

総	説
---	---

## 補助循環の基礎と臨床——とくに IABP の現況

遠藤真弘\* 藤原直\* 酒井章\*\*  
西田博\* 小柳仁\*

## 1. はじめに

補助循環は米国で主として虚血性心疾患の救命を目的に発達してきた。

CCUの出現により虚血性心疾患の死亡率は主として不整脈の予防と治療により著しく低減した。しかしながら、ショックを合併した症例に対し、いまだその治療効果は低迷をつづけている。同じ努力をしても、不整脈に関して、その努力は報いられるが、shock に対しては最大の努力をしても救命率は低い。補助循環はこうした目的でショックに対する治療の切り札として登場した。

しかし、補助循環には大きなジレンマがつきまとう。補助循環の補助効率だけを目的とした場合、開胸したり大きな外科的侵襲が必要のことがある。これで、すべて成功に終われば良いが、救命できない場合、医療サイドに対する非難も一角でないのが現実である。

もしも、補助効果がマイルドでも、外科的侵襲が著しく少なく、合併症も少なく、ヘパリン等を使用しないで施行できる方法があれば、ショックに対して日常使用する catecholamine, 利尿剤, vasodilator 療法等と同列に使用できる。

本稿ではこうした見地から、侵襲の大きい方法は簡述し、おもに IABP について述べる。

## 2. 補助循環の種類

## A. 外科的侵襲の大きさによる分類 (表1)

表に掲げるように外科的侵襲を全く必要としないものに ECP がある。

末梢血管に手術侵襲を加えるものに IABP, V-A bypass (F-F bypass) がある。

開胸下に施行するものとして、手術後の体外循環からの weaning に成功しない場合、そのまま部分心肺バイパスを続け、再び weaning を続けたり、IABP を合わせ施行する方法もとられる。

さらに侵襲が大きいものとして、左室心尖部より脱血し、腹部大動脈に bypass 補助ポンプを取りつける ALVAD 法<sup>1)</sup> や、左室心尖部——大腿動脈バイパス (Peters<sup>3)</sup> の TALVB) や、Litwak<sup>2)</sup> の左房より脱血し、上行大動脈に送血し、必要がなくなったら、脱血、送血チューブを obturator で挿入閉鎖し、再開胸なしに埋没する方法も考案されている。

## B. 目的別の種類 (表1)

1. 右心不全 もっとも一般的なものとして V-A bypass がある。大腿静脈より脱血カニューレを下大動脈ないし右房まで挿入し、大腿動脈に送血する方法である。いくつかの variation がある。送血を通常のローラポンプ(無拍動)で送血するのと、拍動ポンプで送血するのがある。心電図に同期させ、拡張期に送血することもできる。バイパス量が多くなると、酸素化されていない血

\* 東京女子医科大学心研外科

\*\* 筑波大学外科

表 1.

外科的侵襲の大きさによる分類	目的別による補助循環
1. 手術を要しない (1) 体外式心マッサージ (用手, 機械) (2) 心拍同期の調節呼吸 (3) 体外式 counterpulsation (ECP)	1. 右心不全 (1) V-A bypass (2) 部分心肺 bypass (3) 肺動脈内バルーンパンピング (IPBP) (4) 心拍同期調節呼吸
2. 末梢血管に手術侵襲を加えるもの (1) IABP (2) V-A bypass { with oxygenator { without oxygenator { 拍動流 { 非拍動流 { 心拍同期 { 心拍非同期 (3) counterpulsation (CP) (4) 左心 bypass Dennis 法 (経心房中隔) 経左室-動脈バイパス (5) ペースメーカー	2. 左心不全 (1) IABP (2) ECP (4) 左心 bypass 3. 両心不全 (1) IABP plus V-A bypass (2) 完全心肺 bypass (3) 心マッサージ (4) 人工心臓, 心移植 (5) ペースメーカー
3. 開胸の手術侵襲を加えるもの (1) 開胸心マッサージ (2) 部分心肺 bypass (3) 左心 bypass (4) 経心房中隔両心 bypass. (小柳) (5) 補助心臓 (6) double Heart (心移植)	

液が下半身のほとんどに送血され、アシドーシスを増強する等の欠点があるので、酸素化装置を加える場合もある。一般にヘパリンを加えるが、ヘパリン局所注入、プロタミン中和局所注入法もある。また、ヘパリン coating チューブを使用することによりヘパリン化を使用としない回路も製品化しつつある。

V-A bypass はバイパス量によって右室不全を改善するのが、左心系に対し、大動脈圧を上昇させても、LVEDP 上昇させ、左心系に負の効果を与えることがあり、バイパス量の決定には慎重を要する。

著者の1人、小柳<sup>4)</sup> (1974年) はシミュレーターを用いて定量実験した。流量の3分の1以上となると左心系に負担をかける (図1)。

一方、V-A bypass の欠点を補うべく、左心バイパスを加えるのに、経中隔両心バイパス (図2) を用いれば図3のごとく、右心系、左心系に好影

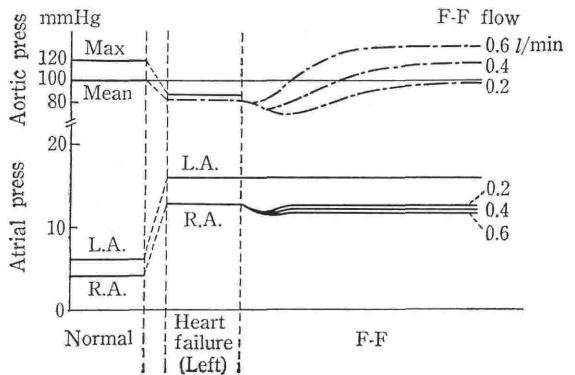


図 1. F-F バイパス流量のちがいに對する各部の血圧変化 (数学モデル計算結果)

響をもたらす。

2) 左心不全 IABP については後で詳述する。

External counterpulsation (ECP) はもっとも

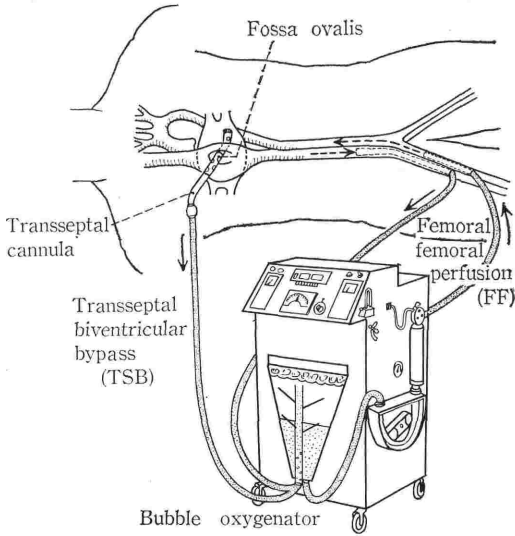


図 2. 補助循環 (部分心肺バイパス: F-F, 経中隔両心バイパス: TSB) の模式図

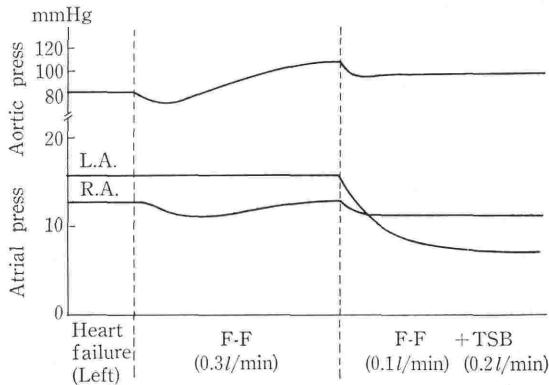


図 3. F-F, F-F+TSBの動脈圧, 心房圧の変化 (数学モデル計算結果)

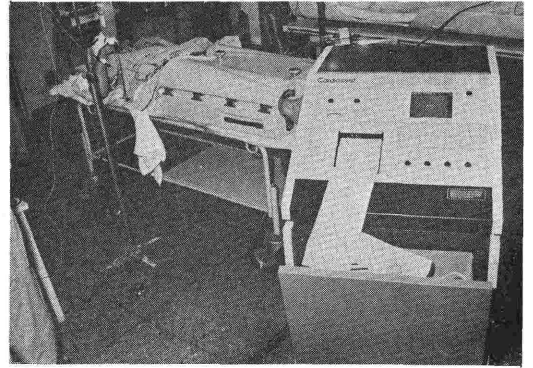


図 4. 体外式カウンターパルゼーション (ECP)

侵襲が少ない方法で、下半身をエアーマットで150~200mmHgの圧でinflate, deflateする方法である。図4は施行中を示す。著者自身も自験したが、振動が強く、200mmHg以上の圧にすると皮膚が痛くなる。

図5は心不全を伴わない陳旧性心筋梗塞例に対するECPの圧派型を示す。IABPと異なりsystolic unloadingは少ないが、diastolic augmentationの効果は認められる。

3) 両心不全 開胸および非開胸式心マッサージを初め、経中隔両心バイパス、完全心肺バイパスやIABPにV-A bypassを組合わせた方法等がある。

図6に各種の補助循環法の模式図を示す。

### 3. IABP の基礎

先に開発されたCP (counterpulsation) は動脈より収縮期に脱血し、拡張期に送血することによ

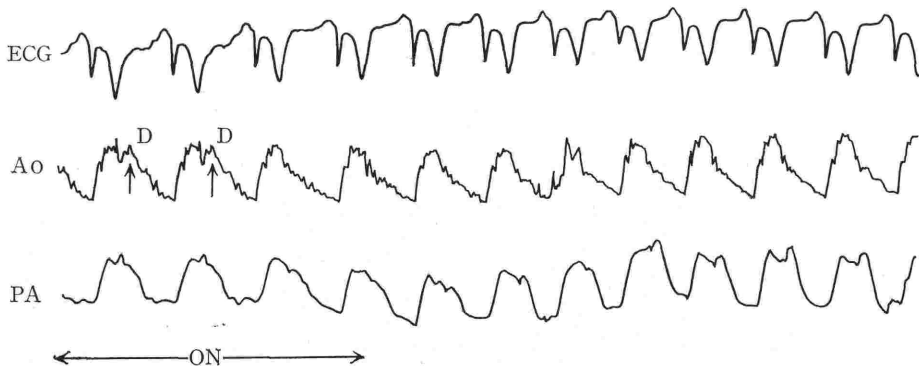


図 5. ECP による大動脈圧, 肺動脈圧への影響

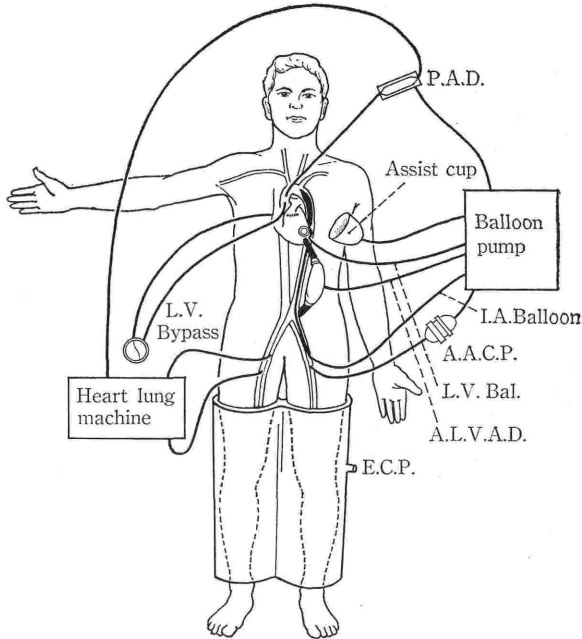


図 6. 各種補助循環法の模式図  
(Bergman, D.: Mechanical support of the failing heart and lungs appleton century crofts, 1977より)

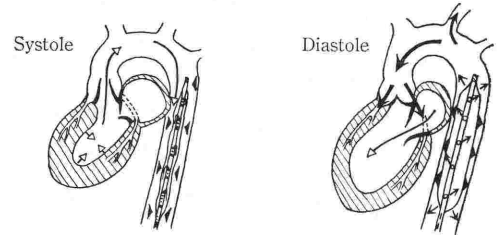
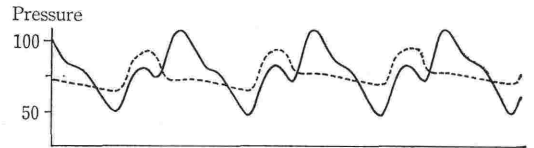
り, diastolic augmentation と冠血流量の増加をもたらしたが, IABP と異なり air driving でなく血液 driving のために細いカニューレを出入する流量の少なさと, 著しい溶血のために普及しなかった. また, 循環血液量を一旦, 体外に出すために systolic unloading というよりは systolic collapse を生じた.

1962年 Moulopoulos ら<sup>5)</sup>は血液の出入なしに大動脈内にバルーン付カテーテルを挿入し, 心拍同期にバルーンを inflate, deflate することにより CP の欠点を大幅に減じた.

1968年, Kantrowitz ら<sup>6)</sup>により初めて臨床応用された.

わが国では教室の T. 三浦らにより国産化された. さらにバルーンカテーテルを上行大動脈基部まですすめ, 冠血流量の増大をさらに計った.

A. Systolic unloading (図 7)



点線はControl, 実線はPumping balloon pumpingの血行動態

図 7. IABP の原理

心収縮期直前に ball on を deflate することにより, 大動脈基部の収縮期圧を低下させて afterload を下げることにより, 左室仕事量を軽減させる.

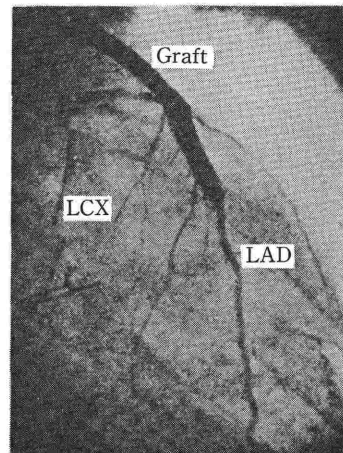
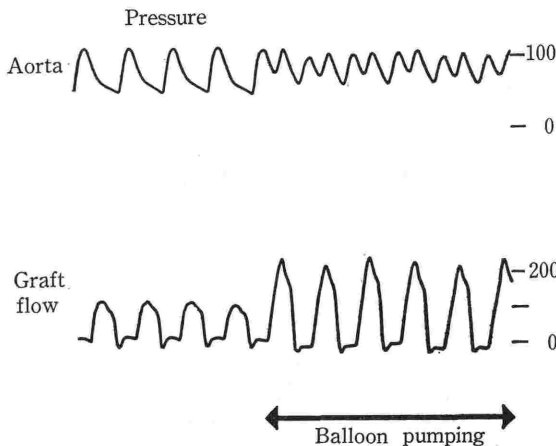


図 8. Graft 血流量に対する IABP の効果

**B. Diastolic augmentation と冠血流量の増加**

心拡張期に balloon を inflate することにより、大動脈基部の拡張期圧を著しく上昇させることにより冠血流量を増加させる。

不全心であるほど、この効果は大きい。また、冠血流量も冠狭窄がないと auto-regulation が働いて、時間とともに元に復する。

図8は aortocoronary bypass grafting の術中

に graft 血流量の変化を示す。

また、同様に、術中、graft 血流量の変化を、IABP と心拍同期拍動ポンプによる V-A bypass との比較としてみた。図9のごとく、IABP により graft 血流量は作動直後に著しく上昇を認めるが、V-A bypass と異なり、収縮期にわずかの逆流波型がみられる。

**C. 心筋組織の虚血の改善**

心筋組織の虚血状態を直接、酸素分圧によるが

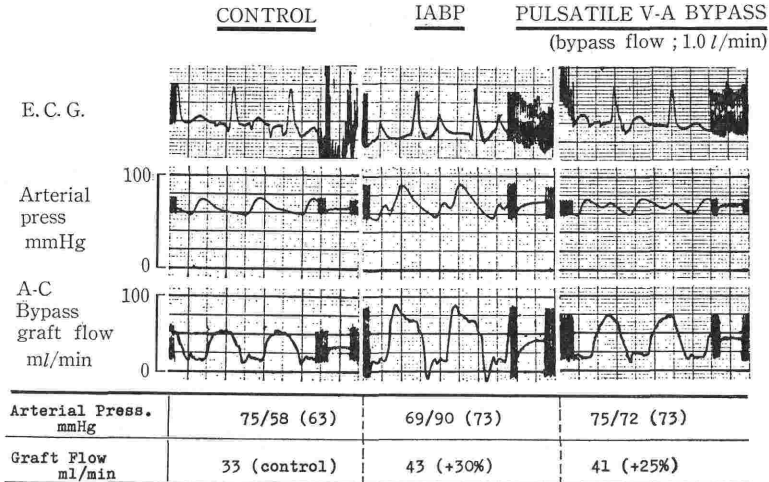


図9. graft 血流量に対する IABP と拍動式心拍同期 V-A bypass の比較

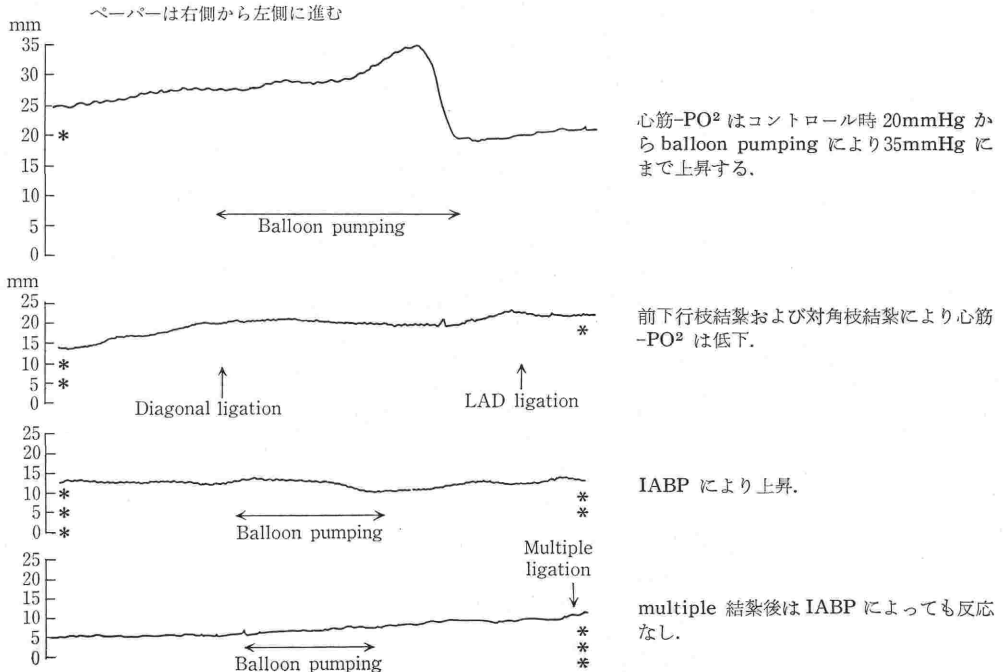


図10. 心筋-PO<sub>2</sub> から IABP の効果 (計測値は右から左へ読む。)

ス代謝の面から測定してみた<sup>7)</sup>。

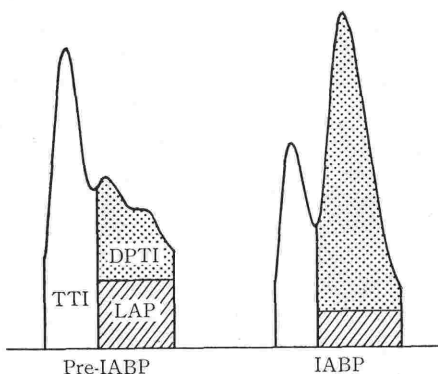
実験イヌの心筋組織 PO<sub>2</sub> は通常 20~30mmHg を示す。図10は control 時、PO<sub>2</sub> は 20mmHg を示すが、IABP を施行すると徐々に上昇し、35 mmHg に上昇する。心筋 PO<sub>2</sub> が 23mmHg の状態から前下行枝を結紮すると、20mmHg まで低下し、さらに対角枝を結紮すると心筋-PO<sub>2</sub> は 10~12mmHg まで低下する。ここで IABP を作動すると 14mmHg に上昇する。さらに PO<sub>2</sub> センサーの周辺の冠動脈を丁寧に 1 本、1 本結紮すると心筋 PO<sub>2</sub> は 5 mmHg 以下となり、IABP を作動しても、もはや上昇しない。

**D. Endocardial viability ratio (EVR) の上昇**

図11は control 時と IABP 作動時の圧波型から DPTI (diastolic pressure-time index), TTI (tension-time index) LAP (左房圧) から EVR を求める図式である。Bregman によれば、① systolic unloading により TTI が低下する。② そして左房圧、左室拡張終期圧低下による左室壁張力が生じる。③ さらに diastolic augmentation による心筋酸素供給の上昇は PPTI の低下で示される。④ 多くは反射的に心拍数はやや低下してくれる。これらの4つの作用により EVR が上昇し、心筋虚血へ有利に働くとして述べている。

**E. 僧帽弁逆流に対する効果**

教室の酒井<sup>8)</sup> は電磁流量計付き左室-左房カニ



$$EVR = \frac{DPTI}{TTI}$$

- 1. ↓ TTI      3. ↑ DPTI
- 2. ↓ LAP     4. ↓ Heart rate  
                  (∴ ↑ DPTI)

図 11. IABP の EVR に対する影響 (Bergman, D.)

EVR : endocardial viability ratio  
DPTI : diastolic pressure time index  
TTI : tension time index  
LAP : left arterial pressure

ューレを作製し、IABP の効果をみた。

図12のごとく、systolic unloading により僧帽弁逆流量の低下を証明した。

**F. 梗塞後の中隔穿孔に対する効果**

教室の酒井<sup>8)</sup> は左室心尖部-右室心尖部カニューレを作製し、前下行枝を結紮し不全心とし、IABP を作動すると、左→右短絡量の減少を証明

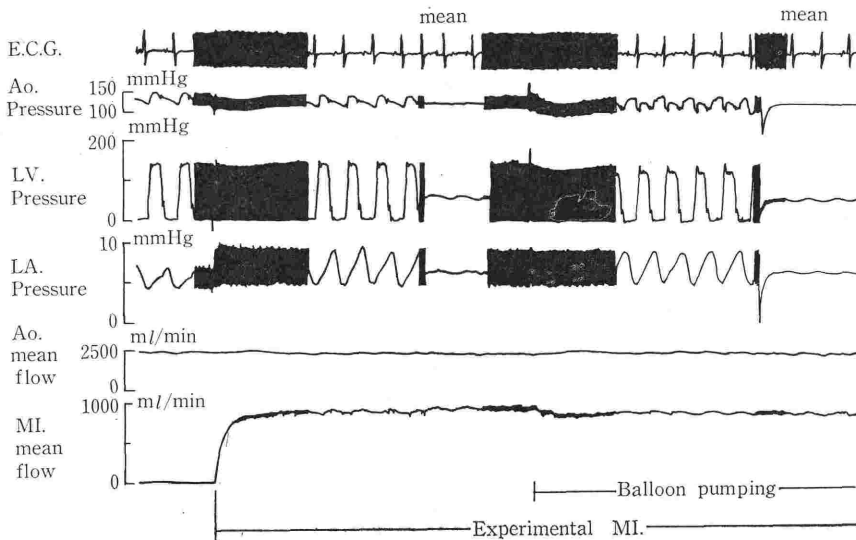


図 12. 実験的僧帽弁逆流 (乳頭筋不全症候群) に対する IABP

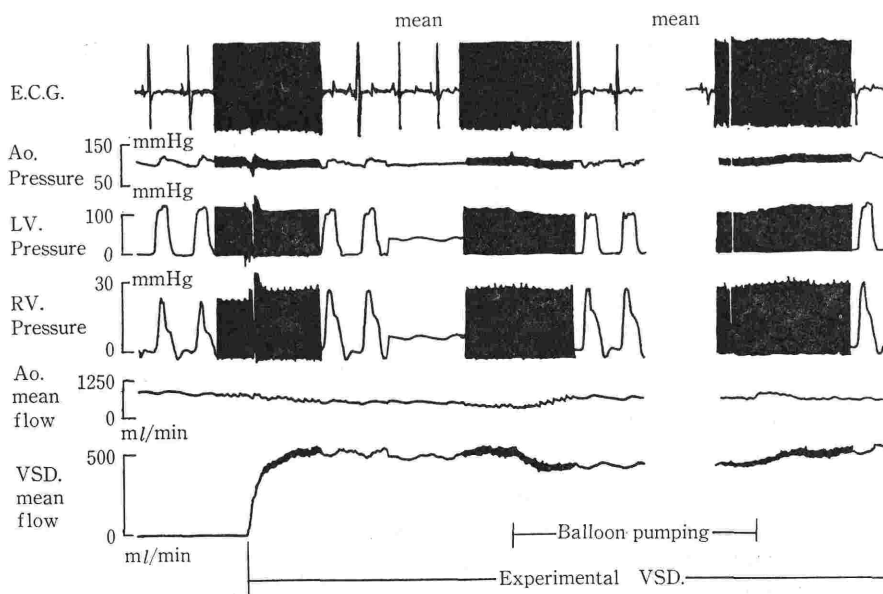


図 13. 実験的中隔穿孔に対する IABP の反応

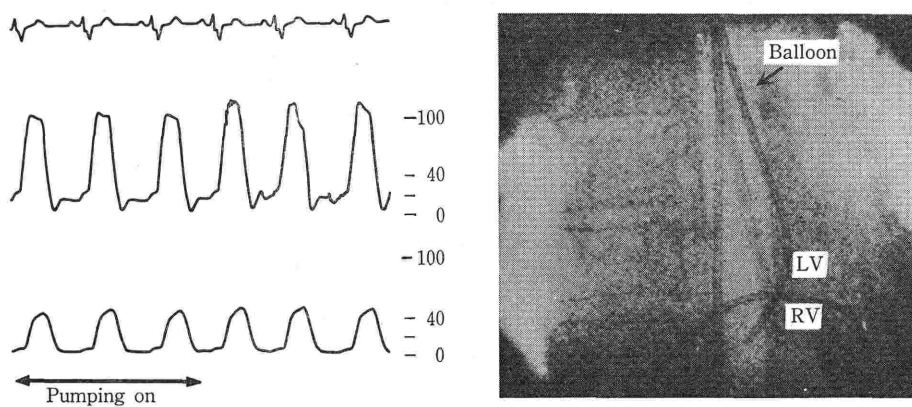


図 14. 梗塞中隔穿孔に対する IABP

した (図13)。

図14は臨床例の中隔穿孔に対する IABP の効果を左室・右室の同時圧測定から検討したが、左室収縮期圧-右室収縮期圧差が IABP により減少することが示される。

**G. 大動脈弁閉鎖不全合併例に対する効果**

教室の西田は、弁膜症で AR を合併する例に対する IABP の功罪を検討した。

実験イヌの AR の作製は膀胱結石採取用のバスケットカテーテルを利用し、大動脈弁の位置でバスケットカテーテルを開き、AR を作製した (図15)。AR が中等量までは、IABP により LVEDP

の上昇なしに冠血流量の増大を示した (図16)。

**4. IABP の臨床と実際**

現在までに 5 万例以上が臨床応用されているが、臨床における現況と問題点につき述べる。

**A. 挿入方法の進歩**

多くの施設では皮膚切開して大腿動脈を露出切開し、人工血管を端側吻合して、これにバルーンカテーテルを挿入する方法がとられている。

最近では経皮的に Seldinger 法で挿入できるバルーンカテーテルが Data-Scope 社より開発され

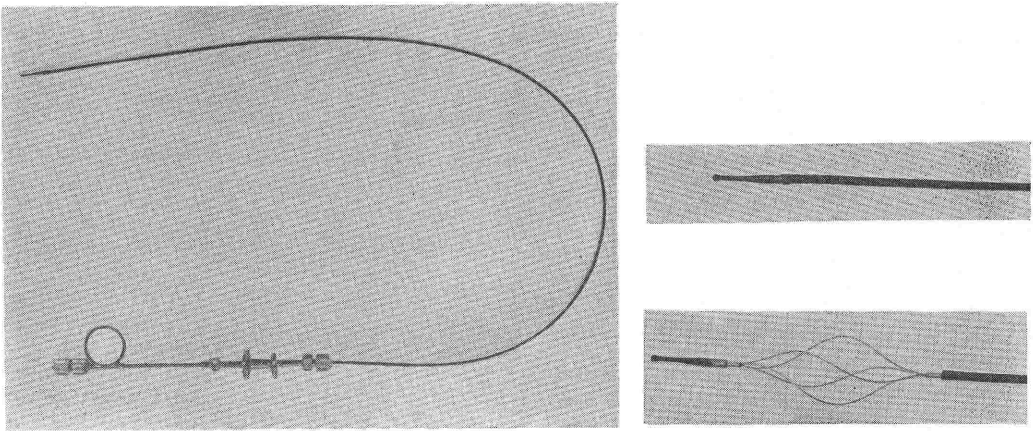


図 15. 実験的大動脈弁閉鎖不全に対する IABP AR の作り方

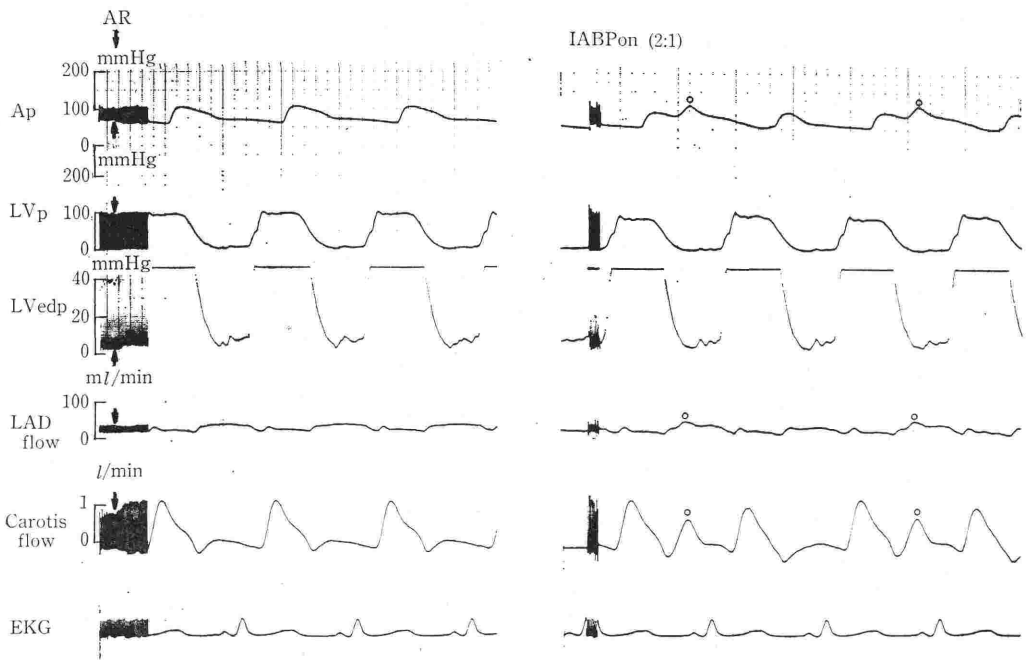


図 16. 実験的大動脈弁閉鎖不全に対する IABP

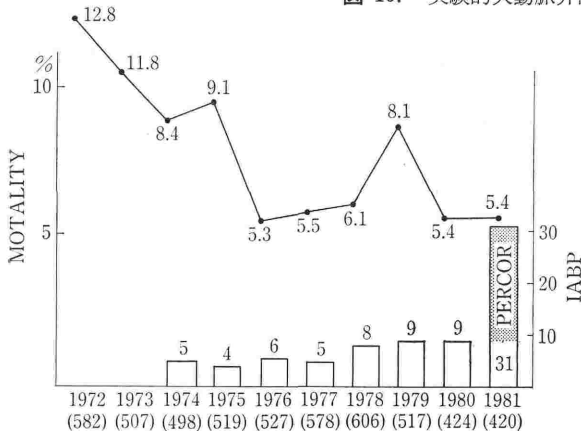


図 17. 心臓大血管手術例の年次別死亡率と IABP

「Percor」と呼んでいる。

図17は、東京女子医大心研での過去10年間の年次別の心大血管手術例数と年間病院死亡率と IABP の例数をみた。10年前は死亡率12.8%であったが、現在では、5.4%になったが、先天性は複雑心奇形が多くなり、弁膜症は多弁化、高齢化し、aorto-coronary bypass は EF 35%以下、poor~run-off が急増し、解離性大動脈瘤等の重症例が多く死亡率低下は頭打ちである。IABP は年間4~5例から1980年に9例ぐらいに増加した。1981年になり31例と急増し、IABP の適応が拡大されている。拡大した最大の理由



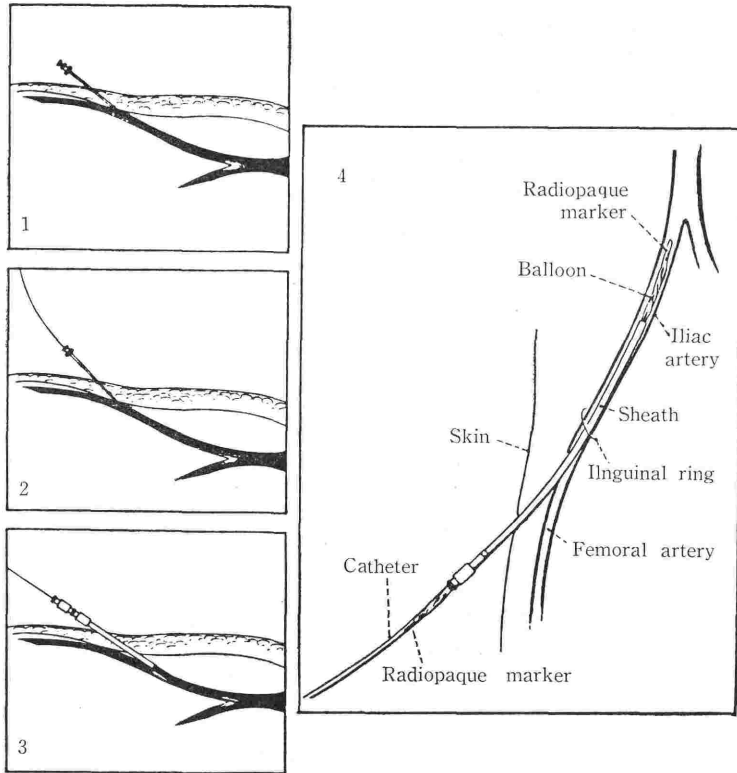


図 18. Percorへの挿入法

は Percor の出現による。

Percor の長所として、

- ① 重症者の急変時に挿入時間が著しく短い。
- ② 外科医でなくても可能である。
- ③ 人工血管を必要としないため、感染機会が少ない。
- ④ 末梢の循環障害が少ない。

短所として、

- ① まれにバルーンが inflate しない。
- ② 他のバルーンカテーテル同様であるが kinking が強い症例や動脈硬化が強い例では挿入不可能のことがある。

図18は Percor の挿入法を示す。

### B. IABP の適応

IABP の一般的な使用規準として、

- ①  $CI < 2.0 \text{ l/min/M}^2$
- ②  $BP < 80 \text{ mmHg}$ ,
- ③  $LA > 20 \text{ mmHg}$ ,
- ④ 尿量  $< 20 \text{ ml/h}$ , の4項目とされている。実際にはこれら4項目のすべてを満足するような

deep shock には IABP のみで救命はむずかしい。実際には临床上、これらの条件に近づいた症例に使用することにより deep shock への移行を防止しうることが多い。

### C. 使用目的

- ① 内科治療の限界で使用
- ② poor risk の手術例に対し、麻酔導入前より使用 (scheduled IABP)。
- ③ 体外循環からの離脱不能例。
- ④ 手術後の LOS, ショック。

① の内科治療の限界で使用する例には、広範囲心筋梗塞、梗塞後の中隔穿孔、乳頭筋断裂等による power failure, あらゆる抗不整脈剤に抵抗する intractable arrhythmia, LMT-lesion 等による重症な unstable angina に対する例等がある。

本群は内科的治療に固執するあまり、IABP の適応範囲を超え、心停止に近い状態で使用した例も少なくない。

14例中、4例(救命率29%)のみが救命した。

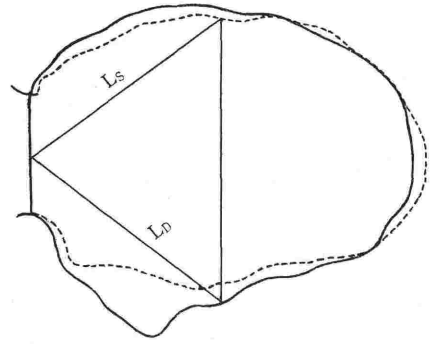
その内分けは2例の梗塞後中隔穿孔と、2例の心筋炎によるショックであった。

②の poor sisk に対する術前からの使用は、梗塞後中隔穿孔、重症心室瘤、EF 20% 以下に対する aortocoronary bypass, LMT-lesion 等がある。13例に施行し、10例を救命した(救命率77%)。

失った3例中、1例は出血死で、IABP とは直接の関係はない。残りの2例は低左室機能の虚血性心疾患で術後も引きつづき、IABP を作動したが LOS で死亡した。

図19はその1例を示すが、この辺が瘤切除に対する手術適応の限界と考える。

③および④は手術後に使用した例であるが、



LVEDP : 35mmHg EF : 0.17  
SWI/LVEOP : 0.45 meanVcf : 0.46  
basilar half EF : 0.23

図 19. 低左室機能の心筋切除の限界

必ずしも術前の心機能の程度と一致しない。術中

表 2. 術後 LOS, ショックに対する IABP

A群											
症例	年齢	術前診断	心係数 (l/min/m <sup>2</sup> )	EF (%)	LVEDP (mmHg)	術式	大動脈 遮断 (分)	心筋保護	適応	IABP 時間 (時間)	結果
1	53	ASI	2.38	74	11	AVR	141	Y-G	Inf.	96	生
2	54	AI+angina	2.73	45	34	AVR+A-C bypass	162	Y-G	Inf.	92	生
3	43	AI+MSI×TI	—	30	21	MVR	137	Y-G	Inf.	113	死
4	39	ASI+MSI+TI	2.41	46	7	AVR+MVR+TVR	118	Y-G	LOS	163	生
5	43	ASI+MSI	2.30	40	10	AVR+MVR+TAP	122	Y-G	LOS	8*	死
6	57	ASI+MSI	2.39	41	16	AVR+MVR	141	CCBP	bleeding	40*	死
7	23	AI	—	—	—	AVR	189	Y-G	LOS	41	死
8	46	AI+MS	2.20	42	13	AVR+MVR	116	Y-G	LOS	45	死
9	49	ASI+MS+TI	2.86	64	16.5	AVR	100	Y-G	LOS	28	死
10	21	AI+MSI+TI	2.76	45	10	AVR+MVR+TAP	105	CCBP	LOS	258	生
平均	42.8		2.50	47	15.4		133.1				
B群											
11	46	MI+TI	1.36	48	15	MVR+TAP	49	Y-G	LOS	7*	死
12	32	MSI+TI	2.23	43	15	MVR+TAP	57	Y-G	LOS	3*	死
13	41	MSI+TI	2.16	50	12	MVR+TAP	54	Y-G	LOS	139	生
14	47	MSI+TI	2.15	46	20	MVR+TAP	54	Y-G	LOS	115	生
15	53	MS+TI	2.57	43	8	MVR+TAP	57	Y-G	LOS	202	生
平均	43.8		2.09	46	14		54.2				
C群											
16	54	OMI+VSD	—	—	—	VSD閉鎖+ 心室瘤切除術	48	Y-G	LOS	29	生
17	57	OMI+LV aneu.	2.75	24	13	心室瘤切除術	19	Y-G	LOS	51	生
18	51	unstable angina	3.02	62	14	single A-C bypass	44	Y-G	Inf.	52	生
19	51	OMI+LV aneu.	2.23	25	35	心室瘤切除術	21	Y-G	LOS	88	死
20	60	OMI	2.39	42	13	double A-C bypass	60	Y-G	Inf.	411	遠隔死
平均	54.6		2.60				37.6				

の心筋保護不全や出血等の因子も含まれる。44例に使用し、24例(救命率55%)を救命した。

最近の詳細な記録を有する連続20例を分析してみた(表2)。

A 群: aortotomy⊕の弁膜症……………10例

B 群: aortotomy⊖の弁膜症……………5例

C 群: 虚血性心疾患……………5例

A群の特徴は大動脈遮断時間が平均133.1分と長く、Cardioplegia液の注入にまつわる空気栓塞等の perioperative myocardial infarction 等のために生じた LOS, ショック。

B群の特徴は術前からの CI の低値のものが多い。

C群の特徴は心室瘤に関しては低左室機能例であるが、大動脈遮断時間は19分、21分と短い。Aortocoronary bypass 例は術前の左室機能低下は、それほどでもないが、術中に発生した perioperative myocardial infarction により IABP を使用した。これらA～C群のうち、生存例の IABP 作動時間が $146.6 \pm 111.5$ 時間に対し、死亡例は $61.0 \pm 38.5$ 時間(体外循環離脱不能例を除く)と短い。A～C群の生存例と死亡例の作動中の血行動態を比較すると、

早期(平均8.7時間)、生存例で収縮期圧 $115.5 \pm 16.2$ mmHg, LA $19.8 \pm 4.9$ mmHg, CI $1.95 \pm 0.35$ l/min/M<sup>2</sup>, 死亡例で収縮期圧 $111.6 \pm 26.6$ mmHg, LA $25.8 \pm 6.7$ mmHg, CI $2.08 \pm 0.4$ l/min/M<sup>2</sup>であった。

24～48時間目(平均 $31.1 \pm 7.8$ 時間)、生存例で収縮期圧 $124 \pm 16.8$ mmHg, LA $20.3 \pm 4.7$ mmHg, CI $2.00 \pm 0.44$ l/min/M<sup>2</sup>に対し、死亡例では収縮期圧 $120.5 \pm 26.8$ mmHg, LA $26.5 \pm 4.8$ mmHg, CI $1.40 \pm 0.42$ l/min/M<sup>2</sup>であった。すなわち、死亡例ではCIが低く、LAが高値であった。

Norman ら<sup>9)</sup>も IABP を使用した12時間目の CI, SV Rにより重症度を3つに分けている。

Class A: CI>2.1l/min/M<sup>2</sup>, SVR<2, 100dynes·sec·cm<sup>-5</sup>。

Class B: CI<2.1l/min/M<sup>2</sup>, SVR>2, 100dynes·sec·cm<sup>-5</sup>。

Class C: CI<1.2l/min/M<sup>2</sup>, SVR>2, 100dynes·sec·cm<sup>-5</sup>。

死亡率はclass Aでゼロ, class Bで20%, class Cで100%と述べている。

#### D. IABP plus V-A bypass

Normanらの class C や右室不全も合併した症例は IABP のみでは予後不良であり、これらには V-A bypass や、さらに強力な補助循環が必要である。

教室では6例に IABP plus V-A bypass を施行した。いずれも体外循環からの離脱困難例であるため、ヘパリン使用により手術部から出血がみられ、これを吸引ポンプで人工心肺に帰属させて、バランスを保つ。この方法で1例のみが救命できた。

#### E. IABP plus 左心バイパス, PAD

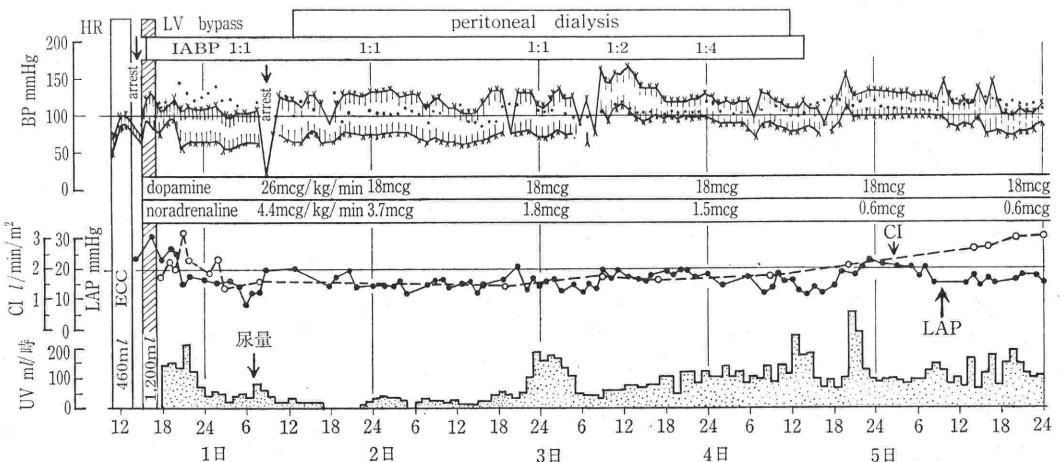


図 20. IABP plus 左心バイパスにて救命した1例

体外循環からの離脱困難例に右房あるいは大腿静脈から脱血し、動脈に心拍同期して送血し、Stable となるころ、IABP に移行させ、ヘパリンを中和する方法がある。

図20は大動脈弁置換術中に発生した Perioperative myocardial infarction によるショックに対し、左房→動脈バイパス (PAD による左心バイパス) に加え IABP を加え救命した1例を示す。

#### F. IPBP 等

IABP は左心不全に用いられるが、右心不全に対し、肺動脈内バルーンポンピング等の応用もある。Miller ら<sup>10)</sup>により臨床応用されている。田村・北村ら<sup>11)</sup>によると右心不全犬で肺動脈の systolic unloading, diastolic augmentation がみられるという。

#### 5. ま と め

重症心不全、ショックに対する補助循環は心臓

病救命の最大の目標のひとつである。本稿では IABP 等の比較的外科侵襲の少ない補助循環について解説した。

#### 文 献

- 1) Bregman, D. : Mechanical Support of the Failing Heart and Lungs. Appleton Century Crofts, 1977.
- 2) Litwak, R.S. *et al.* : *Ann. Thorac. Surg.* **21** : 191, 1976.
- 3) Peters, J.L. *et al.* : *Trans. Amer. Soc. Artif. Intern. Organs* **24** : 113, 1978.
- 4) 小柳 仁ほか : *人工臓器* **3** : 273, 1974.
- 5) Mouloupos, S.D. *et al.* : *Am. Heart J.* **63** : 669, 1962.
- 6) Kantrowitz, A. *et al.* : *JAMA* **203** : 113, 1968.
- 7) 遠藤真弘ほか : *呼吸と循環* **26** : 881, 1978.
- 8) 酒井 章 : *日本胸部外科学会誌* **25** : 123, 1977.
- 9) Norman, J.C. *et al.* : *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **74** : 709, 1977.
- 10) Miller, D.C. *et al.* : *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **80** : 760, 1980.
- 11) 田村栄稔ほか : *胸部外科* **34** : 867, 1981.