
原 著

動脈血行再建術に関する 2, 3 の基礎的研究

大阪医科大学第2外科学教室 (指導: 板谷博之教授)

濱 田 國 弘

[原稿受付: 昭和50年9月9日]

Some Fundamental Studies on the Arterial Reconstruction

By

KUNIHIO HAMADA

The 2nd Department of Surgery, Osaka Medical College
(Director: Prof. Dr. HIROYUKI ITAYA)

The study was designed to elucidate some basic problems of reconstructive surgery for arterial stenosis. Model experiments were carried out using the abdominal arteries of healthy mongrel dogs and hemodynamic studies were performed by measuring the peripheral blood flow and blood pressure influenced by 1) graded arterial constriction, 2) by-pass grafting for the stenotic area, 3) alteration of the angle of the by-pass graft to the host artery, and 4) lumbar sympathectomy. The following results and conclusions were obtained.

1) Effect of arterial constriction to various extent on the peripheral blood flow and the arterial pressure.

The peripheral blood flow was reduced significantly in 31-40% constriction (the rate being measured based on the outer diameter of the artery), half in 41-50%, remarkably in 51-60%, and to zero in over 61% constrictions. The arterial pressure was first lowered significantly in over 41% constriction of the artery. Therefore, as to the extent of arterial constriction, no paralleled change was found between the peripheral blood flow and the arterial pressure.

2) Effect of the by-pass grafting in partially stenotic area of the artery on the peripheral blood flow or the arterial pressure.

No significant difference in the peripheral blood flow or the arterial pressure was observed between the two experimental conditions, under which the blood flow was made either through both the constricted area and the by-pass graft, or only through the by-pass graft by clamping the constricted area of the artery.

Thus, in view of the peripheral blood flow and the arterial pressure, the stenotic area may be left either untouched or ligated in case of the by-pass grafting at the partially constricted short area of the artery.

3) Effect of the branch angle of a graft to a host artery in by-pass grafting on the peripheral blood flow and the arterial blood pressure.

The study was conducted by keeping the graft branch at different angles (30°, 60, 90° and 135°) in reference to the control angle (45°).

No statistically significant difference was observed between the graft angles and the peripheral blood flow or the arterial pressure.

In view of the blood flow or the arterial pressure after grafting, the branch angle in stream-lined angulation (30°, 45°, 60° and 90°) or in reverse angulation (135°) is of no importance. However, when the occurrence of turbulence or eddy in blood flow is taken into consideration, the grafting angle of 30°/45° seems to be suitable and favorable from a stand-point of the surgical technique.

4) Effect of lumbar sympathectomy on the peripheral blood flow and the arterial pressure.

By lumbar sympathectomy, the peripheral blood flow increased about two-fold with the normal artery, and remarkably ($226.4 \pm 29.4\%$ (M $\pm$ SD)) with the constricted artery before attainment to the critical stenotic diameter. Furthermore, the by-pass grafting followed by the additional lumbar sympathectomy resulted in a remarkable increase ($172.6 \pm 11.0\%$) in the blood flow. As to the arterial pressure, no significant change was confirmed under these conditions.

From these results, it seems to be of great use to carry out the lumbar sympathectomy as an additional surgery of the arterial reconstruction.

目 次

第1章 緒 言	第1項 吻合角度45° と30°
第2章 動脈狭窄に関する検討	第2項 吻合角度45° と60°
第1節 実験方法	第3項 吻合角度45° と90°
第2節 実験成績	第4項 吻合角度45° と135°
第3節 小 括	第3節 小 括
第3章 バイパス移植時の狭窄部の処置に関する検討	第5章 腰部交感神経切除に関する検討
第1節 実験方法	第1節 実験方法
第2節 実験成績	第2節 実験成績
第3節 小 括	第1項 無処置群
第4章 バイパス移植時の吻合角度に関する検討	第2項 狭窄群
第1節 実験方法	第3項 狭窄部バイパス移植群
第2節 実験成績	第3節 小 括
	第6章 考 察
	第7章 結 論

第1章 緒 言

近年、血管外科の進歩はめざましく、とくに末梢動脈の閉塞性疾患に対して、バイパス移植あるいは血栓内膜剥除術等の血行再建術がさかんに行なわれるようになり、手術手技の面でも著しい向上がみられている。しかしながら、これらの血行再建術に関する血行動態的な研究は意外に少なく、なお多くの未解決な問

題が残されている。

従来、血行再建術の成績の評価は、自・他覚的症状、脈搏の触知、血圧や指尖容積脈波の測定、動脈造影などの方法によって行なわれてきたが、その効果を判定するためには、これらの方法によってえられた成績のみでは、必ずしも十分とはいえない点があった。

一般に、血流に関する研究には、しばしば Poiseuille の公式が適用されてきたが、血液は非ニュートン液体

であり、しかも乱流、渦流の発生、さらには生体血管であるという点などから、この公式をそのままではめること自体に問題があるとされている¹⁾²⁾。

そこで著者は、以下に述べる血行再建術に関する2, 3の基礎的な問題をとりあげ、血流量、動脈圧を直接的な方法を用いて測定し検討を加えた。

動脈に狭窄が存在すれば、乱流、渦流、壁摩擦抵抗などが生じ、血流量の減少をきたすことは周知の事実であるが、血流量が有意に減少するためには、血管が一定程度以上の狭窄状態 (critical stenosis) に達することが必要であるとされている²⁾³⁾⁴⁾。しかしながら、この狭窄の程度と血流量との数量的関係についての諸家の成績は必ずしも一致していない⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

また、動脈狭窄部に対して、実地臨床上、しばしばバイパス移植が行なわれているが、一般に狭窄部は残されたままで、何ら処置がなされていないことが多い。この場合、狭窄部が残存しているための移植片を流れる血流量の減少、あるいは血栓形成の原因となる渦流、乱流の発生という問題を考慮に入れば、狭窄部の切除あるいは結紮がより好ましいのではないかという問題が生じてくる。

さらに、バイパス移植を行なう場合、宿主動脈に対するバイパス移植片の吻合角度の問題がある。従来、慣習的にはほぼ45°前後の角度で吻合が行なわれてきたが、果してこの角度が適正であるか否か、という点も明らかにされていない。

一方、血行再建術に際し、末梢側血流量を増加させる目的で交感神経切除術の併用が試みられている。交感神経切除術が四肢の安静時血流を増加させることは一般に認められているが、血行再建術の附加手術としての意義があるか否か、という問題については意見の一致をみていない⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。

そこで著者は、このような血行再建術における基礎的な問題点を解明する目的で、犬の腹部大動脈を用いて、生体と類似の狭窄状態を作成し、血流量および動脈圧の面より検討を加えた。

第2章 動脈狭窄に関する検討

動脈に狭窄が存在する場合、ある程度の狭窄では末梢血流量に著しい変化はみられないが、狭窄の程度がさらに増加すると、血流量は著明に減少することが知られている²⁾³⁾⁴⁾⁸⁾¹⁶⁾。そこで、この狭窄の程度と血流量および動脈圧の関係を検討するため下記の実験を行った。

なお、血流量の測定にあたっては、ヘマトクリット、粘性抵抗の問題があるが、生理的範囲内のヘマトクリット値の変化は血流量に影響しないことが実験的に証明されており¹⁷⁾、かつ粘性抵抗は末梢抵抗および狭窄によって生ずる抵抗より著しく小さく、無視してもさしつかえないことが報告されている⁴⁾。したがって、本研究では、ヘマトクリットと粘性抵抗の問題は考慮に入れることなく行なった。

第1節 実験方法

健康雑種成犬を用い、ペントバルビタール 30 mg/kg の静脈麻酔を行ない、気管内挿管による人為呼吸下

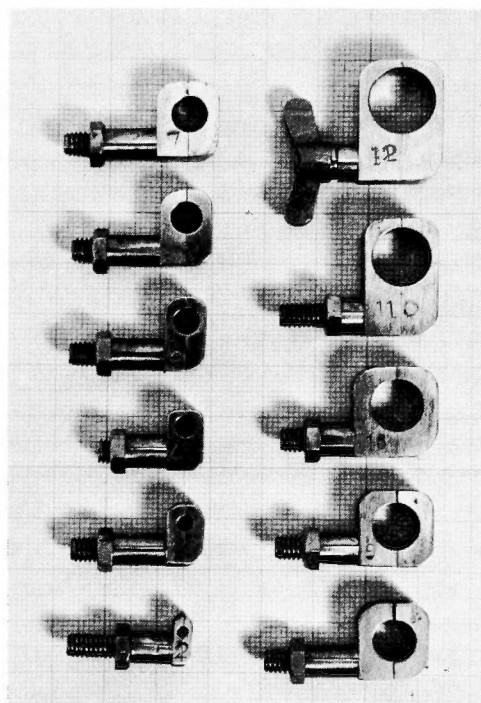


図1 狭窄器

に、腹部正中切開にて開腹し、腹部大動脈から両側外腸骨動脈までを露出し、ついで左右腎動脈分岐部より末梢の腰動脈をすべて結紮切断し、大動脈を可動性とした。腹部大動脈の狭窄作成には、著者が考案した狭窄部の長さ 8 mm、内径が 2 mm から 12 mm までの 1 mm づつ異なる図 1 のごとき狭窄器を用いた。なお、狭窄の程度は狭窄前の腹部大動脈の外径を基準とし、
$$\text{狭窄率} = \left\{ 1 - \frac{\text{狭窄後血管外径}}{\text{狭窄前血管外径}} \right\} \times 100\%$$
であらわした。

血流量測定には右外腸骨動脈にプローブを装着し、日本光電社製矩形波電磁流量計 MF 5 型を使用して測

定した。末梢動脈圧測定には尾動脈または左大腿動脈よりカテーテルを挿入固定し、日本光電社製電気血圧計RP 3型に連結し測定した。さらに、血流量、動脈圧を心電図とともに、日本光電社製 W 1-260 型記録計にて同時記録した。

第2節 実験成績

腹部大動脈の狭窄の程度にしたがって、狭窄率11～20%を第1群、21～30%を第2群、31～40%を第3群、41～50%を第4群、51～60%を第5群、61%以上を第6群とし、狭窄前後の平均血流量、平均動脈圧を測定した(表1, 2)。

第1群(9例)では、平均血流量は狭窄前の平均値は $92.0 \pm 9.3 \text{ ml/min}$ 、狭窄後の平均値は $88.1 \pm 8.4 \text{ ml/min}$ で、変化率は $-3.4 \pm 2.7\%$ であった。平均動脈圧は狭窄前 $107.3 \pm 5.7 \text{ mmHg}$ 、狭窄後 $102.8 \pm 6.4 \text{ mmHg}$ で、変化率は $-4.4 \pm 2.2\%$ であった。このように平均血流量および平均動脈圧とも、ほとんど変化はみられなかった。

第2群(10例)では、平均血流量は狭窄前の平均値 $80.1 \pm 8.4 \text{ ml/min}$ から狭窄後の平均値 $67.3 \pm 8.9 \text{ ml/min}$ となり、その変化率は $-13.9 \pm 8.0\%$ と、狭窄前に比して血流量の減少傾向がみられたが、推計学的には有意

の差ではなかった ($P > 0.05$)。平均動脈圧は、狭窄前平均値 $99.8 \pm 5.6 \text{ mmHg}$ で、狭窄後の平均値は $92.5 \pm 4.4 \text{ mmHg}$ であり、変化率は $-6.6 \pm 2.7\%$ とほとんど変化はみられなかった。

第3群(13例)では、平均血流量は狭窄前の平均値 $100.0 \pm 6.4 \text{ ml/min}$ から狭窄後の平均値 $72.4 \pm 9.1 \text{ ml/min}$ となり、その変化率は $-27.6 \pm 7.1\%$ と、狭窄前に比して有意に減少した ($P < 0.05$)。平均動脈圧は、狭窄前の平均値は $102.8 \pm 4.4 \text{ mmHg}$ 、狭窄後の平均値は $95.0 \pm 5.6 \text{ mmHg}$ で、変化率では $-7.0 \pm 4.5\%$ の低下を示した。有意の変化ではなかった。

第4群(13例)の平均血流量は、狭窄前の平均値 $85.5 \pm 7.0 \text{ ml/min}$ から狭窄後の平均値 $38.6 \pm 6.5 \text{ ml/min}$ となり、その変化率は $-50.9 \pm 10.3\%$ と、狭窄後には半減した。平均動脈圧も狭窄前の平均値 $99.5 \pm 5.2 \text{ mmHg}$ から狭窄後の平均値 $72.1 \pm 8.7 \text{ mmHg}$ となり、変化率は $-23.8 \pm 9.4\%$ と有意の低下を示した。

第5群(13例)では、平均血流量は狭窄前の平均値 $95.6 \pm 7.3 \text{ ml/min}$ から狭窄後の平均値 $17.2 \pm 6.3 \text{ ml/min}$ となり、変化率は $-80.7 \pm 6.4\%$ と、さらに、著しい減少がみられた。平均動脈圧も狭窄前の平均値 $104.2 \pm 3.7 \text{ mmHg}$ から、狭窄後の平均値 $29.0 \pm 10.6 \text{ mmHg}$

表1 血管の狭窄程度と血流量の変化

(平均値 $\pm$ S. E.)

狭窄率 (%)	平均血流量 (ml/min)		変化率 (%)
	狭窄前	狭窄後	
1群(9例) 11～20	92.0 ± 9.3	88.1 ± 8.4	-3.4 ± 2.7
2群(10例) 21～30	80.1 ± 8.4	67.3 ± 8.9	-13.9 ± 8.0
3群(13例) 31～40	100.0 ± 6.4	72.4 ± 9.1	-27.6 ± 7.1
4群(13例) 41～50	85.5 ± 7.0	38.6 ± 6.5	-50.9 ± 10.3
5群(13例) 51～60	95.6 ± 7.3	17.2 ± 6.3	-80.7 ± 6.4
6群(8例) 61～	81.6 ± 9.9	0	-100

表2 血管の狭窄程度と動脈圧の変化

(平均値 $\pm$ S. E.)

狭窄率 (%)	平均動脈圧 (mmHg)		変化率 (%)
	狭窄前	狭窄後	
1群(9例) 11～20	107.3 ± 5.7	102.8 ± 6.4	-4.4 ± 2.2
2群(10例) 21～30	99.8 ± 5.6	92.5 ± 4.4	-6.6 ± 2.7
3群(13例) 31～40	102.8 ± 4.4	95.0 ± 5.6	-7.0 ± 4.5
4群(13例) 41～50	99.5 ± 5.2	72.1 ± 8.7	-23.8 ± 9.4
5群(13例) 51～60	104.2 ± 3.7	29.0 ± 10.6	-71.1 ± 11.2
6群(8例) 61～	95.5 ± 5.8	0	-100

となり、変化率で $-71.1 \pm 11.2\%$ と著明に低下した。

第6群(8例)においては、狭窄後全例平均血流量、平均動脈圧ともに0となった。

これら全群の狭窄率と変化率との相関係数を求めると、平均血流量は $R = -0.790$ 、平均動脈圧 $R = -0.741$ と負の相関を示した(図2)。

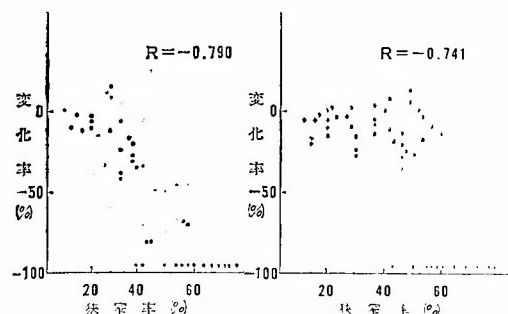


図2 狭窄率と血流量の変化との相関
狭窄率と動脈圧の変化との相関

第3節 小 括

血流量と動脈圧の変動についてみると、狭窄率が31%以上になると血流量は有意に減少しはじめ、さらに41%以上では著明に減少した。一方動脈圧は狭窄が41%になってはじめて有意の低下を示したが、血流量に比し変動は少なかった。すなわち、動脈圧の低下の減と血流量の減少は同時におこるものではなく、動脈圧の低下は血流量がかなり減少してからはじめて認められることが判明した。

第3章 バイパス移植時の狭窄部の処置に関する検討

動脈に狭窄が存在する場合、血行再建術としてバイ

パス移植が行なわれることが多いが、この際、この狭窄部の処置をいかにすべきかを検討するため下記の実験を行なった。

第1節 実験方法

健康雑種成犬を用い、前章の実験と同じ方法で腹部大動脈を露出し、腹部大動脈の外径とほぼ等しい7cm長のテロン代用血管を用い、腎動脈分岐部直下より末梢側大動脈にバイパス移植を行なった。バイパス間の腹部大動脈に狭窄器を装着し、末梢側の血流量ならびに動脈圧を測定した。血液が狭窄部およびバイパスの両者を流れる場合をA群とし、狭窄部を閉塞してバイパスのみを流れるようにした場合をB群とした。

第2節 実験成績

腹部大動脈の狭窄の程度は、前章と同様に外径を基準として算出し、1) 狭窄のない場合、2) 11~20%の狭窄、3) 21~30%の狭窄、4) 31~40%の狭窄、5) 41~50%の狭窄、6) 51~60%の狭窄の6段階に分け、A群とB群との血流量ならびに動脈圧を比較検討した(表3、4)。

無狭窄例(14例)の平均血流量は、A群 92.9 ± 6.5 ml/min、B群 89.5 ± 6.9 ml/minで、変化率は $-4.7 \pm 3.6\%$ であった。平均動脈圧は、A群 100.4 ± 4.1 mmHg、B群 100.4 ± 3.4 mmHgで、変化率は $0.5 \pm 1.9\%$ であった。

11~20%狭窄例(10例)の平均血流量は、A群 88.0 ± 8.9 ml/min、B群 84.0 ± 9.0 ml/minで、変化率は $-4.4 \pm 3.5\%$ であり、平均動脈圧は、A群 104.4 ± 4.5 mmHg、B群 104.7 ± 5.3 mmHgで、変化率は $0.3 \pm 2.6\%$ であった。

21~30%の狭窄例(11例)の平均血流量は、A群 83.8 ± 7.5 ml/min、B群 81.3 ± 7.4 ml/minで、変化率は $-2.6 \pm 3.8\%$ であり、平均動脈圧は、A群 100.2 ± 2.7

表3 バイパス移植例における血流量の変化

(平均値 $\pm$ S.E.)

狭 窄 率 (%)	平 均 血 流 量 (ml/min)		変 化 率 (%)
	A 群	B 群	
0 (14例)	92.9 ± 6.5	89.5 ± 6.9	-4.7 ± 3.6
11~20 (10例)	88.0 ± 8.9	84.0 ± 9.0	-4.4 ± 3.5
21~30 (11例)	83.8 ± 7.5	81.3 ± 7.4	-2.6 ± 3.8
31~40 (13例)	83.5 ± 7.3	84.3 ± 8.5	1.7 ± 5.1
41~50 (12例)	68.4 ± 8.9	69.2 ± 9.5	0.9 ± 4.1
51~60 (9例)	70.3 ± 5.4	72.3 ± 5.9	2.4 ± 3.1

A群：狭窄部開存，バイパス移植部開存

B群：狭窄部閉塞，バイパス移植部開存

表4 バイパス移植例における動脈圧の変化

(平均値±S.E.)

狭 窄 率 (%)	平 均 動 脈 圧 (mmHg)		変 化 率 (%)
	A 群	B 群	
0 (14例)	100.4±4.1	100.4±3.4	0.5±1.9
11~20 (10例)	104.4±4.5	104.7±5.3	0.3±2.6
21~30 (11例)	100.2±2.7	101.4±2.5	0.2±1.6
31~40 (13例)	99.5±3.3	100.2±4.2	0.4±2.1
41~50 (12例)	100.0±4.9	99.7±3.6	-0.4±2.1
51~60 (9例)	99.7±2.6	103.0±3.3	3.4±2.1

mmHg, B群 101.4±2.5mmHg で, 変化率は0.2±1.6%であった.

31~40% 狭窄例 (13例) の平均血流量は, A群83.5±7.3ml/min, B群 84.3±8.5ml/min で, 変化率は1.7±5.1%であり, 平均動脈圧は, A群 99.5±3.3mmHg, B群100.2±4.2mmHgで, 変化率は0.4±2.1%であった.

41~50%狭窄例 (12例) では, 平均血流量はA群 68.4±8.9ml/min, B群 69.2±9.5ml/min, 変化率は0.9±4.1%で, 平均動脈圧はA群100.0±4.9mmHg, B群 99.7±3.6mmHgで, 変化率は-0.4±2.1%であった.

51~60%狭窄例 (9例) では, 平均血流量はA群 70.3±5.4ml/min, B群 72.3±5.9ml/min で, 変化率は2.4±3.1%, 平均動脈圧はA群 99.7±2.6mmHg, B群 103.0±3.3mmHg で, 変化率は3.4±2.1%であった.

第3節 小 括

各狭窄群で, A群, すなわち狭窄部およびバイパス移植片の両者を流れるようにした群の末梢血流量と, B群, すなわち狭窄部を閉塞してバイパス移植片のみを流れるようにした群の血流量を対比すると, すべての狭窄群において, A群とB群の血流量には推計学的に有意の差は認められなかった ($P>0.05$). また, 末梢動脈圧に関しても変化率は-0.4~3.4%と小さく, 平均血流量と同様の傾向を示した. かかる成績から, 本実験のごとく, 狭窄の範囲の短い動脈にバイパス移植を行なう場合には, 狭窄の程度に関係なく, 狭窄部をそのままに放置しても, あるいは結紮しても, 末梢側の血流量には有意の差のないことが判明した.

第4章 バイパス移植時の吻合角度に関する検討

狭窄部にバイパス移植を実施する場合, 宿主動脈に対する移植片の吻合角度は一般に 45° を目安として行

なわれているが, いまだ適正な吻合角度に関しての説はない. そこで著者は, 移植片を流れる血流量を最大するためには, どのような吻合角度が適当かを検討する目的で下記の実験を行なった.

第1節 実験方法

健康雌種成犬を用い, 前述の方法で露出した腹部大動脈に, それとほぼ同一直径をもつ長さ7cmのテトロン代用血管を用いてバイパス移植を行なった. 吻合角度 45° のものを対照とし, 吻合角度が30°, 60°, 90°および中枢側吻合角が135°で末梢側が45°の, 計4種のバイパス移植を行ない (図3), その末梢側において血流量ならびに動脈圧を測定した.

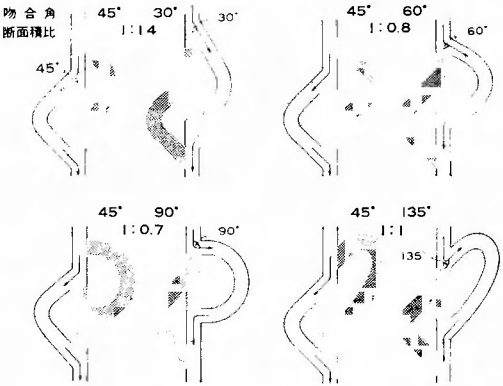


図3 バイパス移植時の吻合角度の模式図

第2節 実験成績

第1項 吻合角度45°と30° (9例) (表5)

吻合角度45°の平均血流量は 118.7±9.4ml/min, 30°の平均血流量は 116.7±9.6ml/min, 変化率は-1.7±2.7%で, 平均動脈圧は45°では 102.3±2.2mmHg, 30°では 100.9±1.4mmHg, 変化率は-1.2±1.9%であった.

表5 吻合角度45°と30°における血流量と動脈圧の比較

No.	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
	45°	30°	変化率 (%)	45°	30°	変化率 (%)
1	155	155	0.0	104	103	- 1.0
2	135	134	- 0.7	113	103	- 8.8
3	116	128	10.3	98	97	- 1.0
4	95	96	1.1	90	100	11.1
5	151	136	- 8.6	98	92	- 6.1
6	114	125	9.7	103	105	1.9
7	124	116	- 6.4	102	102	0.0
8	151	100	-13.0	108	102	- 5.6
9	63	58	- 7.9	105	104	- 0.9
平均値	118.7	116.7	- 1.7	102.3	100.9	- 1.2
± S. E.	9.4	9.6	2.7	2.2	1.4	1.9

表6 吻合角度45°と60°における血流量と動脈圧の比較

No.	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
	45°	60°	変化率 (%)	45°	60°	変化率 (%)
1	132	128	- 3.0	105	104	- 1.0
2	92	97	5.4	77	76	- 1.3
3	83	78	- 6.0	110	114	3.6
4	92	91	- 1.1	65	66	1.5
5	65	70	7.7	93	106	14.0
6	60	70	16.7	73	76	4.1
7	51	36	-29.4	73	65	-11.0
8	80	75	- 6.2	90	81	-10.0
9	53	66	24.5	98	110	12.2
10	90	88	- 2.2	77	75	- 2.6
11	61	64	4.9	110	110	0.0
12	77	81	5.2	100	105	5.0
平均値	78.0	78.7	1.4	89.2	90.7	1.2
± S. E.	6.5	6.4	3.8	4.6	5.5	2.2

第2項 吻合角度45°と60° (12例) (表6)

平均血流量は、45°では 78.0 ± 6.5 ml/min, 60°では 78.7 ± 6.4 ml/min, その変化率は $1.4 \pm 3.8\%$ であり, 平均動脈圧は、45°では 89.2 ± 4.6 mmHg, 60°では 90.7 ± 5.5 mmHg, 変化率 $1.2 \pm 2.2\%$ であった。

第3項 吻合角度45°と90° (11例) (表7)

平均血流量は、45°では $86.0 \pm 7.4\%$, 90°では 80.2 ± 6.9 ml/min, 変化率 $-6.3 \pm 2.3\%$ であり, 平均動脈圧は、45°では 106.5 ± 5.3 mmHg, 90°では 104.5 ± 5.2 mmHg, 変化率 $-1.7 \pm 1.6\%$ であった。

第4項 吻合角度45°と135° (7例) (表8)

平均血流量は、45°では 88.1 ± 10.1 ml/min, 135°では 86.4 ± 9.7 ml/min, 変化率は $-1.9 \pm 2.3\%$ であり, 平均動脈圧は、45°では 104.9 ± 5.6 mmHg, 135°では 106.0 ± 5.1 mmHg, 変化率 $1.3 \pm 0.8\%$ であった。

第3節 小括

吻合角度の45°の血流量を対照として, 吻合角度30°, 60°, 90°, 135°の血流量, 動脈圧の変化を検討したところ, いずれの吻合角度においても, 推計学的に有意の変化は認められなかった ($P > 0.05$). すなわち, バイ

表7 吻合角度 45° と 90° における血流量と動脈圧の比較

No.	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
	45°	90°	変化率 (%)	45°	90°	変化率 (%)
1	125	125	0.0	118	118	0.0
2	75	70	- 6.7	130	134	3.1
3	90	80	-11.1	125	104	-16.8
4	63	60	- 4.8	108	109	0.9
5	85	84	- 1.2	108	105	- 2.8
6	129	118	- 8.5	124	123	- 0.8
7	86	80	- 7.0	95	95	0.0
8	54	59	9.3	100	100	0.0
9	79	74	- 6.3	105	105	0.0
10	60	52	-13.3	73	73	0.0
11	100	80	-20.0	86	84	- 2.3
平均値	86.0	80.2	- 6.3	106.5	104.5	- 1.7
± S. E.	7.4	6.9	2.3	5.3	5.2	1.6

表8 吻合角度 45° と 135° における血流量と動脈圧の比較

No.	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
	45°	135°	変化率 (%)	45°	135°	変化率 (%)
1	105	100	- 4.8	100	102	2.0
2	135	125	- 7.4	94	96	2.0
3	70	70	0.0	115	118	2.6
4	95	100	5.3	125	122	- 2.4
5	58	53	- 8.6	92	92	0.0
6	89	95	6.7	120	120	0.0
7	65	62	- 4.6	88	92	4.5
平均値	88.1	86.4	- 1.9	104.9	106.0	1.3
± S. E.	10.1	9.7	2.3	5.6	5.1	0.8

表9 腰交切前後の血流量と動脈圧の比較
(無処置群)

No.	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
	前	後	増加率 (%)	前	後	増加率 (%)
1	136	148	108.8	112	100	89.3
2	55	216	392.7	100	115	115.0
3	80	85	106.3	106	110	103.8
4	102	253	248.0	88	92	104.5
5	70	125	178.0	106	86	81.1
6	118	130	110.2	92	70	76.1
平均値	93.5	159.5	190.8	100.7	95.5	95.0
± S. E.	12.5	25.6	46.4	3.7	6.7	6.2

∴ 増加率：前値に対する後値の百分比

パス移植施行後の血流量、動脈圧を指標とする血行動態的検討の結果からみると、順行性(30°, 45°, 60°, 90°)の場合はもちろん、逆行性(135°)の場合においても、移植片を流れる血流量に関しては、その吻合角度はほとんど問題にならないことが判明した。

第5章 腰部交感神経切除に関する検討

腰部交感神経切除の、正常動脈および狭窄を有する動脈に対する効果、さらには血行再建術の附加手術としての意義を検討する目的で、以下の実験を行なった。

第1節 実験方法

健康雑種成犬を用い、腹部正中切開で開腹後、L₂~L₅の腰部交感神経切除術(以下腰交切と略す)を施行した。実験は以下の3群、すなわち 1) 無処置群(6例)、2) 狭窄群(11例)、3) 狭窄部バイパス移植群(7例)について、腰交切前後の血流量および動脈圧の変化を検討した。

第2節 実験成績

第1項 無処置群(表9)

腰交切施行前の平均血流量は93.5±12.5ml/minであったのに対し、施行後は159.5±25.6ml/minとなり、増加率は190.8±46.4%となった(P<0.05)。なお、6例中3例において、腰交切前それぞれ136ml/min, 80

ml/min, 118ml/minであった血流量が、腰交切後にそれぞれ148ml/min, 85ml/min, 130ml/min、と10%以下の軽度の増加を示したにすぎなかった。平均動脈圧は、腰交切前100.7±3.7mmHg, 腰交切後95.5±6.7mmHgで、増加率は95.0±6.2%となった。

第2項 狭窄群(表10)

腹部大動脈に28~40%の狭窄を行なった6例の平均血流量は、腰交切前70.2±7.2ml/minで、腰交切後は155.7±23.3ml/minとなり、増加率は226.4±29.4%と著明な増加を認めた。狭窄率51%以上では、腰交切前の血流量は1例を除く4例で0であった。血流量を測定しえた1例の腰交切前の血流量は45ml/minで、腰交切後56ml/minとなり、増加率は124.4%であった。一方、狭窄率28~40%の平均動脈圧は、腰交切前95.3±2.7mmHg, 腰交切後96.7±6.3mmHgで、増加率は101.2±5.4%であった。狭窄率51%以上で、血流量を測定しえた1例の平均動脈圧は、腰交切前96mmHg, 腰交切後95mmHgで、増加率は99%であった。

第3項 狭窄部バイパス移植群(表11)

腹部大動脈にcritical stenosisをこえないほぼ一定の狭窄状態を作成し、バイパス移植を行なった群の腰交切前の平均血流量は81.7±6.0ml/min, 腰交切後は141.7±15.0ml/minで、172.6±11.0%の増加率であった。平均動脈圧は腰交切前100.4±3.2mmHg, 腰交切後86.6±5.4mmHgで、増加率は86.9±6.4%となった。

表10 腰交切前後の血流量と動脈圧の比較

(狭窄群)							
狭窄率	例数	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
		前	後	増加率 (%)	前	後	増加率 (%)
28 %	1	55	164	298.2	100	115	115.0
	2	51	103	202.0	100	100	100.0
	3	90	190	211.1	102	100	98.0
	4	89	109	122.5	95	105	110.5
	5	58	119	205.2	90	70	77.8
	6	78	249	319.2	85	90	105.9
	平均値	70.2	155.7	226.4	95.3	96.7	101.2
	±S.E.	7.2	23.3	29.4	2.7	6.3	5.4
51 %	7	45	56	124.4	96	95	99.0
	8	0	0	0.0	0	0	0.0
	9	0	0	0.0	0	0	0.0
	10	0	0	0.0	0	0	0.0
	11	0	0	0.0	0	0	0.0

表11 腰交切前後の血流量と動脈圧の比較
(狭窄部バイパス移植群)

No.	平均血流量 (ml/min)			平均動脈圧 (mmHg)		
	前	後	増加率 (%)	前	後	増加率 (%)
1	74	120	162.2	110	88	80.0
2	113	215	190.3	108	103	95.4
3	94	148	157.5	95	100	105.3
4	70	130	185.7	105	70	66.7
5	75	168	224.0	85	90	105.9
6	74	111	150.0	100	90	90.0
7	72	100	138.9	100	65	65.0
平均値	81.7	141.7	172.6	100.4	86.6	86.9
± S. E.	6.0	15.0	11.0	3.2	5.4	6.4

第3節 小 括

無処置群, 狭窄群, 狭窄部バイパス移植群の腰交切前後の平均血流量の増加率をみると, 無処置群では約2倍となり, 狭窄群においては, 狭窄率が40%までの群では腰交切により2倍以上の血流量の増加を示したが, 51%以上の狭窄では, 腰交切前, すでに血流量は0であり, 5例中流量のえられた1例においても僅かの増加がみられたにすぎなかった. 狭窄部バイパス移植群においては, 平均血流量は172.6±11.0%の増加が認められた. 平均動脈圧については, 腰交切前後において, 各群ともに多くはやや低下の傾向を示したが, いずれも有意の変化はみられなかった (P>0.05).

第6章 考 察

動脈狭窄に関して:

従来, 動脈に狭窄を作成した場合の血流の影響に関しては, Mann⁵⁾, Shipley⁶⁾らの研究を嚆矢とし, その後多くの人々によって, 血管モデルあるいは動物を使用して, 血管の狭窄の程度と血流量の関係が検討されてきた²⁾³⁾⁸⁾¹⁶⁾⁹⁸⁾.

まず, 動脈の狭窄作成についてであるが, これに関しても種々な方法が報告されている. すなわち, 動脈を切開し, その内腔に狭窄管を挿入する方法¹⁹⁾, あるいは Bounous²⁰⁾らが行なった大動脈の側壁の一部を切除し, 縫縮して狭窄を作成する方法, 稲田ら²¹⁾のテフロン布縫絡による狭窄法等である. 著者は生体血管にみられる狭窄により近い状態を作成する目的で, 金属性の狭窄器を作成し, これを犬の腹部大動脈に装着し, これによって生体にみられる狭窄と類似の状態をつくった. さて, 狭窄の程度を数量的にあらわすこと

は極めてむづかしいが, Crawford²²⁾は狭窄の程度を狭窄径で示している. 狭窄の程度を比較する上で理想的である断面積についてみると, ガラス管模型による実験では断面積を容易に算出するが, 生体動脈においては血管内径は必ずしも同心円的狭窄とはならず, その算出は實際上極めて困難である. Fiddian⁴⁾は血管径から断面積を算出しているが, Shipley⁶⁾らは狭窄を増強する際, 血管外径と内腔の断面積とは血管壁の厚さを一定とすれば直線の関係はないが, 両者は密接な関係にあることを明らかにしている. そこで著者は, 狭窄前と狭窄後の血管外径から狭窄の程度をあらわす指標として血管狭窄率を求めた.

さて狭窄の程度と血流量との関係については, 血流量が明らかに減少するためには血管にかなりの程度の狭窄が必要であるとされている²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾. この狭窄による血流量の著明な減少閾値が, いわゆる critical stenosis であって, 末梢抵抗より高い抵抗をもたらす狭窄を示すものである. Cannon³⁾は断面積狭窄率が99.1%になると血流量は30%以上減少することを認め, May²⁾らは犬の腸骨動脈に80%以上の狭窄を作成することにより, はじめて血流量の減少がおこることを報告した. Schenk⁷⁾は大動脈の critical stenotic diameter は平均3~4 mm, すなわち血管径の77%の減少に相当し, これは断面積では95%の減少であるとしている. このように, critical stenosis を越えると血流量の著明な減少がみられるが, その閾値は報告者によって必ずしも一致をみていない. 著者の狭窄実験では, 狭窄率を31~40%にすると, 末梢血流量の変化率は-27.6~7.1%と有意に減少し, さらに, 狭窄率41~50%では狭窄前の約1/2の血流量になり, 61%以上

の狭窄では血流量も動脈圧も測定しえなかった。したがって、著者の行なった犬の腹部大動脈における critical stenosis は狭窄前外径の41~50%と考えられた。critical stenosis に関して諸家の報告と多少の差がみられたのは、使用した犬の大動脈の太さ、壁の厚さや狭窄作成法の違いによるものであらうと思われる。

つぎに、動脈狭窄と動脈圧との関係について、著者は末梢の動脈圧を狭窄作成の前後において測定したところ、狭窄が軽度の場合にはほとんど末梢動脈圧の低下はみられなかったが、狭窄率が41~50%以上になると末梢動脈圧の有意な下降がみられた。また、狭窄による末梢動脈圧の低下と血流量の減少の程度との関係についてみると、動脈狭窄が critical stenosis に達するまでに、まず血流量の減少がおこり、critical stenosis に達してはじめて動脈圧の低下がおこることが観察された。このことは、Cannon ら³⁾ のべているごとく、末梢動脈圧の変動から血流量の変化を予想することの危険性を示唆しているものと思われる。

バイパス移植時の狭窄部の処置に関して：

動脈狭窄病変に対してバイパス移植を行なう場合、狭窄部の処置をいかにするかに関しては、Barner²³⁾らの実験的研究がある。彼等は cobra mouth 型の大きな吻合口を有する移植片を用いてバイパス移植を施行し、バイパス移植片および動脈狭窄部を流れる血流量を同時に測定したところ、動脈に軽度の狭窄 (noncritical stenosis) を作成した場合はもちろんのこと、critical stenosis を越えるような強い狭窄においても、1/3の例では狭窄部を血液が流れ、バイパス移植片の血流量は減少していたことから、バイパス移植片を流れる血流を最大にして血栓形成を予防するためには、動脈狭窄部を結紮する方がのぞましいとしている。

著者の実験は、Barner²³⁾ のごとく狭窄部とバイパス移植片を同時に測定したものではなく、動脈狭窄部とバイパス移植片の両者を流れる血流量 (A群) と、狭窄部を結紮してバイパス移植片のみを流れるようにした場合の血流量 (B群) とを末梢側で測定したものであり、両群とも、動脈狭窄の程度を増強すれば、末梢血流量はやや減少する傾向がみられたが (図4)、critical stenosis に達するまでは、両者の間には流量的にはほとんど差がみられず、かつ動脈圧も一定であった (図5)。さらに、血行再建術の適応と思われる critical stenosis に達してからも、A群とB群との間には末梢血流量および末梢動脈圧に関しては有意の差は認められなかった。したがって、血行再建術の主旨

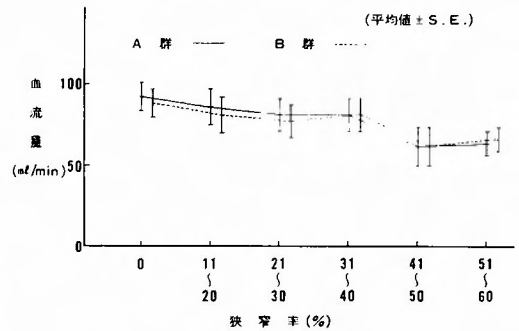


図4 バイパス移植例における狭窄程度と血流量の関係

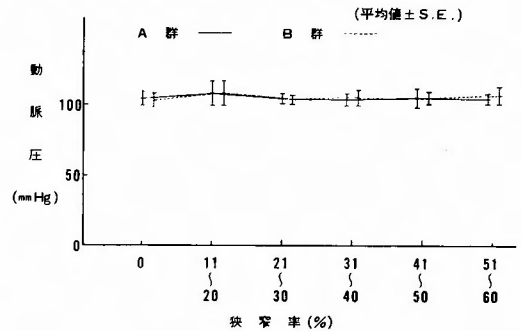


図5 バイパス移植例における狭窄程度と動脈圧の関係

的である末梢血流量の増加という点からみれば、狭窄部を結紮しても、あるいは残存せしめても、いずれでもよいと考えられる。

バイパス移植時の吻合角度に関して：

血管移植の成績を左右する諸因子のうちで、移植片ならびに吻合に用いる縫合糸の材質、宿主動脈に対する移植片の直径の比率、移植片の長さ、あるいは吻合に関する手技等については、臨床的ならびに実験的にかなり検討されている。しかるに、宿主動脈とバイパス移植片との吻合角度については、現在まであまり問題にされていなかった。

著者は、宿主動脈と同じ直径を持つ移植片を用いてバイパス移植を行ない、その際の吻合角度を変化させ、末梢血流量の変動を検討したところ、吻合角度 30°, 45°, 60°, 90° および血流が逆方向となる 135° の各吻合角度間には、末梢側の血流量と動脈圧に関して、ともに有意の差は認められないという成績がえられた。

宿主血管径と同一径の移植片を用いた場合、その吻合角 θ が変化した時の吻合部断面積が異なることは当

然であり、 $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ における吻合部断面積は、移植片の半径を r とすれば、それぞれ $2\pi r^2$, $\sqrt{2}\pi r^2$, $\frac{2}{\sqrt{3}}\pi r^2$, πr^2 , $\sqrt{2}\pi r^2$ となる。 45° を対照としてその比率を求めると、 $1.4:1:0.8:0.7:1$ となり、その間にかかなりの差がみられるので、同部を流れる血流量は多少なりとも差が生ずるのではないかと想像される。しかし、著者の実験では、各吻合角間の末梢血流量および動脈圧には有意差が認められなかった。このことは、移植片の直径が宿主血管と等しく、かつ比較的短い区間のバイパス移植では、吻合角度による血流量の変化は現われにくいのではないかと考えられる。

Blasidell²⁴⁾ らも、著者の行なった 45° の吻合角度に相当する stream-lined angulation graft と、 135° の吻合角度に相当する reverse angulation graft とを作成し、末梢側の血流量を測定したところ、両者間には有意の差は認められなかったと報告している。

さて、生体には左頸動脈、左鎖骨下動脈、腎動脈、下腹壁動脈および上甲状腺動脈等が存在しており、前三者は著者の実験の 90° に相当すると考えられ、後二者は 135° の吻合角や、Blasidell²⁶⁾のreverse angulation graftのごとく、主流と逆の方向に血液が流れている。しかし、このような分岐、走行をとる動脈では血流量が少なく、またとくに血栓形成が起り易いという事実はない。このことは、著者の実験結果あるいは Blasidell²⁴⁾の成績を裏付ける一つの根拠とも考えられる。このようにみれば、バイパス移植に際しての吻合角度は、さして問題とならないのかもわからない。

一方、Malan²⁵⁾は血栓形成にあずかる因子として、吻合によって血液の流れの方向が変化する時には、その部に乱流、渦流が発生し、それに伴って静止帯が広がり、これが局所の血流障害となり、時間の経過とともに血栓形成を促すものであろうとした。江崎ら²⁶⁾²⁷⁾もガラス管による血管模型を作成して、主管から側管への分岐角度が大になると、側管の中核側に軸流による“ねじれ”が生ずることを観察し、吻合角は小なる方が望ましいと報告している。

著者の実験では、各吻合角度間には流量的に有意差がないという成績がえられてはいるものの、吻合操作の容易さや、Malan²⁵⁾、江崎²⁶⁾²⁷⁾らのいう血栓形成の問題を考慮に入れば、 30° ないし 45° の吻合角度でバイパス移植を行なうのが、実地臨床上で最も適しているのではなからうかと考える。

腰部交感神経切除に関して：

末梢抵抗を低下させ、血流量の増加をはかる目的で行なわれる腰交切は、血行再建術の不可能な末梢動脈閉塞症に対してしばしば施行され、その価値は認められている。しかしながら、その臨床効果は一様でなく、著効例から悪化例まで多種多様である²⁾¹⁵⁾²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾。何故にこのように臨床効果に相異が現われるかについては、未だ十分には解明されていない。

著者は、まず正常動脈、ついで種々の程度の狭窄状態を動脈に作成し、腰交切の効果、適応について、大腿動脈の血流量および動脈圧の面から検討した。

正常動脈においては、腰交切により、その血流量は平均 $190.7 \pm 46.4\%$ の増加を認め、動脈圧は低下の傾向を示したが、有意の差は認められなかった。著者の実験では、平均血流量の増加率が 110% 以下という低値を示したものがみられたが、このような例が腰交切の無効例とみなされる症例ではなからうかと推察される。腰交切が無効である理由は明らかでないが、手技上の問題を除けば、1)平滑筋固有の緊張性(intrinsic tone)の増加、2)循環血液中のカテコールアミン、あるいはその他のホルモンに対する過敏性の増加、3)交通枝の存在、4)再生等がその原因として一応あげられている³¹⁾。

さらに、狭窄を有する動脈に対する腰交切の効果についての著者の成績では、critical stenosisに達しない狭窄、すなわち 40% までの狭窄では $226.4 \pm 29.4\%$ の血流量増加が認められたのに対し、 51% 以上のいわゆるcritical stenosisを越えた症例のほとんどは、腰交切前、すでに血流量は 0 であり、血流量のえられた1例も、腰交切後 124.4% の増加が認められたにすぎなかった。これらの点から、critical stenosisを越える著明な狭窄のある症例に対しては、腰交切を行っても無効ではないかと考えられる。Mayら³²⁾も中等度の狭窄までは大腿動脈の安静時血流量の著明な増加をきたすが、高度のcritical stenosisでは、すでに血流量の著明な減少がみられるので、腰交切によっても血流量の増加をきたすことはないとして述べている。

血行再建術と腰交切併用の効果に関しては未だ定説がなく、臨床経験に基づいた報告が多い。すなわち、DeBakeyらは⁹⁾³⁰⁾、末梢の血管床に高度な閉塞性病変が存在するときには、血行再建術の附加手術として腰交切を試みるべきであるとし、また、Tripple¹¹⁾、Wyllie¹⁰⁾、Allan¹²⁾らは、腰交切の適応を拡大し、血行再建例のすべてに行なうべきであると述べている。

以上のごとき末梢動脈の血行再建術と腰交切との併用は有効であるという意見に対し、Weismann¹³⁾、Shaw³³⁾らは反論を唱えている。すなわち、血行再建術における腰交切の占める位置は明らかでなく、血行再建術が不成功に終わった場合には、腰交切を行なっても血管摩縮を防ぎえないとして、血行再建術と腰交切との併用を疑問視している。このような血行再建術と腰交切との併用の効果に関しての多くは、いずれも臨床症状の改善、指尖容積脈波、皮膚温の変化等によって判定しており、直接血流量を測定して検討しているものは少ない。Lee³⁴⁾らは、臨床例で血栓内膜剥離術を施行した症例に腰交切を加え、156%の血流量増加をみたと報告している。著者は動脈狭窄部にバイパス移植を行なった後、腰交切を加え、腰交切前後の血流量を測定したところ、 $172.6 \pm 11.0\%$ の血流量の増加を認めた。このような動脈狭窄部にバイパス移植を施行し、さらに腰交切を併用した実験的研究は文献上見当たらないので、諸家の成績との対比はできないが、本実験成績からみて、狭窄動脈に対する血行再建術後、血流量の増加が認められた症例に対しては、腰交切の追加により、さらに血流量の著明な増加が期待しうると考えられる。

第7章 結 論

血管外科領域における未解決な諸問題のうち、動脈狭窄の程度と血流量ならびに動脈圧との関係、動脈狭窄部にバイパス移植を施行した場合の狭窄部の処置、バイパス移植の際の適正な吻合角度、さらには血行再建時の附加手術としての腰部交感神経切除術の価値等を検討する目的で、健康雑種成犬を用いて実験的研究を行ない、以下の結論をえた。

1) 腹部大動脈に種々の程度の狭窄を作成し、外径を基準とした狭窄の程度による末梢血流量ならびに動脈圧の変動を検討したところ、血流量は狭窄率が31~40%になってはじめて有意の減少を示し、41~50%では著明な減少がみられた。したがって、犬の腹部大動脈における critical stenosisは狭窄前外径の41~50%と考えられた。一方、動脈圧は41~50%の狭窄率より有意の低下を示した。

2) 動脈の部分的狭窄部にバイパス移植を行なった際、狭窄部およびバイパス移植片の両者を流れる末梢血流量と、狭窄部を閉塞し、バイパス移植片のみを流れるようにした場合の末梢血流量との間には、狭窄の程度に関係なく有意の差はみられず、また、動脈圧に

関しても同様な成績がえられた。したがって、動脈の部分的狭窄部にバイパス移植を行う場合には、末梢の血流量および動脈圧の面よりみれば、狭窄部は残存せしめても、あるいは結紮しても、いずれでもよいと考えられた。

3) バイパス移植を施行するさいの宿主動脈と移植片との適正な吻合角度を検討したところ、末梢側の血流量ならびに動脈圧の面よりみれば、30°, 45°, 60°, 90°, 135°のいずれの角度においても、推計学的には有意の差は認められなかった。しかしながら、乱流、渦流の発生による血栓形成の問題や、手技上の点を考慮に入れば、30°ないし45°の吻合角度が適していると考えられた。

4) 腰部交感神経切除術により、正常動脈においては著明な血流量の増加が認められたが、狭窄を作成した動脈では、critical stenosisに達するまでは血流量の有意の増加を示したが、それを越える狭窄では、血流量の増加は明らかでなかった。一方、動脈狭窄部にバイパス移植を施行した後、腰交切を追加することにより、著明な血流量の増加が認められた点から、腰交切を血行再建術の附加手術として施行することはきわめて有用であると考えられた。

稿を終るに臨み、御懇篤なる御指導、御校閲の労を賜った恩師板谷博之教授に深甚なる謝意を表するとともに、本研究にあたり直接御指導を賜った研岡進講師に深謝致します。また多大なる御協力に預かった下村忠朗助手、横山岡博士をはじめ教職員各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Byar, D. et al. : The fallacy of applying the poiseuille equation to segmental arterial stenosis. *Am. Heart J.*, **70**: 216, 1965.
- 2) May, A. G. et al. : Hemodynamic effects of arterial stenosis. *Surgery*, **53**: 513, 1963.
- 3) Cannon, J. A. et al. : Experience with a new electromagnetic flowmeter for use in blood-flow determination in surgery. *Ann. Surg.*, **152**: 635, 1960.
- 4) Fiddian, R. V. et al. : Factors affecting flow through a stenosed vessel. *Arch. Surg.*, **88**: 105, 1964.
- 5) Mann, F. C. et al. : The effect on the blood flow of decreasing the lumen of a blood vessel. *Surgery*, **4**: 249, 1938.
- 6) Shipley, R. E. and Gregg, D. E. : The effect of external constriction of a blood vessel on blood flow. *Am. J. physiol.*, **141**: 289, 1944.
- 7) Schenk, W. G. et al. : Hemodynamics of ex-

- perimental coarctation of the aorta. *Ann. Surg.*, **153** : 163, 1961.
- 8) Crawford, E.S. et al. : Hemodynamic changes associated with carotid artery occlusion : an experimental and clinical study. *Cardiovasc. Res. Bull.*, **1** : 3, 1962.
 - 9) De Bakey, M.E. et al. : Surgical consideration of occlusive disease of the abdominal aorta and iliac and femoral arteries : Analysis of 803 cases. *Ann. Surg.*, **148** : 306, 1958.
 - 10) Whlie, E.J. and Richard, G. : Thromboendarterectomy, a clinical appraisal. *Surgery*, **37** : 415, 1955.
 - 11) Trippel, O.H. et al. : Limb salvage in occlusive arterial disease of the lower extremities. Recent changes in surgical approach. *Arch. Surg.*, **81** : 357, 1960.
 - 12) Allan, J.S. et al. : The effect on blood-flow of adding lumbar sympathectomy to reconstructive arterial surgery in the lower limb. *Brit. J. Surg.*, **55** : 861, 1968.
 - 13) Weismann, R.E. and Upson, J.F. : Use of lumbar sympathectomy as an adjunct to reconstructive arterial surgery. *Ann. Surg.*, **154** : 788, 1961.
 - 14) Terry, H.J. et al. : The effect of adding lumbar sympathectomy to reconstructive arterial surgery in the lower limb. *Brit. J. Surg.*, **57** : 51, 1970.
 - 15) Bonnevie, P. et al. : Arterial blood flow changes during lumbar sympathectomy measured by an electromagnetic flowmeter. *Dan. Med. Bull.*, **18** : 49, 1971.
 - 16) Weale, F.E. : Arterial stenosis. *In* An introduction to surgical hemodynamics. Lloyd-Luke Ltd. London 1966, p.55-68.
 - 17) Golding, A.J. and Cannon, J.A. : Application of electromagnetic blood flow meter during arterial reconstruction. Results in conjunction with papaverine in 47 cases. *Ann. Surg.*, **164** : 662, 1966.
 - 18) Weale, F.E. : Hemodynamics of incomplete arterial obstruction with observation on the generation of turbulence. *Brit. J. Surg.*, **51** : 659, 1964.
 - 19) Vonruden, W.J. et al. : Multiple arterial stenosis : Effect on blood flow. *Arch. Surg.*, **89** : 307, 1964.
 - 20) Bounous, G. et al. : Experimental coarctation and supravalvular aortic stenosis. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **45** : 210, 1963.
 - 21) 稲田 潔, 他 : 大動脈縮窄症における高血圧発生源——実験的ならびに臨床的研究——胸部外科, **18** : 317, 1965.
 - 22) Crawford, E.S. et al. : Hemodynamic alterations in patients with cerebral arterial insufficiency before and after operation. *Surgery*, **48** : 76, 1960.
 - 23) Barner, H.B. et al. : Blood flow in bypass graft. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **51** : 667, 1966.
 - 24) Blaisdell, F.W. et al. : Effect of diameter and angulation on blood flow through plastic arterial substitutes. *Am. Surg.*, **30** : 192, 1964.
 - 25) Malan, E. et al. : Approach to fluid dynamic problems in reconstructive vascular surgery. *Surgery*, **66** : 994, 1969.
 - 26) 江崎 優, 他 : 血管モデルによる血行再建術の検討. *脈管学*, **12** : 172, 1972.
 - 27) 江崎 優, 他 : 流体モデルによる血行再建術の検討特にバイパス移植吻合部について. *脈管学*, **13** : 531, 1973.
 - 28) Campbell, K.N. et al. : A follow-up study of patients with thromboangiitis obliterans (Buerger's disease). *Surgery*, **26** : 1003, 1944.
 - 29) Frymark, W.B. and Sullivan, J.M. : Lumbar-sympathectomy for arteriosclerotic peripheral vascular disease. *Ann. Surg.*, **138** : 759, 1953.
 - 30) De Bakey, M.E. et al. : Evaluation of sympathectomy in arteriosclerotic peripheral vascular disease. *J. A.M.A.*, **144** : 1227, 1950.
 - 31) Dale, W.A. : Management of arterial occlusive disease. Year Book Medical Publishers Inc., Chicago, Illinois, 1971, p.399-429.
 - 32) May, A.G. et al. : Effect of sympathectomy on blood flow in arterial stenosis. *Ann. Surg.*, **158** : 182, 1963.
 - 33) Shaw, R.S. and Wheelock, F. : Blood vessel grafts in the treatment of chronic occlusive disease in the femoral artery. *Surgery*, **37** : 94, 1955.
 - 34) Lee, B.Y. et al. : Significance of arterial blood flow in reconstructive arterial procedure. *Surg. Gyne. Obstet.*, **132** : 803, 1971.