

**Table 1. Advantages and Disadvantages of the SV, RA, RITA, and GEA for CABG as a Second Graft to the LITA**

	Advantage	Disadvantage
SV	Good handling Enough length for many anastomosis as for individual graft Decreased transfusion than with bilateral ITA use Decreased harvesting time than with bilateral ITA use	Poor short- and long-term patency Not available in varix patients Postoperative leg edema Poorer wound healing than the RA
RA	Length >20cm Luminal diameter slightly larger than that of coronary arteries Good handling Decreased transfusion than with bilateral ITA use Decreased harvesting time than with bilateral ITA use	Very spasmodic Not always available (Allen test positive, unsuitable quality, CRF) Numbness and risk of motor dysfunction Arm wound
RITA	Excellent long-term patency Less spastic than RA Almost always usable Graftable to any territory as a composite free graft	Longer harvesting time Not graftable to PL or PDA as in-situ More bleeding and sternal infection than with RA harvest Difficult handling as a composite graft Thin arterial wall not suitable for aortic anastomosis
GEA	Graftable to any territory as in-situ graft Substitute for RA composite graft Available in redo CABG Suitable for MICS RCA anastomosis	Laparotomy (delayed oral intake) More spasmodic than the ITA Not better than SV patency Size variety not appropriate in some patients

SV, saphenous vein; RA, radial artery; RITA, right internal thoracic artery; GEA, gastroepiploic artery; CABG, coronary artery bypass grafting; LITA, left internal thoracic artery; ITA, internal thoracic artery; CRF, chronic renal failure; PL, posterolateral branch; PDA, posterior descending artery; MICS, minimally invasive cardiac surgery; RCA, right coronary artery.

reported in RA grafts harvested by ultrasonic scalpel than in traditionally harvested RA grafts<sup>21</sup> probably because of the larger RA caliber with the skeletonizing technique and better pharmacological preparation. In addition to systemic administration of nitroglycerin and diltiazem, antispasmodic agents are used topically. Papaverine, which is a short-acting phosphodiesterase inhibitor, is a widely used vasodilator for ITA and RA harvesting. As it is very acidic, a mixture of blood as a buffer is mandatory when it is infused into the lumen of the RA. Milrinone, which is a long-acting phosphodiesterase inhibitor, systemically used for heart failure as a dilator, has been administered intraluminally to prevent RA spasm, with good clinical results<sup>22</sup> Verapamil and nitroglycerin (VG solution) can effectively prevent spasm against a wide range of vasoconstrictors, with better preservation of endothelial function than papaverine<sup>23</sup> The alpha-adrenoreceptor antagonist, phenoxybenzamine, and verapamil in heparinized blood are also used intraluminally and topically<sup>24</sup>

### Advantage of RA Use

In Western countries, conventional CABG consists of LITA to the LAD and SV grafts to other coronary branches under cardiac arrest with cardiopulmonary bypass. Despite the easy access and adequate length for aortocoronary bypass, SV grafts have poor long-term patency<sup>3-5</sup> In any patient category, bilateral ITA use has been reported as better than only LITA use in late clinical results<sup>25-27</sup> However, bilateral ITA harvesting has shown a higher incidence of sternal wound infection in patients taking insulin or steroids, who are obesity or have chronic obstructive lung disease<sup>28,29</sup> In addition, the RITA to LAD graft crossing the midline of the chest may obstruct future reoperations for aortic valve surgery, but to avoid this situation the RITA is unable to reach the posterolateral coronary artery even if it passes through the transverse sinus.

The RA is more than 20 cm in length on average and able to reach any coronary territory when it is used as a composite graft. The RA has an inner diameter of 2-3 mm without size mismatch to the coronary arteries. Harvesting

of the RA is concurrently possible with LITA and SV harvesting. There are several observational studies that showed better early and late mortality and morbidity compared with SV grafts<sup>30,31</sup> Unlike the SV grafts, the RA grafts adapted to arterial pressure and flow, and changed diameter for optimal flow velocity. As the second arterial graft in addition to LITA to LAD anastomosis, cohort studies comparing the RITA and the RA showed the same clinical and angiographic results<sup>32,33</sup> In addition, perioperative bleeding and sternal wound infection are favorable with the RA compared with the RITA<sup>33</sup>

Other arterial grafts have their own disadvantages. The GEA, which is able to reach any coronary territory as an in-situ graft, has been widely used in Japan compared with Western countries. Use of in-situ GEA for CABG was first reported in 1987, and early graft patency ranged from 90% to 100%<sup>8,9</sup> Long-term graft patency at 10 years was not better than with SV grafts<sup>34</sup> probably because of the size variation. GEA harvesting requires a longer skin incision and laparotomy, which delays oral intake. The GEA is also prone to flow competition compared with the LITA because the GEA is the third branch of the abdominal aorta and has 10-15 mmHg lower pressure at its end compared with the end of the LITA<sup>35-37</sup> Although skeletonized and composite use of the GEA for larger internal diameter and flow has been reported<sup>38</sup> avoiding flow competition has not been proved<sup>39-41</sup>

The IEA was first reported as an alternative arterial graft to the SV in 1990<sup>12</sup> It is relatively short and only suitable for grafting to diagonal or intermediate branches. The major complication of IEA harvesting is abdominal wall hematoma or infection. As the graft patency of the IEA is not better than SV grafts, it is no longer used widely.

### Disadvantages of RA Use

One of disadvantages of the RA is the intense spasm. Basic study has delineated that the mechanism of severe spasm in the RA is more difficult to reverse compared with the LITA<sup>42</sup> The functioning of the RA in releasing endothelium-derived relaxing factors such as nitric oxide is the same

Table 2. Patency Rate of RA and Other Grafts

Reference	Year	Interval	RA	% of AC	LITA	RITA	GEA	IEA	SV
Acar <sup>10</sup>	1992	<3 weeks	56/56 (100%)	100%	48/48 (100%)	11/11 (100%)			8/9 (88.9%)
Calafiore <sup>55</sup>	1995	9.2 months	29/31 (93.5%)		28/28 (100%)	9/9 (100%)			
		3.6 months	75/76 (98.7%)	0%				67/70 (95.7%)	
		21.2 months	33/35 (94.3%)					25/25 (100%)	
da Costa <sup>56</sup>	1996	8.7 months	59/61 (96.7%)	100%	21/32 (96.8%)	12/13 (92.3%)	1/1 (100%)		13/14 (92.8%)
Brodman <sup>57</sup>	1996	11.9 weeks	86/90 (95.5%)	100%					
Chen <sup>58</sup>	1996	11.6 weeks	90/94 (95.7%)	100%	62/62 (100%)				22/24 (93.3%)
Possati <sup>59</sup>	1998	59 months	57/62 (91.9%)	100%	57/58 (98.2%)	3/4 (75%)	9/10 (90%)		43/58 (74.1%)
Tatoulis <sup>60</sup>	1998	4.2 months	21/22 (95.7%)	90%	16/16 (100%)				
Acar <sup>61</sup>	1998	5.6 years	54/64 (84.4%)	100%	44/47 (93.6%)				
Bhan <sup>62</sup>	1999	16.2 months	60/62 (96.8%)	100%	56/57 (98.2%)				
Amano <sup>63</sup>	2001	<3 months	137/139 (98.6%)	69%	99/100 (99.0%)	27/27 (100%)	48/50 (96.0%)		34/38 (89.5%)
		1.5 years	213/229 (93.0%)	65%	168/171 (98.2%)	27/27 (100%)	75/82 (91.4%)		71/79 (89.8%)
Iacò <sup>64</sup>	2001	18 days	88/89 (98.9%)	11%	82/82 (100%)		13/13 (100%)	12/12 (100%)	4/4 (100%)
		48 months	87/91 (95.6%)	22%	63/93 (100%)		11/12 (91.7%)	10/11 (90.9%)	8/9 (88.8%)
Possati <sup>65</sup>	2003	105 months	77/84 (91.6%)	100%	80/82 (97.5%)	6/7 (85.7%)	14/15 (93.3%)		39/73 (53.4%)
Cameron <sup>66</sup>	2004	5.2 years	55/62 (88.7%)	96%	51/51 (100%)	17/18 (94.4%)			33/36 (91.6%)
Zacharias <sup>67</sup>	2004	1.8 years	111/157 (70.7%)	NA	370/394 (93.9%)				95/161 (59.0%)
Khot <sup>68</sup>	2004	565 days	204/398 (51.3%)	NA	243/269 (90.3%)	61/77 (79.2%)			174/272 (64.0%)

IEA, inferior epigastric artery; AC, aortocoronary bypass; NA, not available. Other abbreviations see in Table 1.

as for other arterial grafts, as is its constriction function to vasoconstrictive factors. However, the RA has multiple tight muscle layers in the media, which has a higher density of muscle cells than other arterial grafts. Because of this, the RA wall has a higher maximum contractile force in response to vasoconstrictive agents, such as norepinephrine, serotonin, endothelin I, and angiotensin II. These chemical mediators are released after endothelial damage caused by surgical trauma and platelet aggregation.

RA grafts frequently show the flow competition phenomenon with mildly stenotic native coronary arteries.<sup>43-51</sup> The use of the RA in composite grafts with the LITA as Y or T grafts showed similar graft patency as RA grafts used as an aortocoronary bypass.<sup>45-47</sup> However, Gaudino et al found flow competition more frequently in the composite RA conduits than in the aortocoronary RA conduit.<sup>48</sup> Long-term patency of these competitive RA grafts was poor by angiographic analysis, though it was better than the SV when good forward flow was present.<sup>44,49,50</sup> Other potential disadvantages of composite grafts compared with aortocoronary grafts are the relative technical difficulty and the reliance of a single inflow to supply all or many coronary territories.<sup>51</sup> The SV graft still has a role as a graft to the moderately stenotic right coronary territory because of the high incidence of flow competition of composite RA grafts to the right coronary branches,<sup>11,43,44,47,51,52</sup> and the poor early graft patency of the RITA to the right coronary artery.<sup>53,54</sup> The advantage and disadvantage of the grafts are listed in Table 1.

### Patency of RA Grafts

The long-term outcome after CABG depends on graft patency. Previous angiographic observational studies have shown that the RA achieved excellent short- (96–100%), mid- (94–97%), and long-term graft patency (84–96%) when used as either an aortocoronary bypass or a composite graft (Table 2).<sup>10,55-67</sup> Patency rates of the RA have exceeded those of SV grafts at all time points and are comparable to other arterial grafts. Many reports have shown better outcomes of the RA compared with the SV,<sup>10,56,58,59,63-65,67</sup> though some reported similar long-term graft patency.<sup>33,45,48,66</sup>

Only the Cleveland Clinic reported worse graft patency of the RA than the SV.<sup>68</sup>

Possati et al reported the long-term (105±9 months) graft patency of RA grafts in a series of 90 consecutive CABG patients.<sup>65</sup> The RA graft patency was 88%, which was less than that of the LITA (96%), but better than that of the SV (53%). Although these results are encouraging the use of the RA as a complementary arterial conduit with the LITA, there are only a few long-term studies assessing RA graft patency in the setting of a randomized controlled trial.

### Randomized Controlled Trials

The Radial Artery Patency Study (RAPS) Investigators enrolled 561 patients in 13 centers.<sup>69</sup> In this trial, the RA graft was randomly assigned to bypass the major artery in either the right coronary territory or the circumflex coronary territory, with the SV graft used for the opposing territory, which had proximal lesions at least 70% diameter narrowing. Angiography for 440 RA grafts and 440 SV grafts was performed in 440 patients in 1 year. Desai et al reported that 8.2% of RA grafts and 13.6% of SV grafts were completely occluded ( $P=0.009$ ).<sup>69</sup> Diffuse narrowing of the graft (string sign) was present in 7.0% of the RA grafts and only 0.9% of SV grafts ( $P=0.001$ ). The absence of severe native vessel stenosis was a risk of graft occlusion and diffuse narrowing of the RA conduit (70–89% proximal stenosis: 81.7%; >90% proximal stenosis: 91.5%). Patency of the RA grafts was similar in the right coronary and circumflex arteries. These results are compatible with previous reports suggesting that the RA should be limited to grafting to native coronary vessels with a high degree of stenosis (>70%) because of graft sensitivity to competitive flow and diffuse narrowing.<sup>43-51</sup> Diffuse narrowing of the RA graft is thought to be of little or no clinical consequence because the narrowed graft may improve or work well late in the follow-up. However, cardiologists consider the string sign of the RA graft as a failure. As the string sign at 1 year is unfavorable toward a functioning RA or SV graft, 15.2% of RA grafts and 14.5% of SV grafts are occluded or functioning poorly. In an early postoperative study, composite RA grafts with competitive flow without diffuse narrowing were present in 7.3% of

total conduits<sup>70</sup> The actuarial patency rate of these grafts on late angiography was only 33.9% at 3 years after OPCAB. RA grafting should not be considered in the setting of <75% proximal coronary obstruction, especially in the right coronary branches.

The RAPS Investigators also reported that diabetes (RR: 1.45, P=0.03), female gender (RR: 1.78, P=0.02), and small target vessel diameter (RR: 2.28, P<0.01) are multivariate predictors of graft failure<sup>71,72</sup> Graft occlusion was more common among diabetic patients (14% vs 10%) because of more frequent SV occlusion (19%) than RA occlusion (10%). The RA is protective in the small-sized coronary arteries with diffuse diabetic disease. With regard to gender, RA graft occlusion rate at 1 year was similar in men (8.6%) and women (5.3%) (P=0.6), whereas SV graft occlusion rates were lower in men (12.0%) than in women (23.3%). A history of peripheral vascular disease was associated with an elevated risk of RA occlusion, but not with SV occlusion. On the contrary, angiographic studies of patients at the Cleveland Clinic found poor graft patency in the RA (51%) compared with the SV (64%). With regard to sex, women had significantly worse RA graft patency (39%) than men (56%)<sup>67</sup>

The Radial Artery Patency and Clinical Outcome (RAPCO) study was undertaken to compare angiographic patency and cardiac-event-free survival of the RA graft with that of the free RITA and SV during a 10-year period after CABG<sup>73</sup> The RA was compared with the free RITA in patients <70 years of age and with the SV in patients aged >75 years. The 5-year interim results of this single center trial conducted by Buxton et al in Australia reported that there were no differences in angiographic graft failure and cardiac events of the patients with the RA compared with the RITA or SV. The 5-year patency rates between the RA and RITA were 95% vs 100%, respectively, and those between the RA and SV were 87% vs 94%. However, these results were based on a small number of angiographic studies, and SV graft patency was very much better than in previous reports. The final results up to 10 years should clarify the long-term RA graft patency.

The Radial Artery Versus Saphenous Vein Graft Patency (RSVP) trial was a single-center, prospective, randomized clinical trial designed to compare 5-year patency rates of RA and SV aortocoronary grafts to the circumflex coronary artery<sup>74</sup> At 5 years, 103 patients among 142 enrolled patients underwent angiography. The graft patency of the RA (98.3%) was significantly (P=0.04) better than that of the SV (86.4%). Graft narrowing occurred in 10% of patent RA grafts and 23% of SV grafts (P=0.01).

Total arterial myocardial revascularization with a composite RITA or RA was compared with conventional CABG in a prospective randomized fashion by Muneretto et al<sup>75</sup> At a mean follow-up of 12 months, the total arterial CABG group had a better outcome in terms of angina recurrence, need for percutaneous cardiac intervention, and actuarial freedom from cardiac events. The 1-year results for total arterial revascularization, in which the RA was used as a composite or aortocoronary conduit in addition to in-situ bilateral ITA grafting, vs conventional coronary CABG (CARRPO trial) showed similar graft patency, and cardiac-event-free rates at 1 year after CABG<sup>76</sup>

## Summary and Recommendation

To improve the quality of the RA conduit, harvesting

technique and topical and systemic antispasmodic medication are important. The RA should be grafted to severe proximal stenosis (>90%) in the native coronary arteries to avoid flow competition. The RA graft can be used as an aortocoronary or composite configuration with the same graft patency. Early graft patency of the RA conduit is as good as other arterial grafts and better than the SV graft in the circumflex and right coronary territories in many studies, especially in diabetic patients. Long-term results of graft patency and cardiac-event-free survival compared with SV graft are still controversial in randomized controlled trials, probably because both the incidence of flow competition and the definition of graft patency varied.

## References

1. Loop FD, Lytle BW, Cosgrove DM, Stewart RW, Goormastic M, William GW, et al. Influence of the internal mammary artery graft on 10-year survival and other cardiac events. *N Engl J Med* 1986; **314**: 1–6.
2. Lytle BW, Loop FD, Cosgrove DM, Ratliff NB, Easley K, Taylor PC. Long-term (5 to 12 years) serial studies of internal mammary artery and saphenous vein coronary artery bypass grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1985; **89**: 248–258.
3. Boylan MJ, Lytle BW, Loop FD, Taylor PC, Borsh JA, Goormastic M, et al. Surgical treatment of isolated left anterior descending coronary stenosis: Comparison of the left internal mammary artery and venous autograft at 18 to 20 years of follow up. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994; **107**: 657–662.
4. Bourassa MG, Fischer LD, Campeau L, Gillespie MJ, McConney M, Lespérance J. Long-term fate of bypass graft: The Coronary Artery Surgery Study (CASS) and Montreal Heart Institute experience. *Circulation* 1985; **6**(Suppl V): V-71–V-78.
5. Ura M, Sakata R, Nakayama Y, Arai Y, Saito T. Long-term results of bilateral internal thoracic artery grafting. *Ann Thorac Surg* 2000; **70**: 1991–1996.
6. Ioannidis JP, Galanos O, Katritsis D, Connery CP, Drossos GE, Swistel DG, et al. Early mortality and morbidity of bilateral versus single internal thoracic artery revascularization: Propensity and risk modeling. *J Am Coll Cardiol* 2001; **37**: 521–528.
7. Tector AJ, Mc Donald ML, Kress DC, Downey FX, Schmahl TM. Purely internal thoracic artery grafts: Outcomes. *Ann Thorac Surg* 2001; **72**: 450–455.
8. Suma H, Fukumoto H, Takeuchi A. Coronary artery bypass grafting by utilizing in situ right gastroepiploic artery: Basic study and clinical application. *Ann Thorac Surg* 1987; **44**: 394–397.
9. Mills NL, Everson CT. Right gastroepiploic artery: A third arterial conduit for coronary bypass. *Ann Thorac Surg* 1989; **47**: 706–711.
10. Acar C, Jebara VA, Portoghesse M, Beysses B, Pagny JY, Grare P, et al. Revival of the radial artery for coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 1992; **54**: 652–660.
11. Tatoulis J, Royle AG, Buxton BF, Fuller JA, Skillington PD, Goldblatt JC, et al. The radial artery in coronary surgery: A 5-year experience-clinical and angiographic results. *Ann Thorac Surg* 2002; **73**: 143–148.
12. Vincent JG, van Son JAM, Skotnicki SH. Inferior epigastric artery as a conduit in myocardial revascularization: The alternative free arterial graft. *Ann Thorac Surg* 1990; **49**: 323–325.
13. Perrault LP, Carrier M, Hebert Y, Cartier R, Leclerc Y, Pelletier LC. Early experience with the inferior epigastric artery in coronary artery bypass grafting: A word of caution. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993; **106**: 928–930.
14. Carpentier A, Guermontprez JL, Deloche A, Frechette C, DuBost C. The aorta-to-coronary radial artery bypass graft: A technique avoiding pathological changes in grafts. *Ann Thorac Surg* 1973; **16**: 111–121.
15. Curtis JJ, Stoney WS, Alford WC Jr, Burrus GR, Thomas CS Jr. Intimal hyperplasia: A cause of radial artery aortocoronary bypass graft failure. *Ann Thorac Surg* 1975; **20**: 628–635.
16. Kobayashi J, Tagusari O, Bando K, Niwaya K, Nakajima H, Ishida M, et al. Total arterial off-pump coronary revascularization with only ITA and composite radial artery grafts. *Heart Surg Forum* 2002; **6**: 30–37.
17. Tagusari O, Kobayashi J, Bando K, Niwaya K, Nakajima H, Ishida M, et al. Total arterial off-pump coronary artery bypass grafting for revascularization of the total coronary system: The clinical outcome and angiographic evaluation. *Ann Thorac Surg* 2004; **78**: 1304–1311.

18. Abu-Omar Y, Mussa S, Anastasiadis K, Steel S, Hands L, Taggart DP. Duplex ultrasonography predicts safety of radial artery harvest in the presence of an abnormal Allen test. *Ann Thorac Surg* 2004; **77**: 116–119.
19. Greene MA, Malias MA, Fuller JA. Arm complications after radial artery procurement for coronary bypass operation. *Ann Thorac Surg* 2001; **72**: 126–128.
20. Budillon AM, Nicolini F, Agostinelli A, Beghi C, Pavesi G, Fragnito C, et al. Complications after radial artery harvesting for coronary artery bypass grafting: Our experience. *Surgery* 2003; **133**: 283–287.
21. Ronan JW, Perry LA, Barner HB, Sundt TM III. Radial artery harvest: Comparison of ultrasonic dissection with standard technique. *Ann Thorac Surg* 2000; **69**: 113–114.
22. He GW, Yang CQ. Vasorelaxant effect of phosphodiesterase-inhibitor milrinone in the human radial artery used as coronary bypass graft. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2000; **119**: 1039–1045.
23. He GW, Yang CQ. Use of verapamil and nitroglycerin solution in preparation of radial artery coronary bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; **61**: 610–614.
24. Mussa S, Guzik TJ, Black E, Dipp MA, Channon KM, Taggart DP. Comparative efficacies and durations of action of phenoxybenzamine, verapamil/nitroglycerin solution, and papaverine as topical antispasmodics for radial artery coronary bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; **126**: 1789–1805.
25. Endo M, Nishida H, Tomizawa Y, Kasanuki H. Benefit of bilateral over single internal mammary artery grafts for multiple coronary artery bypass grafting. *Circulation* 2001; **104**: 2164–2170.
26. Berreklouw E, Rademakers PP, Koster JM, van Leur L, van der Wielen BJ, Westers P. Better ischemic event-free survival after two internal thoracic artery grafts: 13 years of follow-up. *Ann Thorac Surg* 2001; **72**: 1535–1541.
27. Stevens LM, Carrier M, Perrault LP, Hébert Y, Cartier R, Bouchard D, et al. Single versus bilateral internal thoracic artery grafts with concomitant saphenous vein grafts for multivessel coronary artery bypass grafting: Effects on mortality and event-free survival. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; **127**: 1408–1415.
28. Grossi EA, Esposito R, Harris LJ, Crooke GA, Galloway AC, Colvin SB, et al. Sternal wound infections and use of internal mammary artery grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1991; **102**: 342–347.
29. Matsa M, Paz Y, Gurevich J, Shapira I, Kramer A, Pevny D, et al. Bilateral skeletonized internal thoracic artery grafts in patients with diabetes mellitus. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001; **121**: 668–674.
30. Cohen G, Tamariz MG, Sever JY, Liaghati N, Guru V, Christakis GT, et al. The radial artery versus the saphenous vein graft in contemporary CABG: A case match study. *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 180–186.
31. Zacharias A, Habib RH, Schwann TA, Riordan CJ, Durham SJ, Shah A. Improved survival with radial artery versus vein conduits in coronary bypass surgery with left internal thoracic artery to left anterior descending artery grafting. *Circulation* 2004; **109**: 1489–1496.
32. Calafiore AM, Di Mauro M, D'Alessandro S, Teodori G, Vitolla G, Contini M, et al. Revascularization of the lateral wall: Long-term angiographic and clinical results of radial artery versus right internal thoracic artery grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; **123**: 225–231.
33. Lemma M, Gelpi G, Mangini A, Vanelli P, Carro C, Condemi A, et al. Myocardial revascularization with multiple arterial grafts: Comparison between the radial artery and the right internal thoracic artery. *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 1969–1973.
34. Suma H, Tanabe H, Takahashi A, Horii T, Isomura T, Hirose H, et al. Twenty year experience with the gastroepiploic artery graft for CABG. *Circulation* 2007; **116**(Suppl 1): I-188–I-191.
35. Hashimoto H, Isshiki T, Ikari Y, Hara K, Saeki F, Tamura T, et al. Effect of competitive blood flow on arterial graft patency and diameter: Medium-term postoperative follow-up. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; **111**: 399–407.
36. Shimizu T, Suesada H, Cho M, Ito S, Ikeda K, Ishimaru S. Flow capacity of gastroepiploic artery versus vein grafts for intermediate coronary artery stenosis. *Ann Thorac Surg* 2005; **80**: 124–130.
37. Ochi M, Hatori N, Fujii M, Saji Y, Tanaka S, Honma H. Limited flow capacity of the right gastroepiploic artery graft: Postoperative echocardiographic and angiographic evaluation. *Ann Thorac Surg* 2001; **71**: 1210–1214.
38. Suma H, Tanabe H, Yamada J, Mikuriya A, Horii T, Isomura T. Midterm results for use of the skeletonized gastroepiploic artery graft in coronary artery bypass. *Circ J* 2007; **71**: 1503–1505.
39. Asai T, Tabata S. Skeletonization of the right gastroepiploic artery using an ultrasonic scalpel. *Ann Thorac Surg* 2002; **74**: 1715–1717.
40. Gagliardotto P, Coste P, Lazreg M, Dor V. Skeletonized right gastroepiploic artery used for coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 1998; **66**: 240–242.
41. Amano A, Li R, Hirose H. Off-pump coronary artery bypass using skeletonized gastroepiploic artery, a pilot study. *Heart Surg Forum* 2004; **7**: 101–104.
42. Verma S, Szmitko PE, Weisel RD, Bonneau D, Latter D, Errett L, et al. Should radial arteries be used routinely for coronary artery bypass grafting? *Circulation* 2004; **110**: e40–e46.
43. Royse AG, Royse CF, Ttoulis J, Grigg LE, Shah P, Hunt D, et al. Postoperative radial artery angiography for coronary artery bypass surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000; **17**: 294–304.
44. Nakajima H, Kobayashi J, Tagusari O, Bando K, Niwaya K, Kitamura S. Competitive flow in arterial composite grafts and effect of graft arrangement in off-pump coronary revascularization. *Ann Thorac Surg* 2004; **78**: 481–486.
45. Lemma M, Mangini A, Gelpi G, Innorta A, Spina A, Antona C. Is it better to use radial artery as a composite graft? Clinical and angiographic results of aorta-coronary versus Y-graft. *Eur J Cardiothorac Surg* 2004; **26**: 110–117.
46. Yie K, Na C, Oh SS, Kim J, Shinn S, Seo H. Angiographic results of the radial artery graft patency according to the degree of native coronary stenosis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2008; **33**: 341–348.
47. Maniar HS, Barner HB, Prasad SM, Moon MR, Pasque MK, et al. Radial artery patency: Are aortocoronary conduits superior to composite grafting? *Ann Thorac Surg* 2003; **76**: 1498–1504.
48. Gaudino M, Alessandrini F, Pragliola C, Cellini C, Glieda F, Luciani N, et al. Effect of target artery location and severity of stenosis on midterm patency of aorta-anastomosed vs internal artery-anastomosed radial artery grafts. *Eur J Cardiothorac Surg* 2004; **25**: 424–428.
49. Nakajima H, Kobayashi J, Tagusari O, Niwaya K, Funatsu T, Kawamura A, et al. Angiographic flow grading and graft arrangement of arterial conduits. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; **132**: 1023–1029.
50. Nakajima H, Kobayashi J, Tagusari O, Bando K, Niwaya K, Kitamura S. Functional angiographic evaluation of individual, sequential, and composite arterial grafts. *Ann Thorac Surg* 2006; **81**: 807–814.
51. Maniar HS, Sundt TM, Barner HB, Prasad SM, Peterson L, Absi T, et al. Effect of target stenosis and location on radial artery graft patency. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2002; **123**: 45–52.
52. Légaré JF, Buth KJ, Sullivan JA, Hirsch GM. Composite arterial grafts versus conventional grafting for coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; **127**: 160–166.
53. Shah PJ, Durairaj M, Gordon I, Fuller J, Rosalio A, Seevanayagam S, et al. Factors affecting patency of internal thoracic artery graft: Clinical and angiographic study in 1434 symptomatic patients operated between 1982 and 2002. *Eur J Cardiothorac Surg* 2004; **26**: 118–124.
54. Shah PJ, Bui K, Blackmore S, Gordon I, Hare DL, Fuller J, et al. Has the in situ right internal thoracic artery been overlooked? An angiographic study of the radial artery, internal thoracic arteries and saphenous vein graft patencies in symptomatic patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; **27**: 870–875.
55. Calafiore AM, Di Giammarco G, Teodori G, D'Annunzio E, Vitolla G, Fino C, et al. Radial artery and inferior epigastric artery in composite grafts: Improved midterm angiographic results. *Ann Thorac Surg* 1995; **60**: 517–523.
56. da Costa FD, da Costa IA, Poffo R, Abuchaim D, Gaspar R, Garcia L, et al. Myocardial revascularization with the radial artery: A clinical and angiographic study. *Ann Thorac Surg* 1996; **62**: 475–480.
57. Brodman RF, Frame R, Camacho M, Hu E, Chen A, Hollinger I, et al. Routine use of unilateral and bilateral radial arteries for coronary artery bypass graft surgery. *J Am Coll Cardiol* 1996; **28**: 959–963.
58. Chen AH, Nakao T, Brodman RF, Greenberg M, Charney R, Menegus M, et al. Early postoperative angiographic assessment of radial artery grafts used for coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; **111**: 1208–1212.
59. Possati G, Gaudino M, Alessandrini F, Luciani N, Glieda F, Trani C, et al. Midterm clinical and angiographic results of radial artery grafts used for myocardial revascularization. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; **116**: 1015–1021.
60. Tatoulis J, Buxton BF, Fuller JA. Bilateral radial artery grafts in coronary reconstruction: Technique and early results in 261 patients. *Ann Thorac Surg* 1998; **66**: 714–720.
61. Acar C, Ramsheyi A, Pagny J, Jebara V, Barrier P, Fabiani J, et al. The radial artery for coronary artery bypass grafting: Clinical and angiographic results at five years. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; **116**: 981–989.
62. Bhan A, Gupta V, Choudhary SK, Sharma R, Singh B, Aggarwal R, et al. Radial artery in CABG: Could the early results be compatible to internal mammary artery graft? *Ann Thorac Surg* 1999; **67**: 1631–1636.

63. Amano A, Hirose H, Takahashi A, Nagano N. Coronary artery bypass grafting using the radial artery: Midterm results in Japanese institute. *Ann Thorac Surg* 2001; **72**: 120–125.
64. Iacò AL, Teodori G, Di Giammarco G, Di Mauro M, Storto L, Mazzei V, et al. Radial artery for myocardial revascularization: Long-term clinical and angiographic results. *Ann Thorac Surg* 2001; **72**: 464–469.
65. Possati G, Gaudino M, Prati F, Alessandrini F, Trani C, Glieda F, et al. Long-term results of the radial artery used for myocardial revascularization. *Circulation* 2003; **108**: 1350–1354.
66. Cameron J, Trivedi S, Stafford G, Bett JH. Five-year angiographic patency of radial artery bypass grafts. *Circulation* 2004; **110**(Suppl II): II-23–II-26.
67. Zacharias A, Habib RH, Schwann TA, Riordan CJ, Durham SJ, Shah A. Improved survival with radial artery versus vein conduit in coronary bypass surgery with left internal thoracic artery to left anterior descending artery graft. *Circulation* 2004; **109**: 1489–1496.
68. Khot UN, Friedman DT, Pettersson G, Smedira NG, Li J, Ellis SG. Radial artery bypass grafts have an increased occurrence of angiographically severe stenosis and occlusion compared with left internal mammary arteries and saphenous vein grafts. *Circulation* 2004; **109**: 2086–2091.
69. Desai ND, Cohen EA, Naylor CD, Fremes SE; Radial Artery Patency Study Investigators. A randomized comparison of radial-artery and saphenous vein coronary bypass grafts. *N Engl J Med* 2004; **351**: 2302–2309.
70. Nakajima H, Kobayashi J, Funatsu T, Shimahara Y, Kawamura M, Kawamura A, et al. Predictive factors for the intermediate-term patency of arterial grafts in aorta no-touch off-pump coronary revascularization. *Eur J Cardiothorac Surg* 2007; **32**: 711–717.
71. Desai ND, Naylor CD, Kiss A, Cohen EA, Feder-Elituv R, Miwa S, et al. Impact of patient and target-vessel characteristics on arterial and venous bypass graft patency: Insight from a randomized trial. *Circulation* 2007; **115**: 684–691.
72. Singh SK, Desai ND, Petroff SD, Deb S, Cohen EA, Radhakrishnan S, et al. The impact of diabetic status on coronary artery graft patency: Insights from the radial artery patency study. *Circulation* 2008; **118**(Suppl 1): S222–S225.
73. Buxton BF, Raman JS, Ruengsakulrach P, Gordon I, Rosalion A, Bellomo R, et al. Radial artery patency and clinical outcomes: Five-year interim results of a randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; **125**: 1363–1371.
74. Collins P, Webb CM, Chong CF, Moat NE; Radial Artery Versus Saphenous Vein Patency (RSVP) Trial Investigators. Radial artery versus saphenous vein patency randomized trial: Five-year angiographic follow-up. *Circulation* 2008; **117**: 2859–2864.
75. Muneretto C, Negri A, Manfredi J, Terrini A, Rodella G, ELQarra S, et al. Safety and usefulness of composite grafts for total arterial myocardial revascularization: A prospective randomized evaluation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003; **125**: 826–835.
76. Damgaard S, Wetterslev J, Lund JT, Lilleør NB, Perko MJ, Kelbæk H, et al. One-year results of total arterial revascularization vs conventional coronary surgery: CARRPO trial. *Eur Heart J* 2009; **30**: 1005–1011.

# 虚血性僧帽弁閉鎖不全症

小林順二郎

## はじめに

日本胸部外科学会の統計によると、冠動脈バイパス (CABG) 単独手術は薬物溶出ステントの導入により、経皮的冠動脈インターベンション (PCI) が激増して、2003年の約22,000例をピークに2006年までに約18,000例と20%減少した(表1)。一方、虚血性僧帽弁閉鎖不全 (IMR) に対する手術症例数は、2003年の220例から、2006年の332例へと1.5倍増加している。手術死亡率も、単独CABGの1.5%に比べて6~8%と高く、心臓外科医に残された数少ないチャレンジングな領域となっている。

本稿では、このIMRの重要性と治療法について述べる。

## I. 虚血性僧帽弁閉鎖不全の原因および重要性

IMRの原因は、側壁あるいは後下壁の心筋梗塞や心室線維化によるremodelingのため

### — Key word —

ischemic heart disease  
mitral regurgitation  
cardiac surgery  
congestive heart failure  
left ventricular remodeling

### Ischemic Mitral Regurgitation

Junjiro Kobayashi :  
Department of Cardiovascular Surgery,  
National Cardiovascular Center  
国立循環器病センター 心臓血管外科

に起こる左室拡大と、僧帽弁輪拡大に加えて乳頭筋が偏位し、これが僧帽弁の腱索を左室内に引き込んで、いわゆる tethering を起こし弁尖の接合が不良となることで発生する(図1)<sup>1)</sup>。いったん発生したIMRにより、左室・僧帽弁輪はさらに拡大して、IMRを増大させる悪循環を来す。乳頭筋の虚血による機能不全もIMRに関与するが、その程度は小さいと考えられる。

IMRは機能的MRとも呼ばれ、腱索延長や断裂により生じる器質的MRと異なり、予後不良の慢性疾患である。IMRは、虚血性心疾患の10~20%、虚血性心筋症による心不全患者の半数以上に認められ、MRの無い患者の予後に比して2~10倍不良である<sup>2,3)</sup>。

軽度のIMRは、一般的には外科治療の対象にはならないと考えられるが、IMRを合併した患者の自然予後において、逆流孔面積が20mm<sup>2</sup>と器質的MRでは軽度とされる患者においても、MRの無い患者に比べて予後が悪いことが問題である(図2)<sup>1)</sup>。IMRはその頻度と予後から考えて、非常に重要な疾患であるが、循環器内科医の認識は低く、心臓外科への紹介も少ないため、多数の経験を有する施設は少ない。

## II. 虚血性僧帽弁閉鎖不全の手術適応と単独CABGの効果

中等度のIMRを有する患者において、CABGと同時に僧帽弁輪縫縮術を行うべきか否かに関しては、CABGのみではMRは改善

表1. 本邦における冠動脈バイパス手術と虚血性僧帽弁閉鎖不全に対する外科治療成績

年度	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年
単独冠動脈バイパス術総数	21,626	21,046	19,930	18,054	17,941
病院死亡率	2.7%	2.9%	2.8%	3.1%	2.7%
虚血性MRに対する手術					
弁形成術総数	N/A	188	238	261	270
弁置換術総数	N/A	26	41	55	36
全症例数	193	220	287	323	332
病院死亡率	7.3%	5.5%	8.0%	7.2%	7.4%

単独冠動脈バイパス術は減少しているが、虚血性MRに対する症例数は増加傾向にある。病院死亡率は、両者とも大きな変化は無い。

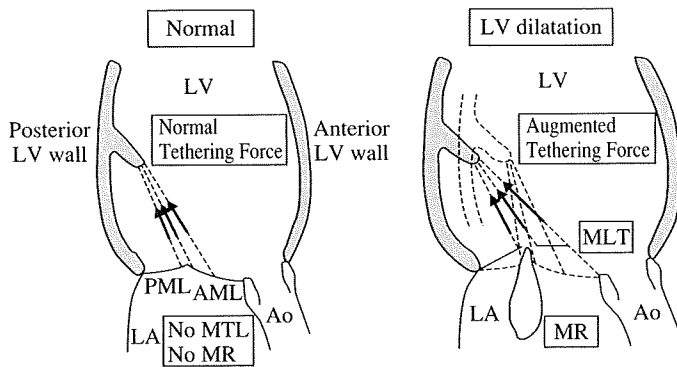


図1. 虚血性僧帽弁閉鎖不全の発生機序

心筋梗塞や心室線維化による remodeling のために乳頭筋が偏位し、僧帽弁の腱索を左室内に引き込んで tethering を起こし、弁輪拡大が加わって、両弁尖の接合が不良となることで発生する。

LV: 左室, LA: 左房, Ao: 大動脈, AML: 前尖, PML: 後尖, MR: 僧帽弁閉鎖不全, MLT: 僧帽弁 tethering

(文献1より改変)

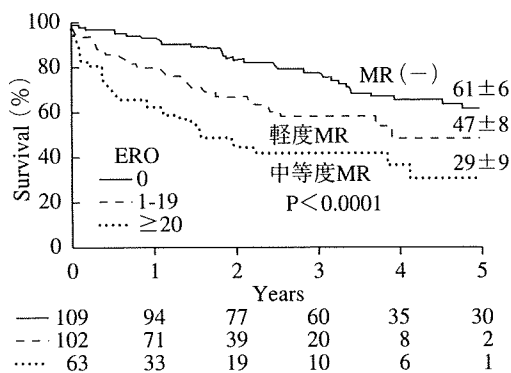


図2. 梗塞後MRの有無と重症度による生命予後 MRの有無とその程度により、生命予後に差がある。逆流孔面積(ERO)が20mm<sup>2</sup>と器質的MRでは軽度とされる患者においても予後が悪い。

(文献3より改変)

しないとの報告が多い。Aklogら<sup>4)</sup>は、中等度のIMRに対して、CABGのみを行った場合に、51%では軽度になるが、40%の症例で不変か悪化し、術中の経食道エコーでの評価は過小評価で、信頼性に欠けると報告している。我々も、中等度のIMRに対してCABGのみを行った場合に、46%の症例で不変か悪化し、10年の生存率55%、心事故回避率49%にとどまることを報告している<sup>5)</sup>。心事故発生の危険因子としては、左室駆出率30%未満、術後早期からの2/4度以上のMR、下壁梗塞の無いこと、左内胸動脈の非使用であった。同様に、Schroderら<sup>6)</sup>は、術中食道エコーで軽度以上のIMRがあればMRが無いが、わずかの症例に比べて1.34倍

の死亡・心不全のリスクがあり、CABGだけでは、予後を改善することができないと報告している。一方、Mallidiら<sup>7)</sup>は中等度以下のIMRに対して、単独CABGを行えばMRの残存の有無により、心事故回避率に差は出るが、生命予後はMRの有無で差がなかったと報告している。

Lamら<sup>8)</sup>は、中等度のMR患者に単独CABGを行った6週間後の評価で、MRが術直後軽度以下であった症例が73%から40%に減少し、高度MRが6%から22%へと増加したと報告しており(図3)、MRが中等度以下でも心機能不良例では、CABGに加えて積極的に弁輪縫縮術を行うべきであると考えられる。

### Ⅲ. 虚血性僧帽弁閉鎖不全に対する手術術式

IMRに対する外科治療においては、器質的なMRに対してと同様に、弁置換術に比べて、弁形成術が優れていることが報告されているが<sup>9)</sup>、弁形成術ではMRが残存あるいは再発することがあり、すべての症例において弁形成術が可能となるわけではない。

弁形成術としては、一般的には縫合糸による縫縮よりも、人工弁輪を使用した弁輪縫縮術が長期に有用とされる。僧帽弁輪に全周性に硬い人工弁輪が使用されることが一般的で、様々な形態の物が使用されているが、その種類による遠隔成績の差に関しては未だ明らかとなっていない。

弁輪縫縮術は、僧帽弁の前後径を短縮させ、弁尖の接合性を改善させるが、術前に弁尖のtetheringが強く、接合部が左室内に偏位し、その程度が高度であれば、弁輪縫縮後もMRが残存する。僧帽弁輪から前後尖接合部までの距離をtethering heightと呼び(図4)、正常では4mm以下で、Calafioreらは10mm以上を高度tetheringと考えて、高度であれば

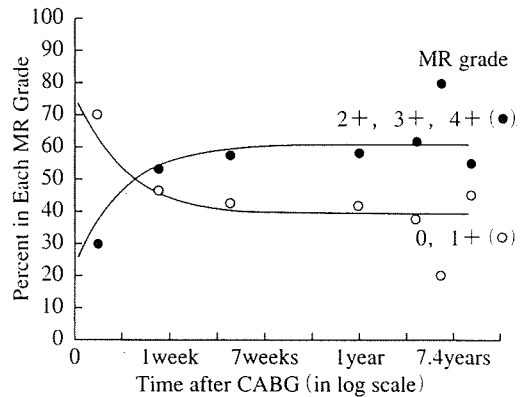


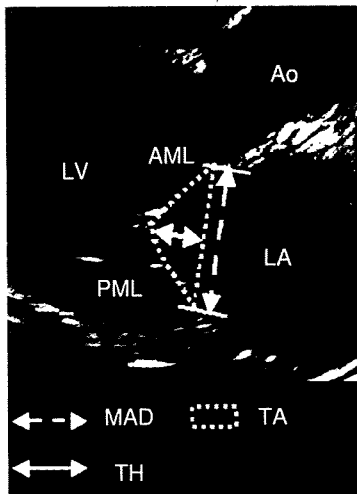
図3. 中等度MRに対する単独CABG後の弁逆流6週間後の評価で、MR 1度以下が73%から40%に減少し、高度MRが6%から22%へと増加している。

(文献8より改変)

undersizeの人工弁輪を使用してもIMRが残存するため、前後尖の腱索を温存した弁置換術が望ましいと報告している<sup>10)</sup>。しかしながら、弁置換術は左室機能を低下させ、その予後は形成術よりも不良であるとの外科医の思いから、弁輪縫縮術に加えての様々な手術方法が考案されている。

僧帽弁尖への形成術として、前後尖を縫合して僧帽弁をdouble orificeとするedge-to-edge repair<sup>11)</sup>が行われているが、変性疾患によるMRと違って、1年半で30%以上の症例で3/4度以上のMRを再発している。また、弁尖の弁腹をパッチで拡大する等により前後尖の接合を深くする方法<sup>12)</sup>が行われているが、遠隔成績は不明で確立された方法とは言い難い。最近、tetheringにより制限された弁尖の二次腱索を直接切断する方法が注目されているが、2年の中期成績では、MR再発を含む心事故回避率は50%から72%へと改善したが、生命予後改善までの効果は得られていない<sup>13)</sup>。





MAD : mitral annular diameter  
 TA : tethering area (tenting area)  
 TH : tethering height  
 (normal : < 4mm)

図4. 僧帽弁 tethering の重症度評価

僧帽弁輪から、前後尖接合部までの距離を tethering height と呼び、正常では4mm以下で、10mm以上が高度と考えられる。

(Daimon M : Circulation 2006;114(suppl1):I-558-93 より改変)

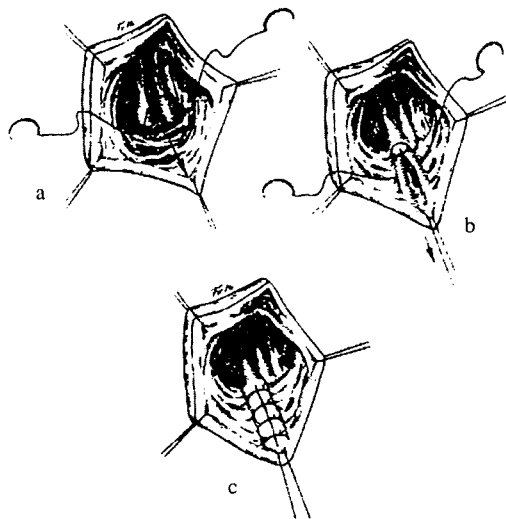


図5. Papillary Muscle Imbrication (乳頭筋重層術)

左室下壁の乳頭筋間を縫合して左室を縮小するとともに、乳頭筋・僧帽弁間の短縮を図る。  
 (文献14より改変)

IMRは、左室自体の疾患であることから、左室あるいは乳頭筋に対して直接手を加える方法が考案されてきた。IMRでは、乳頭筋と僧帽弁輪の距離が延長することから、乳頭

筋同士を縫合したり(図5)<sup>14)</sup>、乳頭筋間の左室や梗塞領域を縫合あるいは切除して乳頭筋を本来の位置に偏位させて tethering を軽減したりする手術(図6)<sup>15)</sup>が行われている。また、乳頭筋に人工腱索を付けて、僧帽弁輪へ縫合して短縮させ、乳頭筋と僧帽弁輪の距離を縮めて、 tethering を軽減する方法(図7)<sup>16)</sup>も行われている。

#### IV. 虚血性僧帽弁閉鎖不全に対する手術成績及び遠隔成績

欧米ではIMRを合併した患者に対するCABGとの僧帽弁同時手術の早期成績は、1990年代ではCABG単独手術の死亡率の5倍高いとされていたが<sup>17)</sup>、CABG単独手術においてもIMRがあれば、手術死亡率が4%から10%となるジレンマがある<sup>2)</sup>。CABGと同時に僧帽弁形成術を行う手術死亡率は3~4%にまで改善していることや<sup>2,18)</sup>、CABG後にIMRが進行して、僧帽弁の再手術を行うことはグラフト切断の危険性もあり、中等度のIMRはCABGと同時に積極的に行うことが妥当という考え方が多くなっている。

本邦においても、日本胸部外科学会のデー

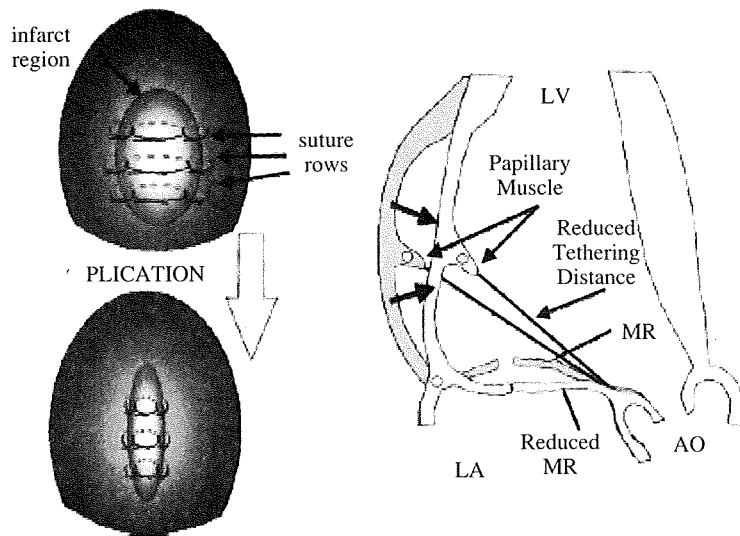


図6. Infarct Plication for Papillary Muscle Displacement  
左室梗塞領域を縫縮し、乳頭筋を本来の位置に戻して tethering を軽減することで MR を減少させる。  
(文献15より改変)

タベースによると2002～2006年までの病院死亡率は、CABG単独手術の2～3倍高い。

遠隔成績に関して、Cleveland Clinicからの報告では、IMRに対する同時手術の手術死亡率は13%で、1年生存率77%、5年生存率55%と、単独CABG後の成績に比して不良であった<sup>19)</sup>。年齢・腎機能・NYHA・左室機能・内胸動脈使用といった因子を考慮すると、低リスク群では、弁置換術後の手術生存率は81%、1年生存率56%、5年生存率30%であり、弁形成術後の手術生存率の94%、1年生存率82%、5年生存率58%と比較して不良であった。一方で、高リスク群では、弁置換と弁形成で予後に差は無かった。約70%の患者では、弁形成術が望ましいが、側壁梗塞があるか、IMRの逆流方向が複雑な場合には、無理をして弁形成術を行うよりも弁置換術が望ましかった。

術後のMR再発に関しては、弁形成により中央値14.6カ月のフォローで82%の症例で、MRがわずか以下であったとする報告も見られるが<sup>20)</sup>、遠隔期の再発は少なからずあると

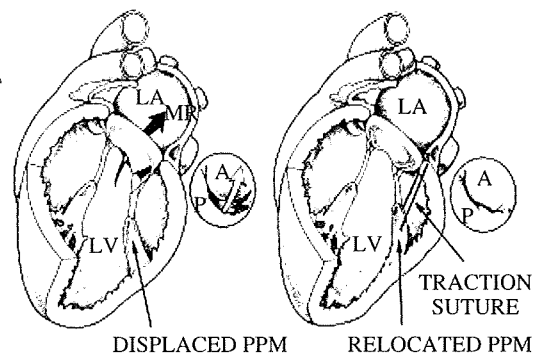


図7. 人工腱索による後乳頭筋のRelocation  
プレジット付き3-0ポリプロピレン糸を後乳頭筋に付け、P3の僧帽弁輪に縫着して前後尖の接合性が良好になるまで短縮させる。  
(文献16より改変)

する報告が多く、改善あるいは消失したと考えられたIMRが、術後数カ月の早期から30%以上の症例で2度以上となっていると、Cleveland Clinicから報告されている<sup>19)</sup>。McGeeらは、人工弁輪による僧帽弁輪縫縮術後に、心エコー・ドプラーを施行し、0ま

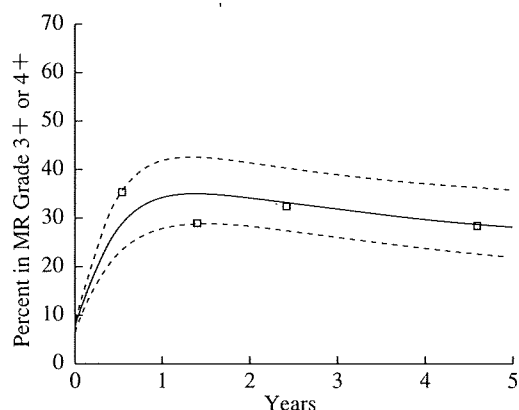


図8. 虚血性僧帽弁閉鎖不全に対する弁輪縫縮術後の再発率

術後6カ月の心エコー・ドプラー検査で3+または4+のMRは、13%から28%に増加していた。

(文献21より改変)

たは1+のMRが6カ月で71%から41%に減少し、3+または4+のMRが、13%から28%に増加していたと報告している(図8)<sup>20)</sup>。しかしながら、術後5年の再発による再手術回避率は97%であった。

同様にHungらも、人工弁輪縫縮術後エコーにて、術後平均4カ月で軽度以下のMRが70%から、術後平均4年で28%に減少し、高度のMRが17%から24%に増加していたとしている<sup>21)</sup>。IMRの再発の危険因子は、左室の球状化であった。

このように、IMRが左室の拡大・収縮性・形態といった病態と強く関係し、人工弁輪による縫縮術だけでは再発が多いことを考えれば、左室形成術を含めた外科治療戦略が必要となる。IMRは虚血性心疾患患者の予後を左右する重大な疾患であり、虚血性心筋症と同様PCIで治療できるものではない。最近では、IMRがPCIにより改善するとの考えから、左室機能の悪い患者においてもPCIが行われるようになってきている。IMRは虚血性

心筋症による心不全に対する外科治療の一環として治療されるべきである。今後数年以内には、左室形成術<sup>22)</sup>や腱索再建・二次腱索切断術といった新しい外科治療の遠隔成績が報告され、適応を含めた治療法が確立されることが期待される。

## § 文献

- 1) Kumanohoso T, Otsuji Y, Yoshifuku S, et al : Mechanism of higher incidence of ischemic mitral regurgitation in patients with inferior myocardial infarction : Quantitative analysis of left ventricular and mitral valve geometry in 103 patients with prior myocardial infarction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2003;125:135-43.
- 2) Szeto WY, Gorman RC, Gorman JH III, et al : Ischemic mitral regurgitation. In Cohn LH ed. *Cardiac surgery in the adult* 3rd ed. McGraw Hill Medical Publishing Division, New York, 2008, p785-802.
- 3) Grigioni F, Enriquez-Sarano M, Zehr KQ, et al : Ischemic mitral regurgitation : long-term outcome and prognostic implications with quantitative Doppler assessment. *Circulation* 2001;103:1759-64.
- 4) Aklog L, Filsoufi F, Flores KQ, et al : Does coronary artery bypass grafting alone correct moderate ischemic mitral regurgitation?. *Circulation* 2001; 104(suppl I):I68-I75.
- 5) Fukushima S, Kobayashi J, Bando K, et al : Late outcomes after isolated coronary artery bypass grafting for ischemic mitral regurgitation. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;53:354-60.
- 6) Schroder JN, Williams ML, Hata JA, et al : Impact of mitral valve regurgitation evaluated by intraoperative transesophageal echocardiography on long-term outcomes after coronary artery bypass grafting. *Circulation* 2005;112(suppl I):I293-8.
- 7) Mallidi HR, Pelletier MP, Lam J, et al : Late outcomes in patients uncorrected mild to moderate mitral regurgitation at the time of isolated coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004;127:636-44.
- 8) Lam B, Gillinov AM, Blackstone EH, et al : Importance of moderate ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2005;79:462-70.
- 9) Enriquez-Sarano M, Schaff HV, Orszular TA, et al :

- Valve repair improves the outcome of surgery for mitral regurgitation. *Circulation* 1995;91:1022-8.
- 10) Calafiore AM, Gallina M, Di Mauro M, et al : Mitral valve procedure in dilated cardiomyopathy : repair or replacement?. *Ann Thorac Surg* 2001;72:1146-53.
  - 11) Bhudia SK, McCarthy PM, Smedira NG, et al : Edge-to-edge repair : Results in diverse clinical setting. *Ann Thorac Surg* 2004;77:1598-606.
  - 12) Fundaró P, Pocar M, Moneta A, et al : Posterior mitral valve reconstruction for ischemic regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2004;77:729-30.
  - 13) Borger MA, Murphy PM, Alam A, et al : Initial results of chordal-cutting for ischemic mitral regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007;123:1483-92.
  - 14) Athanasuleas CL, Buckberg GD, Menicanti L, et al : Optimizing ventricular shape in anterior restoration. *Seminars in Thorac Cardiovasc Surg* 2001;13:459-67
  - 15) Liel-Cohen N, Guerrero JL, Otsuji Y, et al : Design of a new surgical approach for ventricular remodeling to relieve ischemic mitral regurgitation. *Circulation* 2000;101:2756-63.
  - 16) Kron IL, Green GR, Cope JT, et al : Surgical relocation of the posterior papillary muscle in chronic ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2002;74:600-1.
  - 17) Dion R : Ischemic mitral regurgitation : When and how it should be corrected? *J Heart Valve Dis* 1993;2:536-543
  - 18) Calafiore AM, Di Mauro M, Gallina S, et al : Mitral valve surgery for chronic ischemic mitral regurgitation. *Ann Thorac Surg* 2004;77:1989-97.
  - 19) Gillinov AM, Wierup PN, Blackstone EH, et al : Is repair preferable to replacement for ischemic mitral regurgitation?. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;122:1125-41.
  - 20) Grossi EA, Goldberg JD, LaPietra A, et al : Ischemic mitral valve reconstruction and replacement : Comparison of long-term survival and complications. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2001;122:1107-24.
  - 21) McGee EC, Gillinov AM, Blackstone EH, et al : Recurrent mitral regurgitation after annuloplasty for functional ischemic mitral regurgitation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004;128:916-24.
  - 22) Hung J, Papakostas L, Tahta SA, et al : Mechanism of recurrent ischemic mitral regurgitation after annuloplasty. Continued LV remodeling as a moving target. *Circulation* 2004;110(suppl.II):II85-90.
  - 23) Jones RH, Velazquez EJ, Michler RE, et al : Coronary bypass surgery with or without surgical ventricular reconstruction. *N Engl J Med* 2009;360:1705-17.

# 1. 冠動脈バイパス術—on-pump CABG—

福岡大学医学部心臓血管外科

森重 徳継 田代 忠

## 1) はじめに

冠動脈バイパス術 (coronary artery bypass grafting ; CABG) には, 人工心肺を使用して行う on-pump CABGと人工心肺を使用しない off-pump CABGがある. また, on-pump CABG の中には, 大動脈遮断心停止下に行う方法 (CPB-AXCL) と, 心拍動下に行う方法 (on-pump beating) がある. 症例に応じて, 以上3つの方法を使い分ける必要がある. 頸部血管病変, 脳血管障害, 大動脈病変, 腎不全など人工心肺のhigh risk症例に対してはoff-pump CABGが有用である<sup>1)</sup>. 人工心肺のlow risk例については, on-pump CABGとoff-pump CABGのいずれを選択するかはoff-pump CABGへの習熟度により決定する. 最近の当教室での傾向としては, 単独CABGは原則としてoff-pump CABGを行い, 弁形成や左室形成などの心内操作や胸部大動脈置換等を要する合併手術例や, 単独CABGでも血行動態不安定例においては, on-pump CABGを行っている. この場合, 特に左心機能低下を伴う症例では心虚血時間を回避もしくは短縮するためにon-pump beating CABG

を行う機会が増えている.

## 2) on-pump CABGの適応

冠動脈吻合は心停止下に行う方が容易に確実な吻合が可能であることは明らかである. また, 心機能の不安定な症例では人工心肺を使用した方が, 安定した全身循環の維持が可能である. 一方, 体外循環や心停止がhigh risk症例では過大な侵襲となり合併症や死亡の発生につながる可能性がある. これらの点を考慮して3つの方法を症例により使い分ける必要がある. 表1にわれわれの術式選択の適応を示す. CPB-AXCLはlow risk症例を対象に行えば, 体外循環, 大動脈遮断, 心停止などの操作は大きな侵襲とはならず, 心停止下の確実な吻合が可能である. 一般的に, 術後のグラフト開存率は, CPB-AXCLやon-pump beatingなどで良好であるが, これは術者の手技の習熟度に依存するため, 報告者により差異がある. On-pump beatingは心機能に障害のある症例や血行動態の不安定な症例に行われる<sup>2)</sup>.

■ 表1 3つの冠動脈バイパス術方法の適応

	心臓	
	high risk	low risk
全身状態 high risk	off-pump	off-pump
low risk	on-pump beating	off-pump / on-pump (AXCL)

off-pump : 人工心肺非使用心拍動下冠動脈バイパス術, on-pump beating : 人工心肺使用心拍動下冠動脈バイパス術, on-pump (AXCL) : 人工心肺使用心停止下冠動脈バイパス術.

### 3) on-pump CABGの術前検査

On-pump CABGを安全に行うためには術前に大動脈病変や脳血管病変のないことを確認する必要がある。大動脈病変を見るため、胸腹部単純CTにて大動脈石灰化や瘤の存在を除外する。また術中には大動脈エコーにて上行大動脈の内膜肥厚や可動性プラークのないことを確認する。上行大動脈に病変が見られる場合にはoff-pumpまたは送血部位の変更（腋窩動脈送血など）を行う。脳血管病変のスクリーニングとして、頸動脈duplex-scanや頭部CT検査を行う、高度の内頸動脈狭窄（ $\geq 90\%$ ）や脳虚血症状を伴う場合は、off-pumpへの変更や、同時手術として内頸動脈内膜摘除術を検討する。

### 4) on-pump CABGの方法

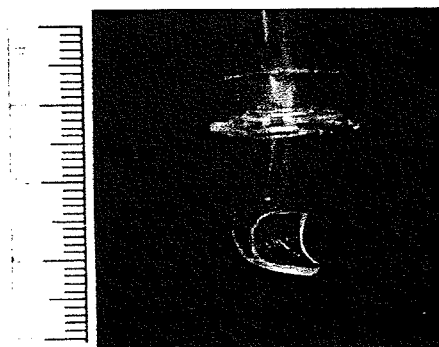
上行大動脈送血，右心房からのtwo-stage 1本脱血にて体外循環を行う。体外循環を安全に行うポイントは，送血ジェットにより動脈硬化を飛ばすことを避けることにある。そのためにジェット流の少ない送血管を選択する必要がある。送血管は大動脈に対して最も愛護的なdispersion cannulaを用いている（図1）<sup>3)</sup>。左心ベントは，上行大動脈に入れた心筋保護ラインより行っている。心筋保護は，逆行性持続性微温血液心筋保護法を行う。大動脈遮断の後，

上行大動脈より順行性に心筋保護液を注入し心停止とした後，冠静脈洞より心筋保護液を持続的に灌流し心停止を維持する。CPB-AXCLでのCABG術式の利点としては，大動脈側の吻合が可能であり，橈骨動脈などのフリーグラフトを大動脈に直接吻合することが可能であることが挙げられる。On-pump beating CABGでは同様に上行大動脈送血，右心房からのtwo-stage 1本脱血にて体外循環を行うが，左心ベントは原則使用していない。CO<sub>2</sub> blowerを用いた無血野，スタビライザーを用いた静止野にて冠動脈吻合を行う。

### 5) 人工心臓を使用した心拍動下冠動脈バイパス術の実際

#### 症例

60歳，男性。15年前より糖尿病に対する経口血糖降下薬内服治療を受けている。腹部大動脈閉塞症に対する腹部大動脈-両側外腸骨動脈バイパスを他院で8年前に受けている。心不全症状の出現があり入院，冠動脈造影にて3枝病変を認め，同時に心拡大〔左室拡張末期径（LVDd）61mm，左室収縮末期径（LVDs）52mm，左室拡張末期容積係数（LVEDVI）121mL/m<sup>2</sup>，左室収縮末期容積係数（LVESVI）97mL/m<sup>2</sup>〕，左心機能低下〔左室駆出率（LVEF）20%〕を認めた。僧帽弁逆流はなし。冠動脈造影では，左冠動脈主幹部50%，左前下行枝（LAD）#6 50~90% long lesion，第1対角枝（D1）90%，鈍縁枝（OM）90%，回旋枝（Cx）#13 75%，右冠動脈（RCA）



■ 図1 dispersion cannula



#1 90%, #3 90%, 後下行枝 (RPD) 90%の病変を認める (図2)。左心機能低下を伴う重症3枝病変症例であり, on-pump beating CABGの良い適応であるが, 全身動脈硬化を合併しており, 術中は脳合併症の予防に細心の注意が必要である。グラフトはLITAとSVGを選択し, 左内胸動脈 (LITA) -左前下行枝 (LAD), 大伏在静脈グラフト (SVG) -第1対角枝 (D1) -鈍縁枝 (OM) -後側壁枝 (LPL), SVG-右後下行枝 (RPD) の予定で手術に臨んだ。

### scheduled IABP

本症例は左室駆出率 (left ventricular ejection fraction; LVEF) 20%の低左心機能例であり, 術前より大動脈内バルーンパンピング (intra-aortic balloon pumping; IABP) 挿入を計画した。両側大腿動脈の動脈硬化が強く, また両側浅大腿動脈も閉塞しており, 大腿動脈からのIABP挿入は困難と判断し, 術当日に透視下で左肘動脈穿刺により, 7.0FrサイズのIABPバルーン (東海メディカル製) を胸部下行大動脈へ挿入留置した後, 手術室へ搬入した。

### 消毒, 体位

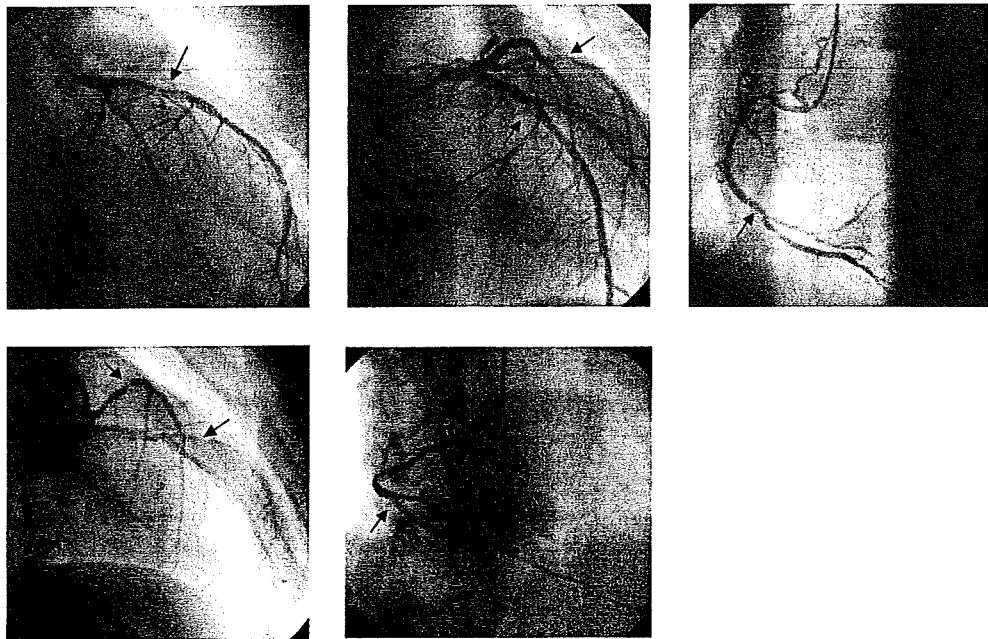
消毒は胸部から両足先まで消毒し, ドレーピングする。右腋窩動脈送血が可能なように配慮しておく。体位は仰臥位で, 両下肢は大腿部と下腿に枕を入れ, 蛙足様肢位としておく。

### グラフト採取

胸骨正中切開にて開胸し, 左内胸動脈を採取する。採取にはHarmonic Scalpel<sup>®</sup>を使用して full skeletonizedで行っている。同時に両下腿より大伏在静脈グラフトを採取する。

### epiaortic echoと送脱血管挿入 (DVE 1)

心嚢内に温生食を満たし, 7.5MHzのエコープローブにて大動脈を評価する。上行大動脈遠位部の前面に内膜肥厚を認めたが, 中枢側は後壁に認めるのみであった。送血管を通常より低めに挿入する方針とした。また大伏在静脈グラフト中枢吻合はサイドクランプを使用できないためEnclose<sup>®</sup> IIを使用することにした。



■ 図2 術前冠動脈造影  
矢印は病変部を示す。文中説明を参照のこと。

## 心側面の視野展開法 (DVD 2)

心臓後面の心膜腔の最深部に太い絹糸を掛け、左尾側へ牽引することで心臓が起き上がる(LIMA suture)。右開胸とし、さらに右側心膜の横隔膜附着部を切開(右横隔神経に注意する)することにより、脱転した心臓の心尖部を右胸腔に落とし込むことで、良好な心側面の視野が得られる。

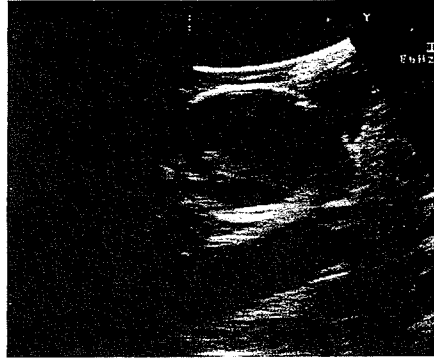
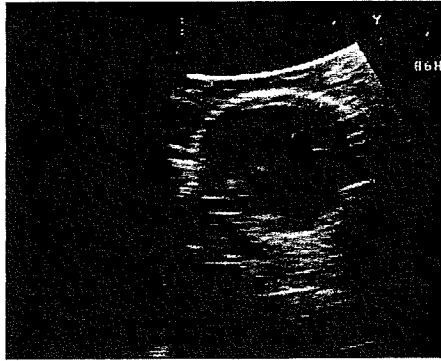
## SVG-RPD吻合 (DVD 3)

LIMA sutureを左尾側へ牽引、心尖部が頭側を向くように心臓を脱転することで下壁の視野が得られる。厚手のガーゼを左側に添えて滑脱

を押さえ、吸引型スタビライザー(ここではOCTOPUS<sup>®</sup> 4 tissue stabilizer [Medtronic, Minneapolis, USA]を使用)にて標的であるRPDを固定する。吻合部を15番メスで剥離する。冠動脈遮断は中枢側のみ5-0ポリプロピレン糸を回し、小児用のターニケットにて軽く閉めることを行っている。

以後の解説における針の方向は、冠動脈に対して時計方向で表す。図3にて頭側が9時、尾側が3時方向である。

RCA末梢(RPD, RPL)に対する吻合では、グラフトを助手が尾側に把持し、順手でparachute techniqueでグラフトのheal側を縫合



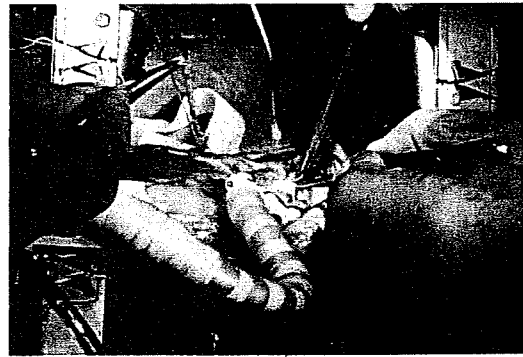
## DVD 1 epiaortic echo

左：上行大動脈遠位部短軸像で、前壁の内膜肥厚を認める。右：上行大動脈中程の短軸像で、後壁の内膜肥厚、石灰化を認める。



## DVD 2 側壁の視野展開法

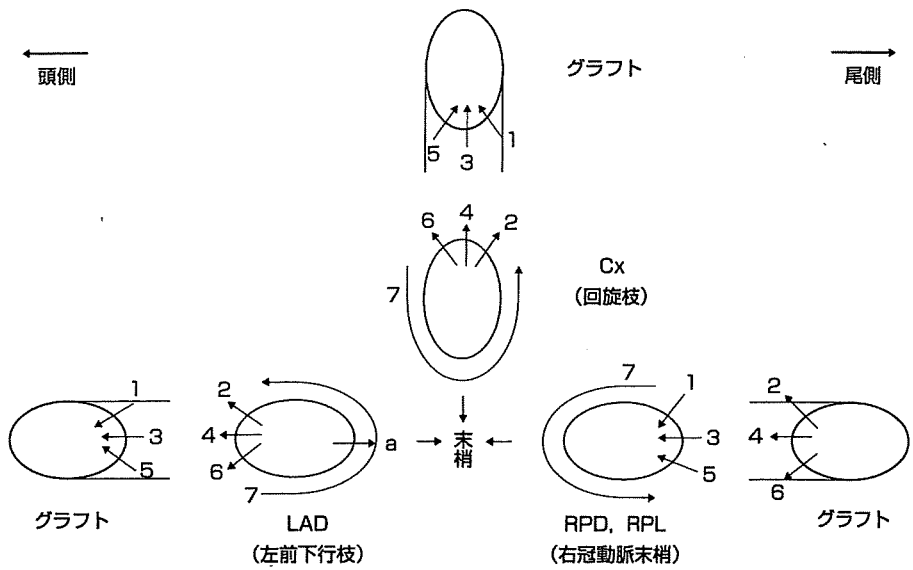
LIMA sutureを左側方向に牽引し、心臓を右側に脱転する。右開胸と右側心膜切開の併用により心尖部は右胸腔内に収まり、平面に近い吻合視野が得られる。



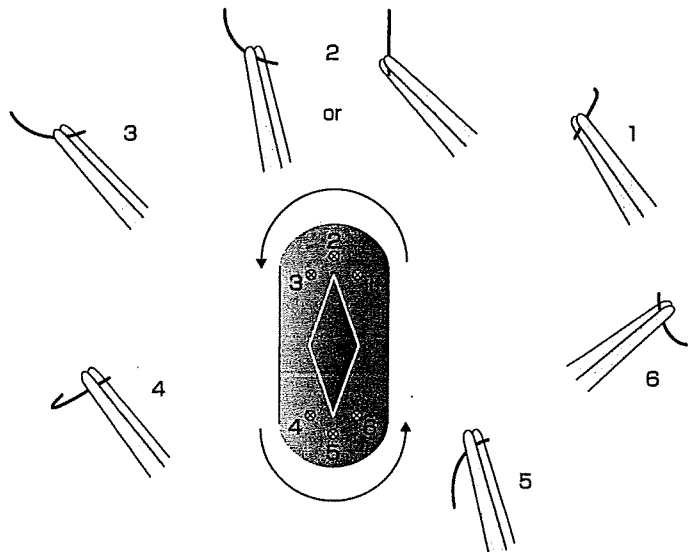
## DVD 3 下壁の視野展開法

LIMA sutureを左尾側方向に牽引し、心臓を頭側に脱転する。吸引型のスタビライザーにて吻合部位を固定する。





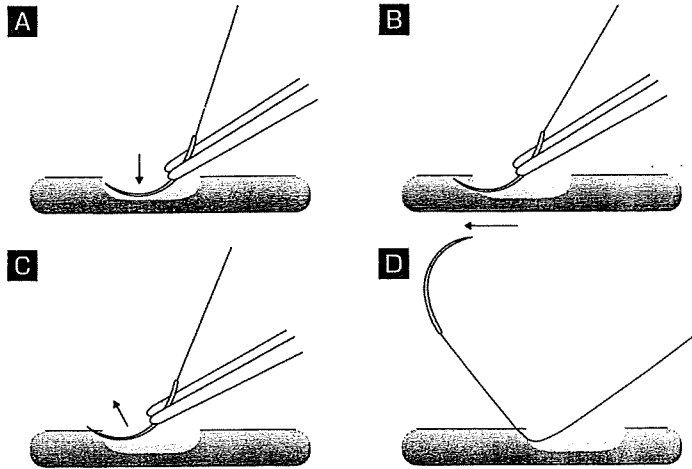
■ 図3 冠動脈吻合（端側吻合）の実際



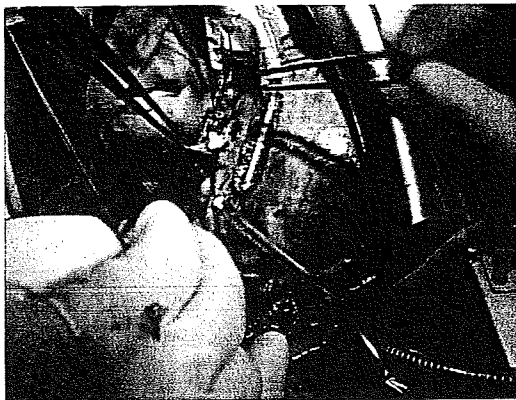
■ 図4 toeおよびheelの吻合における持針器での針の把持方向

する。2時から4時の間は順手で冠動脈に対し外→内、グラフトに対し内→外に針を入れるようにそれぞれ離して縫合する（parachute technique, 図3：RPD, RPL：1-6）。グラフトを冠動脈に下ろして合わせた後に、今までとは反対側の針を用いてグラフトに対し外→内、冠動脈に対し内→外に針を通し2時から4時方向に反時計回りに縫合する（図3：RPD, RPL：7）。1時から11時の運針においては、

持針器での針の把持方向は図4の1-3のようになる。Toeおよびheelの縫合では、グラフト・冠動脈とも厚く掛けると、吻合部狭窄の原因となる。また、冠動脈後壁を拾わないように注意する。Toeでは、持針器にて縫合針先端が冠動脈前壁天井へ向くように把持して、切開口に滑り込ませ、針の角度を変えずに持ち上げるように運針するとよい（図5）。糸を結紮し縫合を終了する。結紮によるpurse-string効果を防ぐ



■ 図5 toeおよびheelの吻合における運針（逆手）



■ 図4 SVG-LPL吻合

ために12~15針の縫合を行っている。

#### SVG-D1-OM-LPL吻合 (図4)

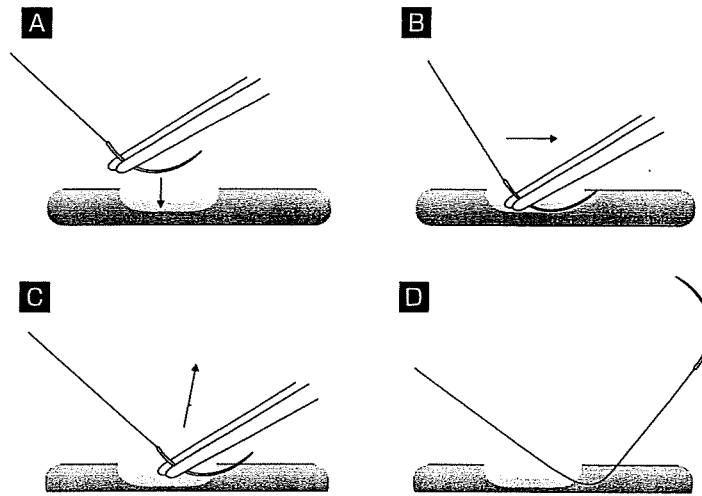
先述したように、LIMA sutureを助手側へ牽引、心臓を術者側へ脱転し、心尖部を右胸腔内に入れることで心側壁の冠動脈の良好な視野を得ることができる (図2)。

本症例では側壁領域の冠動脈再建 (LPL, OM, D1) を1本のSVGで行った。まずSVG-LPLの端側吻合から行う。

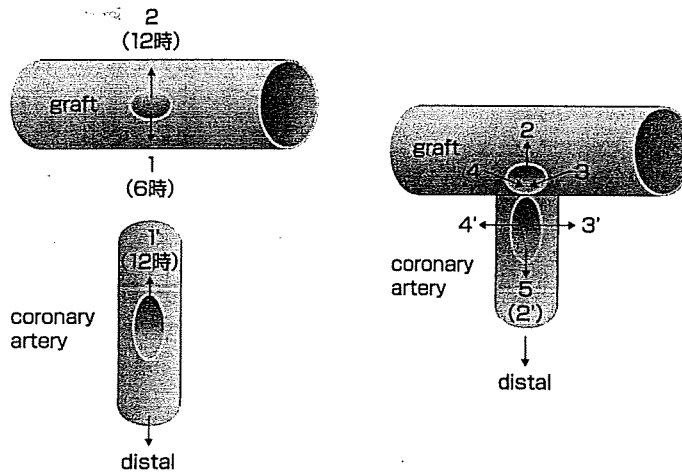
Cxに対する吻合では、グラフトは術者の正面に来るように助手が把持し、1時から11時の方向へグラフトに対し外→内、冠動脈に対し内→外の方向で針を入れながら、それぞれ離して

縫合する (parachute technique) (図3 : Cx : 1-6)。グラフトを冠動脈に下ろして合わせた後にグラフトに対し外→内、冠動脈に対し内→外に針を通し縫合する。11時から6時までは順手で運針し縫合する (図3 : Cx : 7)。6時から1時までの間は逆手で、冠動脈に対し内→外グラフトに対し外→内に針を通し縫合する。7時から5時の運針においては、持針器での針の把持方向は図4の4-6のようになる。6時 (toe) では、持針器にて縫合針先端が冠動脈前壁天井へ向くように鎌状に把持して、切開口に滑り込ませ、針の角度を変えずに持ち上げるように運針するとよい (図6)。空気抜きをした後、糸を結紮する。冠動脈遮断を解除する。グラフトと人工心肺送血ラインの側枝をつなぎ、出血のないことを確認する。

側々吻合はグラフトと冠動脈が直角に交差するダイヤモンド型の吻合を行った。吻合間の長さの決定は、beating下のCABGではグラフトを人工心肺血で張らせた状態で合わせればよく、容易である。グラフトの切開口は2~3mm長、切開後両サイド (6時, 12時) に7-0糸を2針掛ける (図7 : 1, 2)。冠動脈切開も2~3mm長とし、大きく取らない。グラフトの6時に掛けた針糸の他端の内膜側の針を冠動脈の12時の



■ 図6 toeの吻合における運針 (順手)



■ 図7 冠動脈吻合 (側々吻合) の実際

内→外へ掛けてグラフトを寄せて結紮する (図7: 1-1')。U-Clip™ (Medtronic, Minneapolis, USA) 2針でグラフトと冠動脈の3時とグラフトと冠動脈の9時を縫合する (図7: 3-3', 4-4')。最後にグラフトの9時に掛けておいた糸の内側の針糸を冠動脈の6時へ掛けてグラフトを寄せて結紮する (図7: 2-2')。遮断を解除し、出血を確認する。追加縫合を掛け止血する。単結節縫合は、連続縫合に見られるpurse-string効果は回避できるのでダイヤモンド吻合のような小切開口での吻合には有用である。また単結節縫へのU-Clip™の使用により、結紮

の手間が回避でき、手技を簡便化することができる<sup>4)</sup>。

#### LITA-LAD吻合 (BYD 5)

LADの視野展開は、柄付きガーゼを左側心後面に入れ心尖部を右側前方に起こし、吸引型スタビライザーにて吻合部を固定する (図8)。

LITAは完全にskeltonizedに採取するため、把持は滅菌済み・ Disposableの針整理用のスポンジと舌圧子を組み合わせて作成した器具へ26G注射針で固定することで行っている。LADに対する吻合では、グラフトは頭側を向



図5 5 LITA-LAD吻合

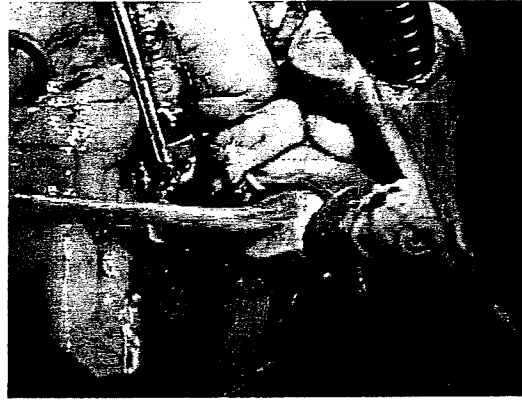
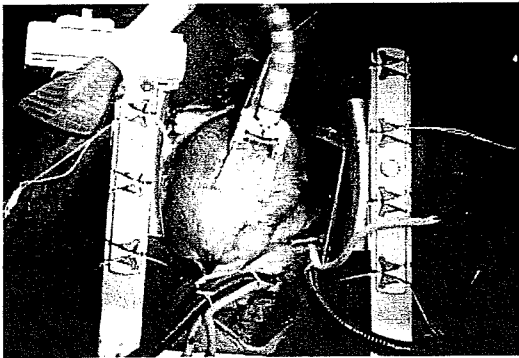


図6 6 SVG中枢吻合



■ 図8 LADの視野展開法

柄付きガーゼを左側心後面に入れ心尖部を右側前方に起こし、吸引型スタビライザーにて吻合部を固定する。

いた術者の正面に来るように助手が把持する。針の方向は、冠動脈に対して時計方向で示し、図3のLADにて頭側が9時、尾側が3時方向である。まず、10時から8時の方向にグラフトに対し外→内に、冠動脈に対し内→外に針を入れ、それぞれ離して縫合する(parachute technique)(図3:LAD:1-6)。グラフトを冠動脈に下ろして合わせた後にグラフトに対し外→内、冠動脈に対し内→外に針を通し縫合する。9時から3時までには順手で運針し縫合する(図3:LAD:7)。3時から10時までの間は逆手で、冠動脈に対し内→外、グラフトに対し外→内に針を通し縫合した後、糸を結紮する。持針器での針の把持方向とtoeおよびheelでの針の掛け方はCxに準じる。

### SVG中枢吻合(図6)

本症例では上行大動脈遠位部の内膜肥厚があり、脳合併症の危険性からサイドクランプの使用は避け、Enclose® II Anastomosis Assist Device(ATS Medical, Minneapolis, USA)を使用して、SVG中枢吻合を行った。Enclose®使用時は、大動脈の内側の隙間が限られているため、針糸は6-0の強弯の小さい針の付いたものを使用すると容易である。

回旋枝に対するグラフトの中枢吻合においては、助手がSVGを術者の正面に来るように把持し、1時から11時の方向にグラフトに対しては外から内、大動脈に対しては内から外へ針を入れるようparachute techniqueで運針し、グラフトを大動脈に下ろす。その後は反時計回りに11時から5時までグラフトに対して外から内、大動脈に対して内から外へ針を順手で通して縫合していく。1時から5時までには反対の針を使用して、順手で大動脈に対して外から内、グラフトに対して内から外へ通して縫合した後、糸を結紮する。

右冠動脈に対するグラフトは、尾側に来るため、助手側から吻合すると容易である。助手側から見て11時から9時の方向にグラフトに対しては外から内、大動脈に対しては内から外へ針を入れるようparachute techniqueで運針し、グラフトを大動脈に下ろす。その後は反時計回り