogs with subaortic stenosis. *J Vet Cardiol* 14, 351-361.
  - Kleman ME, Estrada AH, Tschosik ML (2013) An update on combined cutting balloon and high pressure balloon valvuloplasty for dogs with severe subaortic stenosis. *J Vet Intern Med* 27, 632-3.
  - Kleman ME (2015) Aortic valve stenosis. In: *Veterinary image-guided interventions*. Weisse C, Berent A, editors. John Wiley & Sons, Ltd, Ames (IA), pp. 588-94.
  - Kunze SP, Abbott JA, Hamilton SM, Pyle RL (2002) Balloon valvuloplasty for palliative treatment of tricuspid stenosis with right-to-left atrial-level shunting in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 220, 491-496.
  - Lake-Bakaar GA, Griffiths LG, Kittleson MD (2017) Balloon Valvuloplasty of tricuspid stenosis: A retrospective study of 5 Labrador Retriever dogs. *J Vet Intern Med* 31, 311-315.
  - Leach SB, Fine DM, Schutrumpf RJ, Britt LB, Durham HE, Christiansen K (2010) Coil embolization of an aorticopulmonary fistula in a dog. *J Vet Cardiol* 12, 211-216.
  - Leblanc N, Defrancesco TC, Adams AK, Atkins CE, Tou SP, Curt Fudge J, Keene BW (2012) Cutting balloon catheterization for interventional treatment of cor triatriatum dexter: 2 cases. *J Vet Cardiol* 14, 525-530.
  - Margiocco ML, Bulmer BJ, Sisson DD (2008) Percutaneous occlusion of a muscular ventricular septal defect with an Amplatzer muscular VSD occluder. *J Vet Cardiol* 10, 61-66.
  - Markovic LE, Scansen A (2019) A Pilot Study Evaluating Cutting and High-Pressure Balloon Valvuloplasty for Dysplastic Pulmonary Valve Stenosis in 7 Dogs. *J Vet Cardiol* 25, 61-73.
  - Markovic LE, Whipp C, Morgan K, Almeida D, Hiremath G (2020) Transpulmonary Stent Implantation for Dysplastic Pulmonary Valve Stenosis with a Single Left Coronary Ostium and Anomalous Prepulmonary Right Coronary Artery in an English Bulldog. *CASE (Phila)* 4, 540-545.
  - Martin M, Dukes-McEwan. Congenital heart disease In: *BSAVA Manual of Canine and Feline Cardiorespiratory Medicine* 2nd edn. Luis Fuentes V, Dennis S, Johnson LR, eds. BSAVA, Gloucester, UK, pp. 237-253.
  - Meurs KM, Lehmkuhl LB, Bonagura JD (2005) Survival times in dogs with severe subvalvular aortic stenosis treated with balloon valvuloplasty or atenolol. *J Am Vet Med Assoc* 227, 420-424.
  - Moral S, Ballesteros E, Huguet M, Panaro A, Palet J, Evangelista A (2016) Differential diagnosis and clinical implications of remnants of the right valve of the sinus venosus. *J Am Soc Echocardiogr* 29, 183-194.
  - Musselman EE, Rouse GP, Parker AJ (1976) 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* 17, 149-62.
  - Navarro-Cubas X, Palermo V, French A, Sanchis-Mora S, Culshaw G (2017) Tricuspid valve dysplasia: A retrospective study of clinical features and outcome in dogs in the UK. *Open Vet J* 7, 349-359.
  - Nguyenba TP, Tobias AH (2007) The Amplatz canine duct occluder: A novel device for patent ductus arteriosus occlusion. *J Vet Cardiol* 9, 109-117.
  - Nguyenba TP, Tobias AH (2008) Minimally invasive per-catheter patent ductus arteriosus occlusion in dogs using a prototype duct occluder. *J Vet Intern Med* 22, 129-134.
  - Oliveira P, Domenech O, Silva J, Vannini S, Bussadori R, Bussadori C (2011) Retrospective review of congenital heart disease in 976 dogs. *J Vet Intern Med* 25, 477-83.
  - Ontiveros ES, Stern JA. Genetics of canine subvalvular aortic stenosis (SAS) (2021) *Canine Med Genet* 8, 4.
  - Orton EC, Herndon GD, Boon JA, Gaynor JS, Hackett TB, Monnet E (2000) Influence of open surgical correction on intermediate-term outcome in dogs with subvalvular aortic stenosis: 44 cases (1991-1998). *J Am Vet Med Assoc* 216, 364-367.
  - Oyama MA, Sisson DD, Lehmkuhl LB (2001) Practices and outcome of artificial cardiac pacing in 154 dogs. *J Vet Intern Med* 15, 229-39.
  - Porciello F, Caivano D, Giorgi ME, Knafelz P, Rishniw M, Moise NS, Bufalari A, Fruganti A, Birettoni F (2014) Transesophageal echocardiography as the sole guidance for occlusion of patent ductus arteriosus using a canine ductal occluder in dogs. *J Vet*

- Intern Med 28, 1504-1512.
- Sanders RA, Hogan DE, Green HW 3rd, Hoyer MH, Puppel DA (2005) Transcatheter closure of an atrial septal defect in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 227, 430-434.
  - Saunders AB, Achen SE, Gordon SG, Miller MW (2010) Utility of transesophageal echocardiography for transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus in dogs: influence on the decision-making process. *J Vet Intern Med* 24, 1407-1413.
  - Saunders AB, Carlson JA, Nelson DA, Gordon SG, Miller MW (2013) Hybrid technique for ventricular septal defect closure in a dog using an Amplatzer® Duct Occluder II. *J Vet Cardiol* 15, 217-224.
  - Saunders AB (2015) Heartworm extraction. In: *Veterinary image-guided interventions*. Weisse C, Berent A, editors. John Wiley & Sons, Ltd. Ames (IA), pp. 541-6.
  - Scansen BA (2017) Interventional cardiology. What's new? *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 47, 1021-1040.
  - Scansen BA (2018) Cardiac interventions in small animals. Areas of uncertainty. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 48, 797-815.
  - Scansen BA (2015) Pulmonary valve stenosis. In: *Veterinary image-guided interventions*. Weisse C, Berent A, editors. John Wiley & Sons, Ltd. Ames (IA), pp. 575-87.
  - Schmidt M, Estrada A, Maisenbacher HW III (2010) Combined cutting balloon and high pressure balloon angioplasty in dogs with severe subaortic stenosis is effective at mid-term follow-up. *Catheter Cardiovasc Interv* 76, 1.
  - Schneider M, Hildebrandt N, Schweigl T, Wehner M (2007) Transthoracic echocardiographic measurement of patent ductus arteriosus in dogs. *J Vet Intern Med* 21, 251-257.
  - Schneider M, Hildebrandt N, Schweigl T, Schneider I, Hagel KH, Neu H (2001) Transvenous embolization of small patent ductus arteriosus with single detachable coils in dogs. *J Vet Intern Med* 15, 222-228.
  - Schober KE, Rhinehart J, Kohnken R, Bonagura JD (2017) Cutting balloon and high-pressure balloon dilation for palliative treatment of congenital double-chambered right ventricle and primary infundibular stenosis in a Golden retriever dog. *J Vet Cardiol* 19, 538-546.
  - Schrope DP (2005) Balloon valvuloplasty of valvular pulmonic stenosis in the dog. *Clin Tech Small Anim Pract* 20, 182-195.
  - Schrope DP (2015) Prevalence of congenital heart disease in 76,301 mixed-breed dogs and 57,025 mixed-breed cats. *J Vet Cardiol* 17, 192-202.
  - Silva J, Domenech O, Mavropoulou A, Oliveira P, Locatelli C, Bussadori C (2013) Transesophageal echocardiography guided patent ductus arteriosus occlusion with a duct occlude. *J Vet Intern Med* 27, 1463-1470.
  - Singh MK, Kittleson MD, Kass PH, Griffiths LG (2012) Occlusion devices and approaches in canine patent ductus arteriosus: comparison of outcomes. *J Vet Intern Med* 26, 85-92.
  - Sisson D (2003) Use of a self-expanding occluding stent for non-surgical closure of patent ductus arteriosus in dogs. *J Am Vet Med Assoc* 223, 999-1005.
  - Smith PJ, Martin MW (2007) Transcatheter embolisation of patent ductus arteriosus using an Amplatzer vascular plug in six dogs. *J Small Anim Pract* 48, 80-86.
  - Stauthammer CD (2015) Patent ductus arteriosus. In: *Veterinary image-guided interventions*. Weisse C, Berent A, editors. John Wiley & Sons, Ltd. Ames (IA), pp. 564-74.
  - Stokhof AA, Sreeram N, Wolvekamp WT (2000) Transcatheter closure of patent ductus arteriosus using occluding spring coils. *J Vet Intern Med* 14, 452-455.
  - Sykes KT, Gordon SG, Saunders AB, Vitt JP, O'Brien MT, Fries RC (2020) Palliative combined cutting and high-pressure balloon valvuloplasty in six dogs with severe, symptomatic subaortic stenosis. *J Vet Cardiol* 31, 36-50.
  - Thomas WP (1995) Therapy of congenital pulmonic stenosis. In: *Kirk's Current Veterinary Therapy XII: Small Animal Practice*. Bonagura JD (ed). Saunders. Philadelphia, PA, pp. 827-882.
  - Uemura A, Yoshida T, Matsuura K, Yilmaz Z, Tanaka R (2019) Hybrid balloon dilation treatment for cor triatriatum dexter in a small breed puppy. *J Vet Sci* 20, e49.
  - Winter RL, Clark WA, Kochie SL, Rhinehart JD (2021) Long-term relief of obstruction in a dog with double-chambered right ventricle using combined cutting balloon and high-pressure balloon dilation. *J Vet Cardiol* 36, 180-185.