

冠盗流現象と心筋虚血

総 論

谷 口 興 一*

1. 歴史的背景

Steal phenomenon, すなわち盗流現象ないしは盗血現象と邦訳されている語句が最初に用いられたのは、鎖骨下動脈の閉塞性疾患に伴う椎骨動脈の逆方向血流に対してである。鎖骨下動脈の閉塞性疾患については、すでに前世紀から知られ¹⁾、脳血管症状²⁾を合併することが認められていた。本疾患の診断と治療に関する最初の報告者は、1960年、Contorni ら³⁾であるが、翌1961年、Reivich ら⁴⁾は“vascular steal”の概念のもとに、椎骨動脈の逆向き血流により脳虚血現象を伴う鎖骨下動脈狭窄の2奨励を報告した。この症例報告を読んだ Fisher⁵⁾は、New Engl. J. Med. の editorial の中で、この新しい血管症候群を“subclavian steal”と称したのが、盗流現象の端緒であると思われる。

Coronary steal phenomenon, すなわち冠盗流現象に関する概念は、subclavian steal に比べて数年遅れて記載された。1960年代の後半、慢性虚血領域における逆向き血流や限局的な冠血管抵抗に関する血管拡張薬の効果が、Fam ら⁶⁾⁷⁾によって報告され、冠盗流現象を示唆する所見が認められている。また、不安定狭心症の患者に dipyridamole を静注すると、狭心発作が誘発されることを Montero⁸⁾が報告して以来、dipyridamole は冠盗流現象を惹起して心筋虚血を誘発するのではないかという疑問が生じてきた。これらの研究結果を勘考し、冠動脈における vascular steal を“coronal steal”として、1970

年の Chest 誌の editorial に記載した Rowe⁹⁾の論説が coronal steal の最初の記述ではないかと考えられる。しかし、1969年、Baker ら¹⁰⁾が isoproterenol 静注により誘発される狭心発作は、coronal steal であると述べているので、恐らくはこれが最初の記載ではないかと思う。Rowe⁹⁾の論説の翌年、1971年には Wilken ら¹¹⁾により dipyridamole 静注にて coronal steal が誘発されることが報告されたが、十分な直接的実証とはいえない。その後、冠盗流現象について多数の研究がなされ、実験的な確認¹³⁾¹⁴⁾はあるものの、臨床領域では冠動脈造影法によりある程度大きな冠動脈については映像として見る事が可能となったが、心筋肉の小血管に関しては、未だ間接的な診断に頼るしか方法はない。

2. 盗流現象の概念と定義

Autoregulation に異常をきたした血管床は、autoregulation の最大限に至るまで血管拡張を招来すれば、それを流れる血流は圧依存性となる。このような条件下においては、並列血管の拡張によって灌流圧が低下した場合、その血管床を流れる血流は減少する。このような現象を Reivich⁴⁾は血管盗流“vascular steal”と称した。一方、中枢側に閉塞性病変を有する場合、その動脈の末梢側に位置する血管床は虚血に陥るので、他の正常な動脈からバイパスを介して虚血部に血流が供給される。Ehrenfeld ら¹⁵⁾はこれを“vascular steal”と呼んだ。このような vascular steal の実例として、carotid-subclavian¹⁶⁾¹⁷⁾、axillary-femoral¹⁸⁾、ilio-femoral²⁰⁾、femoro-femoral^{21)~23)}、femoro-tibial²⁴⁾などの vascular steal phenome-

*東京医科歯科大学霞ヶ浦分院

non が報告されている。

心筋の酸素不足は、冠血管床における血管抵抗の著明な減少に起因することが、長い間知られていた。それは、冠動脈疾患に基づく限局的な虚血が存在する場合、狭窄部の中枢側の血管に比べて末梢側の血管では内圧下降が生じるためである。このような圧力低下が狭窄血管の末梢部への血流減少をもたらしたと考えられる。1970年、Circulation の Inequalities of myocardial perfusion in coronary disease ("coronary steal") と題した Editorial において、Rowe¹⁰⁾ は以下のように述べている。すなわち、先天性冠動脈奇形、後天性冠動脈疾患、あるいは心筋内血管網における薬剤誘発性変化などの結果として、冠盗流現象が生じるといわれているが、いまだ確証はみられない。恐らく、個々の冠動脈および側副血管の血流を直接測定しなければ、実際に盗流現象が生じたか否かを証明することはできない。しかし、盗流現象の間接的な証拠があり、またこの概念を用いることが考察や研究に役立つならば、これを用いることも吝かではない、と結んでいる。

一方、冠盗流現象に対する従来からの概念は、一般的には dipyridamole 投与後において、側副血行によって支配されている心筋への冠灌流低下と定義され^{25)~29)}、モデル実験³⁰⁾ やヒト³¹⁾ において研究されてきた。そして、dipyridamole perfusion imaging を行い、胸痛誘発、心電図変化、心筋スキャン、PET、シネアンギオなどを用いて評価がなされ^{30)~33)}、冠動脈疾患症例の10~30%に認められている。1989年、蘇生学会において、Coronary physiology and anesthetics: Is coronary steal a clinical reality と題して行われた Tinker³⁴⁾ の特別講演によると、冠盗流というのは面白い表現ではあるが、その意味には若干微妙なあやが窺われる。側副血行に依存する領域の心筋、換言すると、ある冠動脈により多く直結している領域を通してその副血行領域に血液が流れねばならないとすれば、薬理学的な血管拡張薬によって、その副血行領域から血液が盗流され、関心領域の心筋の正常な tone が減少する可能性が考えられる。

Vascular steal³⁵⁾ の定義をどう考えるべきか。初めて命名された subclavian steal は、椎骨動脈分枝より中枢側の鎖骨下動脈に狭窄または閉塞が

ある場合、血液が椎骨動脈を逆方向に流れ、いわば脳血流が椎骨動脈によって盗まれることになるのでつけられた言葉であり、冠血流においても同様な現象がみられる。このような現象は狭義の vascular steal ということができよう。しかし、広義に考えれば、2本の血管の間に交通枝があり、何らかの原因によりそれを介して一方の血管から他方の血管へ血液が流れ、一方の血管は相対的に血流が減少し、他方の血管は相対的に血流が増加するような場合も vascular steal であり、冠循環においても発現しうると考えられる。

3. 盗流現象の部位と種類

盗流現象は生体のなかでどのような部位に生じ、どのような病態を惹起するのか興味深いことである。現在まで報告されたものを列記してみると、(1) subclavian steal syndrome^{5)16)17)36)~40)}、(2) coronary steal syndrome^{8)~11)41)}、(3) aorto-iliac syndrome⁴²⁾⁴³⁾、(4) mesenteric steal syndrome⁴⁴⁾、(5) brachial-basilar syndrome⁴⁵⁾、(6) arterial steal syndrome⁴⁶⁾⁴⁷⁾、(7) carotid-subclavian syndrome⁴⁸⁾⁴⁹⁾、(8) coronary-subclavian steal syndrome^{50)~57)} などが報告されている。このなかで、arterial steal は上記のすべてを総括する語句と解釈される。とくに Coronary-subclavian steal syndrome は、内胸動脈を用いた A-C bypass 手術後に生じた鎖骨下動脈の狭窄または閉塞の発症により盗流現象がみられるが、脳虚血も伴う症例が報告される⁵⁸⁾⁵⁹⁾。

冠盗流現象を分類すると、(1)先天性冠動脈奇形によるもの、(2)冠動脈バイパス手術後、(3)冠動脈疾患に血管拡張薬を投与した場合、(4)その他に種類に分けられる。

冠動脈奇形による盗流現象は、肺動脈主幹部より冠動脈が起始している場合、冠動脈-肺動脈異常交通症、冠動脈-気管支動脈瘻、冠動脈-右房瘻、冠動脈左室瘻、あるいは冠動静脈瘻などである。いずれも異常血管を介して低圧系へ冠動脈より盗流されるために心筋虚血をきたすものである。

冠動脈バイパス手術後に見られる冠盗流現象は、内胸動脈を用いた冠動脈バイパス術後に、鎖骨下動脈の中核部に狭窄ないし閉塞を生じたために、冠動脈→内胸動脈→鎖骨下動脈末梢へ血流が流れ、いわゆる冠盗流現象をきたすことが報告さ

れている^{50)~57)60)}。また、Befeler ら⁶¹⁾は、大伏在静脈のY字型グラフトによる前下行枝と回施枝を同時に大動脈に吻合するバイパス手術を行ったところ、上行大動脈バイパス起始部が閉塞したため、前下行枝と回施枝がグラフトを介してシャントを形成し、回施枝領域の血流が前下行枝へ流れる intercoronary steal の形がみられたという。

冠拡張薬による冠盗流現象には、通常、2種類の盗流現象があげられている。すなわち intercolony steal と subendocardial steal ないしは transmural steal⁶²⁾である。冠盗流現象をきたす代表的な薬剤は dipyridamole⁸⁾¹¹⁾である。また異論⁶³⁾もあるが、isoflurane などの麻酔剤は冠拡張作用⁶⁴⁾があり、冠盗流現象⁶⁵⁾をきたすという報告がある。そのほか isoproterenol 負荷や運動負荷によっても冠盗流をみるという報告がある⁶²⁾。さらに、動物実験ではあるが、前下行枝の狭窄は、transmural steal に加えて、左室前壁心内膜側の血液の消費により、右室前壁に供給している血流の interventricular steal¹³⁾を誘発するという変わった報告もある。いずれにしても冠盗流の存在について、多くの問題点が残されている。

4. 盗流現象の機序と理論

冠盗流現象の一般的な概念は、冠動脈拡張に伴い、側副血行によって供給されている領域の絶対

的な灌流量低下による心筋虚血の発現²⁹⁾⁶⁶⁾と考えられている。その発生機序は、側副血管起始部側における灌流圧が低下するためであり、側副血行を出している冠動脈の中核側に狭窄を認める場合か、あるいは正常冠動脈においては高流速により粘性抵抗が増大する場合である。Demer³¹⁾によると、循環モデルにおいて、側副血行の血流減少(盗流)の発生は、側副血行にて血流を与えている正常冠動脈の圧低下に対してその灌流域のコンダクタンスが上昇するのに比し、側副血行にて血流を受けている側のコンダクタンスの変化は少ないためであるという。Gould⁶⁶⁾は、このような機序をみると、副血行路を介して、副血行により血流を受けている領域から正常な灌流域に対して逆向きに流れるので、盗流ではなく誤った呼称ではないかと述べている。

弾性管に狭窄を作成した循環モデルに拍動流を灌流した場合、流量 Q と狭窄前後の圧較 ΔP の関係は、直線性を示し、 Q は ΔP に逆比例するが、大動脈に作成された狭窄の流れはモデルと異なり、 $Q-\Delta P$ は直線性を示さない⁶⁷⁾(図1)。大動脈断面積 A (内径 D) と狭窄部断面 A_0 (内径 D_0) の比、すなわち径口比 $m=A_0/A=(D_0/D)^2$ と流量の関係を見ると、 $m \geq 0.25$ ぐらいまではほとんど血流減少はみられないが、 $m < 0.25$ になると急峻な減少を認める⁶⁷⁾。狭窄部を流れる血流に

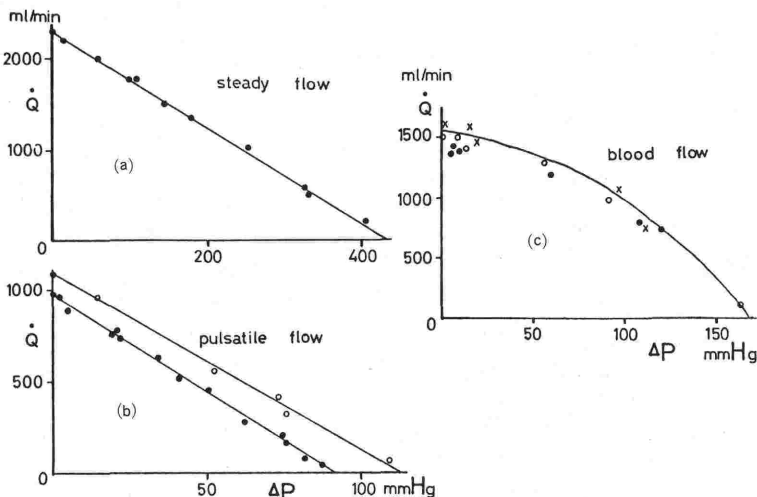


図1 aとbは弾性管による循環モデル： Q と ΔP は直線性を示し、流量 Q は狭窄前後の圧較差 ΔP に逆比例する。cは大動脈の狭窄における $Q-\Delta P$ 関係であるが、直線性を示さない。(Taniguchi K. 1976)

Poiseuille の式 $Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \mu L}$ を示した論文もあるが (血管半径 R, 血液粘度 μ , 血管長 L), オリフィス状の狭窄を有する循環モデルの場合は, 連続の式, 縮流係数 Cc, 経口比 m, 速度係数 Cu および Bernoulli の定理を用いた式(1)が用いられる。ただしこれは副血行がない場合である。

$$Q = \frac{CcCuA_0}{\sqrt{1 - Cc^2m^2}} \sqrt{\frac{2g\Delta P}{\rho}} \quad \dots\dots(1)$$

Cc, Cu, A₀, m, g (重力加速度), ρ (血液密度) が一定の場合, これを C とおけば式(2)にまとめられ, 流量 Q は圧較差 ΔP の平方根に比例する。

$$Q = C\sqrt{\Delta P} \quad \dots\dots(2)$$

Hoffman⁶⁸⁾ による coronary vascular reserve の概念を示してみる (図2)。Autoregulation における圧(P) - 流量(Q)関係は, 正常と疾患では異なる。すなわち, 最大血管拡張時における圧 - 流量関係 (D) は pressure dependent となり, 直線性を示す。正常左室における Q-P 関係 (A) では, P=100 mmHg で R₁ と大きい, 心筋虚

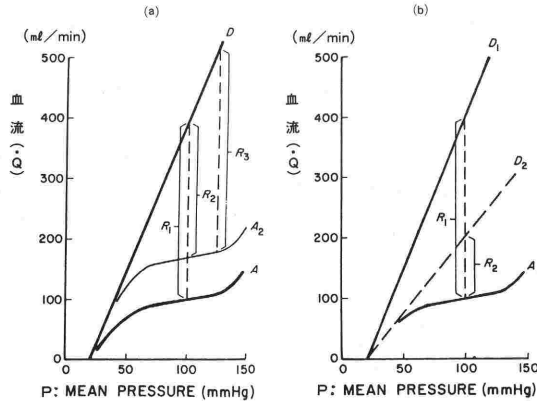


図2

- (a) Autoregulation における圧 - 流量関係: (A₁) 正常左室の圧 - 流量関係, (A₂) 虚血, 収縮増強または肥大左室における圧 - 流量関係, (D) 最大血管拡張時の圧 - 流量関係。R₁: 正常左室 A の冠灌流圧 P=100 mmHg における coronary reserve, R₂: A₂ における coronary reserve, R₃: P=125 mmHg における A₂ での coronary reserves.
- (b) D₁: 正常の左室, 最大血管拡張時の圧 - 流量関係, D₂: 冠動脈疾患, 多血症, LVEDP 上昇時, D₂ では coronary reserve が減少して R₂ になる。(Hoffman, 1984)

血や心肥大では R₂ と低下する (図2-a)。一方, 冠動脈疾患や LVEDP 上昇例においては, 最大血管拡張時の Q-P 関係 D₂ は正常例の D₁ に比べて低下し, 傾斜が減少して coronary vascular reserve は R₁ から R₂ へと低下している (図2-b)。Epstein ら⁶⁹⁾ の狭窄度と圧較差 (ΔP) - 流量 (Q) 関係を見ると, 狭窄度が強くなると, 流量が減少するが, 直線性は示さない (図3)。

冠盗流現象の理論的考察として, Venturi 効果について触れておきたい。流体の運動にエネルギー保存の法則を適用して, Euler の運動方程式を積分すると, Bernoulli の方程式が導かれる。

図4に示すごとく, 管径 D₁ (断面積 $A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$) の血管に著しい狭窄が生じ, 管径 D₂ (断面積 A₂)

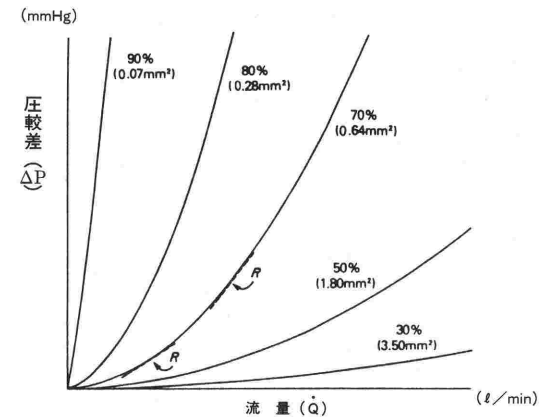


図3 狭窄前後における圧較差 (ΔP) と流量 (Q) の関係: 狭窄度30%, 50%, 70%, 80%, 90% における ΔP -Q 曲線, ()内は断面積。(Epstein et al, 19)

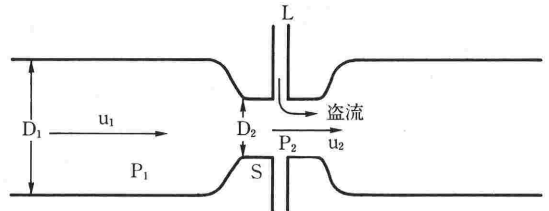


図4 Venturi 効果: 円管流路において図のごとく狭窄(s)があると, 流速 u₂ が著しく大きくなる。そして狭窄部 s の圧降下がみられる。L における圧力が著しく低下し, 高流速の血流によって L の血流が吸引され, いわゆる盗流現象をみることもある (高度大動脈弁狭窄など)

$=\frac{\pi D_2^2}{4}$) となれば、流速は u_1 から u_2 へと著しく

増大し、圧力は P_1 より P_2 へと著しく下降し、ときに陰圧となることもある。このように圧下降を Venturi 効果と呼んでいる。すなわち、Bernoulli の方程式から式(3)が成立する。(ただし、 gc は単位換算係数 $kg \cdot m/kg \cdot sec^2$)

$$\frac{1}{2gc}u_1^2 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{1}{2gc}u_2^2 + \frac{P_2}{\rho} \quad \dots\dots(4)$$

式(4)に連続の式 $\rho u_1 A_1 = \rho u_2 A_2$ を代入すると、

$$P_2 = P_1 - \frac{\rho u_1^2}{2gc} \left\{ 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots(5)$$

が得られる。圧力 P_2 は管の断面積が小さくなるに従って減少する。 $P_1 \leq \frac{\rho u_1^2}{2gc} \left\{ 1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right\}$ となれば、L 部の圧は陰圧となり、狭窄部の高流速の血流に吸引され、L に存在する血液は盗流されることになる。

5. 結 語

さて、冠盗流現象は、臨床的に重要であるだろうか。Gould⁶⁶⁾ は、Coronary steal is it clinically important? と題して論説を載せている。それによると、coronary steal は重要であり、dipyridamole 静注の perfusion imaging によって、冠動脈疾患の有用な診断の所見が認められ、それは冠動脈疾患だけでなく、viable な心筋の存在を示唆する。稀に側副血行を認めないこともあるが、大部分の症例においては、側副血行路による血液供給がなされていると述べている。いずれにしても、冠盗流現象は、冠動脈疾患のいろいろな病態において、臨床的に重要な意義を有すると考えられる。

文 献

- 1) Broadbent, W. H.: Absence of pulsation in both radial arteries, vessels being full of blood. *Trans Clin Soc Lond*, 8:165-168, 1875.
- 2) Smyth, A.: Successful operation in a case of subclavian aneurysm. *New Orleans Med Rec*, 1:4, 1866.
- 3) Contorni, L.: Il circolo collaterale vertebro-vertebrale nelle oblitterazione dell'arteria succlavia alla sua origine. *Minerva Chir* 15:268-271, 1960.
- 4) Reivich, M., Holling, H. E., Roberts, B., Toole, J. F.: Reversal of blood flow through the vertebral artery and its effect on cerebral circula-

tion. *N Engl J Med*, 265:878-885, 1961.

- 5) FISHER, C. M.: A new vascular syndrome "The subclavian steal", editorial. *N Engl J Med*, 265:912-913, 1961.
- 6) Fam, W. H., McGregor, M.: Effect of coronary vasodilator drugs on retrograde flow in areas of chronic myocardial ischemia. *Circ Res*, 15:355-365, 1964.
- 7) Fam, W. H., McGregor, M.: Effect of nitroglycerin and dipyridamole on regional coronary resistance. *Circ Res*, 22:649-659, 1968.
- 8) Mantero, O., Conti, F.: A paradoxical clinical response to dipyridamole. In: Bertelli A (ed) *Circulatory Drugs*. North Holland Publishing Company, Amsterdam, 118-123, 1969.
- 9) Rowe, G. G.: Iniquities of myocardial perfusion in coronary artery disease ("coronary steal"). *Circulation*, 42:193-194, 1970.
- 10) Baker L. D., Snow J. A., Pomposiello J. C., et al: Isoproterenol-induced "coronary steal" metabolic observations in human coronary artery disease. *Clin. Res.* 17:228, 1969.
- 11) Wilcken, D. E. L., Paolini, H. J., Eihens, E.: Evidence for intravenous dipyridamole (Persantin) producing a "coronary steal" effect in the ischaemic myocardium. *Aust N Z J Med*, 1:8-14, 1971.
- 12) Gross, G. J., Wartier, D. C.: Coronary steal in four models of single or multiple vessel obstructions in dogs. *Am. J. Cardiol.* 48:84-92, 1981.
- 13) Cohen, M. V.: Coronary steal in awake dogs: A real phenomenon. *Cardiovasc Res.* 16:339-349, 1982.
- 14) Hennerici, M., Klemm, C., Rautenberg, W.: The subclavian steal phenomenon: A common vascular disorder with rare neurologic deficits. *Neurology*, 38:669-673, 1988.
- 15) Ehrenfeld, W. K., Harris, J. D., Wylie, E. J.: Vascular "Steal" phenomenon, An experimental study. *Am J Surg*, 116:192-197, 1968.
- 16) Patel, A., Toole, J. F.: Subclavian steal syndrome <reversal of cephalic blood flow>. *Medicine*, 44:289-303, 1965.
- 17) Killen, D. A., Foster, J. H., Gobbel, W. G.: The subclavian steal syndrome. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 51:539, 1966.
- 18) Braidell, F. W., Hall, A. D.: Axillary-femoral artery bypass for lower extremity ischemia. *Surgery*, 54:563, 1963.
- 19) Vetto, R. M.: The treatment of unilateral iliac artery obstruction with a transabdominal, subcutaneous, femorofemoral graft. *Surgery*, 52:342-345, 1962.
- 20) Trimble, I. R., Stonesifer, G. L. Jr, Wilgis, E. F. S., Montague, A. C.: Criteria for femoro-femoral bypass from clinical and hemodynamic studies. *Ann Surg*, 175:985-993, 1972.
- 21) Landymore, R. W., Kinley, C. E., Marble, A. E.: Does vascular steal occur following femorofemoral bypass grafting? *Canad J Surg*, 23:563-565, 1980.

- 22) Harris, J. P., Flinn, W. R., Rudo, N. D., Bergan, J. J., Yao, J. S. T.: Assessment of donor limb hemodynamics in femorofemoral bypass for claudication. *Surgery*, **90**:764-773, 1981.
- 23) How, T. V., Campbell, H.: Arterial steal phenomenon in femoro-tibial bypass with arterio-venous shunt. *J. Biomechanics* **18**: 463-465, 1985.
- 24) Schaper, W., Gunter, G., Winkler, B., Schaper, J.: The collateral circulation of the heart. *Prog Cardiovasc Dis*, **31**:57-77, 1988.
- 25) Flameng, W., Wusten, B., Schaper, W.: On the distribution of myocardial blood flow: II. Effects of arterial stenosis and vasodilation. *Basic Res Cardiol*, **69**:435-46, 1974.
- 26) Flameng, W., Wusten, B., Winkler, B., Pasyk, S., Schaper, W.: Influence of perfusion pressure and heart rate on local myocardial flow in the collateralized heart with chronic coronary occlusion. *Am Heart J*, **89**:51-59, 1975.
- 27) Becker, L. C.: Conditions for vasodilator-induced coronary steal in experimental myocardial ischemia. *Circulation*, **57**:1103-10, 1978.
- 28) Patterson, R. E., Kirk, E. S.: Coronary steal mechanisms in dogs with one-vessel occlusion and other arteries normal. *Circulation*, **67**: 1009-15, 1983.
- 29) Demer, L., Gould, K. L., Kirkeeide, R.: Assessing stenosis severity: coronary flow reserve, collateral function, quantitative coronary arteriography, positron imaging, and digital subtraction angiography: a review and analysis. *Prog Cardiovasc Dis*, **30**:307-22, 1988.
- 30) Demer, L. L., Goldstein, R., Mullani, N., Kirkeeide, R., Smalling, R., Nishikawa, A., et al.: Coronary steal by noninvasive PET identifies collateralized myocardium. *J Nucl Med*, **27**:977, 1986.
- 31) Albro, P. C., Gould, K. L., Westcott, R. J., Hamilton, G. W., Ritchie, J. W., Williams, D. L.: Noninvasive assessment of coronary stenoses by myocardial imaging during pharmacologic coronary vasodilation: III. Clinical trial *Am J Cardiol*, **42**:751-60, 1978.
- 32) Chambers, C. E., Brown, K. A.: Dipyridamole-induced ST segment depression during thallium-201 imaging in patients with coronary artery disease: angiographic and hemodynamic determinants. *J. Am. Coll. Cardiol*, **12**:37-41, 1988.
- 33) Tinker, J. H.: Coronary physiology and anesthetics: Is coronary steal a clinical reality? (特別講演 I) *蘇生* **7**: 18-26, 1989.
- 34) Billet, A., Queral, L. A., Polito, W. F., Dagher, F. J.: The vascular steal phenomenon: An experimental model. *Surgery*, **96**:923-927, 1984.
- 35) Fields, W. S., Lemak, N. A.: Joint study of extracranial arterial occlusion. VII. Subclavian steal: a review of 168 cases. *JAMA*, **222**:1139-1143, 1972.
- 36) Heath, R. D.: The subclavian steal syndrome: cause of symptoms in the arm. *J Bone Joint Surg [Am]*, **54**:1033-1039, 1972.
- 37) Herring, M.: The subclavian steal syndrome: a review. *Am Surg*, **43**:220-228, 1977.
- 38) Mannik, J. A., Suter, C. G., Hume, D. M.: The "subclavian steal syndrome," a further (documentation). *J. A. M. A.*, **182**:134, 1962.
- 39) Buchwalsky, R., Genswein, R., Schlosser, V., Blümchen, G.: Subclavian-Steal-Syndrom: postoperativer und spontaner Verlauf bei 27 Patienten über 3 Jahre. *Thoraxchirurgie*, **25**: 288-290, 1977.
- 40) Baker, L. D., Snow, J. A., Pomposiello, J. C., et al.: Isoproterenol-induced "coronary steal" metabolic observations in human coronary artery disease. *Clin Res*, **17**:228, 1969.
- 41) Kountz, S. L., Laub, D. R., Connolly, J. E.: "Aortoiliac steal" syndrome. *Arch. Surg.*, **92**:490, 1966.
- 42) Lancaster, J. R., Payan, H. M., Jacobs, W. H., Gerwig, W. H., Jr.: Aortoiliac steal syndrome and necrosis of gastrointestinal tract. *Arch. Surg.*, **94**:172, 1967.
- 43) Bücheler, E., Dux, A., Rohr, H.: Mesenteric-steal syndrome. *Fortschr Roentgenstr*, **106**:313, 1967.
- 44) North, R. R., Fields, W. S., DeBakey, M. E., Crawford, E. S.: Brachial-basilar insufficiency syndrome. *Neurology*, **12**:810, 1962.
- 45) Hyman, W. A., Brewar, M. A.: The hemodynamics of arterial steal. *J. Biomechanics*, **13**:469-675, 1980.
- 46) Young D. F.: Fluid mechanics of arterial stenoses. *J. biomech. Engng*, **101**:157-175, 1979.
- 47) Tarazi, R. Y., O'Hara, P. J., Loop, F. D.: Symptomatic coronary-subclavian steal corrected by carotid-subclavian bypass. *J. Vasc Surg*, **3**: 669-672, 1986.
- 48) Mussumi, R. A., Wiener, L., Shariff, P.: The syndrome of eervial aortie arch. *Am. J. Cardiol*, **11**:678, 1963.
- 49) Brown, A. H.: Coronary steal by internal mammary artery graft with subclavian stenosis. *J Thorac Cardiovasc Surg*, **73**:690-693, 1977.
- 50) Tyras, D. H., Barner, H. B.: Coronary-subclavian steal. *Arch Surg*, **112**:1125-1127, 1977.
- 51) Niemiera, M. L., Haft, J. I., Goldstein, J. E., Hobson, R. W.: Retrograde internal mammary artery flow and resistant angina pectoris: clues to the coronary-subclavian steal syndrome. *Cathet Cardiovasc Diagn*, **12**:93-95, 1986.
- 52) Valentine, R. J., Fry, R. E., Wheelan, K. R., Fisher, D. F., Clagett, G. P.: Coronary-subclavian steal from reversed flow in an internal mammary artery used for coronary bypass. *Am J Cardiol*, **59**:719-720, 1987.
- 53) Marshall, W. G., Miller, E. C., Kouchoukos, N. T.: The coronary-subclavian steal syndrome: report of a case and recommendations for prevention and management. *Ann Thorac Surg*, **46**: 93-96, 1988.

- 55) Van, San, J. A. M., Angevaeren, W. R., Skotnicki, S. H., et al.: Diagnosis and management of the coronary-subclavian steal syndrome. *Eur. J. Cardio-thorac. Surg.*, **3**:565-567, 1989.
- 56) Schmid, C., Heublein, B., Reichelt, S., et al.: Steal phenomenon caused by a parallel branch of the the internal mammary artery. *Ann. Thorac. Surg.*, **50**:463-4, 1990.
- 57) Sayajari, R., Upp, J. R., Wolma, F. J.: Coronary-subclavian steal syndrome following coronary artery bypass grafting. *Cardiology*, **78**: 53-57, 1991.
- 58) George, S. M. Jr., Noon, G. P., Hausknecht, M. J.: Coronary-subclavian steal: correction of recurrent angina and cerebrovascular symptoms. *J. Cardiovasc. Surg.*, **32**:523-526, 1991.
- 59) Bashour, T. T., Crew, J., Kabbani, S. S., Ellertson, D., Hanna, E. S., Cheng, T. O.: Symptomatic coronary and cerebral steal after internal mammary-coronary bypass. *Am Heart J*, **108**: 177-178, 1984.
- 60) Olsen, C. O., Danton, R. F., Maggs, P. R. et al.: Review of coronary-subclavian steal following internal mammary artery-coronary after bypass surgery. *Am. Thorac. Surg.* **46**:675-678, 1988.
- 61) Befler, B., Wells, D. E., Machado, H., et al.: Inter-coronary steal syndrome resulting from aortic-coronary bypass surgery. *Am. Heart J*, **89**: 633-637, 1975.
- 62) Callagher, K. P.: Transmural steal with isoproterenol and exercise in poststenotic myocardium. 146-155.
- 63) Hartman, J. C., Kampine, J. P., Schmeling, W. T. et al.: Stealprone coronary circulation in chronically instrumented dogs: Isoflurene and adenosine. *Anesthesiology*, **7**:744-756, 1991.
- 64) Reiz, S., Balfors, E., Sorensen, M. B., et al.: Isoflurene—a powerful coronary vasodilator in patients with coronary artery disease. *Anesthesiology*, **59**:91-97, 1983.
- 65) Buffington, C. W., Romson, J. L., Levine, et al.: Isoflurane induces coronary steal in a canine model of chronic coronary occlusion. *Anesthesiology*, **66**:280-292, 1987.
- 66) Gould, K. L.: Coronary steal is it clinically important? *Chest*, **96**:227-229, 1989.
- 67) Taniguchi, K.: Studies on the orifice flow through stenotic vessels and mitral valve orifice. *Thromb. Res.*, **8(Suppl II)**:295-303, 1976.
- 68) Hoffman, J. I. E.: Maximal coronary flow and the concept of coronary vascular reserve. *Circulation*, **70**:153-159, 1984.
- 69) Epstein, S. E., Cannon, R. O., Talbot, T. L.: Dynamic principles in the control of coronary blood flow. *Am. J. Cardiol*, **56**:4-10E, 1985.