

Overlapping 型左室形成術と僧帽弁複合体形成術の試み

松居 喜郎

Matsui Y: **Surgical treatments for ischemic cardiomyopathy and ischemic mitral regurgitation.** J Jpn Coron Assoc 2006; 12: 231-235

I. はじめに

虚血性・非虚血性難治性心不全に対する外科治療としては、心筋障害を惹起する冠動脈、弁膜症に対する可及的血行再建、僧帽弁輪過縫縮などの治療のほかに、人工心臓、再生医療、代用心筋などがある。いずれの治療法も急速な進歩をとげているが、臨床応用上未だ満足すべき治療法には至っていない。また、心臓移植は最終的な治療法と考えられるが、現在までの多くの努力にもかかわらず、主にドナー不足から本邦では未だ一般的な治療法ではない。

左室形成術はリモデリングなどにより拡大、変形した心臓を縮小し楕円体にするこゝで、壁応力を低下させ心機能効率を改善させる治療法である。種々の左室形成術が報告されているが、左室容積の縮小のみならず形態の是正が重要である。特に虚血性心筋症では akinesis あるいは dyskinesis 領域を exclusion することで心機能回復が望め、左室形成術の意義は大きい。

また、合併する僧帽弁閉鎖不全症がその予後に強く影響することが良く知られており、長期にわたる制御が重要である。僧帽弁閉鎖不全症のメカニズムが比較的最近明らかになり、心拡大に伴う弁尖の tethering がその主因とされた。僧帽弁輪過縫縮のみでは tethering は改善されず遠隔期の逆流再発が報告されており、僧帽弁輪、腱索、乳頭筋の僧帽弁複合体へのアプローチが必要と思われる。

虚血性・非虚血性心筋症は心筋そのものの病気であり、最終手段としては心臓移植あるいは人工心臓置換しかない。しかし著明な低心機能例でも左室形成術などにより症状が改善することが多く、長期予後は未だ不明であるが、少なくともこれらの治療へのブリッジとして重要な選択枝のひとつである。

II. 種々の左室形成術

1. 左室瘤に対する左室形成術

左室形成術は心筋梗塞後左室瘤に対する切除術式として

開発されてきた。左室瘤切除術の術式として、1959年に Cooley が報告した linear aneurysmectomy¹⁾が、現在でも dyskinesis の大部分が左室自由壁に限局している場合に用いられる。しかし前壁中隔も癒着化していることが多く、中隔の処置として endoventricular patch repair が Jatene²⁾, Dor³⁾, Cooley⁴⁾ によりほぼ同時期に報告され、septal exclusion としてよりシンプルである Dor 手術が採用されている⁵⁾。一方、septal exclusion をパッチを用いず行う方法も比較的古くから行われている。この場合、左前下行枝領域の血行再建不要例では中隔、冠動脈ごとの縫合閉鎖が可能だが⁶⁾、多くの場合前下行枝は側副血行の供給源としても重要で血行再建を要する。Guilmet らは左前下行枝を温存し左室を切開、左側切開線を前壁中隔の梗塞と健常部の境界に直接縫着し、さらに右側切開線と左側切開線を閉鎖して補強する方法を提唱⁷⁾、Calafiore らもその有効性を⁸⁾、Saga らも同様な方法を報告している⁹⁾。

2. 虚血性心筋症に対する左室形成術

上記左室形成術、特に Dor 手術は最近では広範囲にわたり akinesis 領域を有する虚血性心筋症 (ischemic cardiomyopathy; ICM) に対しても応用されている¹⁰⁾。Dor 手術は癒着化した左室中隔の exclusion と encircling purse-string により左室縮小を行う優れた術式であるが、パッチにより比較的広範な akinetic 領域を生じ、術後心臓が心尖のつぶれた球型を呈することがあり、心筋の収縮効率の低下や、遠隔期での僧帽弁閉鎖不全症増悪がみられるとされる¹¹⁾。このことから心臓形態を保つため Isomura, Suma らは楕円形のパッチを縦方向に用いる septal anterior ventricular exclusion (SAVE) 法を開発し良好な成績を報告している¹²⁾。後述するわれわれの overlapping 法は主に前壁中隔梗塞病変をもつ症例に septal exclusion を直接閉鎖で行う方法であり、独自の心室サイザーを用い心室形態が楕円となるように形成する。心室瘤に対する Guilmet らの方法と異なるのは、梗塞部位で広く心室を覆うと心室の動きが制限されるため、exclusion 部断端は心室縫合部に重なるように補強として用いることである。

3. 非虚血性心筋症に対する左室形成術

1996年 Batista らが左室縮小手術として partial left ven-

北海道大学病院循環器外科 (〒060-8648 札幌市北区北 14 条西 5 丁目)

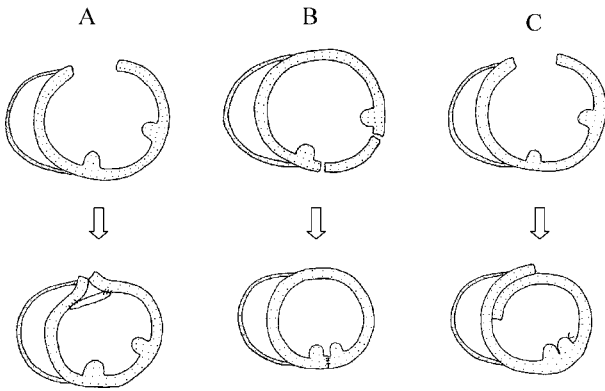


図1 Dor手術(A), Batista手術(B), Overlapping型左室形成術(C)のシェーマ

A: パッチにより前壁-中隔部で左室縮小を行う。基本的にはCooley手術, SAVE手術と同じコンセプト。
B: 側壁を広範に切除し直接閉鎖。
C: 前壁を切開するが心筋切除は行わず心尖部を中心に巻き込む形をとる。前後乳頭筋接合術も施行する。図はNIDCMに対する術式。

tricolotomyを報告して以来¹³⁾, 多くの追試が行われているが, 必ずしも成績は良好ではなく, 現在では一般的手術手技ではなくなっている¹⁴⁾. Isomura, Sumaらは非虚血性心筋症(non-ischemic dilated cardiomyopathy; NIDCM)症例でも病変に局在がみられることに注目し, 特に側壁病変ではBatista手術, また前壁中隔病変ではCooleyらの心室瘤に対するseptal exclusion法に準じ, SAVE手術を開発し応用している¹⁵⁾. われわれは2001年, 左心室を切除せず心尖部を二重に巻き込む形態とするoverlapping型左室形成術(overlapping ventriculoplasty; OLVP)を開発しNIDCM症例に応用した¹⁶⁾. さらに遠隔期の僧帽弁逆流などに対する術式として乳頭筋接合術(papillary muscles approximation; PMA)を施行し, 両者の組合せを症例に応じて用いている¹⁷⁾. これらの新しい術式はNIDCMに対する術式として考えられたものであるが, 前述したように最近ではICMにも応用している(図1).

III. 左室形成術のコンセプト

1. Laplaceの定理

Batistaらによる左室縮小手術のコンセプトはLaplaceの定理により説明される. すなわち壁応力は内径に比例し, 壁厚に反比例することから, 心筋切除による内径縮小に伴う壁応力低下により心筋酸素消費量が低下する. われわれのoverlapping型左室形成術では左室内径の減少とともに, 特に壁厚の薄い心尖部を二重にすることで壁応力を効率よく低下させることが可能と考えられる.

2. 心筋線維走行のらせん構造

Torrent-Guasp, Buckbergらは心筋線維の走行の観点から楕円体の有利性を強調している¹⁸⁾. 左室は1本の筋束による二重のらせん構造からなり, その筋束の収縮と伸展によりらせんに捩れが生じ, 筋束の短縮による血液駆出,

伸展で血液流入という心臓の収縮拡張運動となる. 一定の心筋収縮においては心室は楕円体であることがこの駆出流入の効率を最も高める形であり, リモデリングにより球体に近づくと効率は低下する. この考えに基づけば左室形成においては左室容積の減少だけではなく, 同時に形態を可能な限り楕円体にすることが心機能改善に重要なこととなる. また, 単なるakinetic領域の切除もしくはexcludeによる容積減少では筋束の連続性を断ち, らせんからなる心収縮の動きを妨げることに繋がる.

3. 拡大心における僧帽弁逆流(mitral regurgitation; MR)

左室のリモデリングは虚血性, 非虚血性心筋症にかかわらず, 僧帽弁閉鎖不全症(MR)を引き起こしその予後の重要な増悪因子となる. 特に虚血性では運動により誘発される逆流程度が予後に関係があり, 必ずしも安静時逆流程度と一致しないとされるため, 重症心不全治療において逆流が存在すれば程度に関係なく積極的治療を考慮すべきである¹⁹⁾. 左室拡大により前後乳頭筋は側方に偏位し乳頭筋附着部間の距離が広がり, かつ心尖方向に牽引される. その結果, 弁尖のtetheringが生じ心尖側へ偏位するのがその主な成因である²⁰⁾. このようなMRに対する弁形成に際し, 僧帽弁輪の過縫縮(undersized mitral annuloplasty)が有効とされている²¹⁾が, これのみではtetheringは改善されずMRの残存あるいは遠隔期でのMR増悪例が認められる^{22,23)}. このためchordal cutting法²⁴⁾, papillary muscles sling²⁵⁾, 弁尖延長²⁶⁾, saddle shape ring, infarct plication²⁷⁾, 後乳頭筋 relocation²⁸⁾など, さまざまな付加手術が報告されている. われわれはoverlapping型左室形成術施行時全例に僧帽弁輪過縫縮を施行したが, 24/26 mmリングを用いて弁輪を縫縮するとともに, 最近では乳頭筋を寄せ合わせるPMAを併用した. PMAにより乳頭筋の側方への偏位が改善, tetheringが軽減し僧帽弁逆流が漸減するとされるが²⁵⁾, これにoverlapping型左室形成術による心尖前後方向への容量縮小が加わり, さらに弁尖接合が改善し可動性も良好になると思われた²⁹⁾. また, 左室形態の点から見ると, PMAにより拡大した乳頭筋附着部間距離が短縮, その結果後壁が短軸中心部に寄り, 心基部に近い後壁での容積縮小効果が得られ³⁰⁾, overlapping型左室形成術での心尖部の容積縮小効果に加え, より楕円体の左室形態形成が得られる利点がある.

IV. われわれの左室形成術

1. Overlapping ventriculoplasty

現在われわれは主に上記の3つのコンセプトに基づき左室形成術を行っている. われわれのoverlapping型左室形成術は, 当初非虚血性拡張型心筋症に対して用いられた¹⁵⁾. そのコンセプトはviableな心筋を切除せず, 主要な冠動脈を損傷しないこと, 左室縮小による壁応力低下をめざし, 球型になった心筋を楕円体に近づけることである. さらに心室内腔からexclusionされたviableな心筋は切除

されることなく代用心筋のごとく心臓を外部から被覆補助し、左室再拡大予防効果(girdling effect)をも期待した術式である。すなわち、重ねられた心筋は壁運動へ関与するとともに心筋壁厚増加による壁張力減少、収縮後負荷の減少を期待され、心筋収縮力増加につながると考えられる。また、心筋を切除しないため左室縮小が過度となった場合、左室縫合部を解除し再構築が可能である(図2)。

ICMに対してわれわれはDor手術を従来用いていたが、NIDCMに対する本術式の有用性を確認、前述した理由から適応をICMに拡大した。左室切開線を前壁中隔に縫着し、右側切開線は左側切開線を覆うように左室前側壁にオーバーラップさせ縫着させることで、無収縮野を作らず心尖が残り、楕円体の左室が形成される。前壁中隔が貫壁性梗塞である症例では、exclusionした部分を広範にオーバーラップさせた際に健常部分もrestrictiveになる可能性があるため縫合部の補強程度としている¹⁷⁾。また、前壁中隔が完全に貫壁性に虚血になっておらず、部分的にでも冠動脈再建により心筋収縮に期待できる場合はNIDCMと同様に症例に応じた範囲でオーバーラップさせ、前述の補助効果を期待している。また、最近では前述したようにtethering effectに対しPMAを行い、従来のoverlapping型左室形成術と組み合わせてintegrated overlapping ventriculoplastyとし基本術式としているが¹⁷⁾、心臓の拡大の程度、病変局在位置、tetheringの程度などで術式を変更している。また、PMA単独例では乳頭筋への到達経路として、左室切開アプローチ、大動脈弁置換併施例では経大動脈、経僧帽弁前尖弁輪切開と工夫し、最近では独自

の心室鉤を作製し経僧帽弁で比較的容易に乳頭筋へアプローチ可能となった。

2001年9月より2006年7月までNIDCM 37例、ICM 25例、計58例に対し、OLVP単独15例、OLVP+PMA 31例、PMA単独8例を施行した。30日以内急性死亡は緊急例で3例を敗血症、脳梗塞で失った。術前後比較可能例では術前後で駆出率 $22\pm 9 \rightarrow 32\pm 10\%$ 、左室拡張終期容量係数 $174\pm 66 \rightarrow 122\pm 40 \text{ ml/m}^2$ 、左室拡張終期内径 $72\pm 9 \rightarrow 64\pm 7 \text{ mm}$ と有意に改善。原則的に抗不整脈剤を用い、術後新たな重症不整脈は経験していない。長期成績が待たれる。

2. 僧帽弁複合体形成術の試み(mitral complex reconstruction)

前述したとおり、PMAにより僧帽弁へのtethering改善効果は良好となった。しかしさらに長期を考慮した場合、心臓の再拡大に伴い後壁の伸展によりtetheringは増悪することが考えられる。そこでわれわれは最近、PMA後乳頭筋腱索附着部にexpanded polytetrafluoroethylene (ePTFE)糸(CV4)をかけ、後尖弁輪部中央を通し、さらに人工弁輪を通し、水テストで前尖、後尖の接合部が弁輪平面と同等になるまで乳頭筋を引き上げる術式を追加している。この方法で弁輪と乳頭筋腱索附着部の距離が変わらなくなり、tetheringの増悪を防ぎうると考えている(図3)。

V. おわりに

左室形成術は、適応、さまざまな術式の比較評価、長期予後などの点で未だ検討の余地が残されているが、著明な

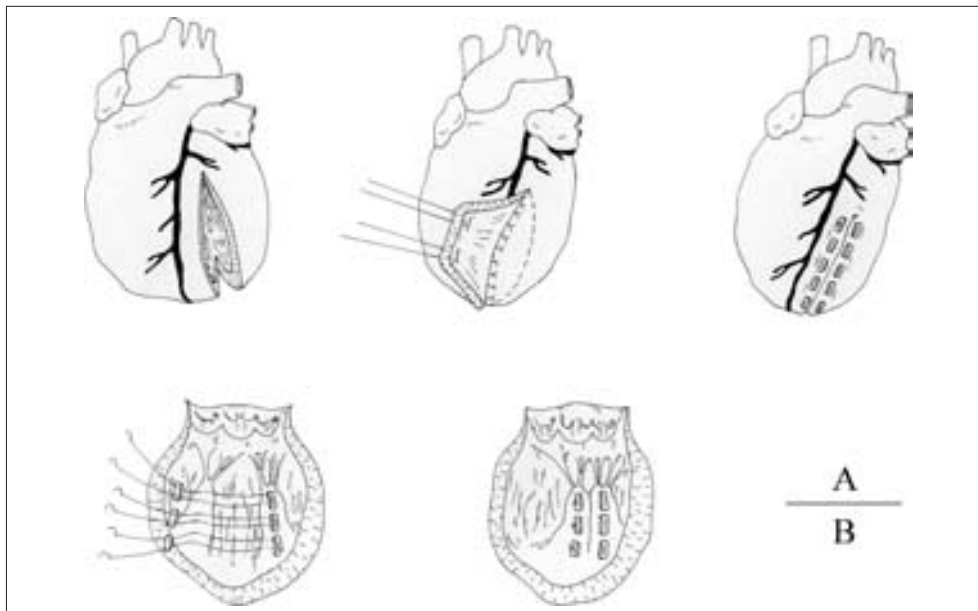


図2 Overlapping型左室形成術(A)と乳頭筋接合術(B)
 A: 左室自由壁を中隔に縫着しexclusionされた心筋の一部をオーバーラップさせる形で左室自由壁に縫着する。
 B: 後方乳頭筋偏位に対し後壁左室縮小による後壁の前方移動、側方乳頭筋偏位に対して中央への乳頭筋収束により、遠隔期での心臓再拡大時tetheringによるMR再発を予防する。

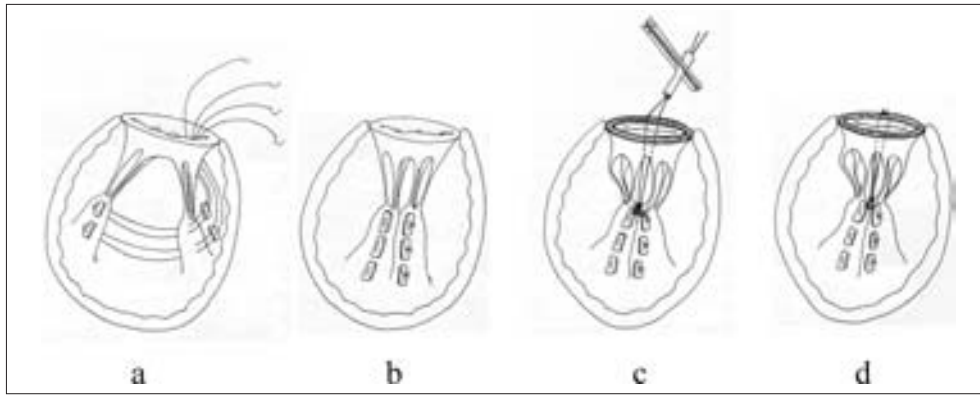


図3 Mitral complex reconstruction

- a : 経僧帽弁あるいは経心室切開で前後乳頭筋にプレジレット付マットレス縫合を行う。
 b : PMA 完成。
 c : 腱索附着部に ePTFE 糸 (CV4) をかけ後尖弁輪中央部を通し、さらに人工弁輪を通したのち snare にて把持する。
 d : 水テストでやや心房側に弁腹が突出する位置で ePTFE 糸を結紮する。

低心機能例でも術後症状が改善することが多く、心拡大、特に球形の左室拡張を伴った MR を呈する ICM あるいは NIDCM に対して、左室容積減少、左室機能改善が得られ、また、術後左室形態を改善することから、遠隔期成績も期待できる重症心不全に対する有効な外科的アプローチのひとつであると考えられる。

文 献

- 1) Cooley DA, Henly WS, Amad KH, Chapman DW: Ventricular aneurysm following myocardial infarction: results of surgical treatment. *Ann Surg* 1959; **150**: 595-612
- 2) Jatene AD: Left ventricular aneurysmectomy. Resection or reconstruction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1985; **89**: 321-331
- 3) Dor V, Saab M, Coste P, Koaszewska M, Montiglio F: Left ventricular aneurysm: a new surgical approach. *Thorac Cardiovasc Surg* 1989; **37**: 11-19
- 4) Cooley DA: Ventricular endoaneurysmorrhaphy: a simplified repair for extensive postinfarction aneurysm. *J Card Surg* 1989; **4**: 200-205
- 5) Cox JL: Surgical management of left ventricular aneurysm: a clarification of the similarities and differences between the Jatene and Dor techniques. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 1997; **9**: 131-138
- 6) Cooley DA: Repair of postinfarction ventricular aneurysm. *in Techniques in Cardiac Surgery*, 2nd Ed, WB Saunders, Philadelphia, 1984, 240-245
- 7) Guilmet D, Popoff G, Dubois C, Tawil N, Bachet J, Goudot B, Guermonprez JL, Brodaty D, Schlumberger S: Nouvelle technique chirurgicale pour la cure des aneurysmes du ventricule gauche. *Arch Mal Coeur Vaiss* 1984; **77**: 953-958
- 8) Calafiore AM, Gallina S, Di Mauro M, Pano M, Teodori G, Di Giammarco G, Contini M, Iaco AL, Vitolla G: Left ventricular aneurysmectomy: endoventricular circular patch plasty or septoexclusion. *J Card Surg* 2003; **18**: 93-100
- 9) Saga T, Miyamoto T: An alternative technique for the repair of left ventricular aneurysm. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 1999; **7**: 74-75
- 10) Dor V, Sabatier M, Di Donato M, Montiglio F, Toso A, Maioli M: Efficacy of endoventricular patch plasty in large postinfarction akinetic scar and severe left ventricular dysfunction: comparison with a series of large dyskinetic scars. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; **116**: 50-59
- 11) Di Donato M, Sabatier M, Dor V, Gensini GF, Toso A, Maioli M, Stanley AW, Athanasuleas C, Buckberg G: Effects of the Dor procedure on left ventricular dimension and shape and geometric correlates of mitral regurgitation one year after surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; **121**: 91-96
- 12) Isomura T, Horii T, Suma H, Buckberg GD, the RESTORE Group: Septal anterior ventricular exclusion operation (Pacopexy) for ischemic dilated cardiomyopathy: treat form not disease. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006; **29** (Suppl 1): S245-S250
- 13) Batista RJV, Santos JLV, Takeshita N, Bocchino L, Lima PN, Cunha MA: Partial left ventriculectomy to improve left ventricular function in end-stage heart disease. *J Card Surg* 1996; **11**: 96-97
- 14) McCarthy PM, Starling RC, Wong J, Scalia GM, Buda T, Vargo RL, Goormastic M, Thomas JD, Smedira NG, Young JB: Early results with partial left ventriculectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997; **114**: 755-765
- 15) Isomura T, Suma H, Horii T, Sato T, Kikuchi N: Partial left ventriculectomy, ventriculoplasty or valvular surgery for idiopathic dilated cardiomyopathy—the role of intraoperative echocardiography. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; **17**: 239-245
- 16) Matsui Y, Fukada Y, Suto Y, Yamauchi H, Luo B, Miyama M, Sasaki S, Tanabe T, Yasuda K: Overlapping cardiac volume reduction operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; **124**: 395-397
- 17) Matsui Y, Fukada Y, Naito Y, Sasaki S: Integrated overlapping ventriculoplasty combined with papillary muscle pli-

- cation for severely dilated heart failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; **127**: 1221-1223
- 18) Buckberg GD, Coghlan HC, Torrent-Guasp F: The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. VI. Geometric concepts of heart failure and use for structural correction. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2001; **13**: 386-401
 - 19) Lancellotti P, Troisfontaines P, Toussaint AC, Pierard LA: Prognostic importance of exercise-induced changes in mitral regurgitation in patients with chronic ischemic left ventricular dysfunction. *Circulation* 2003; **108**: 1713-1717
 - 20) Otsuji Y, Handschumacher MD, Schwammenthal E, Jiang L, Song JK, Guerrero JL, Vlahakes GJ, Levine RA: Insights from three-dimensional echocardiography into the mechanism of functional mitral regurgitation. Direct *in vivo* demonstration of altered leaflet tethering geometry. *Circulation* 1997; **96**: 1999-2008
 - 21) Bolling SF, Pagani FD, Deeb GM, Bach DS: Intermediate-term outcome of mitral reconstruction in cardiomyopathy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; **115**: 381-386
 - 22) Calafiore AM, Gallina S, Di Mauro M, Gaeta F, Iaco AL, D'Alessandro S, Mazzei V, Di Giammarco G: Mitral valve procedure in dilated cardiomyopathy: repair or replacement? *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 1146-1153
 - 23) Qin JX, Shiota T, McCarthy PM, Asher CR, Hail M, Agler DA, Popovic ZB, Greenberg NL, Smedira NG, Starling RC, Young JB, Thomas JD: Importance of mitral valve repair associated with left ventricular reconstruction for patients with ischemic cardiomyopathy: a real-time three-dimensional echocardiographic study. *Circulation* 2003; **108** (Suppl 1): II241-II246
 - 24) Messas E, Pouzet B, Touchot B, Guerrero JL, Vlahakes GJ, Desnos M, Menasche P, Hagege A, Levine RA: Efficacy of chordal cutting to relieve chronic persistent ischemic mitral regurgitation. *Circulation* 2003; **108** (Suppl 1): III11-III15
 - 25) Hvass U, Tapia M, Baron F, Pouzet B, Shafy A: Papillary muscle sling: a new functional approach to mitral repair in patients with ischemic left ventricular dysfunction and functional mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2003; **75**: 809-811
 - 26) Kincaid EH, Riley RD, Hines MH, Hammon JW, Kon ND: Anterior leaflet augmentation for ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2004; **78**: 564-568
 - 27) Liel-Cohen N, Guerrero JL, Otsuji Y, Handschumacher MD, Rudski LG, Hunziker PR, Tanabe H, Scherrer-Crosbie M, Sullivan S, Levine RA: Design of a new surgical approach for ventricular remodeling to relieve ischemic mitral regurgitation: insights from 3-dimensional echocardiography. *Circulation* 2000; **101**: 2756-2763
 - 28) Kron IL, Green GR, Cope JT: Surgical relocation of the posterior papillary muscle in chronic ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2002; **74**: 600-601
 - 29) Matsui Y, Suto Y, Shimura S, Fukada Y, Naito Y, Yasuda K, Sasaki S: Impact of papillary muscles approximation on the adequacy of mitral coaptation in functional mitral regurgitation due to dilated cardiomyopathy. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2005; **11**: 164-171
 - 30) Nair RU, Williams SG, Nwafor KU, Hall AS, Tan LB: Left ventricular volume reduction without ventriculectomy. *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 2046-2049