

犬の僧帽弁閉鎖不全症における外科的治療：僧帽弁修復術

上 地 正 実[†]

日本大学生物資源科学部 (〒252-0880 藤沢市亀井野 1866)

Surgical Repair of Mitral Valve in Dogs with Mitral Regurgitation

Masami UECHI[†]

Nihon University, Veterinary Internal Medicine, 1866 kameino, Fujisawa, 252-0880, Japan

犬の僧帽弁閉鎖不全症は発症率の高い心臓病である [1]。僧帽弁における血液の逆流は左心系のうっ血と心拡大を認め、発咳、肺水腫及び呼吸困難をおもな臨床徴候とする。内科治療は血管拡張薬、利尿薬及び強心薬を中心に行うが、重度僧帽弁閉鎖不全症の犬の予後は悪い [1]。ピモベンダンを投与することで僧帽弁閉鎖不全症の犬の臨床徴候及び予後は改善されるが、一方でこれらの犬の80%が2年以内に僧帽弁逆流の悪化もしくは死に至ることが報告されている [2]。内科治療は対症療法であり僧帽弁の構造的な異常を治療することはできない。僧帽弁閉鎖不全症の臨床徴候と予後を改善させるためには外科的介入による弁構造の修復と機能を回復させる必要がある。

僧帽弁閉鎖不全症に対する僧帽弁弁置換術及び弁形成術は、人医療において標準的な手術法である [3-6]。一方、小動物において開心術による僧帽弁手術は限られた臨床症例でのみ試みられてきた [7-14]。開心術はおもに大型犬に適応され、小型犬においては従来の方法では体外循環の実施は困難であると考えられていた [9]。しかし近年、人工心肺装置を使った体外循環法は小型犬 [13-17] 及び猫 [18] でも安全に体外循環を実施できるまでに改善されてきた。これにより、小型犬を含むさまざまな大きさの犬種において開心術を行うことが可能となった [14, 19]。

犬においても、変性した僧帽弁を機械弁 [11] または生体弁 [12] に置き換える人工弁置換術の報告がある。機械弁による弁置換術では、適切なサイズの機械弁を用いることで長期予後が得られるが、強力な抗血栓療法を必要とする [18]。一方、生体弁は優れた抗血栓性を持ち [12, 20]、自己の僧帽弁を修復することが困難な僧

帽弁異形成の症例に有効な治療法と考えられる [12]。人における生体弁置換術は移植後の経年変化で弁に石灰化が起こり、再手術が必要となることがあり、予後の改善が期待できないこともあると報告されている [21]。犬では生体弁による僧帽弁置換術から石灰化を認めずに17カ月以上生存したことが報告されている [12]。

人 [4, 5] 及び小動物 [8, 9, 13, 14] において、弁輪縫縮術及び腱索再建術を含む僧帽弁修復術は耐久性に優れており、抗血栓療法が不要で、長期の臨床転帰を改善する [9, 13, 14]。また僧帽弁置換術に比較して、僧帽弁手術のコストを削減できる。これらの観点から僧帽弁修復術は僧帽弁閉鎖不全症における主たる根治外科手術法になると考えられる。

本総説では犬の僧帽弁手術を行う際に必要となる手技及びプロトコルについて文献的に考察する。犬に関する報告がない箇所は、われわれの経験に基づいて論述する。さらに、僧帽弁閉鎖不全症に対する治療として、将来的に僧帽弁修復術に優る可能性をもつ新しい技術についても紹介する。

体外循環

開心術は心停止させて視野を確保する必要があるため、人工心肺装置による体外循環を必要とする。体外循環は人工心肺回路、酸素供給器及び熱交換器を備えた人工心肺装置を用いる。人工心肺回路を、20% D-マンニトール、7% 重炭酸ナトリウム、ヘパリンナトリウム及び酢酸リンゲル液で構成される充填液で満たす [13, 14]。体重4kg以下の犬においては、過度の血液希釈を防ぐためヘマトクリット値を参考に20~50mlの充填液を輸血に置換する。

[†] 連絡責任者：上地正実 (日本大学生物資源科学部獣医内科学研究室)

〒252-0880 藤沢市亀井野 1866 ☎・FAX 0466-84-3481 E-mail : uechi.masami@cardivets.jp

[†] Correspondence to : Masami UECHI (Nihon University, Veterinary Internal Medicine)

1866 kameino, Fujisawa, 252-0880, Japan

TEL・FAX 0466-84-3481 E-mail : uechi.masami@cardivets.jp

体外循環中の麻酔及び低体温法の利用：体外循環中の低体温法は組織の酸素需要量を減少させるため、末梢組織の保護に有効である。低体温法では、体表面冷却にあわせて、最も効果的に全身体温を調節できる熱交換器を用いた血液冷却を行う。低体温法は麻酔とあわせて利用することで体外循環中の低還流による組織障害を軽減する [13]。しかし、一方では免疫系の抑制作用などの副作用があるため、犬や猫における適切な体温管理の検討が必要とされる。

体外循環の開始：人工心肺回路を動・静脈カニューレに接続し、回路内の空気を慎重に除去する。術者が動・静脈カニューレの遮断を解除した後、ポンプ技師は一時的に動・静脈回路の遮断を解除して、動・静脈カニューレから血液が回路に流入するのを確認する。体外循環中は動・静脈回路の遮断を解除し、全身体温を 25～30 度に保ち、ポンプ速度を 90～120ml/kg/min に調節する。人工心肺によるポンプ速度の調節は静脈の還流量に基づいて慎重に行う。

心停止の誘導：心拍を停止させることで、僧帽弁修復術に必要な心臓内の無血視野を確保できる。心停止は大動脈起始部に設置したルートカテーテルを介して冠動脈に心筋保護液を注入することで誘導できる。大動脈遮断後は、ポンプ流量を 70～120ml/kg/min で調節する。体外循環中は、イソフルラン吸入による全身麻酔からフェンタニル及びプロポフォール静脈内投与による全身麻酔に移行するか、あるいは人工肺にイソフルランを酸素とともに流して麻酔を維持する。遮断鉗子を用いて大動脈基部を遮断した直後に、心筋保護液を冠動脈に注入して心拍を停止させる。

その後、心筋保護液は 20 分ごとに注入する。体外循環中は、動静脈血圧、酸素飽和度及び血液ガスを注意深くモニターする。腱索再建術及び弁輪縫縮術は心内操作の標準的な方法であるが、心拍動下心臓手術にも応用可能である [12, 18]。心拍動下心臓手術は虚血再灌流障害のリスクを軽減できるが [18]、左房や僧帽弁輪を縮小させる際に、大動脈弁から血液を漏出させる可能性がある。また、左室ベントカニューレや血液吸引を行ったとしても、空気塞栓の発生や無血視野が十分に得られない可能性がある。心拍動下僧帽弁手術の最大の欠点は、心臓が拍動している間に操作しなければならない点である。腱索再建術は心臓内の無血視野を必要とし、これは拡張期にのみ得られる。したがって、心拍動下僧帽弁手術は、重度の心筋肥厚や過去に 2 度以上の開心手術歴のある症例以外には推奨されない。

心拍再開：左房縫合の後に、人工心肺ポンプを一時的に停止し大動脈の遮断を解除する。人工心肺による灌流量を減少させると冠循環及び心拍動は自然に回復する。心室細動がみられた際には、除細動 (10～30J) が必要

になる。

体外循環からの離脱：体外循環を離脱する前に症例の体温を 36 度以上に復温する必要がある。人工心肺によるポンプ速度は段階的に減速し、完全に停止させる。

プロタミン投与：動・静脈カニューレを抜去した後、ヘパリンを中和するために 100 単位のヘパリンに対して 1.0～1.5mg のプロタミンを徐々に投与する。プロタミンは古典的経路で補体カスケードを活性化するが、重篤な気管支痙攣、肺血管抵抗の上昇及び血圧低下を起こすことがある。これらの反応は著しい血圧低下と麻酔中の低換気を引き起こす。これらの有害反応は慎重な監視とプロタミン投与速度を緩徐にすることで回避できる。

僧帽弁修復術

われわれは、僧帽弁へのアプローチとして左房切開を行っている。本法では、切開した左房から中隔尖、断裂した僧帽弁の腱索及び壁側尖を目視下にて確認することができる。

腱索再建術：近年、腱索再建術は僧帽弁の腱索が断裂した症例において、部分的弁尖切除、腱索移植、腱索短縮に優る最も重要な手技として確立している [6, 22]。腱索再建術の最大の難所は、人工腱索を適切な長さに調節することである。対側の弁尖と同じ高さで接合するように腱索の長さを正確に調節しなければならない。人医療においては、人工腱索を適切な長さに調節するために、定規、経食道心臓超音波検査及び multiple-knots 法などを用いた方法が報告されてきた [6, 23]。しかしながら、これらの方法を小型犬の心臓に応用することは困難である。われわれは一時的な Alfieri 縫合を用いることで、視野を確保しながら弁尖の適切な接合を正確に調節可能であることを実証している [14, 24]。

両端針付 ePTFE 人工腱索 (CV-6) を中隔尖 S1 分画 (中隔尖頭部) 及び頭側方乳頭筋に通す。その後、中隔尖 S2 分画 (中隔尖中央部) に通して両端を結紮する。われわれはこの方法で腱索再建術を実施したうち 1 例で乳頭筋の断裂を経験したため、現在はこの手技に加えてプレジェットを用いている。中隔尖 S2 及び S3 (中隔尖尾部) 分画に 2 つ目の ePTFE 人工腱索を通し、尾側中央の乳頭筋に縫合する (図 1D)。二股の ePTFE 人工腱索は尾側中央の乳頭筋から壁側尖 M2 分画 (壁側尖中央部) に通し、乳頭筋に戻って通す。僧帽弁弁尖の M2 分画の人工腱索の断裂あるいは伸張を確認した後、中隔尖 S2 分画及び壁側尖 M2 分画の人工腱索に一時的に Alfieri 縫合を行う [14]。

弁輪縫縮術：僧帽弁修復術の主体は、弁輪縫縮術及び腱索再建術である [3, 6, 14]。弁輪縫縮術は、僧帽弁修復術後の僧帽弁の長期的な耐久性を維持する上で最も重要な役割をもつ [25]。僧帽弁輪は形態学的に、頭側及

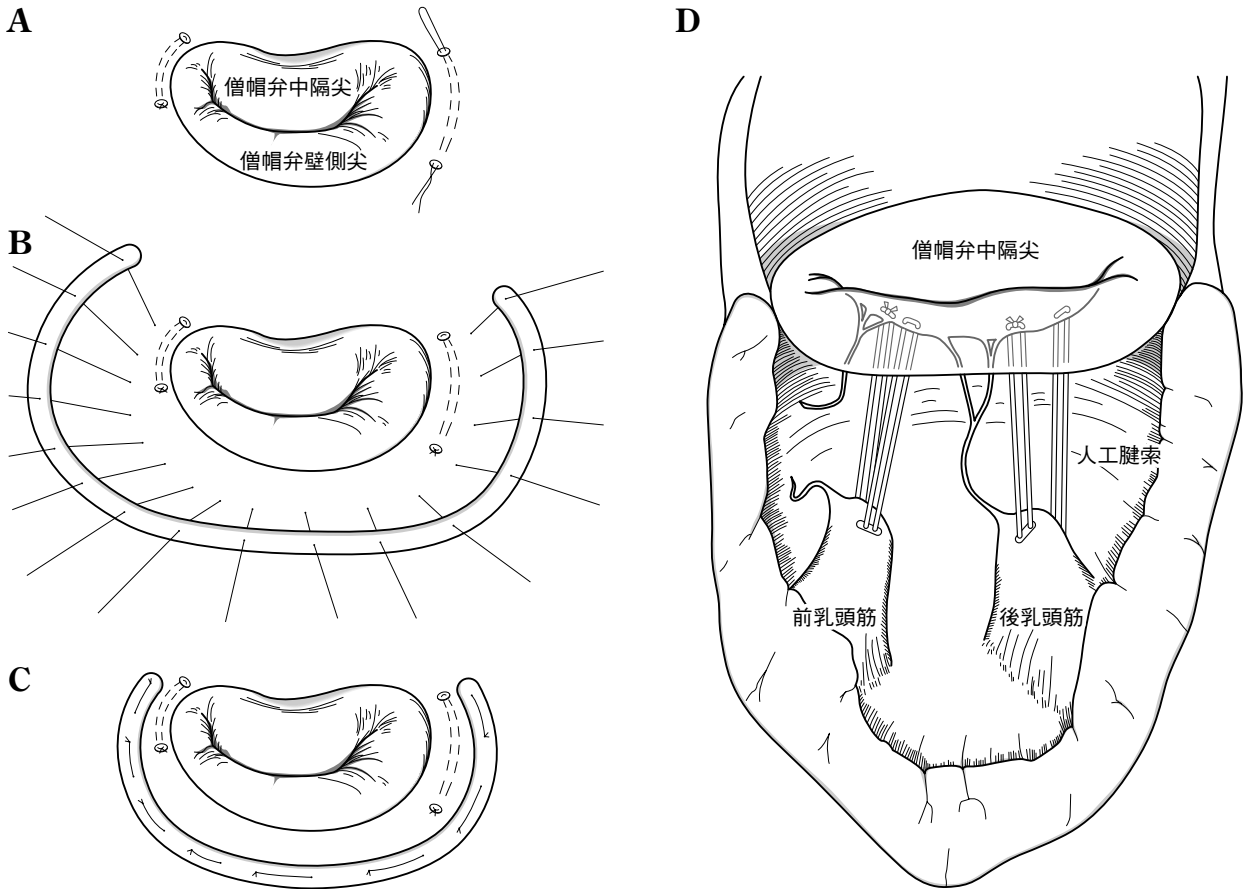


図1 僧帽弁輪縫縮術は、最初にプレジレットを用いて僧帽弁の前及び後交連部における連続縫合を行う (A)。次に、ePTFEの短冊を僧帽弁輪に縫合する (B-C)。続いて腱索の再建を行う ePTFE 人工腱索は僧帽弁を通り尾側正中の乳頭筋へ進み、僧帽弁へ戻って縫合する。反対側でも同様に縫合し、両端を結ぶ。この手順を壁側尖で繰り返す (D)。

び尾側分画が高く、交連部が低いサドル型を呈する [26]。僧帽弁輪は収縮期に並進運動を示すため、拡張期中期から収縮期中期—後期にかけて僧帽弁領域は低下する [26, 27]。このスフィンクター機序により、収縮期に弁尖部の接合が深さを増し、拡張期には弁口面積が増大する [26]。弁尖部の適切な接合を得るためには、僧帽弁輪縫縮の際にもこのような弁輪の生理学的な動きを維持すべきである。僧帽弁輪を人工的に安定させて弁尖部の接合を増やし、将来的な弁輪拡大を防ぐことで僧帽弁の耐久性が得られる [25]。サドル型の弁輪形成リングは、平坦なリングよりも弁輪に対する負荷を分散させ、また弁尖及び腱索に伝わる負荷を最小限にする [28]。

人医療で用いられる弁輪形成リングには小型犬に適したサイズがない。リングの代わりとして僧帽弁修復術に用いられる僧帽弁輪縫縮は僧帽弁の自然な形態と血行動態を保つことが期待される [29]。しかしこの方法では、人と同様に犬においても時間の経過とともに縫合部の脱落を起こす可能性がある [30]。この問題は、ePTFE製の柔軟な弁輪形成リングを用いることによって解決される。ePTFEは、手術時に各症例のサイズに応じてトリミングが可能であるため、自己心膜よりも使用しやすい

[14]。僧帽弁輪周囲長は、大動脈基部及び弁輪周囲長の測定に基づいて大動脈基部の周囲長よりやや大きいサイズに決定する。

僧帽弁の前及び後交連部の弁輪の拡張が観察されることがある。この弁輪部の拡張は僧帽弁の適切な接合を妨げ、重度な僧帽弁逆流を引き起こす。これに対しては magic stitch, すなわち中隔尖・壁側尖の縫合及び僧帽弁輪縫合を用いる [14]。僧帽弁輪縫合と僧帽弁修復術を組み合わせることで僧帽弁の接合が増加し、僧帽弁逆流を減少させることができる。われわれの行っている僧帽弁修復術の手順としては、まず前交連及び後交連部にプレジレットを用いた弁輪縫合を行い、両交連部領域のサイズを減少させる。次に5-0縫合糸 (Oval-M®) により僧帽弁輪部に大動脈弁基部の周囲長程の ePTFE の短冊 (1.5 × 40 ~ 55mm) をマットレス縫合する (図1)。

術後管理: 心臓内血栓形成を予防するために、胸腔ドレーンからの血液量が3ml/h未滿に減少したことを確認した後、ダルテパリンナトリウム (25 ~ 50U/kg, SID, BID) を1週間皮下投与する [14]。血液検査は退院まで毎日行う。術後1 ~ 3カ月間は抗血小板薬である塩酸オザグレル (トロンボキサンA2合成阻害薬:

10mg/kg, SID, BID, PO) の投与が必要となる [14].

術後経過

臨床徴候：僧帽弁修復術により発咳や呼吸困難，食欲不振のような臨床徴候が改善する．食欲の改善により体重が増加し，心臓性悪液質を改善する [18]．心雑音に伴う胸壁のスリルが消失し，聴診による心雑音のグレードは顕著に低下する．胸部X線画像では胸椎心臓比も減少し，気管の挙上及び肺水腫の改善を認める [14]．心臓超音波検査では，左房サイズ及び左室拡張末期径の縮小，僧帽弁逆流量の顕著な減少が認められる [14, 18]．僧帽弁修復術によって臨床徴候が改善し，心臓の逆りモデリングが認められる．術後には薬物治療の必要はなくなり，生存率及び予後が改善する [14, 18]．

生存率：無治療の重度僧帽弁閉鎖不全症の犬における予後は悪い [1]．ほとんどの場合，薬物治療を受けていたとしても1年以上の生存を見込めない [1, 2]．一方，僧帽弁修復術及び置換術は犬の僧帽弁閉鎖不全症の予後を改善する [8, 11, 12, 14]．われわれの施設で僧帽弁修復術を受けた犬の93%が38カ月以上生存しており [14]，その他の施設においても3年以上の長期にわたる生存が報告されている [31]．僧帽弁置換術においては，抗血栓療法が生涯必要となる [11]．これに対して，僧帽弁修復術では術後の短期間，抗血栓療法を必要とするのみである [14]．

僧帽弁修復術後の成績の改善：術後の管理は僧帽弁修復術の成績改善に必須である．少なくとも4～7日間，血栓塞栓症や肺炎といった術後合併症に注意すべきである．血栓塞栓症はヘパリンや抗血小板薬のような抗血栓薬により予防できる [14]．微小血栓及び体外循環時の低灌流によって生じると考えられる肺炎は診断が困難であるが，抗血栓療法で予防可能である．

ePTFE人工腱索の耐久性：人工腱索の組織適合性及び耐久性は不可欠な要素である．人工腱索としていくつかの材料が使用されている（例：シルク，ナイロン，自己心膜，ウマ心膜）が，われわれは組織適合性，抗血栓性及び耐久性に優れたePTFEを使用している [32]．ePTFE人工腱索は人においておよそ10年間 [33]，犬においても6年以上の間，柔軟性及び耐久性を維持することが知られている．実際に僧帽弁修復術を受けた犬の剖検時では，ePTFE人工腱索における損傷や血栓の付着は認められなかった [31]．さらにePTFE人工腱索は僧帽弁及び乳頭筋に適切に固定され，適合性及び柔軟性を維持していた．コラーゲン基質及び内皮細胞による自己組織によって完全に被覆されていた．同様の病理所見が人においても報告されている [34]．ePTFEは適度な粘性と弾性を併せ持ち，腱索再建術に最適な材料である．

まとめ

犬における体外循環下における僧帽弁修復術は，僧帽弁閉鎖不全症に対する重要かつ有効な治療法である．僧帽弁修復術は，弁輪縫縮術とePTFE人工腱索による腱索再建術によって行われるが，経験と習熟が求められる．また，この手術は単に術者の技術的習熟度が問われるものではなく，手術チーム全体の習熟が必要とされる．手術チームは，術者，助手，麻酔，人工心肺技師，器具助手及び外回り助手で構成されるが，それぞれの担当間の連携が不可欠である．これに加えて，術後管理チームも麻酔管理及び緊急処置について十分な知識と技術が要求される．このためには術者はもちろんのこと手術チーム及び術後管理チームの十分なトレーニングが要求される．スタッフトレーニングにはバーチャルなものも必要であるが，実際の症例手術の中でしか経験できないものが多い．知識と技術の鍛錬が不十分な場合はケアレスミス一つで症例を失うことに繋がる．これらの観点からこの手術は安易に試みるべきではない．心臓外科手術の手術成績を高く保つにはよくトレーニングされた手術チーム及び術後管理チームのスタッフが必要であり，これらのチームの知識と技術の水準を高く保つためには手術施設の近接を防ぎ，日本国内で2～3カ所程度に施設を限定して症例を集約するべきである．

引用文献

- [1] Serres F, Chetboul V, Tissier R, Sampedrano CC, Gouni V, Nicolle AP, Pouchelon JL : Chordae tendineae rupture in dogs with degenerative mitral valve disease : prevalence, survival, and prognostic factors (114 cases, 2001–2006), *J Vet Intern Med*, 21, 258–264 (2007)
- [2] Häggström J, Boswood A, O'Grady M, Jöns O, Smith S, Swift S, Borgarelli M, Gavaghan B, Kresken JG, Patteson M, Ablad B, Bussadori CM, Glaus T, Kovacević A, Rapp M, Santilli RA, Tidholm A, Eriksson A, Belanger MC, Deinert M, Little CJ, Kwart C, French A, Rønn-Landbo M, Wess G, Eggertsdottir AV, O'Sullivan ML, Schneider M, Lombard CW, Dukes-McEwan J, Willis R, Louvet A, DiFruscia R : Effect of pimobendan or benazepril hydrochloride on survival times in dogs with congestive heart failure caused by naturally occurring myxomatous mitral valve disease : the QUEST study, *J Vet Intern Med*, 22, 1124–1135 (2008)
- [3] Enriquez-Sarano M, Akins CW, Vahanian A : Mitral regurgitation, *Lancet*, 373, 1382–1394 (2009)
- [4] Miura T, Eishi K, Yamachika S, Hashizume K, Yamane K, Taniguchi S, Tanigawa K, Hashimoto W, Odate T, Nakaji S : Mitral valve repair for degenerative disease with leaflet prolapse : to improve long-term outcomes, *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 57, 10–21 (2009)

- [5] Schwartz CF, Grossi EA, Ribakove GH, Ursomanno P, Gogoladze G, Culliford AT, Galloway AC, Grossi EA : Ten-year results of folding plasty in mitral valve repair, *Ann Thorac Surg*, 89, 485-488 (2010)
- [6] Verma S, Mesana TG : Mitral-valve repair for mitral-valve prolapse, *N Engl J Med*, 36, 2261-2269 (2009)
- [7] Kanemoto I, Shibata S, Noguchi H, Chimura S, Kobayashi M, Shimizu Y : Successful mitral valvuloplasty for mitral regurgitation in a dog, *Nihon Juigaku Zasshi*, 52, 411-414 (1990)
- [8] Buchanan JW, Sammarco CD : Circumferential suture of the mitral annulus for correction of mitral regurgitation in dogs, *Vet Surg*, 27, 182-193 (1998)
- [9] Griffiths LG, Orton EC, Boon JA : Evaluation of techniques and outcomes of mitral valve repair in dogs, *J Am Vet Med Assoc*, 224, 1941-1945 (2004)
- [10] Borenstein N, Daniel P, Behr L, Pouchelon JL, Carbognani D, Pierrel A, Macabet V, Lacheze A, Jamin G, Carlos C, Chetboul V, Laborde F : Successful surgical treatment of mitral valve stenosis in a dog, *Vet Surg*, 33, 138-145 (2004)
- [11] Orton EC, Hackett TB, Mama K, Boon JA : Technique and outcome of mitral valve replacement in dogs, *J Am Vet Med Assoc*, 226, 1508-1511 (2005)
- [12] Behr L, Chetboul V, Sampedrano CC, Vassiliki G, Pouchelon JL, Laborde F, Borenstein N : Beating heart mitral valve replacement with a bovine pericardial bioprosthesis for treatment of mitral valve dysplasia in a Bull Terrier, *Vet Surg*, 36, 190-198 (2007)
- [13] Kanemoto I, Taguchi D, Yokoyama S, Mizuno M, Suzuki H, Kanamoto T : Open heart surgery with deep hypothermia and cardiopulmonary bypass in small and toy dogs, *Vet Surg*, 39, 674-679 (2010)
- [14] Uechi M, Mizukoshi T, Mizuno T, Mizuno M, Harada K, Ebisawa T, Takeuchi J, Sawada T, Uchida S, Shinoda A, Kasuya A, Endo M, Nishida M, Kono S, Fujiwara M, Nakamura T : Mitral valve repair under cardiopulmonary bypass in small breed dogs, *J Am Vet Med Assoc*, 240, 1194-1201 (2012)
- [15] Yamano S, Uechi M, Tanaka K, Hori Y, Ebisawa T, Harada K, Mizukoshi T : Surgical repair of a complete endocardial cushion defect in a dog, *Vet Surg*, 40, 408-412 (2011)
- [16] 金本 勇 : 僧帽弁閉鎖不全症の外科的治療法, *獣医畜産新報*, 58, 509-516 (2005)
- [17] 金本 勇 : 茶屋が坂動物病院の心臓外科への挑戦, *獣医畜産新報*, 63, 801-840 (2010)
- [18] Uechi M, Harada K, Mizukoshi T, Mizuno T, Mizuno M, Ebisawa T, Ohta Y : Surgical closure of an atrial septal defect using cardiopulmonary bypass in a cat, *Vet Surg*, 40, 413-417 (2011)
- [19] Uechi M : Mitral valve repair in small breed dogs, *Journal of Veterinary Cardiology*, 14, 185-192 (2012)
- [20] Takashima K, Soda A, Tanaka R, Yamane Y : Long-term clinical evaluation of mitral valve replacement with porcine bioprosthesis valves in dogs, *J Vet Med Sci*, 70, 279-283 (2008)
- [21] Doenst T, Borger MA, David TE : Long-term results of bioprosthesis mitral valve replacement : the pericardial perspective, *J Cardiovasc Surg*, 45, 449-454 (2004)
- [22] Gammie JS, Sheng S, Griffith BP, Peterson ED, Rankin JS, O'Brien SM, Brown JM : Trends in mitral valve surgery in the United States : results from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database. *Ann Thorac Surg*, 87, 1431-1437 (2009)
- [23] Calafiore AM : Choice of artificial chordae length according to echocardiographic criteria, *Ann Thorac Surg*, 81, 375-377 (2006)
- [24] Morimoto H, Tsuchiya K, Nakajima M, Akashi O, Kato K : Mitral valve repair for extended commissural prolapse involving complex prolapse, *Asian Cardiovasc Thorac Ann*, 15, 210-213 (2007)
- [25] Gillinov AM, Tantiwongkosri K, Blackstone EH, Houghtaling PL, Nowicki ER, Sabik JF 3rd, Johnston DR, Svensson LG, Mihaljevic T : Is prosthetic annuloplasty necessary for durable mitral valve repair?, *Ann Thorac Surg*, 88, 76-82 (2009)
- [26] Komeda M, Glasson JR, Bolger AF, Daughters GT 2nd, Niczyporuk MA, Ingels NB Jr, Miller DC : Three-dimensional dynamic geometry of the normal canine mitral annulus and papillary muscles, *Circulation*, 94, 159-163 (1996)
- [27] Tsakiris AG, Von Bernuth G, Rastelli GC, Rastelli GC, Bourgeois MJ, Titus JL, Wood EH : Size and motion of the mitral valve annulus in anesthetized intact dogs, *J Appl Physiol*, 3, 611-618 (1971)
- [28] Jensen MO, Jensen H, Smerup M, Levine RA, Yoganathan AP, Nygaard H, Hasenkam JM, Nielsen SL : Saddle-shaped mitral valve annuloplasty rings experience lower forces compared with flat rings, *Circulation*, 118, S250-255 (2008)
- [29] Detter C, Aybek T, Kupilik N, Fischlein T, Moritz A : Mitral valve annuloplasty : comparison of the mural annulus shortening suture (MASS) with the Carpentier-Edwards prosthetic ring, *J Heart Valve Dis*, 9, 478-486 (2000)
- [30] Duebener LF, Wendler O, Nikoloudakis N, Georg T, Fries R, Schäfers HJ : Mitral-valve repair without annuloplasty rings : results after repair of anterior leaflet versus posterior-leaflet defects using polytetrafluoroethylene sutures for chordal replacement, *Eur J Cardiothorac Surg*, 17, 206-212 (2000)
- [31] Nishida M, Uechi M, Kagawa Y, Mizukoshi T, Mizuno M, Mizuno T, Harada K : Evaluation of expanded polytetrafluoroethylene used in mitral valve repair in dogs, *J Vet Cardiol*, 14, 307-312 (2012)
- [32] Revuelta JM, Garcia-Rinaldi R, Gaité L, Val F, Garijo F : Generation of chordae tendineae with polytetrafluoroethylene stents. Results of mitral valve chordal replacement in sheep, *J Thorac Cardiovasc Surg*, 97, 98-103 (1989)
- [33] Kobayashi J, Sasako Y, Bando K, Minatoya K, Niwaya K, Kitamura S : Ten-year experience of chordal replacement with expanded polytetrafluoroethylene in mitral valve repair, *Circulation*, 102, 30-34 (2000)

- [34] Minatoya K, Okabayashi H, Shimada I, Ohno N, Nishina T, Yokota T, Takahashi M, Ishihara T, Hoover EL : Pathologic aspects of polytetrafluoroethylene sutures in human heart, *Ann Thorac Surg*, 61, 883-887 (1996)