虚血性心筋症に対する左室形成術

磯村 正

Isomura T: **Surgical treatment for ischemic cardiomyopathy: left ventricular restoration.** J Jpn Coron Assoc 2012; 18: 67-73

I. はじめに

これまで左室形成術は1980年代から心室瘤に対して報告されていた^{1,2)}。心臓移植が末期的な心疾患，ことに心筋症に対しての唯一の外科治療法として行われるも，現状ではドナー不足から心臓移植待機中に死亡する例も少なくなく，重症心不全心に対する内科的，外科的治療が模索され施行されてきている。心筋症のうち虚血性心筋症(akinesis, ICM)とは慢性期の病変で，左心室が瀰漫性に無収縮を示し左室駆出力(LVEF)が30%未満のものと定義され，左室全体の収縮機能障害を生じた，虚血による末期的心筋障害とされる。そのため，左室瘤(dyskinesis)と異なり，限局性病変は認められない。さらに進行すると前壁中隔梗塞では左室拡大に伴い，後下壁梗塞では比較的早期から僧帽弁輪の拡大とともに乳頭筋の変位により tethering のため僧帽弁逆流(MR)が発生するようになる。

近年は心筋虚血の急性期にLAD領域の虚血あるいはカテーテルインターベンションなどにより虚血が改善したにもかかわらず経年的な左室のremodelingが進行したり，糖尿病に合併する無症候性心筋虚血により初発でICMの心不全症状によるものがあり，完成したICMでは初期の病変が不明なこともある。

ICMの場合，虚血の改善のためにCABGのみを行っても長期予後が不良なことはすでに明らかとなり³⁾(図1)，高度に拡張した左室機能障害ではCABGに左室形成術(LVR)さらには僧帽弁手術(MVP)を併施することが必要である。近年米国のSTICH trial⁴⁾ではCABGに左室形成術を加えることの予後改善効果に有意性を認めないと報告したが，その後の種々の検討によりSTICH trialの手術法，検討に問題があると指摘する報告が多くみられている⁵⁾。筆者らもICMにおけるLVRの有意性を以前から認めており，LVRの適応として，ESVI 80 ml/m²以上としている。そのため，ICMでの左室形成術について，内科医，外科医とも，適応，手術法，予後を知ることは重要

である。

II. 左室障害を同定するための術前検査

左室の瀰漫性無収縮に対し，左室機能障害の部位を同定することが困難なことも少なくない。通常の心エコーや，RIシンチ，左室造影検査以外に，MRI，心エコーのカラーキネシス法，心エコーでのspeckle tracking法により，無収縮，線維化の部位や心筋の収縮，synchronicityが容易に解析できるようになってきた⁶⁾(図2)。

1. MRI

1990年代から心筋梗塞後の心筋障害に対してMRIによる心筋梗塞の瘢痕，進展を見ることができるようになり，心エコーや左室造影よりも質的な診断がより正確にできるようになり，さらに左室内の血栓の存在も診断されるようになってきた。

造影MRIを用いることによりさらに線維化の範囲が正確に示されるようになってきた⁷⁾。

2. カラーキネシスエコー⁸⁾

本検査法は筆者らが2000年にDCMの術中所見として報告したもので人工心肺接続後に左室容量減少により左室の動きをカラーで見えるもので左室容量の変化により心筋のviabilityを同定しようとしたものである。術前の検査では左室容量の変化による検査はできないが収縮の正常な部位を同定することは可能である。

3. Speckle tracking echo^{9,10)}(図2)

Vivid 7心エコーを用いて検査を行い，単軸方向の画像で，乳頭筋レベルの中央を中心に，心尖部から心基部まで，広範囲に壁運動の観察が可能で，EchoPAC plat form (2DS-soft ware package, version 7, GE medical system)により分析し，8分割した壁運動のstrainを描出することで，収縮の程度，各壁運動の協調性(dyssynchronyの有無)も観察可能である。Strainは長軸，単軸方向に描出でき，術前，術後遠隔期の検出が侵襲なく繰り返し可能でありICM症例での検査では最も有用な検査法と考えられる。

図1 左室駆出率35%以下の57例に単独CABGを施行した場合の長期成績で5年生存率56%, 10年生存率20%と遠隔成績は不良であった。文献3より改編。

図2 左室駆出率低下例での単独CABGと遠隔予後
術前、術後の心エコーでのspeckle tracking所見：中隔側のakinesisが強くSAVE手術の適応とされた。術後所見(下)では左室は縮小され、akinesisの部分は小さくなっている。

III. 手術の手順

胸骨正中切開後、上行大動脈を送血路とし、脱血は僧帽弁や三尖弁形成を行うものでは上下大静脈の2本脱血とし、弁形成を必要としないものでは右房からの1本脱血とする。

ICMでは低左心機能を伴っており、術中の心筋保護は

重要である。まず順行性の血液心筋保護(34度 tapid blood K⁺)¹¹⁾を行ったのち、CABG中は20分ごとの順行性、弁形成では逆行性の心筋保護併用により、間歇的に施行する。左室形成では左室内の血栓がないことがわかれば大動脈遮断を解除し、心拍動下に行うと¹²⁾、虚血時間の短縮が可能である。低左心機能での冠血流は体外循環下では拍動流が望ましい。

図3 左室形成術における切開線の模式図と左室の肉眼所見

a. EVCPP 手術 (endoventricular circular patch plasty; EVCPP) における左室切開後の肉眼所見：左室を前下行枝左側に沿って心尖部から 4-5 cm 程度切開し 3 cm 程度の小さなパッチを用いて左室形成を行う。

b. SAVE 手術 (septal anterior ventricular exclusion) での左室切開後の肉眼所見：LAD 閉塞による広範な前壁中隔梗塞で左室住切開は 8-10 cm と長く細長い 8×4 cm 程度のパッチを用いて左室形成術を行う。

c. PRP 手術 (posterior restoration procedure) での後壁切開後の肉眼所見：両側の乳頭筋間で後側壁を部分的に切除し両側乳頭筋は必ず温存し、パッチを補填せずに直接切開線を縫合することにより、拡張した左室の直径を縮小させ長軸方向に形成する。

1. 左室形成術 (図 3)

左室形成術には Dor らが報告した前壁中隔を形成する EVCPP 手術 (endoventricular circular patch plasty; EVCPP)¹³⁾、筆者らが考案した左室前壁中隔を大きく縮小する SAVE 手術 (septal anterior ventricular exclusion)^{14, 15)}、Batista らが報告 (partial left ventriculectomy; PLV)¹⁶⁾ し、筆者らが改良した後壁を切除し形成する PRP 手術 (posterior restoration procedure)⁶⁾ があげられる。

2. EVCPP 手術 (図 3a)

体外循環下に左室切開は心尖部から左前下行枝 (LAD) の左側 2 cm 程度から LAD に平行に通常第 2 対角枝までの切開を行い、左室を展開する。血栓がないことを確認したのちに左室の exclusion line に 2-0 Prolene を用いて連続縫合で fontan stitch を行う。この糸を結紮すると巾着縫合となり、2-3 cm の欠損口が残り同欠損口を閉鎖するために、2×3 cm 程度の小さい hemashield patch を用い縫合閉鎖する。最後に切開した左室心筋を U 字と連続の

2 層で縫合閉鎖する。

3. SAVE 手術¹⁵⁾ (図 3b)

高度に拡大した左室に対し、EVCPP を行くと、左室が球形に形成され、術後の mitral tethering が強くなり MR が発生することがあるために、筆者らは EVCPP より大きい切開で大きな patch を用いて左室を長軸方向に形成を行う術式を考案した。

左室切開は Dor 手術と同様に心尖部 LAD の左側から開始し、LAD に平行に通常第 1 対角枝あるいは超えて心基部方向まで切開を行い、左室を展開する。左室の exclusion line の糸掛は多数の 0-Ticron 結節縫合で行い、左室の容量は LVESVI で最高 100 ml/m² 以上にならないように術前の容量を把握して exclusion line を決める。ついで、長軸は切開線の長さで決定し (7-8 cm 以上)、短軸は 3 cm 程度の幅で長楕円形に hemashield patch をトリミングし縫着する。最後に左室切開の両側を over-over に閉鎖する。

SAVE 手術では左室の容量を小さくすることと、左室の

図4 心筋梗塞後のMRの存在と5年生存率
心筋梗塞後にMRの残存するものでは5年後の予後を悪化することが示された。文献17より改編。

形態を正常に近い楕円形(elliptical)にすることが目的である。

4. PRP手術⁶⁾(図3c)

LAD領域のviabilityが残存し、大きい右冠動脈や回旋枝の傷害により後下壁に障害を来した場合、前壁側を切開することはできない。切開線は心尖部を温存し、心尖部から2cm後壁側を乳頭筋に注意しながら、両側乳頭筋間の左室後側壁の心筋を切除するPRPを筆者は考案した。その後切開切除した左室後側壁の心筋を2層に縫合閉鎖する。この際、ICM例では心筋の線維化と混在し心筋が極めてもろくはないものの、稀弱なときは両側にfeltを用いる必要がある。左室の直径は左室心筋を切除した部分に縫合する幅だけ縮小され、形態は長軸方向に楕円形に形成される。

IV. 合併手術

a)冠動脈バイパス術：すでにカテーテルインターベンションなどにより、虚血の改善されているものもあるが、多枝病変では、可及的に冠動脈完全血行再建を行う。ICM例ではLADに病変があり、前壁のみならず中隔の虚血を改善することが術後の心機能の改善につながるため、必ずLADへの血行再建は必要である。

b)僧帽弁形成術：虚血によるMRも心機能障害の少ないものにおいても予後不良とする報告は多く¹⁷⁾(図4)、ICMに伴うMRの手術適応はMR2度以上あるいは心不全発症時高度で、安定した時期に1-2度に改善したものはMVPを併施すべきと考えられる。

僧帽弁閉鎖不全は麻酔導入時に軽減されていることがあり、MRの残存により術後の心不全症状が急速に悪化するため、2度以上の例では、積極的な僧帽弁形成術(MVP)が望ましい。リングによる弁輪形成では、交連部のサイ

ジングにより実際の計測サイズより1-2 undersized ring (CEPリング)か、just sizeのETlogixリングを選択する。それよりも小さいリングを選択すると前尖のひずみが大きくなる。本病態におけるMRはfunctional MRであり、病因は左室拡大によるmitral tetheringであり、tethering高度な例では左室切開後、両側の乳頭筋を縫合するか、2nd chordalあるいはbasal chorda cuttingなどを組み合わせることで施行し、tetheringによるMRの再発を防ぐことが重要である。近年、機能性MRのリング形成のみでは再発がリングにより後尖のtetheringが増強するためとする報告がみられ^{18, 19)}、弁下部組織の手術が必要とされるものも少なくない^{20, 21)}。

c)心室性不整脈に対する左室内膜冷凍凝固術：周術期あるいは遠隔期の予後を左右する因子として心室性不整脈が上げられているが、ICMの場合、心内膜梗塞後の変化として白色調の肉眼的変化を示すことも少なくない。この場合には正常心筋との境界部に-80°Cでの冷凍凝固による不整脈治療を施行すべきであり、また、術前にVTの既往や不整脈の部位同定がされているものでは同部位の冷凍凝固が効果的である。また、PRPでは後壁の切開線から僧帽弁輪の間にmacro-reentryが生じることが考えられるため、この間には冷凍凝固を行っている。Dorらの不整脈に対する報告²²⁾では左室切開後全周性に心内膜側の冷凍凝固を施行することで高頻度に術後の不整脈の発生は抑制されるとしている。

V. 手術成績

左心室瘤に対する左室形成術は1980年代からみられるようになり、同時にICMに対してもDorらは1980年代から左室形成術を行っていた²⁾が、彼らが1998年に心臓移植に代わりうる治療法としてその長期予後を報告¹⁴⁾

図5 Dyskinesis(左室瘤)と akinesis(虚血性心筋症)における EVPP 後の長期予後

Dyskinesis(左室瘤)と akinesis(心筋症)での左室形成術後の遠隔成績ではともに良好で有意差はなく、心筋症においても左室形成術は有効であった。文献 13 より改編。

図6 STICH trial における CABG 単独と CABG+SVR の 5 年生存率

STICH trial で単独 CABG と CABG に SVR を加えた群との間に心事故、死亡率に 5 年間では有意差はみられなかった。文献 4 より改編。

(図 5) して以来世界中で追試されるようになり、その効果が認められるようになった。左室形成術と僧帽弁逆流の関係については EVCPP 後の MR の発生についての報告が多くみられる。Di Donato ら²³⁾は EVCPP を施行した 44 例中 17 例で MR が遠隔期に認められ、これらのうち 14 例には術前の MR はなかったことが示され、Otuji らの示す左室の変化による functional MR の発生によるものと考えられる¹⁹⁾。1986 年には McKay ら²⁴⁾は 40% 以上の梗塞領域が起これると左室の remodeling が生じることを示し、その後、拡大した左室に対して CABG のみを行っても長期予後は不良であるとする報告と同時に、CABG 症例で、左室容量と予後の関係を検討し、左室容量が 100 ml/m² を超えるものでは予後の改善が認められないとの報告も示されるようになってきた^{25, 26)}。Dor らの ICM に対する報告以来、左室形成術と単独 CABG での予後の検討がされるようになり、Maxey らも左室形成の有意性を示している²⁷⁾。ことに RESTORE group での報告²⁸⁾では多数の症例で左室形成術により単独の冠動脈バイパス術に比べ予後

の改善が認められることを示した。しかしながら 2009 年米国の大規模 randomized study で左室形成術を施行しても CABG 単独症例と心不全の改善や生命予後改善に効果がないことが示された⁴⁾(図 6)。この trial を分析した結果、当該論文では左室形成術の適応が不明確であり、左室容量の測定を施行したものはわずかで、左室縮小率は 19%にとどまっていた。これまでの左室形成術の有効性を示す報告はすべて 30-58%の縮小率であり、手術適応、不適切な左室縮小術が結果をあいまいにしたものと思われた。筆者らも 1997 年以降 IHD に対する左室形成術を積極的に行い、これまでに 248 例に施行した。これらのうち LVEF 30%未満の diffuse akinesis を示す ICM は 171 例であった。術前の NYHA は全例 3 度以上、4 度 60 例、これらのうちカテコールアミン依存 40 例で、緊急手術 25 例であった。左室形成術は 1998 年以降 SAVE 手術を、2006 年以降 PRP を追加し、98 例に EVCPP 手術、58 例に SAVE 手術、15 例に PRP を施行した。同時手術は CABG 143 例、MVP 86 例、左室冷凍凝固 75 例であった。病院死

図7 虚血性心筋症 90 例での左室縮小率、左室容量と長期生存率
僧帽弁形成術(MVP)を同時施行した 38 例においても術後の ESVI が 90 ml/m^2 以下の群(Group S)では明らかに 90 ml/m^2 以上の群(Group H+L)に比べ遠隔成績の改善を認め SVR では十分な縮小率が必要と考えられた。文献 29 より改編。

亡は待機手術 6 例(4.1%)で 158 例の生存退院例で NYHA 1-2 度 126 例, 3 度 7 例, 遠隔期死亡は 20 例で, 原因は CHF 11 例, VT 7 例, 非心臓死 2 例であった。Dor 手術と SAVE 手術を使い分けた後の遠隔予後では, 左室を大きく exclusion する SAVE 手術で手術死亡率を上げることなく遠隔期予後の改善を認めた。さらに近年 90 例で術前術後の左室容量を正確に計測し, 左室形成を縮小率 33% 以上で行い, 術後の ESVI が 90 ml/m^2 以下にすることで長期予後が大きく改善することを報告し²⁹⁾(図 7), ICM で拡大した左室を十分に縮小することが長期遠隔予後に大きくかわると考えられた。

VI. おわりに

虚血により拡大した左室に対する左室形成術は長期成績を改善するのに有用な手術法であり, 左室形成術により, 十分な左室の縮小, 左室の形態を形成するために, EVCPP, SAVE, PRP の術式を使い分けることが必要で重要である。左室形成術の適応を明確にし, 適切な術式により十分な縮小率を得ることにより遠隔期においても左室縮小効果がもたらされる。

文 献

- 1) Cooley DA: Ventricular endoaneurysmorrhaphy: a simplified repair for extensive postinfarction aneurysm. J Card Surg 1989; **4**: 200-205
- 2) Dor V, Kreitmann P, Jourdan J, Acar C, Saab M, Coste P: Interest of physiological closure (circumferential plasty on constructive areas) of left ventricle after resection and endocardewctomy for aneurysm or akinetic zone; Comparison with classical technique about a series of 209 left ventricular resections. J Cardiovasc Surg 1985; **26**: 73
- 3) Shah PJ, Hare DL, Raman JS, Gordon I, Chan RK, Horowitz JD, Rosalion A, Buxtonet BF: Survival after myocardial revascularization for ischemic cardiomyopathy: A prospective ten-year follow-up study. J Thorac Cardiovasc Surg 2003; **126**: 1320-1327
- 4) Jones RH, Velazquez EJ, Michler RE, Sopko G, Oh JK, O'Connor CM, Hill JA, Menicanti L, Sadowski Z, Desvigne-Nickens P, Rouleau JL, Lee KL; STICH Hypothesis 2 Investigators: Coronary bypass surgery with or without surgical ventricular reconstruction. N Engl J Med 2009; **360**: 1705-1717
- 5) Buckberg GD, Athanasuleas CL: The STICH trial: misguided conclusions. J Thorac Cardiovasc Surg 2009; **138**: 1060-1064

- 6) Isomura T, Notomi Y, Hoshino J, Fukada Y, Katahira S, Kitamura A, Kondo T, Iwasaki T: Indication of posterior restoration and surgical results in patients with dilated cardiomyopathy. *Eur J Cardiothorac Surg* 2010; **38**: 171–175
- 7) Ogawa M, Doi K, Fukumoto A, Yaku H: Reverse-remodeling after coronary artery bypass grafting in ischemic cardiomyopathy: assessment of myocardial viability by delayed-enhanced magnetic resonance imaging can help cardiac surgeons. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2007; **6**: 673–675
- 8) Isomura T, Suma H, Horii T, Sato T, Kikuchi N: Partial left ventriculectomy, ventriculoplasty or valvular surgery for idiopathic dilated cardiomyopathy - the role of intra-operative echocardiography. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; **17**: 239–245
- 9) Becker M, Hoffmann R, Kühl HP, Grawe H, Katoh M, Kramann R, Bücker A, Hanrath P, Heussen N: Analysis of myocardial deformation based on ultrasonic pixel tracking to determine transmural extent in chronic myocardial infarction. *Eur Heart J* 2006; **27**: 2560–2566
- 10) Popović ZB, Benejam C, Bian J, Mal N, Drinko J, Lee K, Forudi F, Reeg R, Greenberg NL, Thomas JD, Penn MS: Speckle-tracking echocardiography correctly identifies segmental left ventricular dysfunction induced by scarring in a rat model of myocardial infarction. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2007; **292**: H2809–H2816
- 11) Hayashida N, Isomura T, Sato T, Maruyama H, Higashi T, Arinaga K, Aoyagi S: Minimally diluted tepid blood cardioplegia. *Ann Thorac Surg* 1998; **65**: 615–621
- 12) Isomura T, Suma H: On-pump Beating Heart Surgery for Dilated Cardiomyopathy and Myocardial Protection, Blackwell Publishing, 2004, 160–166
- 13) 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
- 14) 磯村 正: 胸部外科学会ビデオライブラリー # 心 36, 日本胸部外科学会雑誌, 2000
- 15) Isomura T, Horii T, Suma H, Buckberg GD, RESTORE Group: Septal anterior ventricular exclusion operation (Pacopexy) for ischemic dilated cardiomyopathy: treat form not disease. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006; **29**: S245–S250
- 16) Batista RJ, Santos JL, Takeshita N, Bocchino L, Lima PN, Cunha MA: Partial left ventriculectomy to improve left ventricular function in end-stage heart disease. *J Cardiac Surg* 1996; **11**: 96–97
- 17) Grigioni F, Enriquez-Sarano M, Zehr KJ, Bailey KR, Tajik AJ: Ischemic mitral regurgitation: long-term outcome and prognostic implications with quantitative Doppler assessment. *Circulation* 2001; **103**: 1759–1764
- 18) Otsuji Y, Kumanohoso T, Yoshifuku S, Matsukida K, Koriyama C, Kisanuki A, Minagoe S, Levine RA, Tei C: Isolated annular dilation does not usually cause important functional mitral regurgitation: comparison between patients with lone atrial fibrillation and those with idiopathic or ischemic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2002; **39**: 1651–1656
- 19) 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
- 20) Irie H, Isomura T, Nomura F, Horii T, Hoshino J, Makinae H, Kanagawajapan HS: Novel left ventriculoplasty for nonischemic dilated cardiomyopathy with functional mitral regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; **131**: 233–235
- 21) 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
- 22) Dor V, Sabatier M, Montiglio F, Rossi P, Toso A, Di Donato M: Results of nonguided subtotal endocardectomy associated with left ventricular reconstruction in patients with ischemic ventricular arrhythmias. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; **107**: 1301–1308
- 23) 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
- 24) McKay RG, Pfeffer MA, Pasternak RC, Markis JE, Come PC, Nakao S, Alderman JD, Ferguson JJ, Safian RD, Grossman W: Left ventricular remodeling after myocardial infarction: a corollary to infarct expansion. *Circulation* 1986; **74**: 693–702
- 25) Yamaguchi A, Ino T, Adachi H, Mizuhara A, Murata S, Kamio H: Left ventricular end-systolic volume index in patients with ischemic cardiomyopathy predicts postoperative ventricular function. *Ann Thorac Surg* 1995; **60**: 1059–1062
- 26) Di Donato M, Toso A, Maioli M, Sabatier M, Stanley AW Jr, Dor V: RESTORE Group: Intermediate survival and predictors of death after surgical ventricular restoration. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2001; **13**: 468–475
- 27) Maxey TS, Reece TB, Ellman PI, Butler PD, Kern JA, Tribble CG, Kron IL: Coronary artery bypass with ventricular restoration is superior to coronary artery bypass alone in patients with ischemic cardiomyopathy. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; **127**: 428–434
- 28) Athanasuleas CL, Buckberg GD, Stanley AW, Siler W, Dor V, Di Donato M, Menicanti L, Almeida de Oliveira S, Beyersdorf F, Kron IL, Suma H, Kouchoukos NT, Moore W, McCarthy PM, Oz MC, Fontan F, Scott ML, Accola KA; RESTORE group: Surgical ventricular restoration in the treatment of congestive heart failure due to post-infarction ventricular dilation. *J Am Coll Cardiol* 2004; **44**: 1439–1445
- 29) Isomura T, Hoshino J, Fukada Y, Kitamura A, Katahira S, Kondo T, Iwasaki T, Buckberg G: RESTORE Group: Volume reduction rate by surgical ventricular restoration determines late outcome in ischaemic cardiomyopathy. *Eur J Heart Failure* 2011; **13**: 423–431