

## 講座

## SWAN-GANZ カテーテル

粕谷由子\* 上松治孝\*

## はじめに

1970年に, Swan, H.J.C., Ganz, W. らによって, 透視を必要としない心臓カテーテル法として, flow-directed balloon-tipped catheter が発表されて以来 (図1)<sup>1)</sup>, この種類のカテーテルは

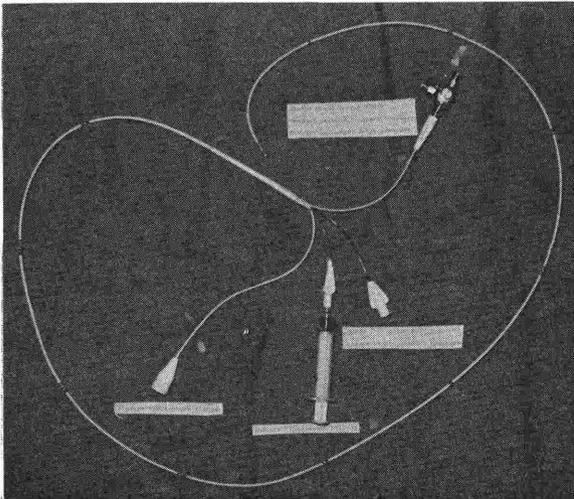


図 1.

数多く作られ, いまや, Swan-Ganz カテーテルの名に代表され, その説明, 使用法, 臨床症例等についても, Swan, Ganz らを, はじめとして, 数多くが発表されてきている<sup>2~4)</sup>. 当麻酔科においても, 1978年以來, 手術室での術中管理として

の使用は, 300例を越え, いくつかの症例も報告してきた<sup>5~8)</sup>. 今回は, これらの経験や, 文献的考察をもとに, カテーテルの種類や, 使用方法, 使用目的, 合併症について解説する.

## 種 類

一般に, このカテーテルは, 心拍出量が測定できるという, ひとつの大きなメリットをもつため, それぞれの心拍出量計に応じて, カテーテルがつけられている. エドワーズ社製熱希釈法心拍出量測定装置モデル 9520, 9520A には, Swan-Ganz カテーテル (4 F, 5 F, 6 F, 7 F), キムレー社製心拍出量コンピューター 3500, 3500E には, キムレー社製熱希釈式カテーテル (5 F, 6 F, 7 F), グールド社製熱希釈式心拍出量計 SPI 425型には, SP 5007(7 F), SP 5003(3 F) カテーテル, その他, エレキャセ, ウォーターズ, コロンバス, IL 等のカテーテルが, わが国で使用されている. 材質は, いずれも, おもに polyvinyl-chloride であるが, 前3社で, わが国では, この種類のカテーテルの80%以上を供給している. これら, サーモダイリュション用のほかに, 一般に, Swan-Ganz 心臓カテーテルといわれているものは, 用途別に, モニター用, 肺動脈造影用, 小児造影用, 双極短期ペーシング用があり, 5 F~8 F までである.

カテーテル挿入に関しては, 外科的切開法と経皮的挿入法の2つに大きく分けられ, 経皮的挿入

\* 岐阜大学医学部麻酔学教室

法は、おもにセルディンガー法によるため、そのイントロドューサー類も多くある。八光社製三重エラストマー針、エドワーズ社製三重針（現在、発売中止）、コーディス社製、クック社製、USCI社製（デシレット・ホッフマン等）のカテーテルシースイントロドューサーシステム、名市大式スワン・ガンツ挿入セット<sup>9)</sup>等があり、それぞれ、長さ、材質、価格等一長一短がある。

当麻酔科では、現在、おもに名市大式スワン・ガンツ挿入セットを使用しているが、そのガイドワイヤー（極細のワイヤーをテフロンでコーティングしたもの）は、かなり硬質で、挿入時に血管壁を破る危惧もあり、それより軟らかいUSCI社製のガイドワイヤーの方が、安心して使用できるように思える。カテーテルは、成人には、エドワーズ社製のSwan-Ganzカテーテルのサーモダイリューション用の93A-131-7Fを、もっともポピュラーに使用しているが、キムレー社製のカテーテルよりも、少し軟らかく思える。

## 方 法

1974年、Swan, Ganzは、balloon-tipped cathetersを安全に使用するにあたっての、ガイドラインなるものを発表している<sup>10)</sup>

当麻酔科では、挿入場所として、右内頸静脈、右鎖骨下静脈、右腕頭静脈、右大腿静脈、右肘静脈を用いている。おもに、名市大式ICUセット（静脈留置針18G13cm, Miyano式ガイドワイヤー外径1mm, 血管拡張器25cm外径25mm, テーパー型ポリエチレン製、テフロンシース13cmテフロン製）を使用し、セルディンガー法にて経皮的に挿入している。しかし、この静脈留置針は、13cmとやや長いので、われわれは、同径で使い慣れているベニューラ®V<sub>1</sub>(7.5cm)を使用することもある。

内頸静脈からのセルディンガー法による挿入は合併症が多い<sup>11)</sup>、といわれているが、当麻酔科では、おもにmedian approachにより施行し、現在まで合併症はゼロで、むしろ血管の走行からして非常に挿入しやすい、いい場所だと思っている<sup>12)</sup>。ほぼ、数分以内で挿入できる。カテーテルの挿入に関しての成功率は、1979年3月までは約90%で、失敗例のおもなものは、意識下で局麻剤を使用し

て静脈切開を施行したものである。このうち、局麻剤を静脈内に投与することにより挿入しえた例もある。現在は、ほぼ100%で、1~2回の穿刺にて成功している。カテーテルが胸腔内に入ると、balloon inflation valveより、balloonをふくらませ、ポリグラフにて圧波形をみながら進める。RAP, RVPの波形を確認し、PAPからPAWPの波形がえられれば、そこでballoonを解除し、PAPの波形を再び確認し、それより約1cm引き抜き、再びballoonをふくらまし、PAWPを示す最短の長さでカテーテルを固定する。カテーテルが、spontaneous wedgeとなるのを防ぐためである。Balloonが2ml、あるいはそれ以下でPAWPが現われ、それがPAPより異常に高い値をとることがあるが、この場合、over wedge pressureで、カテーテルを少し抜くと、正しい圧を示すことがある。この正確な理由は不明であるが、balloonの高い内圧が、カテーテル先端に伝わることによる、ともいわれている。Balloonのinflateには、balloonのrupture時、air embolismを起こすことからCO<sub>2</sub>が原則とされている。当麻酔科では、現在airを使用しているが、シャントの有無、長期管理の場合等、今後CO<sub>2</sub>を使用するつもりである。CO<sub>2</sub>は、約0.5ml/分の速さで、balloonの壁より拡散されていく。

現在、ポリグラフはフクダ電子製、心拍出量測定装置はエドワーズ社製モデル9520, 9520A, トランスジューサーはステッサム社製アイソレート血圧用トランスジューサーP-23IDを使用している。CVP測定も、同様のトランスジューサーを使用しているが、テルモ社製自動中心静脈圧測定装置を使用することもある。

カテーテルを使用し、thermodilution techniqueにより心拍出量を測定するのは、1954年、Fegler<sup>13)</sup>により述べられ、また、SwanとGanzによって、それは、2.9~8.0l/minの範囲で色素希釈法によるものとよく相関するとされた(式1)(図2)<sup>3)</sup>。

$$CO_{TD} = 0.96CO_{DYE} + 0.2 \quad (\text{in liters/min}) \quad (\text{式1})$$

the correlation coefficient  $r = 0.960$

with  $P < 0.001$

日本光電社製の心拍出量測定装置も使用したが、

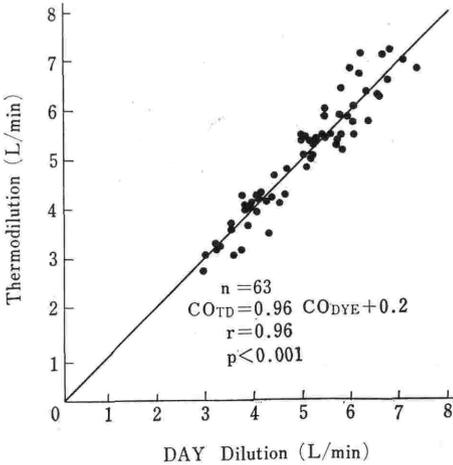


図 2. 熱希釈法と色素希釈法の比較

これは、その熱希釈曲線が表われ参考になる。もちろん、エドワーズ社製心拍出量測定装置でも、熱希釈曲線を、かかせることはできる(図3)<sup>3)</sup>。心拍出量の計算は、スチュアート・ハミルトンの方程式を応用したもので、式2より求められる<sup>3)</sup>。

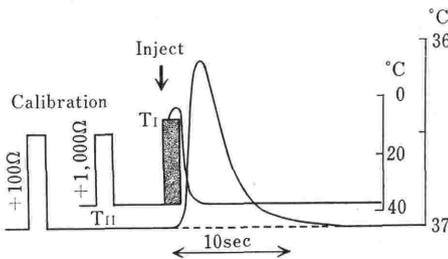


図 3. 心拍出量測定装置における熱希釈曲線

$$V_B = \frac{V_I \times S_I \times C_I \times (T_B - T_I) \times 60}{S_B \times C_B \int_0^\infty \Delta T_B(t) dt} \quad (式 2)$$

$V_B$  = cardiac output in ml/60 sec

$V_I$  = volume of the injectate in ml

$S_I, S_B$  = specific gravity of indicator and blood, respectively

$C_I, C_B$  = specific heat of indicator and blood, respectively

$T_B, T_I$  = temperature of blood and indicator, respectively

$\int_0^\infty \Delta T_B(t) dt$  = area (A) under the temperature time curve in °C × sec.

式2において、indicator として5%ブドウ糖を使用すると、 $(S_I \times C_I) / (S_B \times C_B) = 1.08$ となり、この係数を心拍出量測定装置のコンピューターにinputしてあるので、測定には、5%ブドウ糖液(滅菌溶液)を0°Cにしたものを用いている。室温の液を用いてもコンピューターにより心拍出量は計算されてくるが、0°Cを用いるほうが、値のバラツキは少ない。正しく0°Cでなく、注入液温が2-3°C以上になると(式2)において、Aが小さくなるので、心拍出量は実際より大きく計算される。

注入速度であるが、エドワーズのカテーテルでは、血液温度が35~39°Cでは、注入速度が10ml/2secから10ml/4secの範囲では、コンピューターに影響を与えない<sup>3)</sup>、としている。注入の時期については、右房、右心室、肺動脈血液温度は、呼吸により周期的変化をしているので、注入時の呼吸相を決めておく必要がある。それは、静脈血管床や、静脈還流による温度の差異からくるものであろうとし、これによる肺動脈の温度変化は、0.01~0.02°Cであるが、呼吸のパターン(たとえば、チェーン・ストーク呼吸)により増加する<sup>3)</sup>、とされている。われわれは、呼気終末時に注入することにして

注入液と混合した血液は、カテーテル先端から4cm手前にあるサーミスターの電気抵抗を、変えることにより、算出されてくる。この熱希釈法による心拍出量測定は、±5%の範囲で再現性がある、といわれている。心房か心室に心内シャントがあるときには、心拍出量の測定は信頼性が低くなり、三尖弁閉鎖不全、肺動脈閉鎖不全のような右心系の弁膜疾患がある場合も、信頼性は低くなる。

使用目的—えられる情報—

日常、われわれが行っているハイリスク症例の術中管理は、このカテーテルの適応の一部である。このカテーテルより、肺動脈圧(PAP)、肺動脈楔入圧(PAWP)、中心静脈圧(CVP)、心拍出量(CO)、混合静脈血がえられ、計算式により、心係数(CI)、1回拍出量係数(SI)、左室1回仕事量係数(LVSWI)、右室1回仕事量係数(RVSWI)、全末梢抵抗(SVR)、肺血管抵抗

(PVR) がえられる。同時に動脈血をえることにより、さらに、肺泡-動脈酸素分圧較差 (A-a DO<sub>2</sub>)、肺内シャント率 (Qs/Qt)、動静脈酸素含量較差 (A-VDO<sub>2</sub>)、酸素供給量 (Avail O<sub>2</sub>)、酸素消費量 ( $\dot{V}O_2/m^2$ )、酸素摂取率 (O<sub>2</sub> ext R) 等の情報がえられる。混合静脈血よりえられる肺動脈血酸素分圧 (P $\bar{v}O_2$ ) は、生体での酸素消費の総和としてとらえられ、動脈血と混合静脈血酸素含量較差 (CaO<sub>2</sub>-C $\bar{v}O_2$ ) は、心臓が生体の酸素需要に対し、どのように対応しているかをみる目安となる<sup>15)</sup>。また、縦軸に LVSWI、横軸に PAWPをとることにより、左室機能曲線(Sarnoffの心機能曲線)(図4)<sup>14)</sup>がえられ、交感神経が刺激されると、この心機能曲線は左上方に移動し、逆の場合右下方に移動する。これより、薬物療法、輸液療法を適確に行うことができる。

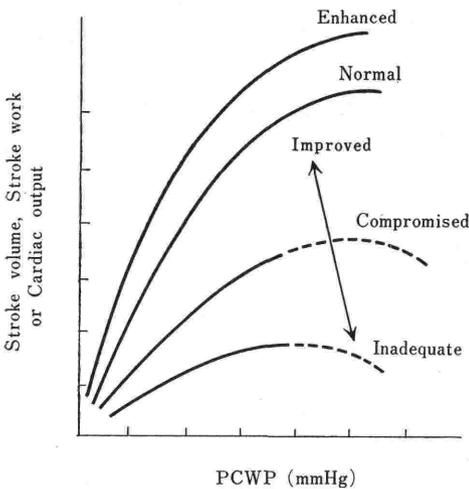


図 4.

また、心筋虚血のモニターとしても使用される<sup>16)</sup>。

**A. 心筋酸素需要の測定**

Triple Index (TI)

$$TI = \overline{SAP} \times HR \times \overline{PAWP}$$

(150,000以下に維持する。)

**B. 心筋酸素供給の測定**

Coronary Perfusion Pressure (CPP)

$$CPP = \overline{DP} - \overline{PAWP}$$

(冠疾患の症例では、60~70mmHg 以上に維持する。)

**C. 心筋酸素供給-需要関係の測定**

Endocardial Viability Ratio (EVR)

DPTI (Diastolic Pressure Time Index) で測定した酸素供給と TTI (Tension Time Index) で測定した酸素需要の比で、

$$EVR = \frac{DPTI}{TTI} = \frac{(\overline{DP} - \overline{PAWP}) \times T_D}{\overline{SP} \times T_S}$$

T<sub>D</sub> : 拡張期時間

T<sub>S</sub> : 収縮期時間

(0.7以下では、心内膜下虚血が疑われる。)

これらを利用して、急性心不全の管理や、心筋梗塞後の心室中隔穿孔と僧帽弁閉鎖不全の鑑別、心タンポナーデの診断、高度の循環血流量低下状態の治療、ARDS、薬物中毒、妊娠中毒症等の管理を行ったり、ショックの病態生理学的パターンを鑑別し、治療の方針をたてることできる。また、われわれは、坐位手術時の合併症である空気塞栓の早期発見のためのモニターとして、Swan-Ganz<sup>®</sup>カテーテルが有用であることを報告している<sup>5)</sup>。

**合 併 症**

合併症は、カテーテル挿入時におけるものと、その管理中におけるものがあるが、もっとも致命的なものは、pulmonary artery の rupture による出血で、頻度は10万例に1例か、それ以下といわれ、症状を現わした10例中8例が rapidly fetal であったとの報告がある<sup>17)</sup>。多いのは、right-bundle-brach block, complete heart block を起こしたもので<sup>18)</sup>, acute myocardial infarction, coronary-artery disease, left-bundle-branch block のあるものに、カテーテルを挿入した場合に多い。Premature ventricular contraction (PVC) も、挿入に関して30%以上に起こる、との報告もある<sup>19)</sup>。その他、カテーテルが、pleural space に入った<sup>20)</sup>、というものや、管理中、spontaneous wedge を起こしたものの等がある。

当麻酔科では、術中使用で、PAP 波形のなまり、収縮期血圧の低下、術野の血液の色の不良、FiO<sub>2</sub>=0.5 で PaO<sub>2</sub>=約80mmHg ということ、spontaneous wedge を疑い、直ちにカテーテルを数cm引き抜き、肺梗塞には至らなかった症例が

ある。また、術前より心筋障害のある患者で、カテーテルを挿入するさい、PVCが出現し、何度か試みても、どうしても挿入できなかった症例もある。その他の合併症は、今までのところ経験していない。

## おわりに

いわゆるSwan-Ganz®カテーテルに代表されるPAカテーテルは、今や、われわれ麻酔科医をはじめ、各専門分野の人々にとって、なくてはならないものになってきており、1100gの新生児から使用されている<sup>21)</sup>。しかし、長期間の使用や<sup>22,23)</sup>、冠動脈疾患時の、これによる管理が、必ずしも絶対的必要なものであろうか、という問題も出はじめている<sup>24)</sup>。すなわち、Manganoは<sup>25)</sup>、その指標をejection fractionにとり、それが、0.50以上で心筋のdyssynergyのないものと、0.40以下でdyssynergyをもつもの、に分け、前者では、 $\Delta\text{CVP}$ と $\Delta\text{PAWP}$ は $r=0.94$ でよく相関し、後者では2者は $r=0.04$ で相関しなかったとし、A-C bypassを受ける患者の術前・術中・術後のPAPの測定に関して、前者の場合は、CVPで代用できるとし、後者の場合に、PAカテーテル使用の適応がある、とした。

それは、PAカテーテル使用におけるbenefit-to-hazard ratiosの問題が、なお、解決されていないことを示しているが、日常的に、われわれに与えてくれる多大な情報は、これに代わる新しいモニター類の台頭をまえにしても、ここ当分、貴重なものである。

## 文献

- 1) Swan, H. J. C., Ganz, W., Forrester, J., Marcus H., Diamond, G., Chonette, D.: Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *New Engl. J. Med.* **283**: 447~451, 1970.
- 2) Ganz, W., Donoso, R., Marcus, H., Forrester, J., Swan, H. J. C.: A new Technique for measurement of cardiac output by thermodilution in man. *Am. J. Card.* **27**: 392~396, 1971.
- 3) Ganz, W., Swan, H. J. C.: Measurement of blood flow by thermodilution. *Am. J. Card.* **29**: 241~246, 1972.
- 4) Swan, H. J. C., Ganz, W.: Use of balloon

catheters in critically patients. *Surg. Clin. North Am.* **55**: 501~520, 1975.

- 5) 粕谷由子, 曾根健之, 村上典之, 大塚節子, 安食了, 上松治孝, 山本道雄: 坐位麻酔と空気栓塞. *臨床麻酔* **3**: 744~748, 1979.
- 6) 曾根健之, 粕谷由子, 村上典之, 大塚節子, 末沢芳枝, 上松治孝, 山本道雄, 清水言行, 坂田一記: Glycerol 製剤(グリセオール®)術中投与の呼吸循環動態, 電解質, 血糖値および浸透圧に及ぼす影響. *臨床麻酔* **4**: 281~290, 1980.
- 7) 粕谷由子, 吉本敬一, 曾根健之, 上松治孝, 伊藤雅治, 山本道雄: 術後低血糖発作を起こした褐色細胞腫の1症例. *臨床麻酔* **4**: 557~559, 1980.
- 8) 粕谷由子, 上松治孝, 村上典之, 大塚節子, 浦野博秀, 山本道雄, 曾根健之: Mannitol 術中投与の呼吸循環動態, 電解質, 血糖値および浸透圧に及ぼす影響. *臨床麻酔* **5**: 641~648, 1981.
- 9) 宮野英範, 山原 武: スワン・ガンツカテーテル経皮挿入セットの試作, *ICUとCCU* **4**: 1201~1203, 1980.
- 10) Swan, H. J. C., Ganz, W.: Guidelines for use of balloon-tipped catheter. *Amer. J. Card.* **34**: 119, 1974.
- 11) Thomas, J. C., III: Air embolization during percutaneous Swan-Ganz catheter placement. *Anesthesiology* **50**: 360~361, 1978.
- 12) Tadikonda, L. K. Rao, Alfonso, Y. W., Salem, M. R.: A new approach to percutaneous catheterization of the internal Jugular vein. *Anesthesiology* **46**: 362~364, 1977.
- 13) Fegler, G.: Measurement of cardiac output in anesthetized animals by a thermodilution method. *Quart. J. Exp. Physiol.* **39**: 153~164, 1954.
- 14) Sarnoff, S. J., Brockman, S. K., Gilmore, J. P., Linden, R. J., Nitchell, J. H.: Regulation of ventricular contraction: Influence of cardiac sympathetic and vagal nerve stimulation on atrial and ventricular dynamics, *Circ. Res.* **8**: 1108~1122, 1960.
- 15) 清水禮寿: 麻酔と心機能. *臨床麻酔* **3**: 401~409, 1979.
- 16) Kaplon, J. A.: Hemodynamic monitoring: Cardiac anesthesia. Grune & Stratton, New York, 71~166, 1979.
- 17) Donald, M. P., Stewart, M. S., Gulsan, K. S.: Pulmonary hemorrhage associated with balloon flotation catheters. Report of a case and review of the literature. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **80**: 453~458, 1980.
- 18) Jan, R. T., Brian, C. D., Demetrios, G. L., Fdward, L.: Right bundle-branch and complete heart block caused by the Swan-Ganz catheter. *Anesthesiology* **51**: 359~362, 1979.
- 19) David, S. S., Lonard, R.: Ventricular tacky cardia associated with removal of a Swan-Ganz catheter. *Postgraduate Med.* **67**: 291~294, 1980.
- 20) Graziano, C. C., William, S. H., Roberta, C. K., Alan, D. T., Michael, M.: Unusual complications

- during pulmonary artery catheterization. *Critical Care Med.* **6**: 364~365, 1978.
- 21) I. David, T., Robert, K. C., Mark, C. R., Daniel, C. S.: Swan-Ganz catheterization in the critically ill newborn. *Critical Care Med.* **7**: 330~334, 1979.
- 22) Lawrence, J. S.: Sterility and Repositioning of the Swan-Ganz catheter. *Chest* **75**: 743, 1979.
- 23) Jack, J. A., Tina, E. C., Donna, J. R., Joseph, M. C.: Assessment of the sterility of long-term cardiac catheterization using the thermodilution Swan-Ganz catheter. *Chest* **74**: 337~380, 1978.
- 24) Edward, L., Richard, T.: TO (PA) catheterize or not to (PA) catheterize—That is the question. *Anesthesiology* **53**: 361~363, 1980.
- 25) Mangano, D. T., Monitoring pulmonary arterial pressure in coronary-artery disease. *Anesthesiology* **53**: 364~370, 1980.