

Experimental and Clinical Studies on the Physiological Suitabilities of Arterial Grafts for Coronary Artery Bypass Grafting

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/8311

冠動脈バイパス術における動脈グラフトと冠循環の 生理学的適合性に関する実験的および臨床的検討

金沢大学医学部外科学第一講座 (主任: 渡辺洋宇教授)

手取屋 岳 夫

(平成4年1月22日受付)

冠動脈バイパス術 (coronary artery bypass grafting, CABG) において、大伏在静脈を用いた大動脈-冠動脈バイパスグラフトに加え、最近では体循環系動脈がグラフトとして積極的に使用されているが、それらの血流動態が冠循環系とはことなるためその血流供給能が懸念される。雑種の成熟イヌ18頭を用いて CABG の実験モデルを作成し、各種の動脈系グラフトの血流供給能を検討した。上行大動脈から左前下行枝 (left anterior descending artery, LAD) に到達するグラフト (ascending aorta graft, AAG) と、第一腰椎の高さの下行大動脈から LAD に到達するグラフト (descending aorta graft, DAG), 並びに左内胸動脈 (internal thoracic artery, ITA) を互いに吻合し複合グラフトとした。各グラフトの解放流量 (free flow) および先端圧を測定した後、複合グラフトを LAD に吻合し、吻合後、血流量、吻合部内圧を測定した。LAD 流量波形は拡張期優位の二峰性を示した。AAG は LAD よりさらに拡張期優位の二峰性波形を示した。ITA は拡張期流量が少ない二峰性を示した。DAG は ITA よりさらに拡張期流量が少なく収縮期優位の単峰性の波形を示した。グラフトの収縮期流量は AAG は LAD, ITA, DAG より有意に高値を示した ($p < 0.01$) が、LAD, ITA, DAG の間では有意差は認めなかった。拡張期流量は、AAG は LAD より有意に高値を示し、ITA は LAD と AAG より、DAG は LAD, AAG, ITA より有意に低値であった ($p < 0.01$)。グラフト先端圧波形は、AAG は急峻に立ち上がり拡張期に緩やかに圧が低下した。ITA は AAG より遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と低い拡張期圧を特徴とした。DAG は ITA より更に遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と、低く落ち込む拡張期圧を呈した。収縮期圧には有意差は認めなかった。拡張期圧と平均圧は ITA は AAG より、DAG は AAG と ITA より有意に ($p < 0.01$) 低値を示した。グラフト先端圧の平均収縮期圧は ITA と DAG が LAD と AAG より有意に低値を示した ($p < 0.01$)。平均拡張期圧では LAD と AAG には有意差を認めなかったが、ITA は LAD と AAG に対し、DAG は LAD, AAG, ITA に対して有意に低値を示した ($p < 0.01$)。各グラフトの平均拡張期圧と拡張期流量は単回帰分析にて高い相関性を示した。吻合後のグラフト内圧波形は先端圧波形と類似した特徴を示したが、吻合部内圧の収縮期圧は左室圧と同時に立ち上がり、収縮期圧が先端圧より約10%低下していた。臨床例において CABG 術中に ITA および胃大網動脈 (right gastroepiploic artery, GEA) の先端圧を測定した。ITA は上行大動脈圧より遅れて急峻に立ち上がる、幅の狭い収縮期圧と低い拡張期圧を特徴とした。GEA は ITA より更に遅れて急峻に立ち上がる、幅の狭い収縮期圧と低く落ち込む拡張期圧を呈した。臨床例の ITA と GEA は実験的研究の ITA と DAG と同様の生理学的特徴を有していた。以上の結果より、収縮期優位の体循環系の動脈グラフトは、冠動脈および上行大動脈-冠動脈バイパスと比較すると拡張期優位の冠循環に対する拡張期血流供給能が劣り、生理学的適合性が劣ることが示された。

Key words coronary artery bypass grafting, arterial graft, blood flow, physiological suitability

近年の虚血性心疾患の増加に伴って、冠動脈バイパス術 (coronary artery bypass grafting, CABG) は症例数も増加し、技術的にも進歩を遂げている。CABG の術式としては自家大伏在静脈をグラフトとした上行大動脈-冠動脈バイパス術が一般的であったが、遠隔期での開存率が低下するため、長期開存性を期待して内胸動脈 (internal thoracic artery, ITA) や右胃大網動脈 (right gastroepiploic artery, GEA) が有茎グラフトとして使用されるようになり、大伏在静脈グラフトのみを使用した場合より長期開存性が良好であるとされている。手術技術の向上に伴って重症冠動脈病変に対して多岐バイパスが行われるよう

になり、臨床で複数の動脈グラフトによる CABG も行われている。しかし一方では、動脈グラフトの血流不足のため CABG 術中に体外循環からの離脱が困難となり、大伏在静脈グラフトによる再度のバイパスによって体外循環離脱を成し得た症例の報告¹⁾や、術後に動脈グラフトが良好に開存しているにも関わらず、運動負荷時に動脈グラフト灌流域の壁運動異常を認める症例があることが報告²⁾、動脈グラフトの血流不足が懸念されている。

収縮期優位の体循環としての特徴を有する動脈グラフトと、拡張期優位の血行動態を示す冠循環との生理学的適合性が動脈

Abbreviations: AA, ascending aorta; AAG, ascending aorta graft; CABG, coronary artery bypass grafting; DAG, descending aorta graft; GEA, right gastroepiploic artery; ITA, internal thoracic artery; LAD, left anterior descending artery

グラフトの血流供給能不足の一因と考えられる³⁾。動脈グラフトの吻合後の血流量に関する詳細な報告はなく、特に冠循環に有効に働く拡張期血流量の評価はなされていない。著者は動脈グラフトの冠循環に対する血流供給能を明らかにする目的で、雑種の成熟イヌを用いて同一冠動脈に対して大伏在静脈グラフト、ITA および GEA をそれぞれ灌流させる CABG 実験モデルを作成して、各グラフトの吻合後血流量、吻合部内圧を測定し、血流供給能および血行動態の特徴を詳細に検討した。臨床的検討では、CABG 術中に動脈グラフトの先端圧を検討し、これらの生理学的特徴を明らかにした。

対象および方法

1. 実験的検討

1. 対象

体重 22~30kg (平均 27kg) の雑種の成熟イヌ 18頭を用いた。

2. 麻酔および術中管理

塩酸ケタミン (三共製薬, 東京) 20mg/kg の筋肉内投与および手術時間30分経過ごとに 10mg/ml の静脈内追加投与による全身麻酔を行い、経口的に気管カニューレを挿管し、Harvard型人工呼吸器 (Bodine Electric Company, Chicago, 米国) にて毎分20回・30~40ml/kg/回の従量式人工呼吸を行った。

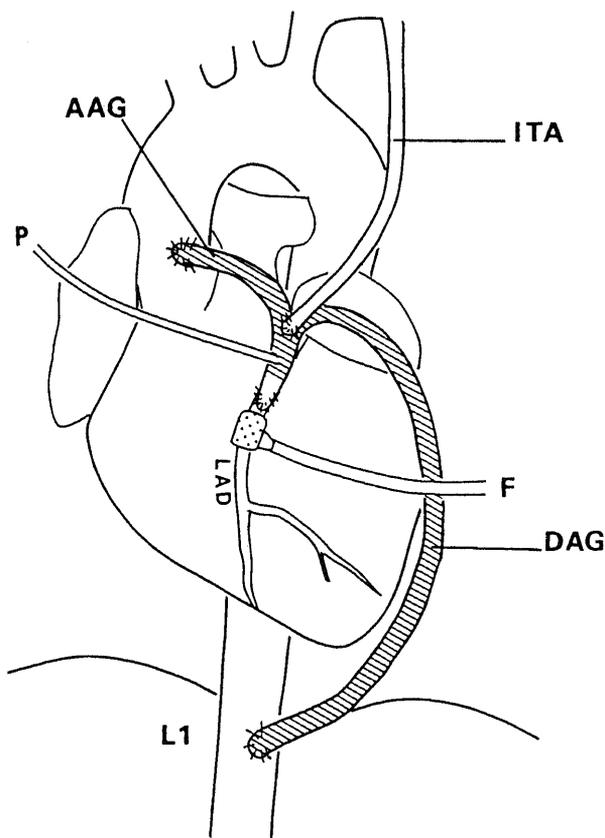


Fig. 1. Diagram of the experimental procedure of coronary artery bypass grafting and the measurement system in this study. ●, PTFE grafts; LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft; L1, the first lumbar vertebra; F, the transit-time ultrasound flow meter; P, the fiberoptic transducer-tipped pressure-monitoring system.

3. 手術

大腿部を切開し、大腿動脈を採取し塩酸パパペリン (大日本製薬, 東京) 加生理食塩水 (2mg/dl) で内腔, 外壁とも十分に浸して動脈スパズムを解除し、冠動脈バイパス用のグラフトとして準備した。左傍胸骨切開にて開胸し、左 ITA を覆う胸壁側の筋肉 (M. transversus thoracis) に電気メスで切開を加え動脈のみを露出し、全ての分枝は中極側, 末梢側とも 3-0 絹糸で結紮して切断した。ITA の鎖骨下動脈起始部から筋横隔膜動脈分枝まで完全に遊離した。剥離した ITA には塩酸パパペリン加生理食塩水を散布した。続いて、心膜縦切開を行い心臓に達した。右房よりヘパリンナトリウム (武田製薬, 大阪) を 2 mg/kg 投与し、上行大動脈送血, 上下大静脈脱血にて人工心肺を開始し、30℃の軽度低体温体外循環とした。大動脈遮断後、高カリウム晶質心筋冷却保護液 20ml/kg を上行大動脈基部より注入し心停止させ、心臓局所冷却を併用した。左前下行枝 (left anterior descending artery, LAD) を剥離し、後に LAD を結紮するため第一対角枝分岐直後の LAD に 2-0 絹糸を通した。採取した自家大腿動脈グラフトを 7-0 polypropylene 糸を用いて LAD に連続縫合した後、大動脈遮断を解除した。次に、径 3 mm の PTFE (polytetrafluoroethylene) (Gore and Associates Inc., Arizona, 米国) 人工血管を用いて、上行大動脈基部から LAD に達するグラフト (ascending aorta graft, AAG) と、第一腰椎の高さ下行大動脈から LAD に到達するグラフト (descending aorta graft, DAG) を作成し、両グラフトを互いに吻合し Y 字型グラフトとした。さらに ITA を Y 字型グラフトに吻合し複合グラフトとし、先に LAD に吻合してあった大腿動脈グラフトにこれを連結した (図 1)。この複合グラフトにおいて、AAG は臨床例の大伏在静脈による大動脈冠動脈バイパスグラフトを、DAG は GEA による有茎バイパスグラフトを想定した。心室細動が活発になったところで直流通電 (30w) にて心拍動性を得た。体温が 37℃に戻り、血行動態が安定した後人工心肺を停止させ、動静脈カニューレを抜去した。心機能の回復のために一時的に心房ペーシングを 4 頭に行ったが、カテコラミンは使用しなかった。

4. 血圧および血流測定

圧測定は先端圧トランスジューサーシステム (Fiber Optic Transducer-Tipped Pressure Monitoring Catheter system) (Camino Laboratories, Inc, Texas, 米国) を用いた (図 2)。本装置は光ファイバーを利用した圧測定装置であり、先端の受圧部に反射鏡を有し、送光ファイバー (sending fiber) から光が送られ、反射鏡の動きに応じて受光ファイバー (receiving fiber) が受け取る光量が変化して圧を感知する仕組みである。オーバーシュートを起こさず速い圧変化反応を有し、共振周波数を持たないため、共振も減衰もせず高い精度の圧波形を描きだし、また、静水圧に影響されないためレファランス点を定める必要がない⁴⁾。測定用のカテーテルを複合グラフトの冠動脈側の側枝に挿入し内圧を測定した (図 1)。血流測定は超音波トランジットタイム血流計 (Transonic System Inc, New York, 米国) を用いた (図 3)。この血流計は液体を挟んだ 2 点間を交互に伝播する超音波の到達時間を計測して、直接血流を測定する血流測定装置である。プローブ内の 2 つの振動子が形成する均一の超音波フィールドが、血流によるその上流では加速され、下流では減速され血流がゼロの場合に比べ到達時間がそれぞれ変化して瞬時に血流を感知する仕組みである。血管径に関係な

く血流量が求められ、プローブによる血管の締めつけや圧迫がなく、乱流を生じることもなく生理的に血流測定を行える⁹⁾。測定用のプローブを LAD の吻合部末梢側に装着し血流測定を行った (図 1)。圧および血流測定は血行動態が安定した状態で施行した。まず、複合グラフトを閉塞させて LAD の血流量と内圧を測定した。続いて、各グラフトの先端圧を測定したのち、20秒間に各グラフトから流出する血液量を計測し解放流量 (free flow) を算出した。次に、複合グラフトを開放し、LAD の吻合部中枢側の糸を結紮し LAD を完全閉塞させた。各グラフトについて、吻合部圧、血流量を心電図と同時に記録した。心電図の R 波のピークから T 波の終末までを収縮期として⁹⁾、収縮期および拡張期血流量を計測した。グラフト先端圧と吻合部内圧について、収縮期圧、拡張期圧を測定した。心電図の R 波のピークと各波形の収縮期の立ち上がりの時間差を測定し脈波遅延とした。収縮期および拡張期における 0 mmHg を基線とした圧曲線下の面積をプランメータにて測定した (図 4)。収縮期および拡張期面積をそれぞれ収縮期時間、拡張期時間で除した値を平均収縮期圧、平均拡張期圧とした。

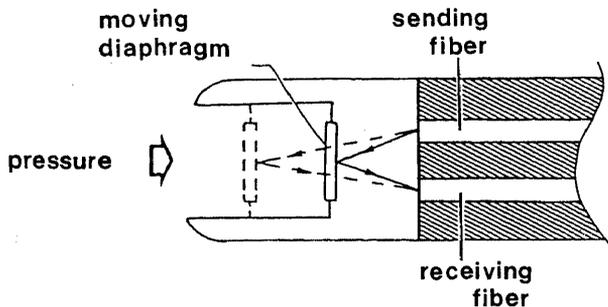


Fig. 2. Diagram of the tip of the fiberoptic transducer-tipped pressure-monitoring catheter. When pressure is applied to the catheter tip, the mirror-diaphragm moves. The movement is sensed by light signals emitted from a "sending fiber", and the reflected light is sent to an amplifier through a "receiving fiber"

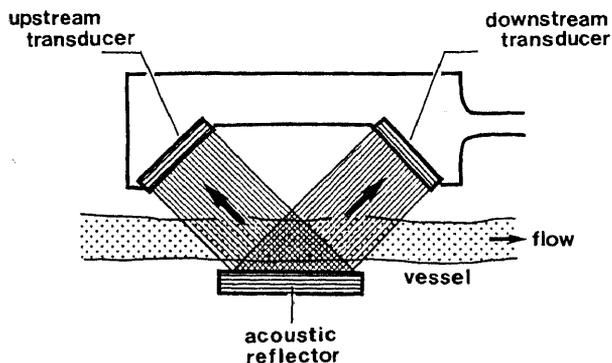


Fig. 3. Diagram of the probe of the transit-time ultrasound flow meter. One transducer emits a plane-wave burst of ultrasound, which intersects the entire surface of the vessel twice on a reflected pathway by the acoustic reflector. This beam is received by the second transducer. The transit-time of the ultrasonic wave is modified slightly by flow in the vessel. The direction of the transit-time measurement alternates between the two transducers. These "upstream" and "downstream" phase readings are used to calculate the flow volume.

II. 臨床的検討

1. 対象

CABG を施行した28例 (男性26例、女性2例) を対象とした。年齢は39から72歳で平均57±3歳であった。

2. 手術

正中切開、胸骨縦切開ののち、ITA は起始部から上腹壁動脈と筋横隔動脈の分岐部まで電気メスを用いて剝離した。GEA は大網枝を結紮して大網より剝離した。右房より全身ヘパリン化 (2mg/kg) した後、人工心肺カニューレーション前に ITA および GEA を切断してそれぞれ有茎グラフトとした。塩酸パパペリン加生理食塩水 (2mg/ml) のグラフト全体へのスプレーと動脈内注入を行ってグラフトを十分に拡張させ、スパズムを防止した。

3. 圧測定

圧測定は先端圧トランスジューサーシステムを用いた。このカテーテルの先端径は 4F と細く動脈グラフト断端に安全に挿入し測定できる。先端圧トランスジューサーシステムを用いて各グラフトの断端圧を上行大動脈 (the ascending aorta, AA) 圧と同時に測定し、心電図と同時にマルチチャンネルレコーダー (Mingograf 82, Siemens-Elcoma, Solna, スウェーデン) に記録した。測定前に橈骨動脈圧、Swan-Ganz catheter (Baxter Healthcare Corp., California, 米国) による血圧、肺動脈圧、肺動脈楔入圧、右房圧、熱希釈法による心拍出量を測定した。各グラフトの解放流量を20秒間の実測にて計測した。各波形について収縮期血圧、拡張期血圧を測定した。心電図の R 波のピークと各波形の収縮期の立ち上がりの時間差を測定し、脈波遅延とした。また、収縮期を心電図の R 波のピークから T 波の終末までとして、収縮期および拡張期における 0 mmHg を基線と

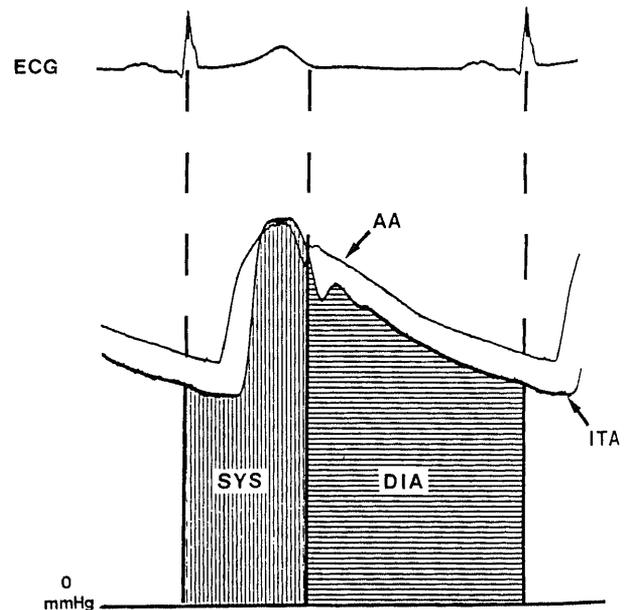


Fig. 4. Diagram of the method of calculation the systolic and diastolic areas. The areas under the systolic and diastolic pressure waves are measured, using the systolic portion as a reference for the peak of the R wave and the end of the T wave in a simultaneously recorded ECG. AA, the ascending aorta; ITA, internal thoracic artery; SYS, the systolic area; DIA, the diastolic area; ECG, electrocardiogram.

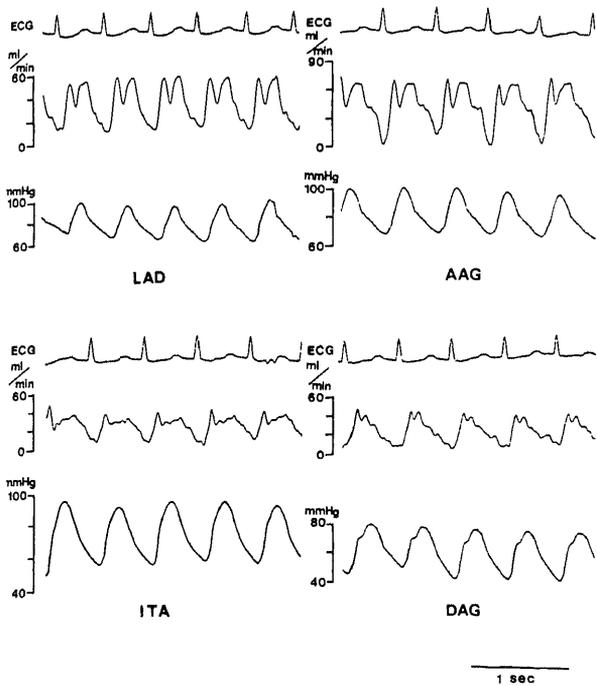


Fig. 5. Blood flow in LAD and the three grafts. The uppermost reading show ECG, the middle ones showed the blood flows and the lower readings show the intraluminal pressures at the anastomosis. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft; ECG, electrocardiogram.

した圧曲線下の面積をプランイメータにて測定した。実験的検討と同様に平均収縮期圧および平均拡張期圧を算出した。

Ⅲ. 統計学的処理

実験的検討および臨床的検討の各測定項目は連続する5心拍について行い、それらの平均値を測定値とした。測定値は平均値±標準誤差 (mean±S.E.M.) で示した。2群間の平均値の差の検定には対応のあるt検定を、また、3群以上の有意差検定には一元配置分散分析のち、Dunnett または Scheffe の多重比較を行った。危険率が0.05未満の場合に統計学的に有意であると判定した。

成 績

Ⅰ. 実験的検討

1. 測定時血行動態

心拍数は133±3/分であった。LAD 閉塞後はいずれのグラフトにおける測定でも、心電図変化、血行動態の変化、壁運動の変化、心筋の色調の変化は認められなかった。

2. 解放流量

AAG は352±16ml/分、ITA は93±4 ml/分、DAG は80±4 ml/分であった。各グラフト間で統計学的有意差を認めた (p<0.01, p<0.01, p<0.01)。

3. LAD 流量およびグラフト流量

各流量波形は特徴的な形態を示した (図5)。LAD 流量波形は収縮期と拡張期の間に切れ込みを有する拡張期優位の二峰性を示した。AAG はLAD よりさらに拡張期優位の二峰性波形を示し、拡張期の後半がなだらかに低下する波形を示した。

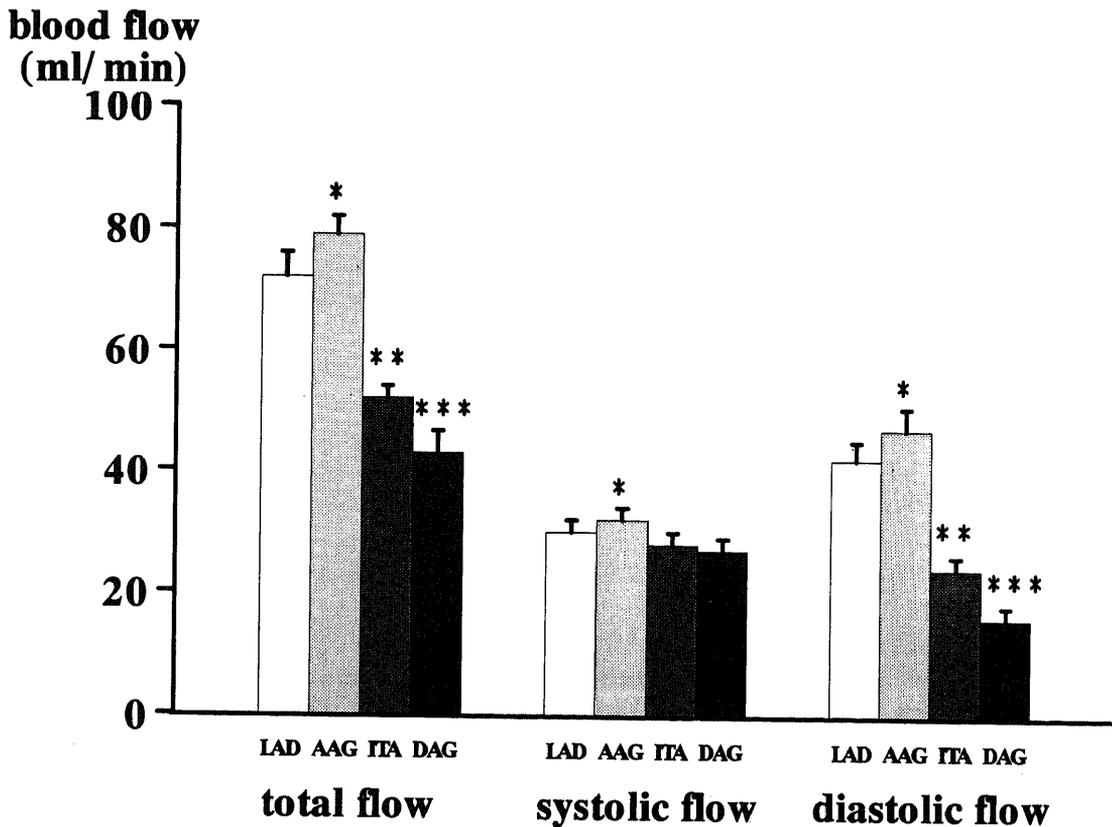


Fig. 6. Comparison of total, systolic and diastolic blood flows. The data represent mean±SEM. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft. *p<0.01 vs LAD, **p<0.01 vs LAD and AAG, ***p<0.01 vs LAD, AAG and ITA by Student's paired T test.

ITA は拡張期流量が LAD に比し少ない二峰性を示した。DAG は ITA よりさらに拡張期流量が少なく、収縮期優位の波形を示した。

グラフト流量 (図 6) は、AAG は 79 ± 3 ml/分, ITA は $52 \pm$

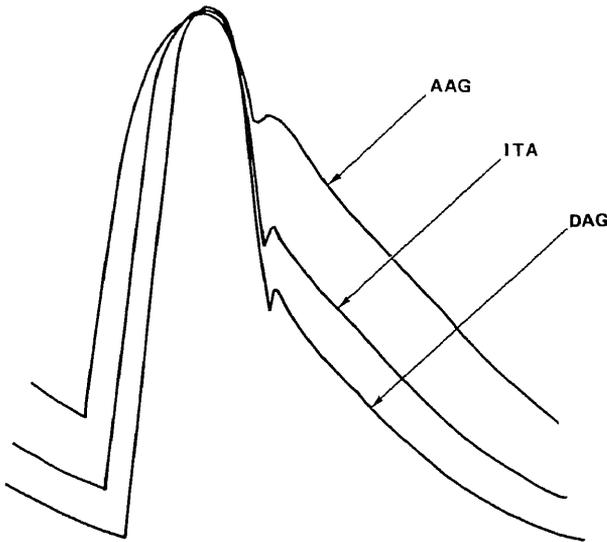


Fig. 7. Diagram of the pressure tracings of the three grafts. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DDA, descending aorta graft.

2 ml/分, DAG は 43 ± 4 ml/分で、各グラフト流量間で統計学的有意差を認めた ($p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$). AAG, ITA, DAG の各グラフト流量はそれぞれの FF の 23%, 67%, 52% で、グラフト流量と FF の間には、それぞれ $r = 0.75$, $p < 0.05$, $r = 0.76$, $p < 0.01$, $r = 0.68$, $p < 0.05$ の相関が認められた。収縮期流量は、LAD は 30 ± 2 ml/分, AAG は 32 ± 2 ml/分, ITA は 28 ± 2 ml/分, DAG が 27 ± 2 ml/分で AAG は LAD, ITA, DAG より有意に ($p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$) 高値を示した。LAD, ITA, DAG には統計学的有意差は認めなかった。拡張期流量は、LAD は 42 ± 3 ml/分, AAG は 47 ± 4 ml/分, ITA は 24 ± 3 ml/分, DAG は 16 ± 2 ml/分で各流量に統計学的有意差を認めた。すなわち、AAG は LAD より有意に高値を示し ($p < 0.01$), ITA は LAD と AAG より、DAG は LAD, AAG, ITA より有意に低値であった ($p < 0.01$, $p < 0.01$)。

4. グラフト先端圧と吻合後の吻合部内圧

グラフト先端圧の圧波形は各グラフトで特徴ある形態を呈した (図 7)。AAG は急峻に立ち上がり、拡張期に緩やかに圧が低下し高い拡張期圧を維持した。ITA は AAG より遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と低い拡張期圧を特徴とした。DAG は、ITA より更に遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と急激に低下し低く落ち込む拡張期圧を呈した。収縮期圧は、AAG は 108 ± 2 mmHg, ITA は 108 ± 2 mmHg, DAG は 109 ± 3 mmHg で統計学的有意差は認めなかった。拡張期圧は、AAG は 73 ± 2 mmHg, ITA は 60 ± 2 mmHg, DAG は 50 ± 2

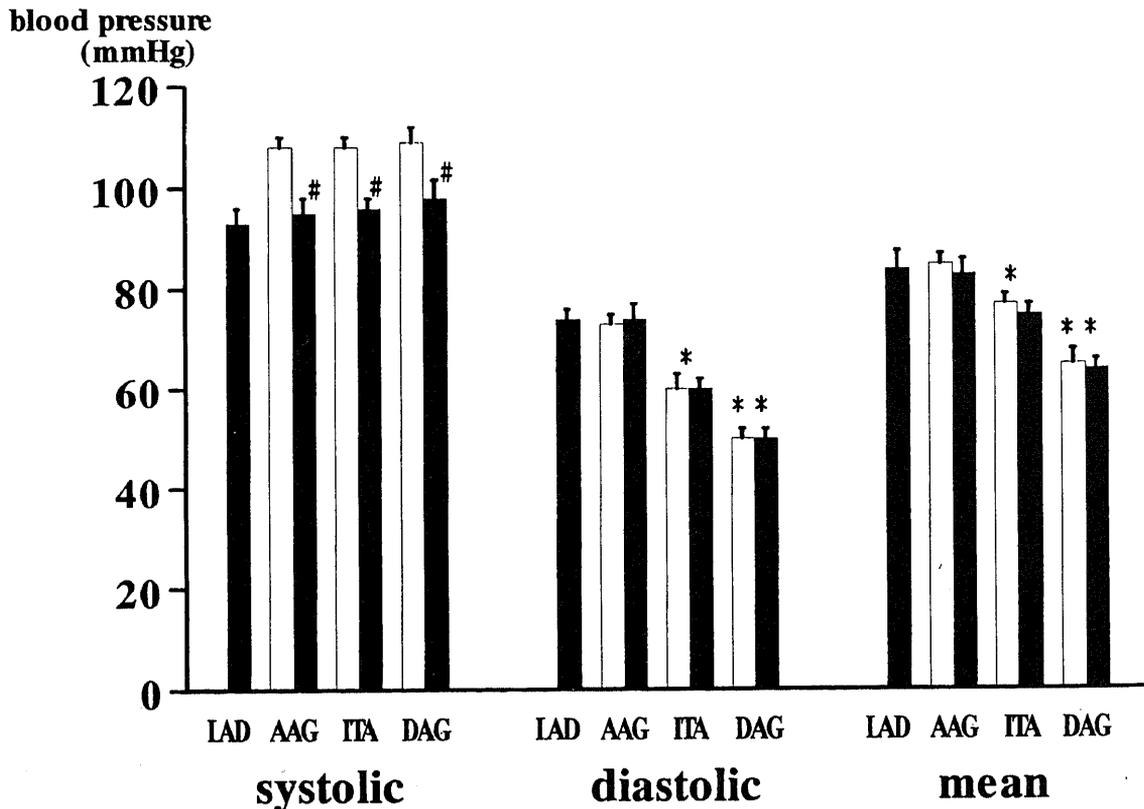


Fig. 8. The summary of the intraluminal pressures in LAD and before and after grafting in the three grafts. The data represent mean \pm SEM. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft; , before grafting; , after grafting. # $p < 0.01$ vs the pressure before grafting, * $p < 0.01$ vs LAD and AAG, ** $p < 0.01$ vs LAD, AAG and ITA by Student's paired T test.

mmHg で ITA は AAG より有意に低く ($p < 0.01$), DAG は AAG と ITA より有意に低値を示した ($p < 0.01$). 平均圧は AAG は 85 ± 2 mmHg, ITA は 77 ± 2 mmHg, DAG が 65 ± 2 mmHg で, ITA は AAG より, DAG は AAG と ITA より有意に低値を示した ($p < 0.01$) (図 8). 脈波遅延は, AAG は 77 ± 3 msec, ITA は 127 ± 2 msec, DAG は 173 ± 3 msec で各々有意差を認めた ($p < 0.01$).

吻合後に, まずグラフトを閉塞して LAD の内圧を測定し

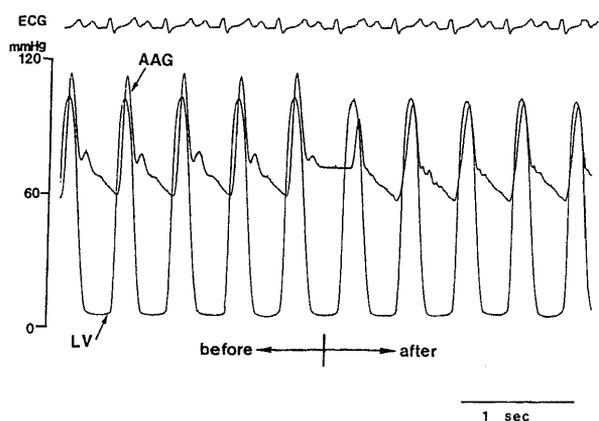


Fig. 9. The differences between pressures before and after grafting. LV, left ventricle; AAG, ascending aorta graft; ECG, electrocardiogram.

た. LAD 内圧は左室圧と同時に急峻に立ち上がり, 拡張期に圧が緩やかに低下し, 高い拡張期圧を維持する AAG と同様の特徴を示した. 吻合部中樞を結紮して各グラフト内圧を測定した. 吻合後の各グラフト内圧の収縮期圧ピークと左室圧のピークの時間差は, 各グラフト先端圧の脈波遅延と差を認めなかったが, 全ての収縮期圧の立ち上がりは左室圧の立ち上がりと同時にあった (図 9). 収縮期圧は, LAD は 93 ± 3 mmHg, AAG は 95 ± 2 mmHg, ITA は 96 ± 2 mmHg, DAG は 98 ± 3 mmHg で統計学的有意差を認めなかった. 各グラフトの吻合部収縮期内圧は, グラフト先端圧のそれぞれ 9%, 11%, 10% 低値を示し有意差を認めた ($p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$). 拡張期圧は, LAD は 74 ± 3 mmHg, AAG は 73 ± 2 mmHg, ITA は 60 ± 2 mmHg, DAG は 50 ± 2 mmHg で, AAG は LAD と統計学的有意差を認めなかったが, ITA と DAG は LAD より有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$). 各グラフト吻合部拡張期圧は拡張期グラフト先端圧と差を認めなかった. 平均圧は LAD は 84 ± 3 mmHg, AAG は 82 ± 2 mmHg, ITA は 75 ± 2 mmHg, DAG が 64 ± 2 mmHg で, AAG は LAD と有意差を認めなかったが, ITA と DAG は LAD より有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$). 各グラフトの吻合部平均内圧はグラフト先端圧の平均圧と統計学的有意差を認めなかった (図 8).

5. グラフト先端圧および吻合部内圧の圧波形面積

グラフト先端圧の収縮期面積は, AAG は 24 ± 1 mmHg·sec,

surface area under pressure wave (mmHg sec)

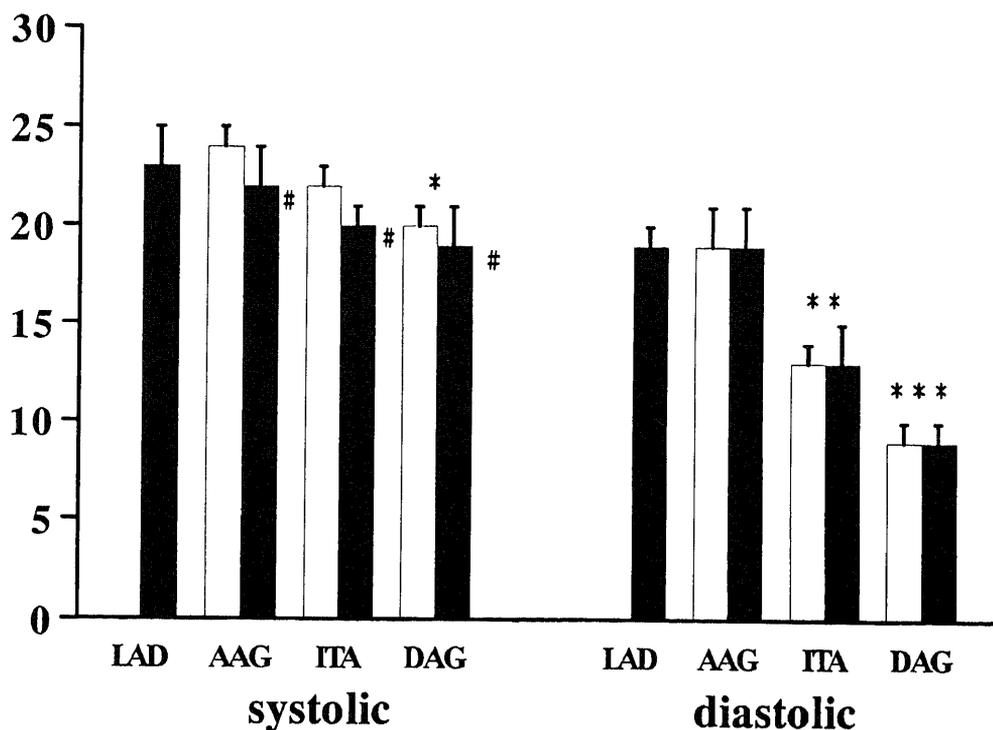


Fig. 10. The summary of the areas under the pressures waves. The data represent mean \pm SEM. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft; , before grafting; after grafting. # $p < 0.01$ vs the pressure before grafting, * $p < 0.01$ vs LAD and AAG, *** $p < 0.01$ vs LAD, AAG and ITA by Student's paired T test.

ITA は $24 \pm 1 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, DAG は $20 \pm 2 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$ で, AAG と ITA, ITA と DAG には統計学的有意差は認めなかったが, DAG は AAG に対して有意に低値を示した ($p < 0.01$). 拡張期面積は, AAG は $19 \pm 2 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, ITA は $13 \pm 3 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, DAG は $9 \pm 1 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$ で ITA は AAG に対して, DAG は AAG と ITA に対して有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$) (図10). 吻合部内圧の収縮期面積は, AAG は $22 \pm 1 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, ITA は $20 \pm 1 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, DAG は $19 \pm 2 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$ であった. AAG は92%, ITA は91%, DAG は95%で, 有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$, $p < 0.01$). 拡張期面積は, AAG は $19 \pm 2 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, ITA は $13 \pm 2 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$, DAG は $9 \pm 2 \text{ mmHg} \cdot \text{sec}$ で, グラフト先端圧に対して統計学的有意差を認めなかった. LAD の吻合部内圧の収縮期面積は $22 \pm 3 \text{ mmHg}$, 拡張期面積は $19 \pm 2 \text{ mmHg}$ で AAG とは有意差を認めなかった (図10).

6. 平均収縮期圧および平均拡張期圧

グラフト流量とグラフト先端圧の関連を評価する目的で収縮期および拡張期の平均圧を算出した. 平均収縮期圧は, LAD が $98 \pm 2 \text{ mmHg}$, AAG が $97 \pm 3 \text{ mmHg}$, ITA が $95 \pm 4 \text{ mmHg}$, DAG が $94 \pm 6 \text{ mmHg}$ で, LAD と AAG, ITA と DAG はそれぞれに統計学的有意差を認めなかったが, ITA と DAG は LAD と AAG より有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$). 平均拡張期圧は, LAD が $86 \pm 1 \text{ mmHg}$, AAG が $83 \pm 1 \text{ mmHg}$, ITA が $72 \pm 2 \text{ mmHg}$, DAG が $57 \pm 2 \text{ mmHg}$ で, LAD は AAG は有意差を認めなかったが, ITA は LAD と AAG に対

して, DAG は LAD, AAG, ITA に対して有意に低値を示した ($p < 0.01$, $p < 0.01$) (図11). 各平均拡張期圧と拡張期流量を単回帰分析にて相関性を評価すると, LAD は $r = 0.85$, $p < 0.0005$, AAG は $r = 0.79$, $p < 0.001$, ITA は $r = 0.83$, $p < 0.0005$, DAG は $r = 0.91$, $p < 0.00005$ といずれもきわめて有意に相関した (図12).

II. 臨床的検討

1. ITA および GEA

ITA は29本, GEA は10本について測定した. ITA の鎖骨下動脈分岐部からの長さは $13 \pm 2 \text{ cm}$ であった. GEA の胃十二指腸動脈分岐部からの長さは $12 \pm 2 \text{ cm}$ であった.

2. 測定時血行動態

測定時は心拍数 $78 \pm 8 / \text{min}$, 橈骨動脈圧 $96 \pm 7 \text{ mmHg}$, 肺動脈圧 $22 \pm 8 \text{ mmHg}$, 肺動脈楔入圧 $7 \pm 4 \text{ mmHg}$, 右房圧 $3 \pm 1 \text{ mmHg}$, 心拍出係数は $2.51 / \text{min} / \text{mm}^2$ で, 血行動態は安定していた. また, グラフト先端圧測定による血行動態の変化は認められなかった. カテーテル挿入によるグラフトの損傷は認めなかった.

3. 解放流量

ITA が $57 \pm 6 \text{ ml} / \text{min}$ で, GEA は $52 \pm 6 \text{ ml} / \text{min}$ で統計学的有意差を認めなかった.

4. グラフト先端圧

圧波形はそれぞれ特徴あるパターンを呈した (図13). AA は急峻に立ち上がり, 拡張期に緩やかに圧が低下する波形を示した. ITA は AA より遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期

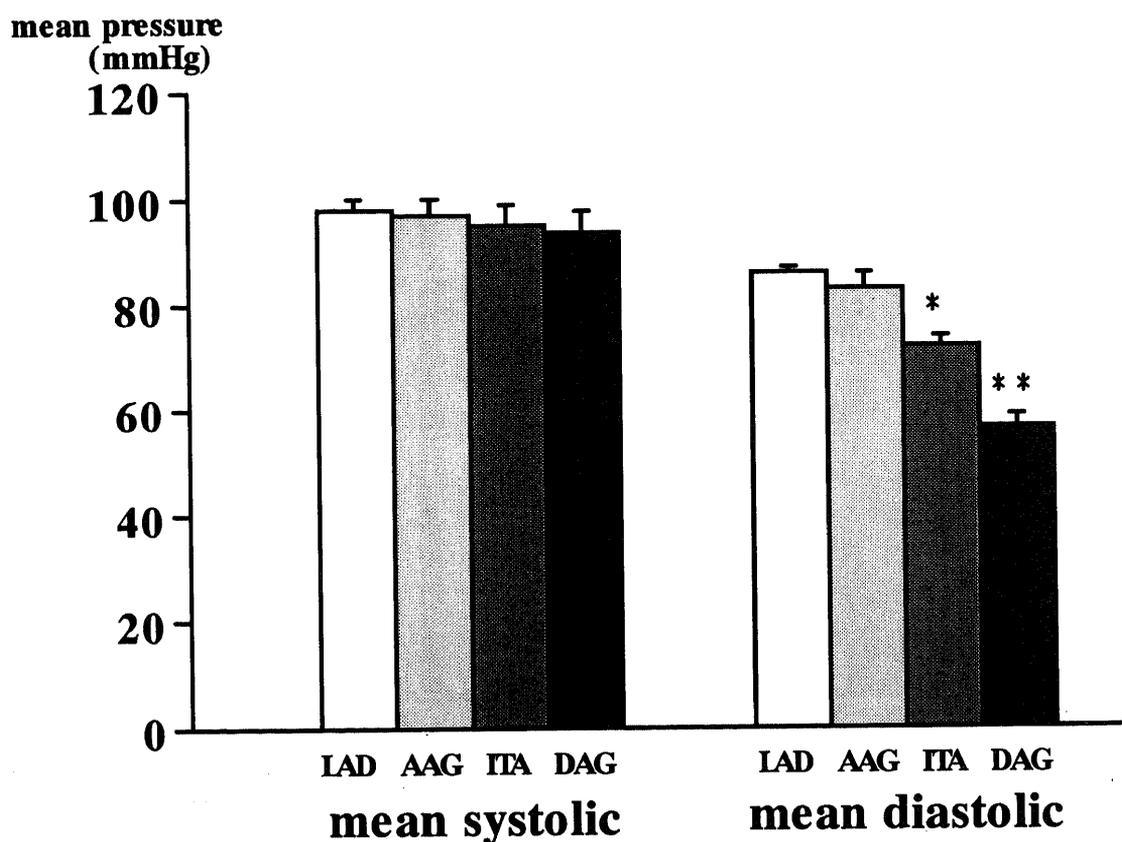


Fig.11. The summary of the mean systolic and diastolic pressures. The data represent mean \pm SEM. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft. * $p < 0.01$ vs LAD and AAG, *** $p < 0.01$ vs LAD, AAG and ITA by Student's paired T test.

圧と低い拡張期圧を特徴とした。GEAはITAより更に遅れて急峻に立ち上がる、幅の狭い収縮期圧と急激に低下し低く落ち込む拡張期圧を呈した。

収縮期圧は、AAは 91 ± 2 mmHg、ITAは 89 ± 2 mmHg、GEAは 92 ± 3 mmHgで統計学的有意差は認めなかった。拡張期圧は、AAは 63 ± 2 mmHg、ITAは 55 ± 2 mmHg、GEAは 50 ± 2 mmHgでITAはAAより有意に低く、GEAはAAとITAより有意に低値を示した($p < 0.01$, $p < 0.01$)。平均圧は、AAは 75 ± 2 mmHg、ITAは 65 ± 2 mmHg、GEAが 60 ± 2 mmHgで、ITAはAAより、GEAはAAとITAより有意に低値を示した($p < 0.01$, $p < 0.01$) (図14)。脈波遅延は、AAは 77 ± 3 msec、ITAは 123 ± 2 msec、GEAは 170 ± 3 msecで各々有意差を認めた($p < 0.01$)。

平均収縮期圧は、AAが 77 ± 2 mmHg、ITAが 69 ± 2 mmHg、GEAが 62 ± 3 mmHgで、ITAはAAより、GEAはAAとITAより有意に低値を示した($p < 0.01$, $p < 0.01$)。平均拡張期圧は、AAが 72 ± 2 mmHg、ITAが 60 ± 2 mmHg、GEAが 54 ± 3 mmHgで、ITAはAAより、GEAはAAとITAより有意に低値を示した($p < 0.01$, $p < 0.01$) (図14)。

5. グラフト先端部の圧波形面積

収縮期面積は、AAは 29 ± 1 mmHg·sec、ITAは 26 ± 1 mmHg·sec、GEAは 27 ± 2 mmHg·secで統計学的有意差は認

めなかった。拡張期面積はAAは 31 ± 2 mmHg·sec、ITAは 25 ± 7 mmHg·sec、GEAは 23 ± 3 mmHg·secで、ITAとGEAはAAに対して有意に低値を示した($p < 0.01$, $p < 0.01$)が、ITAとGEAには有意差を認めなかった (図15)。

考 察

1967年、虚血性心疾患に対する外科治療として、CABGがFavaloroとEfflerによって始められた⁷⁾。Coronary Artery Surgery Study⁸⁾によると、CABGは手術適応がある虚血性心疾患患者においては薬物治療より良好な成績をあげるようになってきている。本邦でも生活様式の欧米化に伴って虚血性心疾患が増加してきており、CABG症例数の増加によりその成績も向上してきた。一方、内科的治療として経皮経管的冠動脈形成術(percutaneous transluminal coronary angioplasty, PTCA)が普及し、器具および技術の進歩により成績は著しく向上してきている。これらの内科的治療の進歩に伴い、外科療法は更に優れた早期および遠隔期成績が要求されるようになってきた。

CABG後の遠隔期成績にはグラフトの開存率が重要な因子となる。大伏在静脈はグラフトとして長さを自由に用いることができるが、内膜に平滑筋細胞を有するために静脈硬化を来しやすく、また、静脈弁残存部に血栓を生じることがあり長期開存性に劣るとされている^{9)~11)}。Green (1971)¹²⁾はLADに有

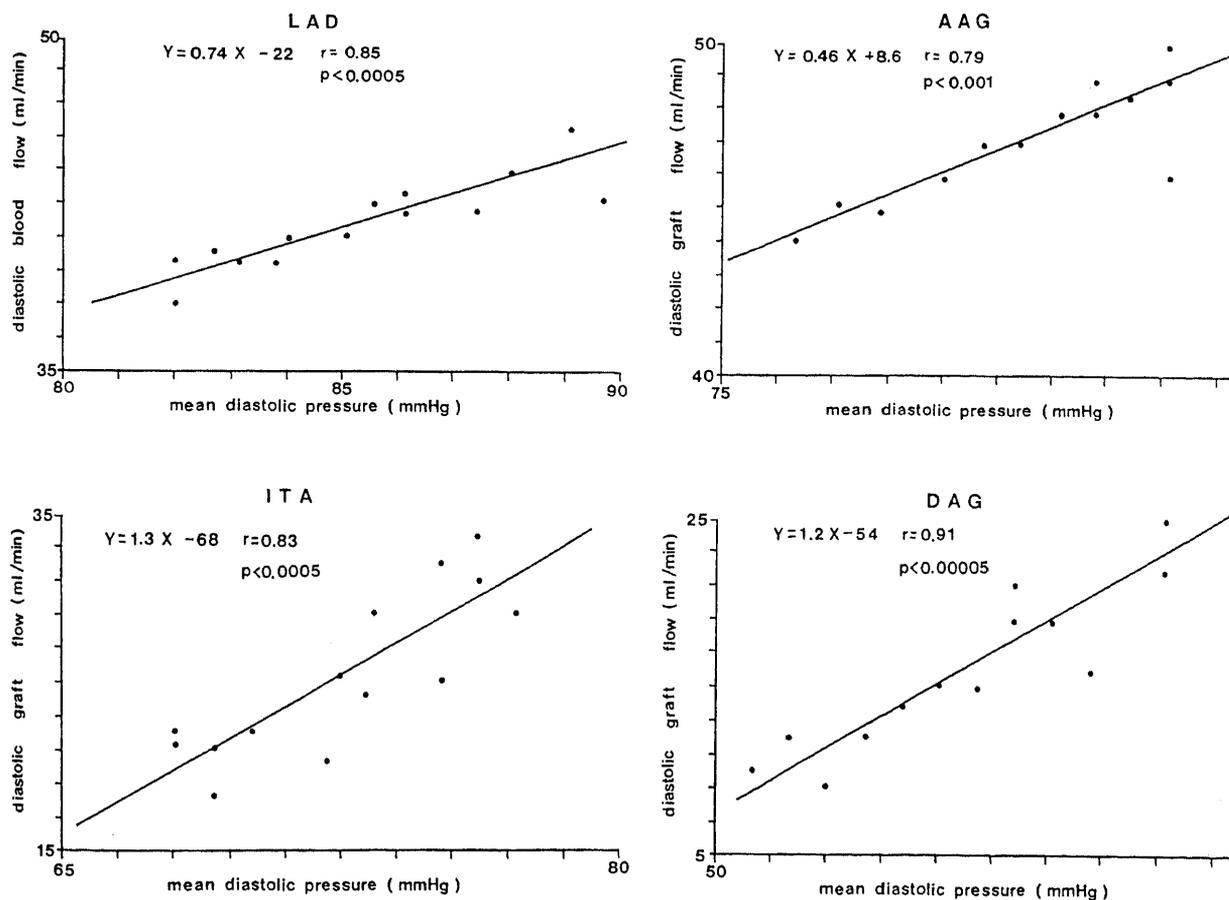


Fig.12. Correlation between diastolic blood flow and mean diastolic pressures. LAD, left anterior descending artery; AAG, ascending aorta graft; ITA, internal thoracic artery; DAG, descending aorta graft. The diastolic blood flows of LAD, AAG, ITA and DAG significantly correlates with the each mean diastolic pressures. ($r = 0.85$, $p < 0.0005$; $r = 0.79$, $p < 0.001$; $r = 0.83$, $p < 0.0005$; $r = 0.91$, $p < 0.00005$), respectively.

茎 ITA を用いてバイパスし、大伏在静脈グラフト使用例と3年間の遠隔成績を比較して、ITA が良好な開存性を示したと報告した。以来、長期開存性を期待して、ITA は多用されるようになり、その適応も拡大してきている。Loop ら¹⁹⁾は左前下行枝に ITA を使用した CABG の術後10年の遠隔成績を検討し、大伏在静脈グラフトのみを使用した群は ITA 使用群よりも遠隔期死亡の危険率が1.6倍で、再手術の危険率が2.0倍であることを示し、ITA の使用は長期予後に大きく貢献していると報告している。手術技術の進歩に伴って多枝バイパス術が施行されるようになり、両側 ITA も使用されるようになった¹⁰⁾。また、他の動脈グラフトとして、1974年に Edwards が腹部の動脈から冠動脈へのバイパスを考案し¹⁵⁾、1987年には Carter が30例の有茎 GEA を用いたバイパスを報告した¹⁶⁾。長期開存性に関しては今後の報告は待たなければならないが、Suma ら¹⁷⁾は、血管造影上は心臓に容易に到達でき、全ての冠動脈に吻合しうるグラフトで採取も容易であるとし、第二の動脈グラフトとしての使用頻度は増加している¹⁸⁾。最近では虚血性心疾患に対する CABG の増加につれて、冠動脈病変の進行やグラフト狭窄あるいは閉塞による CABG 再手術が増加してきている。CABG 再

手術の際には大伏在静脈が初回手術で既に使用されていること、また、再々手術の危険性の回避を期待して動脈グラフトが多用される¹⁹⁾。

このように動脈グラフトが多用されている一方で、動脈グラフトの血流不足に関する臨床所見もみられる。Jones らは、ITA 使用の CABG で人工心肺からの離脱ができず、大伏在静脈グラフトによる再度のバイパスによって心肺離脱を成し得た症例を報告した¹¹⁾。また、Kawasuji ら²⁾は CABG 後1ヶ月で核医学的検討を行い、ITA が開存しているにも関わらず運動負荷時に ITA の責任灌流域である前壁中隔に運動異常を認めた症例を経験し、ITA の血流不足を示唆している。川筋らが行った CABG 後1ヶ月での核医学的携帯用心機能モニター検査では、ITA 使用例のなかに中等度の運動負荷に対しては負荷対応能を有するが、それ以上の運動負荷に対応できず、高度の運動負荷に対しては ITA の血流供給能の不足を示した症例が認められた²⁰⁾。また、Cosgrove ら¹⁹⁾、Loop²¹⁾は、初回手術で行った大伏在静脈グラフト狭窄に対する再手術においては、ITA は血流不足が起こる可能性があるため、特に径が細い ITA の使用は十分に注意する必要があると忠告している。このように ITA の血流供給能の不足を示唆する臨床所見は散見するが、その根本的な原因の解明は十分に成されていない。また、GEA に関しては、吻合の対象冠動脈が右冠動脈であることが多いため血流不足を示唆する報告は少ないこともあり、血流供給能に関する検討はなされていない。ITA、GEA を有茎グラフトとして使用したバイパスでは、それぞれの動脈から直接冠動脈に血流が供給されるため、冠循環とは異なった血流動態が生じている可能性がある。動脈グラフトの血流供給能の評価には、それぞれの冠循環に対する生理学的適合性を検討する必要がある。

著者は本研究で、過去の報告をもとに、CABG のグラフト材として定着しつつある ITA と、近年、使用されはじめている GEA について血流供給能の検討を試みた。実験的検討では、吻合後のグラフト流量および吻合前後のグラフト内圧を測定し、各動脈グラフトの冠循環に対する血流動態における適合性を追求した。臨床研究では実験結果との関連性を検討するため、グラフト先端圧を測定した。圧測定は、より正確な圧波形を得るために先端圧トランスジューサーシステムを用いた。従来の外部トランスジューサーでは、液を充填したチューブを通して伝えられる圧力波が外部トランスジューサーに至る経路で人工的要素が持ち込まれ増幅され、正確な圧波形を得ることは困難である²²⁾²³⁾。先端圧トランスジューサーシステムの使用により各グラフトに特徴的な圧波形の観察と、圧波形の立ち上がり位相差を正確に測定できた。また、実験的研究での血流量測定には、正確な流量波形を得るために超音波トランジットタイム血流量計を用いた。血流量が瞬時に測定でき、長時間の測定にも安定した血流波形を得ることができた。

実験的研究では、臨床例に用いる大伏在静脈による大動脈-冠動脈バイパスグラフトを評価するために上行大動脈からと、GEA を想定して腹腔動脈分岐位置の第一腰椎の高さの下行大動脈からと同じ太さの人工血管を用いてバイパスモデルを作成した。ITA は、臨床例と同様に胸壁から剝離して有茎グラフトとして用いた。それぞれのグラフトは LAD に過不足なく到達するようにした。各グラフトの血流供給能を評価するため同一の冠動脈枝に吻合し、グラフトの吻合部内圧波形、吻合部末梢の冠動脈流量を測定した。

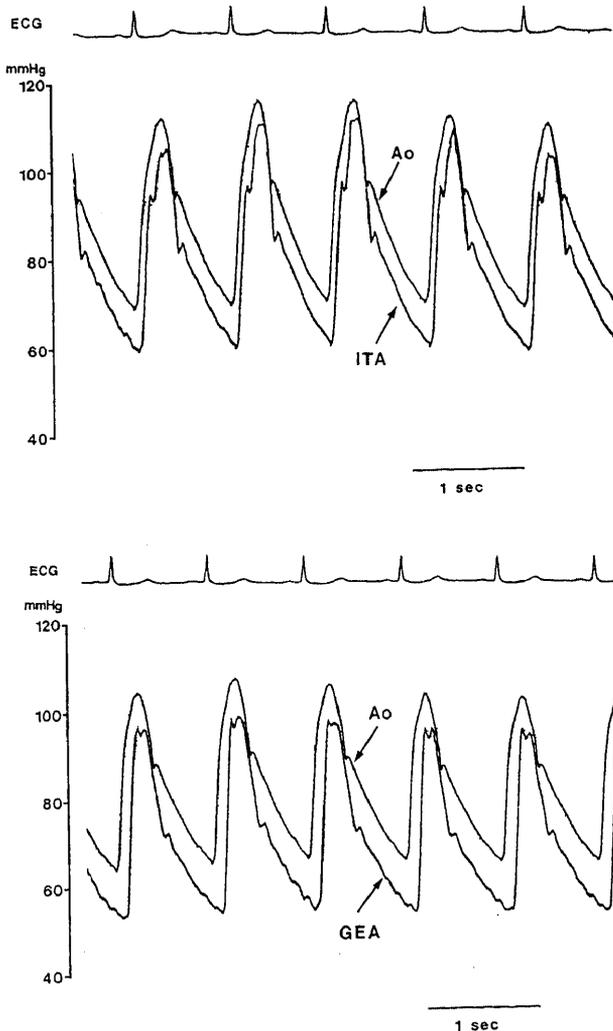


Fig.13. The pressure waves from the arterial grafts. AA, the ascending aorta; ITA, internal thoracic artery; GEA, right gastroepiploic artery; ECG, electrocardiogram.

一般に、グラフト流量の決定因子には、血行動態因子、標的冠動脈因子、グラフト因子があり²⁴⁾、血行動態因子として動脈圧、脈拍数、肺動脈圧、左室拡張末期圧などが、冠動脈因子としては、中樞側冠動脈病変、責任灌流域、吻合部末梢の抵抗などが挙げられる²⁵⁾²⁶⁾。一方、グラフト因子としては、長さ、径、解剖学的位置があり²⁷⁾²⁸⁾、グラフト先端圧がこれらの因子を反映していると考えられる²⁴⁾。著者の行った実験的研究で、各グラフト先端圧はそれぞれ特徴ある圧波形を示した。AAG は拡張期に圧が緩やかに低下し高い拡張期圧を維持した。ITA は AAG より遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と、急激に低下する拡張期圧を特徴とした。DAG は更に遅れて急峻に立ち上がり、ITA より幅の狭い収縮期圧と急激に圧が低下し、低く落ち込む拡張期圧を特徴とした。グラフト先端圧はその解剖学的位置が末梢になるにつれ、収縮期圧波形は幅が狭くなり、より急激に圧が低下して拡張期圧は低値を示した。これはピーキングとスティーピングの現象と考えられる。すなわち、大動脈内圧を様々な位置で測定すると、末梢ほど収縮期圧は幅が狭く高値を示し、拡張期圧は低く落ち込んだ波形を示す²⁹⁾。グラフトは大動脈から分かれた分枝上に位置し、ITA はその全ての側枝を結紮していることから、各グラフトの中樞側の動脈圧の圧波形とさらにグラフトの形態が影響すると考えられる。グラフト先端圧波形は各グラフトに特徴的で個体差を認めず、グラフト先端圧波形は生理学的特徴として意義を持つと考えられた。LAD に吻合後の圧波形を吻合前のグラフト先端圧波形と比較すると、吻合後は収縮期の立ち上がりが左室内圧上

昇の影響を受け、左室圧の立ち上がりと同時に上がったが、収縮期圧のピークの時間はグラフト先端圧と差はなかった。吻合後のグラフト内収縮期圧がグラフト先端圧より10%前後低下したが、拡張期圧は変化なく、グラフト先端圧の拡張期圧波形と同様の特徴を示した。このことは、冠循環に対して重要と考えられるグラフトの拡張期駆出圧は、吻合前のグラフト先端圧の拡張期圧によって推測できることを示している。

流量波形は吻合部直後の LAD の流量波形を基準に評価した。本研究では LAD に狭窄はないため、LAD 血流量は正常冠動脈血流量および血流波形であり、バイパスグラフトの生理学的適合性を評価する際の基準とした。各グラフトについて収縮期、拡張期流量を測定し評価した。冠循環は拡張期優位の血行動態を有するが、特に左冠動脈の血流は主として拡張期になされる³⁰⁾³¹⁾。Gould ら³⁰⁾は、冠動脈の狭窄部末梢の圧を大動脈圧と比較すると、収縮期圧はその差が軽微であるのに対して、拡張期圧差は大きく、狭窄により主として拡張期血流量が低下すると報告した。Kajiya ら³⁰⁾は9名の虚血性心疾患患者の CABG 術中に、狭窄後冠動脈内血流量をパルスドップラー流速計を用いて評価した。狭窄後の冠動脈内血流波形は収縮期成分が優位で、拡張期成分が非狭窄例と比較して低値を示していた。狭窄部末梢に大動脈-冠動脈バイパスを施行した後は、拡張期優位の波形を呈することを示し、大伏在静脈グラフトの有効な血流供給は拡張期になされると報告した。ITA の吻合後の流量波形については詳細な検討は報告されていない。Flemma ら³³⁾は臨床例の CABG において、同一冠動脈に大伏在静脈グラ

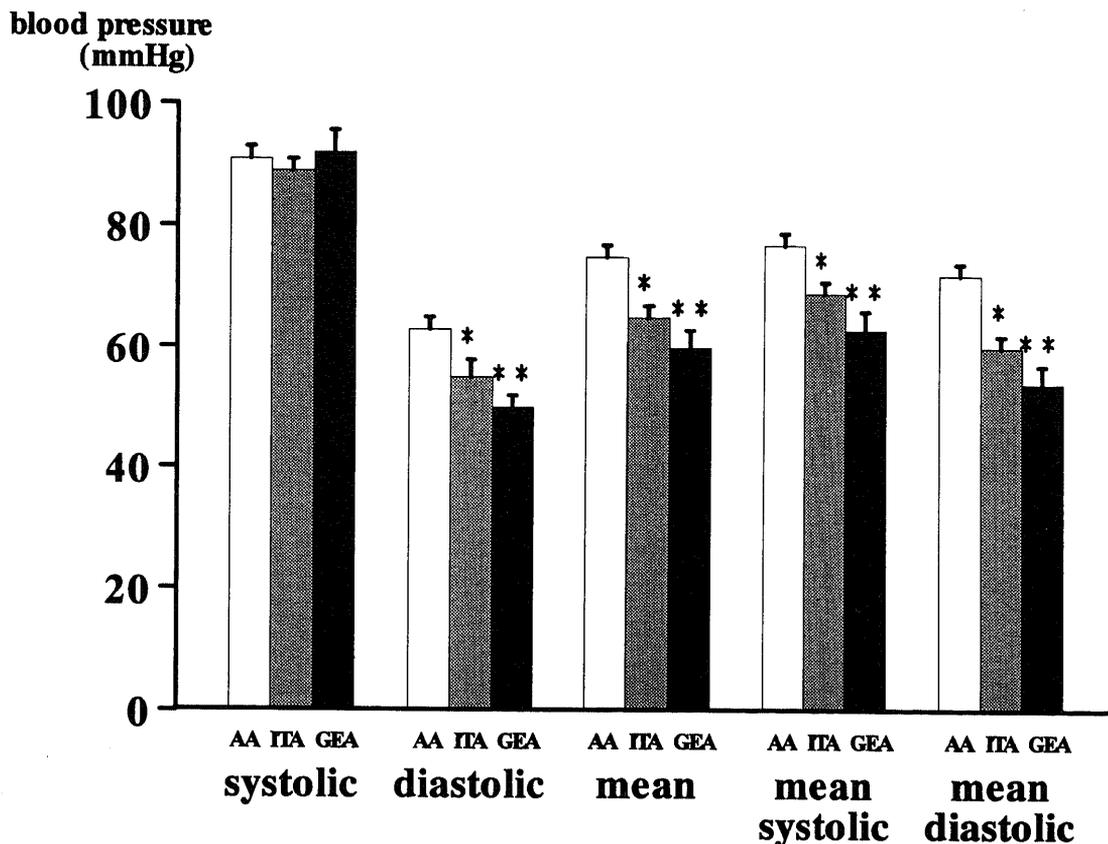


Fig.14. The summary of the blood pressures from three regions. The data represent mean±SEM. AA, the ascending aorta; ITA, internal thoracic artery; GEA, right gastroepiploic artery. * $p<0.01$ vs AA, *** $p<0.01$ vs AA and ITA by Student's paired T test.

フトと ITA を吻合して、両者のグラフト内圧、グラフト流量を測定し、収縮期左室圧面積と拡張期のグラフト圧と左室圧の曲線が成す面積の比率より、左室血流需要に対する血流供給能を評価し、血流供給能の違いは各グラフトの拡張期圧の差であると推測した。ITA は大伏在静脈グラフトの血流供給能の2分の1から3分の1しか有さないと、ITA は比較的責任灌流領域の狭い冠動脈に用いるべきであると報告した。Singh ら³⁰ は左室拡張末期圧が高い症例では正常例と比べて大伏在静脈グラフト血流量は変化を認めなかったのに対し、ITA は血流量が25%低下したと報告した。左室拡張末期圧が高い場合は、拡張期の冠循環抵抗が高くなり拡張期血流量に影響することから、ITA が大伏在静脈グラフトよりも拡張期の血流供給能が劣ることが推測された。

本研究で、AAG の流量波形は LAD と類似していたが、収縮期、拡張期とも LAD より高値を示した。イヌの LAD 径は 1.5~2 mm であったのに対して、実験で使用したバイパス人工血管は径が 3 mm と太かったためと考えられる。ITA は収縮期と拡張期にピークを持つ二峰性の流量波形を示したが、拡張期流量は LAD に比べて低値を示した。DAG は拡張期のピークを持たない単峰性の波形を呈し、拡張期流量は最も低値であった。このように、収縮期血流量は AAG のみ LAD より有意に高値を示したが、ITA と DAG は LAD と有意差を認めなかった。一方、拡張期血流量はグラフトによって大きな差を認め、各グラフトの血流は拡張期血流供給能に支配されていると考えられた。このことから吻合前にグラフトの拡張期血流供給能

を推測することは臨床的にも重要な意義がある。

一般に動脈グラフト血流供給能は解放流量によって判定されてきた。解放流量は末梢抵抗がゼロの血流量であり、測定時の血行動態における最大流量と考えられる。Von Segesser ら³⁰ はイヌで ITA を右房に吻合し血行動態を変化させて ITA の血流量を検討した。エピネフリン投与では血圧の上昇とともに ITA 流量は上昇したが、循環血液量低下状態でのエピネフェイン投与では、血圧が上昇したにも関わらず ITA 流量は低下した。右房への流入は血管抵抗がゼロに近いことから、ITA の解放流量の血行動態の変化に対する対応の検討といえる。解放流量は血圧、心拍数の上昇とともに増加し、循環血液量低下時の末梢動脈緊張状態で低下した。しかし、Jett³⁰によれば、解放流量と吻合後の血流量と比較すると、ITA では、吻合後血流量は解放流量の約43%で、大伏在静脈グラフトでは吻合後血流量は解放流量の約14%で、吻合後血流量と解放流量に大きな差があり、グラフトによってその比率が異なっていた。また、解放流量はさまざまな血行動態因子から影響を受け易く、最大限の流量としては評価できるが、冠循環に有効に働く血流供給能を推測するには不十分と考えられた。Gonzalez-Santos ら³⁰ は逆行性の ITA の血流供給能を評価するため、FF の拡張期成分の検討した。ITA の先端圧の 0 mmHg を基線とした圧曲線下の面積を収縮期、拡張期について測定し、解放流量に拡張期の比率を掛け合わせた値を解放流量の拡張期成分として、拡張期流量の推測を試みた。本研究で、解放流量に圧波形が成す面積の拡張期比率を掛け合わせた値、すなわち解放流量の拡張期成分と

surface area
under pressurewave
(mmHg sec)

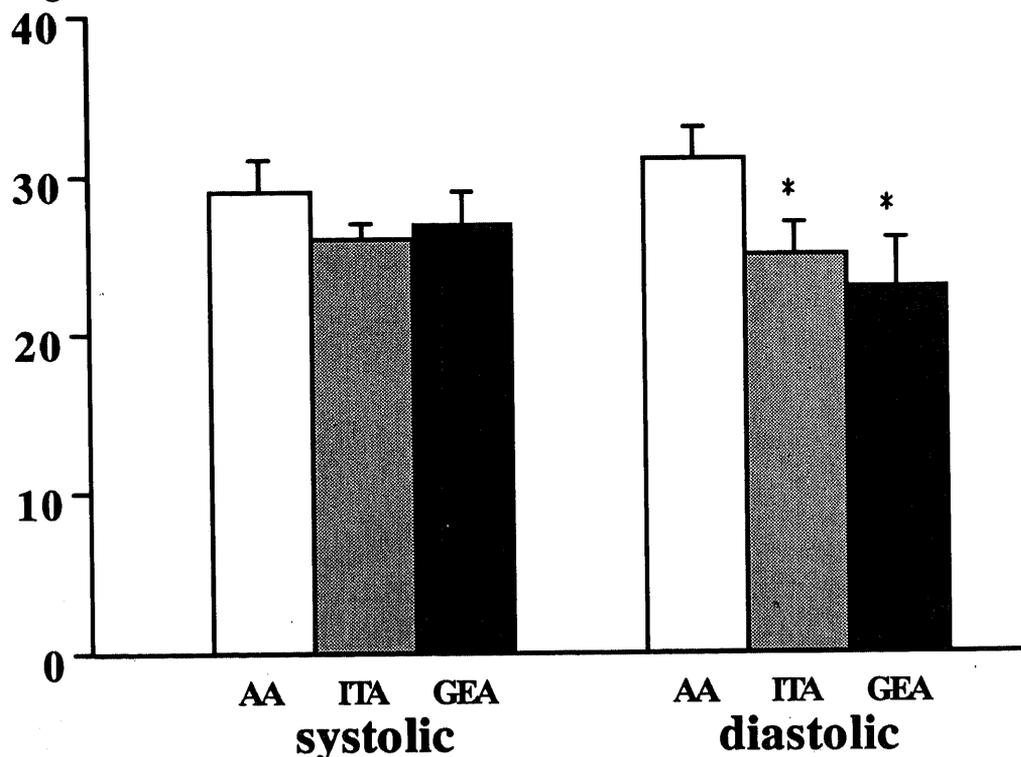


Fig.15. The areas under the pressure waves from the three regions. The data represent mean \pm SEM. AA, the ascending aorta; ITA, internal thoracic artery; GEA, right gastroepiploic artery. * $p < 0.01$ vs AA by Student's paired T test.

拡張期グラフト流量との相関係数はいずれのグラフトでも低値であった。しかし、拡張期面積を拡張期時間で除した値、すなわち平均拡張期圧は拡張期流量と高い相関を示した。Wakabayashiら³⁾は実験的検討で、上行大動脈からのグラフト、ITA、胸部下行大動脈からのグラフトについてグラフト先端圧とグラフト流量を測定した。上行大動脈からのグラフトは高い拡張期圧を維持し冠動脈流量より32%多い流量を駆出するが、ITAは低い拡張期圧を有し冠動脈流量の50%の流量しか駆出しなかったことから、拡張期優位の冠循環に対して有効に作用する駆出圧として、拡張期の圧波形が重要であるとしている。本研究で、冠循環に有効に働き、グラフトの血流供給能を支配する拡張期グラフト流量がグラフト先端圧の平均拡張期圧と高い相関を示しことから、グラフト先端圧波形のうち拡張期圧波形が拡張期優位の冠循環に対する駆出圧としてグラフトの血流供給能を推定する因子と成り得ると考えられた。

以上の実験的研究の結果を踏まえて、臨床例において動脈グラフトがどのような生理学的特徴を有するかを検討した。CABG術中のグラフト先端圧測定では、AAは急峻に立ち上がる幅の広い収縮期圧波形と、緩やかに低下し高く維持する拡張期圧波形を呈し、実験的研究でのAAGと類似していた。ITAは幅の狭い収縮期圧波形と急激に低下する拡張期圧波形を示し、実験的研究でのITAと同様の特徴を認めた。GEAはITAより更に幅の狭い収縮期圧波形と低く落ち込んだ拡張期圧波形を示した。実験的研究と類似した圧波形を示したが、臨床例ではGEAが右冠動脈末梢を標的とした長さとしたのに対し、実験例ではDAGがLADに到達する長さをもしたため、実験例のDAGの圧波形は臨床例のGEAより顕著に低い拡張期を呈したと考えられた。収縮期圧はAA、ITA、GEAで差は認めなかったが、拡張期圧はAA、ITA、GEAの順で低値を示した。ITAとGEAでは時間遅延のため収縮期圧の拡張期側への移動が認められたが、収縮期圧の幅が狭いため拡張期血流供給能に対する効果は少ないと考えられた。各グラフト先端圧が成す面積の検討では、収縮期面積ではAA、ITA、GEAで有意差は認めなかった。拡張期面積はAAに対してITAは81%、GEAは74%で、ITAとGEAはAAに対して有意に低値を示したが、ITAとGEAには有意差を認めなかった。実験的研究ではDAGがITAに対して有意に低値を示したが、臨床例ではGEAが右冠動脈末梢に到達するだけの長さしかなく、比較的良好な拡張期圧波形を示したと考えられる。しかし、GEAをLAD径に吻合する際には更に長いグラフトとする必要があり、本研究より低い拡張期圧波形を呈すると考えられた。このように臨床的研究では、動脈グラフトの圧波形が全体的として、実験的研究と同様な特徴を示した。ITAはGEAは拡張期圧、平均拡張期圧とも低値を示すため、吻合後の血流量は実験的研究で認められたように、拡張期流量が低い傾向を示すと推測できる。

優れた長期開存性を持つ動脈グラフトはCABGの遠隔成績を向上させており、ITAやGEAを用いた動脈グラフトによる多枝バイパスも行われている。Fioreら³⁰⁾は複数の動脈グラフト使用が狭心痛再発率の低下や生存率の向上をもたらすと報告しているが、一方で、両側ITAおよびITAのジャンプグラフト使用は遠隔成績を向上も低下もさせていないとした報告もある³⁰⁾。CABGの目的は狭心痛の改善のみならず、心筋虚血や運動負荷対応能の改善である。収縮期優位の体循環を有する動脈

グラフトは、特に低血圧時や左室拡張末期圧が高い症例などでは拡張期優位の冠循環に対して血流供給の面で生理学的に制限を強いられていることを認識する必要があると考えられる。

結 論

冠動脈バイパス術における動脈グラフトの冠循環との生理学的適合性を評価するため、実験モデルを作成し、先端圧トランスジューサーシステムと超音波トランジットタイム血流計を用いて、グラフト内圧、吻合後血流量を測定した。また臨床例において動脈グラフト先端圧を測定し実験的研究との関連性を検討し、以下の結果を得た。

1. 左前下行枝(LAD)流量波形は拡張期優位の二峰性を示した。上行大動脈からのグラフト(AAG)はLADよりさらに拡張期優位の二峰性波形を示した。ITAは拡張期流量が少ない二峰性を示した。下行大動脈からのグラフト(DAG)はITAよりさらに拡張期流量が少なく、収縮期優位の単峰性の波形を示した。グラフトの収縮期流量はAAGはLAD、ITA、DAGより有意に高値を示した($p < 0.01$)が、LAD、ITA、DAGには有意差は認めなかった。拡張期流量は、AAGはLADより有意に高値を示し、ITAはLADとAAGより、DAGはLAD、AAG、ITAより有意に低値であった($p < 0.01$)。

2. グラフト先端圧波形は、AAGは急峻に立ち上がり、拡張期に緩やかに圧が低下し高い拡張期圧を維持した。ITAはAAGより遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と低い拡張期圧を特徴とした。DAGは、ITAより更に遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と急激に低下し低く落ち込む拡張期圧を呈した。収縮期圧は有意差は認めなかった。拡張期圧と平均圧はITAはAAGより、DAGはAAGとITAより有意に($p < 0.01$)低値を示した。

3. 吻合後の内圧波形はグラフト先端圧波形と類似した特徴を示したが、各グラフトとも吻合部内圧の収縮期立ち上がりの開始は左室圧の立ち上がり開始と同時に、収縮期圧約10%低値を示した。

4. グラフト先端圧および吻合部内圧の収縮期面積はDAGがAAGに対して有意に低値であった($p < 0.01$)が、そのほかには有意差を認めなかった。拡張期面積はITAはAAGに対して、DAGはAAGとITAに対して有意に低値を示した($p < 0.01$)。

5. 平均収縮期圧はITAがDAGがLADとAAGより有意に低値を示した($p < 0.01$)。平均拡張期圧はLADとAAGは有意差を認めなかったが、ITAはLADとAAGに対して、DAGはLAD、AAG、ITAに対して有意に低値を示した($p < 0.01$)。各平均拡張期圧と拡張期グラフト流量は単回帰分析にて高い相関性を示した。

6. 臨床的研究では、AAは急峻に立ち上がり、拡張期に緩やかに低下し高い拡張期圧を維持した。ITAはAAより遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と低い拡張期圧を特徴とした。GEAはITAより更に遅れて急峻に立ち上がる幅の狭い収縮期圧と急激に低下し低く落ち込む拡張期圧を呈した。収縮期圧には有意差はなく、拡張期圧、平均圧、平均収縮期圧および平均拡張期圧は、ITAはAAより、GEAはAAとITAより有意に低値を示した($p < 0.01$)。

7. 両動脈グラフト先端圧とAoの収縮期面積には有意差は認めなかった。拡張期面積はITAとGEAはAAに対して有

意に低値を示した ($p < 0.01$) が, ITA と GEA には有意差を認めなかった。

以上の結果より, 収縮期優位の体循環系の動脈グラフトは, 冠動脈および上行大動脈-冠動脈バイパスと比較すると拡張期優位の冠循環に対する拡張期血流供給能が劣り, 生理学的適合性が低いことが推測される。

謝 辞

稿を終えるにあたり, 終始御指導と御校閲を賜りました恩師渡辺洋宇教授, 並びに研究開始にあたり御指導頂きました恩師岩橋名譽教授に心から感謝致します。また, 研究に多大な御協力を頂きました川筋道雄講師をはじめ金沢大学医学部第一外科学教室の諸先生方に深く感謝致します。

本研究の要旨は, Second International Symposium on Cardio-Thoracic Surgery (1991年, Germany) および第91回日本外科学会総会 (1991年, 京都) において発表した。

文 献

- 1) Jones, E. L., Lattouf, O. M. & Weintraub, W. S.: Catastrophic consequences of internal mammary artery hypoperfusion. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **98**, 902-907 (1989).
- 2) Kawasuji, M., Tsujiguchi, H., Tedoriya, T., Taki, J. & Iwa, T.: Evaluation of postoperative flow capacity of internal mammary artery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **99**, 696-702 (1990).
- 3) Wakabayashi, A., Beron, E., Lou, M. A., da Costa, I. A. & Conolly, J. E.: Physiological basis for the systemic-to-coronary artery bypass graft. *Arch. Surg.*, **100**, 17-19 (1970).
- 4) Shellock, F. G.: Transducer-tipped catheter-New transducer-tipped pressure-monitoring catheter uses fiber optics. *Med. Electron.*, **16**, 102-106 (1985).
- 5) Burton, R. G. & Gorewit, R. C.: Ultrasonic flowmeter uses wide-beam transit-time technique. *Med. Electron.*, **15**, 68-73 (1984).
- 6) Yang, S. S., Bentivoglio, L. G., Maranhao, V. & Goldberg, H.: From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters, 3rd ed., p27-32, F. A. Davis Company Inc., Philadelphia, 1988.
- 7) Favaloro, R. G.: Saphenous vein graft in the surgical treatment of coronary artery disease. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **58**, 178-185 (1969).
- 8) CASS Principal investigators & their Associates: Coronary artery surgery study (CASS): A randomized trial of coronary artery bypass surgery. *Circulation*, **68**, 939-950 (1983).
- 9) Lytle, B. W., Loop, F. D., Cosgrove, D. M., Ratliff, N. B., Easley, K. & Taylor, P. C.: Long-term (5 to 12 years) serial studies of internal mammary artery and saphenous vein coronary bypass surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **86**, 248-258 (1985).
- 10) Barboriak, J. J., Pintar, K. & Korn, M. E.: Atherosclerosis in aortocoronary vein grafts. *Lancet*, **2**, 621-624 (1974).
- 11) Atkinson, J. B., Forman, M. B., Vaughn, W. K., Robinowitz, M., McAllister, H. A. & Virmani, R.: Morphologic changes in long-term saphenous vein bypass grafts. *Chest*, **3**, 341-348 (1985).
- 12) Green, G. E.: Internal mammary artery-to-coronary artery anastomosis. *Ann. Thorac. Surg.*, **260-271** (1972).
- 13) Loop, F. D., Lytle, B. W., Cosgrove, D. M., Stewart, R. W., Goormastic, M., Williams, G. W., Golding, L. A. R., Gill, C. C., Taylor, P. C., Sheldon, W. C. & Proudfit, W. L.: Influence of the internal-mammary-artery graft on 10-year survival and other cardiac events. *N. Engl. J. Med.*, **314**, 1-6 (1986).
- 14) Tector, A. J., Schmahl, T. M. & Canino, V. R.: Expanding the use of the internal mammary artery to improve patency in coronary artery bypass grafting. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **91**, 9-16 (1986).
- 15) Edwards, W. S., Blakeley, W. R. & Lewis, C. E.: Technique of coronary bypass with autogenous arteries. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **65**, 272-275 (1973).
- 16) Carter, M. J.: The use of the right gastroepiploic artery in coronary artery bypass grafting. *Aust. N. Z. J. Surg.*, **57**, 317-321 (1987).
- 17) 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.*, **44**, 394-397 (1987).
- 18) Mills, N. L. & Everson, C. T.: Right gastroepiploic artery: A third arterial conduit for coronary artery bypass. *Ann. Thorac. Surg.*, **47**, 706-711 (1989).
- 19) Cosgrove, D. M. & Loop, F. D.: Reoperation for coronary artery disease. *In* J. Strak & A. D. Pacifico (eds.), *Reoperations in Cardiac Surgery*, 1st ed., p315-323, Springer-Verlag, London, 1989.
- 20) 川筋道雄, 手取屋岳夫, 榊原直樹, 沢重治, 竹村博文, 岩橋, 滝淳一: 核医学持続心機能モニターを用いた運動負荷による冠血行再建術の評価. *日胸外会誌*, **39**, 1160-1165 (1991).
- 21) Loop, F. D.: A 20-year experience in coronary artery reoperation. *Eur. Heart J.*, **10** (suppl H), 78-84 (1989).
- 22) Shinozaki, T., Deane, R. S. & Mazuzan, J. E.: The dynamic responses of liquid-filled catheter systems for direct measurement of blood pressure. *Anesthesiology*, **53**, 498-504 (1980).
- 23) Piao, Z.E., Murdock, D. K., Hwang, M. H. & Euler, D. E.: The use of a new fiber-optic high fidelity pressure transducer to measure left ventricular pressure and DP/DT: A comparison with a standard micromonometer. *Clin. Res.*, **33**, 869A (1985).
- 24) Lee, C. N., Orsaulak, T. A., Schaff, H. V. & Kaye, M. P.: Flow capacity of the canine internal mammary artery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **91**, 405-410 (1986).
- 25) Furuse, A., Klopp, E. H., Brawley, R. K. & Gott, V. L.: Hemodynamic determinations in the assessment of distal coronary artery disease. *J. Surg. Res.*, **19**, 25-33 (1975).

- 26) Gould, K. L.: Dynamic coronary stenosis. *Am. J. Cardiol.*, **45**, 286-292 (1980).
- 27) Johnson, W. D., Flemma, R. J. & Lepley, D.: Determinant of blood flow in aortic-coronary saphenous vein bypass grafts. *Arch. Surg.*, **101**, 806-810 (1970).
- 28) Furuse, A., Klopp, E. H., Brawley, R. K. & Gott, V. L.: Hemodynamics of aorta-to-coronary artery bypass. *Ann. Thorac. Surg.*, **14**, 282-293 (1972).
- 29) Luchsinger, P. C., Snell, R. E., Patel, D. J. & Fry, D. L.: Instantaneous pressure distribution along the human aorta. *Circ. Res.*, **15**, 503-510 (1964).
- 30) Schlant, R. C., Sonnenblick, E. H. & Gorrin, R.: Normal physiology of the cardiovascular system. *In* J. W. Hurst (ed.) *The Heart*, 5th ed., p75-114, McGraw Hill, New York, 1982.
- 31) Chilian, W. M. & Marcus, M. L.: Effects of coronary and extravascular pressure on intramyocardial and epicardial blood velocity. *Am. J. Physiol.*, **248**, H-170-H-178 (1985).
- 32) Kajiya, F., Tsujioka, K., Ogasawara, Y., Wada, Y., Matsuoka, S., Kanazawa, S., Hiramatsu, O., Tadaoka, S., Goto, M. & Fujiwara, T.: Analysis of flow characteristics in poststenotic regions of the human coronary artery during bypass graft surgery. *Circulation*, **76**, 1092-1100 (1987).
- 33) Flemma, R. J., Singh, H. M., Tector, A. J., Lepley, D. & Frazier, B. L.: Comparative hemodynamic properties of vein and mammary artery in coronary bypass operations. *Ann. Thorac. Surg.*, **20**, 619-627 (1975).
- 34) Singh, H., Flemma, R. J., Tector, A. J., Lepley, Jr., D. & Walker, J. A.: Direct myocardial revascularization. *Arch. Surg.*, **107**, 699-703 (1973).
- 35) Von Segesser, L. K., Luscher, T. F., Yang, Z. & Turina, M.: Internal thoracic artery flow without interference by the coronary artery bed. *In* G. Fournial, Y. Clock, D. Roux & P. Dalous (eds.), *Internal Thoracic Artery for Myocardial Revascularization*, 1st ed., p135-140, Imprimeries Fournie a Fonsegrives, Toulouse, 1990.
- 36) Jett, G. K., Arcidi, Jr., J. M., Dorsey, L. M. A., Hatcher, C. R. & Guyton, R. A.: Vasoactive drug effects on blood flow in internal mammary artery and saphenous vein grafts. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **94**, 2-11 (1987).
- 37) Gonzales-Santos, J. M., Bastida, E., Reisgo, M., Vallejo, J. L., Albertos, J. V., Fortuny, R. & Arcas, R.: Flow capacity of the human retrograde internal mammary artery: Surgical considerations. *Ann. Thorac. Surg.*, **50**, 360-366 (1990).
- 38) Fiore, A. C., Naunheim, L. R., Peigh, D. G., Kaiser, G. C., Willman, V. L. & Barner, H. B.: Fifteen-year follow-up for double internal thoracic artery grafts. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.*, **5**, 248-252 (1991).
- 39) Sergeant, P., Lesaffre, E., Flameng, W. & Suy, R.: Internal mammary artery: methods of use and their effect on survival after coronary bypass surgery. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.*, **4**, 72-78 (1991).

Experimental and Clinical Studies on the Physiological Suitabilities of Arterial Grafts for Coronary Artery Bypass Grafting Takeo Tedoriya, Department of Surgery (1), School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. Juzen Med Soc., 101, 196—210 (1992)

Key words coronary artery bypass grafting, arterial graft, blood flow, physiological suitability

Abstract

Arterial grafts have been used widely for coronary artery bypass grafting (CABG) because of their excellent long patencies. However, some clinical reports suggest that blood flow in arterial grafts may not be adequate compared with aorto-coronary bypass grafting. The suitabilities for arterial grafts for CABG were investigated by measurement of phasic graft flows and the intraluminal blood pressures at the anastomoses. In an experimental study, a graft from the ascending aorta (AAG) and a graft from the descending aorta at the L1 level (DAG), used in lieu of the right gastroepiploic artery (GEA), were anastomosed to each other. The internal thoracic artery (ITA) was dissected from the thoracic wall, anastomosed to this composite graft, and the composite graft was anastomosed to the left anterior descending artery (LAD). Blood flow in LAD showed a diastolic-dominant, twopeaked pattern. Blood flow in AAG was more diastolicdominant than in LAD. On the other hand, blood flow in ITA was decreased during diastole, and the blood flow in DAG was even lower in diastole and had only a systolic peak. The pregrafting wave form in AAG was maintained during diastole. The systolic pressure pulse in ITA and DAG was narrow, while the diastolic pressures fell rapidly: the diastolic pressure in DAG was lower than in ITA. The delay between the onset of the systole and the beginning of upward deflection of pressure tracing in AAG, ITA and DAG were 77, 127 and 173 msec, respectively. After grafting to LAD, the upward deflections of the systolic pressures in all three grafts were equal to the deflection in the left ventricle. Although each systolic pressure was about 90% of the pregrafting value, no difference was observed in the diastolic pressures. The mean diastolic pressure (diastolic area/diastolic time) in each graft had a high correlation coefficient with the diastolic flow. In a clinical study, pressure in arterial grafts was measured in patients undergoing CABG. The pressure tracing of ITA and GEA resembled that in ITA and DAG in the experimental study. These results clarified that arterial grafts which belong to the systolic-dominant systemic circulation have lessadvantages than aorto-coronary bypass grafts, in terms of physiological suitabilities to the diastolicdominant coronary circulation.