

AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

脈管学 (1984.06) 24巻6号:463～468.

Bypass Graft 血流量の術前予測法

笹嶋唯博、久保良彦、小窪正樹、和泉祐一、稲葉雅史、佐藤綾子、鮫島夏樹、笹嶋由美、岸山和敬

Bypass Graft 血流量の術前予測法

Preoperative Estimation of Graft Flow in Peripheral Arterial Reconstruction

笹嶋 唯博* 久保 良彦* 小窪 正樹*
和泉 祐一* 稲葉 雅史* 佐藤 綾子*
鮫島 夏樹* 笹嶋 由美** 岸山 和敬**

キー・ワード : Bypass graft flow, Transcutaneous partial oxygen tension, Peripheral run off, Peripheral arterial reconstruction, Preserved human umbilical cord vein

下肢閉塞性動脈硬化症に対する膝窩動脈以下への Bypass Graft 血流量最大値 (Fmax) と代用血管移植成績がよく相関した。そこで末梢 Run off を定量化して Fmax の術前予測を行うため足背経皮酸素分圧, Ankle Pressure, 下腿容積および動脈造影点数から末梢 Run off を点数 (SR) で表わし, さらに Bypass 手術21肢の SR と Fmax から Fmax 予測回帰式を得た。これを用いて14肢で Fmax 術前予測を行い13肢で実測値と近似した結果を得, その有用性が示された。

はじめに

慢性下肢動脈閉塞性疾患に対し Bypass 手術を行う場合, 主幹動脈の閉塞と側副血行および, Peripheral Run off の良否など患肢の閉塞状況を形態的, 血行力学的に総合診断することは治療方針を決定する上で必須である。なかんずく Peripheral Run off は Bypass Graft 血流量に直接影響する重要な因子であり, 教室では経皮酸素分圧, Ankle Pressure, 動脈造影などから Peripheral Run off を定量化し, 最終的には Bypass Graft 血流量の術前予測を可能にすべく検討を進めてきた。Bypass Graft 血流量が術前診断されるならば手術適応, 術式, 代用血管の選択, 抗凝固療法の適応などその臨床的意義はきわめて大きい。これまでの検討では閉塞性動脈硬化症 (ASO) に対する膝窩動脈以下への Bypass 手術について, Graft 血流量の術前予測が可能となっており, その有用性が確認されたので報告する。

方法

Bypass Graft 血流量の術前予測では経皮酸素分圧

(tc-PO₂=以下 PsO₂), Ankle Pressure (PA), 下腿容積 (VLeg) および血管造影による下腿主幹動脈開存の有無 (Angiographic Score=以下 SA) を求める必要がある。以下に各項目について測定法とその意味を述べる。

1. PsO₂ と PA

PsO₂ 測定には Roche Oxygen Monitor 5300 を使用した。較正は大気酸素分圧を 150 mmHg とし, Zero 点は窒素ガスの吹送により測定ごとに確認した。測定部位は全例患肢足背部無血管野とした。ただし皮膚病変または角層肥厚がある例は除外した。足背部は皮膚角層が薄く, 平坦で表在静脈が少ない下肢の最遠位部であることから測定部位に選定した。PsO₂ は仰臥位にて測定を開始する。一般に電極装着後約30分で Plateau に達するが, これを Steady-PsO₂ (S-PsO₂) とする。測定体位は仰臥位に次いで, 坐位, 腰掛位および仰臥位下腿挙上 (心臓上 30 cm) の順に体位変換し, おのおの PsO₂ に対応する PA を測定する。PA 測定には超音波聴診器 (MEDA SONICS 社 BF 4 A) を使用した。PsO₂ は血流量と相関することから PsO₂/PA は PA 測定主幹動脈から末梢の Conductance (流れやすさ) を表すことになる。

2. SA

膝窩動脈以下の主幹動脈が血管造影上開存しているか否かによりおのおの点数を与え, その総合点を SA とし

* 旭川医科大学第一外科学教室

** 同 皮膚科学教室

昭和58年9月7日受付

昭和58年10月11日受理

Angiographic Score (SA)

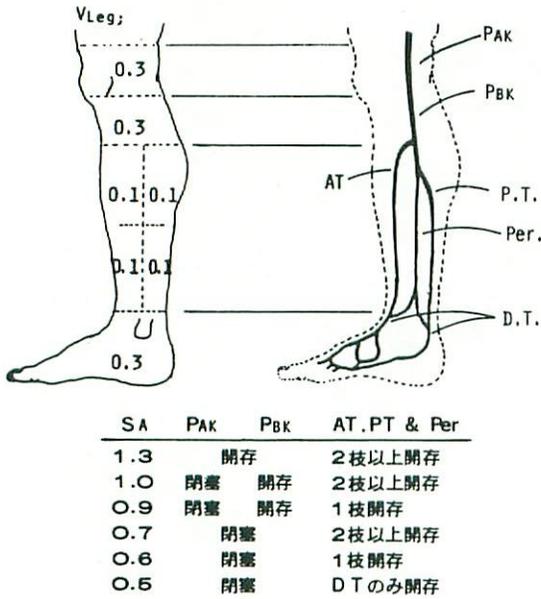


図1 P_{AK} (膝上膝窩動脈), P_{BK} (膝下), AT, PT (前および後脛骨動脈), Per (腓骨動脈), DT (末梢脛骨動脈)。壁不整, 狭窄に関係なく造影されれば開存。

(6-57カ月)

移植早期 (≤7 days)

最高血流量: F_{max}

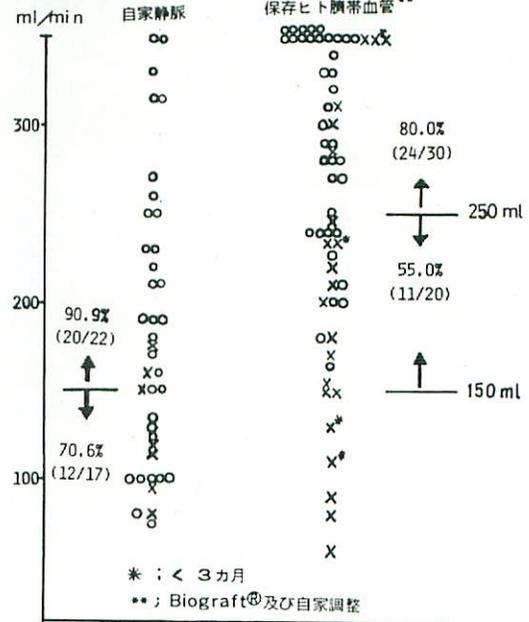


図2 代用血管長期移植成績 (6カ月以降) と術後一週以内の最高 Graft 血流量 (F_{max})

ASO: 57例 80肢

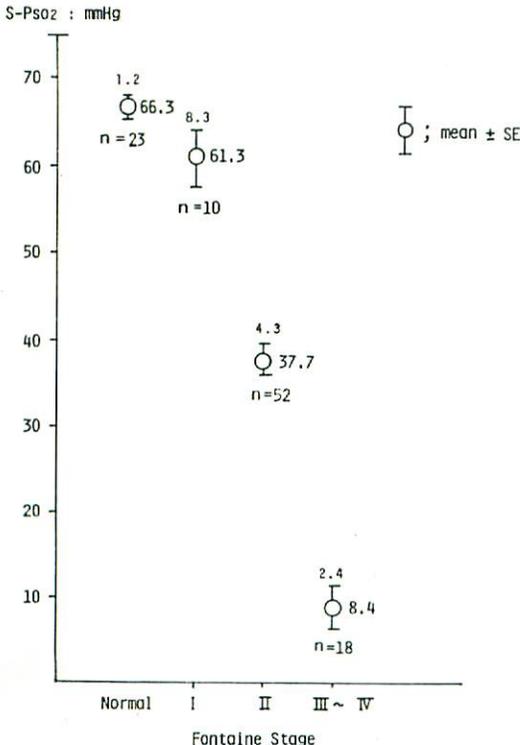


図3 足背部経皮酸素分圧と Fontaine 分類

た。対象動脈は膝上, 下, 膝窩動脈, 前, 後脛骨動脈および腓骨動脈の5つで, これらすべてが開存ならば SA = 1.3 とする (図1)。Pedal Arch の開存の有無は骨盤型閉塞がある場合術前造影が困難であることから SA の対象に加えていない。SA と後述の VLeg の積は Bypass の有効灌流容積となる。

3. VLeg

高さ80 cm, 容量34 l の円柱容器に水を満たし, 下肢を膝蓋骨下縁まで浸漬したときの溢水量を測定し VLeg とした。測定は正常者および慢性下肢動脈閉塞症24例で行い, 体表面積 (m², BS) による回帰式を得た。

$$VLeg = 2662 \cdot BS - 1444 \quad (1)$$

$$r = 0.8877, p < 0.001$$

4. Bypass Graft 血流量の測定

Bypass Graft 血流量の術後経時変化は, まず再建直後より反応性充血のために, 急速に増加して術後12~48時間で最高値を示す。次いで漸減して1~2週後に安定するが, 一般的にはその後もわずかな減少を続け, 術後3カ月でほぼ安定する。そこで膝窩動脈以下への Bypass 手術例について術後1週以内の最大 Graft 血流量 (F_{max}) と保存ヒト臍帯静脈 (Biograft®) および自家静脈の長期移植成績との関係を明らかにした。Graft 血流量は単方向型超音波血流量计 (三栄測器 TYPE1935)

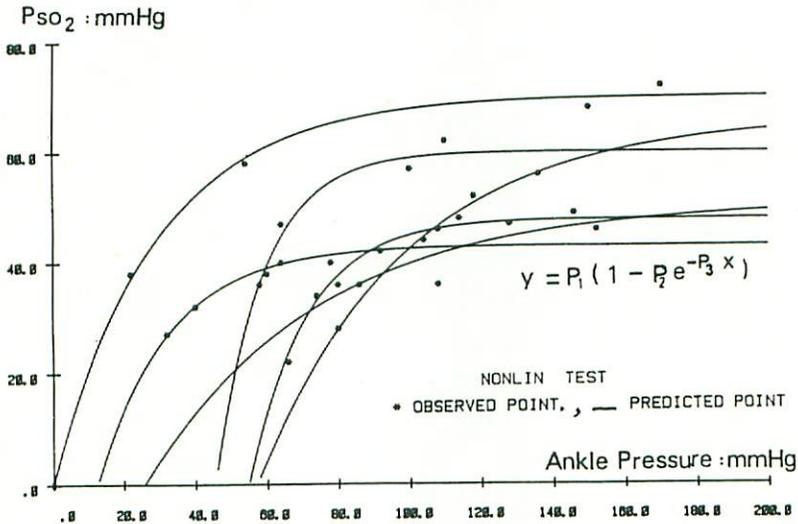


図4 足背部経皮酸素分圧 (PsO₂) と Ankle Pressure の体位変換による変化

を用い安静仰臥位で測定した。測定部位は一定とし同部の代用血管内径を術後造影写真より計測し X 線拡大率で補正した内径から血流量を求めた。

結果

1. Graft 血流量と Bypass 手術成績

1979年1月より1983年2月までの間に ASO および Buerger 病 (TAO) に対する膝窩動脈またはそれ以下への Bypass 手術を75例92肢に施行した。代用血管は保存ヒト臍帯血管51肢, 自家大伏在静脈41肢である。ASO を主な対象とする保存ヒト臍帯血管は Fmax 250ml/min 以上で開存率80.0%, それ以下で55.0%であり, Fmax が長期移植成績をよく反映することが示された (図2)。自家大伏在静脈は TAO も多く含むが, Fmax 150 ml/分以上で90.9%, それ以下で70.6%であった。

2. Fmax 予測式とその応用

S-PsO₂ は Fontaine 分類とよく相関し阻血の定量診断が可能であることを示した (図3)。S-PsO₂ に続いて3回の体位変換により PsO₂ と PA は一定の関係で変化し一定値に近づくと考えられることから次式で表わされる。

$$PsO_2 = P_1(1 - P_2 \cdot e^{-P_3 \cdot PA}) \quad (2)$$

1例につき4つの体位で得られた PsO₂ 対 PA 実測値から(2)式の Parameter, P₁, P₂ および P₃ を算出し PsO₂-PA 曲線を求めた (図4)。計算には YHP-21 MX, 非線形回帰 Program (NONLIN) を使用した。図4は代表例をいくつか示してあるが, PsO₂-PA 曲線がほぼ直線関係にある範囲では流体力学的圧流量関係が成立

すると考えられることから, この範囲における PsO₂/PA の最大値 (max-PsO₂/PA) を Conductance の相対値とした。患肢の Peripheral Run off は Bypass の有効灌流容積 (VLeg·SA) とその Conductance の積として表わされ, これを Peripheral Run off Score (SR) とし

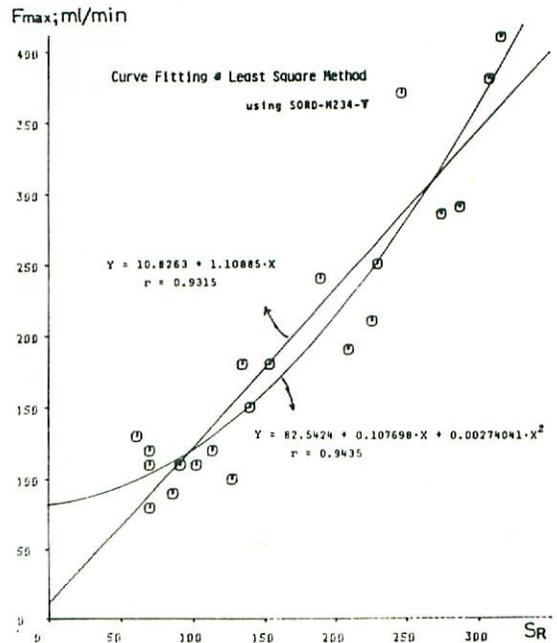


図5 Bypass 手術21例に基づいた SR (X) による Fmax (Y) 回帰式

2次式は相関係数が高く同時に表示したが臨床的には1次式で十分である。

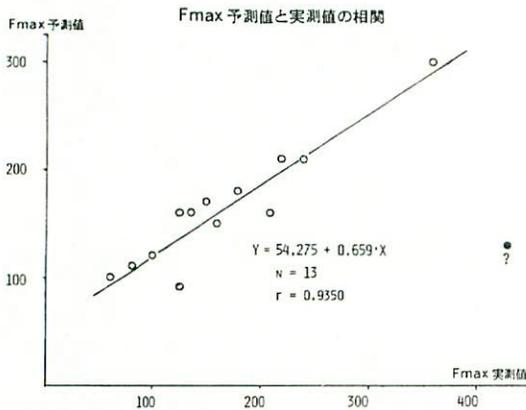


図6 ASO 11例13肢の Fmax 予測値と実測値の相関
? は表1中の症例10で、唯一の不一致例。

表1 ASO 11例14肢の Fmax 予測式の内訳と実測値
症例10は唯一の不一致例。

		maxPsO ₂ /PA*	SA*	VLeg*	SR*	Fmax*	
						予測値	実測値
1	F-Tib	0.59	1.3	2360	181	210	220
2	F-Tib	0.50	0.7	2820	99	120	100
3	FPBK	0.49	1.3	2920	182	210	240
4	F-Tib	0.58	0.7	2070	84	100	60
5	F-Tib	0.46	0.7	2710	87	110	80
6	FPBK	0.37	1.3	2580	124	150	160
7	FPBK	0.48	1.2	2580	136	160	125
8	FPBK	0.40	1.3	2790	145	170	150
9	FPBK	0.45	1.3	2630	154	180	180
10	FPBK	0.31	1.3	2630	106	130	430 ?
11	FPBK	0.66	1.3	3050	262	300	360
12	FPBK	0.44	1.0	3050	134	160	210
13	F-Tib	0.56	1.0	2500	140	160	135
14	FPBK	0.36	0.9	2280	74	90	125

F-Tib ; Femoro-Tibial bypass
FPBK ; Femoro-Popliteal bypass below the knee
* ; 説明本文

た。

$$SR = 0.1 \cdot VLeg \cdot SA \cdot \max - PsO_2 / PA \quad (3)$$

前述のごとく Fmax と 代用血管移植成績は密接に関係していることから ASO に対する膝窩動脈およびそれ以下への Bypass 手術18例21肢の SR および Fmax をもとに Fmax 予測式を得た (図5)。

$$Fmax = 10.8 + 1.1 \cdot SR \quad (4)$$

$$n = 21, r = 0.9315, p < 0.001$$

(4)に(1), (3)式を代入すると

$$Fmax = 10.8 + 0.11(2662 \cdot BS - 1444) SA \cdot \max - PsO_2 / PA \quad (5)$$

(5)式に従ってさらに11例14肢の Fmax 術前予測を行い、13肢は予測値と実測値が近似しほぼ満足すべき結果を得た (表1, 図6)。1肢のみ極端な相違を示したが、これは PsO₂ 測定とともに実測 Fmax にも問題があったと考える。

3. 重回帰分析による有意性の検定

max-PsO₂/PA, SA および VLeg はいずれも Bypass Graft 血流量に寄与する因子であるが、どの因子が最も重要であるかを明らかにするため重回帰分析を行った (表2)。計算には SORD-M234-V を使用した。3因子相互の重相関係数は各単独では max-PsO₂/PA > SA > VLeg, 2因子では max-PsO₂/PA × SA > max-PsO₂/PA × VLeg > SA × VLeg で、3因子による相関が最良であった。各因子の寄与率は max-PsO₂/PA > SA > VLeg であった。

考 察

下肢末梢動脈再建において Peripheral Run off といえは血管造影による下腿主幹動脈の開存状況を示すものである^{1,2)}。しかし超音波血流計の発達により Bypass Graft 血流量の非視血的測定が可能となって以来、血管

表2 重回帰分析による Fmax 予測因子の寄与率。説明本文。

(I) 重相関係数			
説明変量	重相関係数		
	単独変量	2変量	3変量
a) maxPsO ₂ /PA	0.7858	0.8744 0.7509	0.8263 0.9172
b) SA (動脈造影点数)	0.7367		
c) VLeg (下腿容積)	0.0075		
(II) 帰帰式 重相関係数 0.9172			
Fmax = 325 maxPsO ₂ /PA + 160 SA + 0.766 VLeg - 365			
(III) 寄与率			
maxPsO ₂ /PA (0.6365) > SA (0.4666) > VLeg (0.2927)			

造影による Run off 評価が術後 Bypass Graft 血流量値と必ずしも一致しないことが明らかにされてきた。Imparato³⁾, Dardik⁴⁾, O'Mara⁵⁾らは Pedal Arch が開存している場合には下腿3分岐以下への Bypass 手術成績が良好であることから Pedal Arch の重要性を強調している。そのために下腿駆血後の反応性充血を利用した造影⁶⁾が行われているが骨盤型閉塞がある場合に Pedal Arch の術前造影所見を得ることは容易ではない。また術中造影が行われ⁷⁾, さらに Meister⁸⁾は術中に末梢吻合部から100mmHgの圧力で生食を注入し毎分注入量から Peripheral Run off を診断しているが、いずれも不確実性と種々の制約のため臨床的に有用な方法とはいえない。われわれの開発した方法は無侵襲測定を主体とする術前診断法であり、閉塞型に関係なく膝窩動脈以下への Bypass 手術では全例診断が可能である。本法の特徴は患肢 Peripheral Run off が max-PsO₂/PA の形で Conductance として表わされることにある。経皮酸素分圧は血流による酸素の供給と貴金属電極による酸素消費量の釣り合いを示すもので末梢血流量の直接の指標ではない⁹⁾。しかし阻血や電極による皮膚局所加温により血管が拡張して微小循環余備能が動員された条件下では血流量と相関すると考えられ、max-PsO₂/PA は Conductance と相関することになる。経皮酸素分圧測定法は動脈閉塞の新しい診断法として多くの報告があり¹⁰⁻¹⁴⁾、安定、連続測定できることからレイノー病の診断にも有用である¹⁵⁾。その測定値に影響する因子の中で、皮膚微小循環¹⁶⁾では40~70個/mm²の乳頭 Capillary 数、Super, Deep Plexus および Communicating Vessel の病変の有無があげられる。これについては重症度の異なる5例の ASO および TAO について足背皮膚生検を行い光顕的に検討したが、閉塞病変や酸素の拡散障害となる異常所見は認められず、慢性動脈閉塞症の重症度による経皮酸素分圧の相違には皮膚微小循環病変は関与していないと考えられた。Conductance の今一つの因子である PA は前、後脛骨動脈で測定されるが、PA が高くて PsO₂ が低い場合には脛骨動脈から乳頭 Capillary までの Conductance が小さく、逆の場合には大きいことになる。その抵抗の局在は以上の検討から下腿主幹動脈一次分枝より末梢で、Deep Plexus より中枢の小動脈となり、この領域の閉塞病変および副血行路発達の有無が max-PsO₂/PA に反映されるものと推察される。以上は形態学的抵抗血管であるが血行力学的には深大腿動脈からの副血行路の発達により術前 PA が比較的高値を示す場合にも Conductance は小さくなり見かけ上 Run off 不良となる。このような例では術前症状が軽度であり、術後 Fmax は低値を示す。これに対しその発達が不良な例では阻血症状が高度であるが術後 Fmax が高値を示す場

合が多い。また深大腿動脈血行が不良な例では Bypass Graft の有効灌流容積の拡大、すなわち大腿領域への血流も加わるため Fmax は予想外に高値を示す場合がある。Fmax 予測14肢中1肢で予測を大幅に上まわる Fmax 実測値を示した例などはこのことが誤差の一因としてあげられる。

max-PsO₂/PAにより推定される患肢末梢の Conductance は皮膚と筋肉微小循環の血管運動反射が排除され単に流体力学的圧流量関係が成立する条件下にあることが前提となる。血管運動反射は阻血、動脈圧低下¹⁷⁾、交感神経支配の排除、40°C以上の加温¹⁸⁾などにより低下または消失するといわれる。阻血肢では図4のごとく体位変換により PsO₂-PA が低血圧範囲内では直線関係にあることが示されており、患肢は血管運動反射が低下して血流がもっぱら圧依存状態にあることをうかがわせる。また、Fmax 予測値と実測値がほぼ一致したことは max-PsO₂/PA で示される Conductance が阻血肢では皮膚と同様筋肉微小循環にもあてはめてよいことを結果的に裏づけたものといえる。

下肢小動脈血行再建が盛んに行われる中で、第2次選択代用血管は膝窩動脈までを適応限界とすることが長期移植成績に基づいた最近の見解である^{19,20)}。しかし自家静脈の使用に伴う種々の制約から第2次選択代用血管の適用を余儀なくされる場合も少なくないためその選択にあたってはより正確な術前診断が要求される。SRは前述の生理学的知見を背景として Fmax 実測値と高い相関を示したことから、これらより得られた Fmax 予測式は今後慢性下肢動脈閉塞症の Bypass 手術においてきわめて有用な術前診断になるものと考えられる。

結 論

ASO に対する膝窩動脈以下への Bypass Graft 血流量 (Fmax) の術前予測式を開発した。

$$F_{\max} = 10.8 + 0.11 (2662 \cdot BS - 1444) SA \cdot \max - PsO_2 / PA$$

Fmax ; 術後1週以内の最大 Graft 血流量, BS ; 体表面積, SA ; 血管造影点数 (説明本文, 図1), PsO₂ ; 患肢足背部経皮酸素分圧, PA ; Ankle Pressure, max-PsO₂/PA ; PsO₂/PA の最大値。

Fmax 200ml/分以上ならば第2次選択代用血管の使用が可能であるが、それ以下では自家静脈の使用を徹底すべきである。

本研究の要旨は第21回, 22回, 23回および24回日本脈管学会にて報告した。

参考文献

- 1) Linton, R.R., Darling, R. C. : Autogenous saphenous vein bypass graft in femoropopliteal obliterative arterial disease. *Surg.*, **51** : 62, 1962.
- 2) Morton, D.L., Ehrenfeld, W.K., Wylie, E.J. : Significance of outflow obstruction after femoropopliteal endarterectomy. *Arch. Surg.*, **94** : 592, 1966.
- 3) Imparato, A.M., Kim, G.E., Madayag, M. et al. : Angiographic criteria for successful tibial arterial reconstructions. *Surg.*, **74** : 830, 1983.
- 4) Dardik, H., Ibrahim, I.M., Sussman, B. et al. : Morphologic structure of the pedal arch and its relationship to patency of crural vascular reconstruction. *SGO.*, **152** : 645, 1981.
- 5) O'Mara, C.S., Flinn, W.R., Neiman, H.L. et al. : Correlation of foot arterial anatomy with early tibial bypass patency. *Surg.*, **90** : 743, 1981.
- 6) Kahn, P.C., Boyer, D.N., Moran, J. M. et al. : Reactive hypermia in lower extremity arteriography ; An Evaluation. *Radiol.*, **90** : 975, 1968.
- 7) Imparato, A. M., Kim, G. E., Madayag, M. et al. : The results of tibial artery reconstruction procedures. *SGO.*, **138** : 33, 1974.
- 8) Meister, R., Kiskinis, D., Raithel, D. et al. : A simple method for intraoperative determination of capacity and resistance in peripheral vascular surgery. *The Thoracic and Cardiovasc Surgeon.* **27** : Special Issue Nr. 1, 9, 1979.
- 9) 小山富康 : 電氣的血液ガス分析器. 臨床検査機器 I, 櫻田良精編, ME選書14, コロナ社, 東京, 236, 1973.
- 10) Trusheim, H., Knecht, H., Keller, H.P. et al. : Transcutaneous PO₂ measurement in patients with peripheral arterial occlusive disease. *The Thoracic and Cardiovasc Surgeon.* **27** : Special Issue Nr. 1, 9, 1979.
- 11) 応儀成二 : 経皮酸素分圧測定による下肢血行障害の定量的評価. *脈管学*, **20** : 815, 1980.
- 12) Sasajima, T., Koyama, T., Kubo, Y. et al. : Effect of venous occlusion on skin PO₂ of lower extremities with arterial obstructive diseases and sympathectomy. *Adv. Physiol. Sci.* **25**. Kocách, A.G.B., Dóra, E., Kessler, M., Silver, I.A. eds. *Oxygen Transport to Tissue*, 185, 1980.
- 13) Matsen, III.F.A., Wyss, C.R., Pedegana, L.R. et al. : Transcutaneous oxygen tension measurement in peripheral vascular disease. *SGO.*, **150** : 525, 1980.
- 14) Franzeck, U.K., Talke, P., Bernstein, E.F. et al. : Transcutaneous PO₂ measurements in health and peripheral arterial occlusive disease. *Surg.*, **91** : 156, 1982.
- 15) 和泉裕一, 久保良彦, 笹嶋唯博, 小窪正樹 : レイノー病及び症候群に対する皮膚酸素分圧測定法の意義. 第1回血管に関する無侵襲診断法研究会抄録集, 33, 1982.
- 16) Ackermann, A.B. : Histologic diagnosis of inflammatory skin disease. **23**, 1978.
- 17) Sumner, D. S. : The hemodynamics and pathophysiology of arterial disease. In Rutherford, R. B. ed. *Vascular Surgery*. Philadelphia, Saunders Co., **25**, 1977.
- 18) 浅野牧茂 : 皮膚微小循環動態の特異性. *呼吸と循環*, **28** : 371, 1980.
- 19) Bergan, J.J., Veith, F.J., Bernhard, V.M. et al. : Randomization of autogenous vein and polytetrafluoroethylene grafts in femoral-distal reconstruction. *Surg.*, **92** : 921, 1982.
- 20) Kubo, Y., Sasajima, T., Atsuta, T. et al. : Early clinical results of the modified human umbilical cord vein homograft (Dardik Biograft). *J. Cardiovasc. Surg.*, **24** : 101, 1983.