

①

単純低体温麻酔時における  
Intraaortic Balloon Pumping (IABP) に関する研究  
とくに循環動態について

大学院学生 木村幸博  
岩手医科大学医学部外科学第3講座 (主任 新津勝宏教授)



The effects of IABP on cardiovascular hemodynamics  
under simple deep hypothermia

Yukihiro Kimura  
Department of Surgery III,  
School of Medicine,  
Iwate Medical University, Morioka, Japan (Prof. K. Niitu)

英文抄録	．．．	(2枚	
本文	．．．	28枚	(文献を含む)
表説明	．．．	1枚	
附表	．．．	1枚	
附図	．．．	8枚	

## Abstract

The effects of intraaortic balloon pumping (IABP) on cardiovascular hemodynamics under simple deep hypothermia were investigated.

Twenty mongrel dogs were cooled to 20.0°C on esophageal temperature, and were rewarmed to 35.0°C by simple deep hypothermia. Hemodynamic parameters were measured at 2.5°C-intervals during cooling and rewarming. The dogs were divided into 2 groups, in one group IABP was used during hypothermia below 30.0°C, in another group IABP was not used.

There were no differences between the two groups at any temperature for heart rate (HR), mean aortic pressure (AP), mean pulmonary arterial pressure (PAP), mean right atrial pressure (RAP), cardiac index (CI), stroke volume index (SVI), pulmonary vascular resistance (PVR), or right and left work index



(RWI, LWI). With respect to systemic vascular resistance (SVR), the IABP group displayed higher values than those of the control group at every temperature except cooling and rewarming process from 25.0°C to 20.0°C ( $p < 0.05$ ).

The mean pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) in the IABP group was elevated at 32.5°C and 35.0°C in rewarming process ( $p < 0.05$ ).

As the results, the IABP group tended to develop cardiac failure during the last rewarming period. The inefficiency of IABP and the tendency for cardiac failure to occur may have been due to balloon catheter size, aortic wall compliance, low cardiac output at low body temperature, and sufficient coronary flow even at low temperature.

running title : I A B P 併用低体温麻酔の循環動態

key words : IABP, simple deep hypothermia,  
cardiovascular hemodynamics

## I . 緒 言

単純低体温法は小児開心術の補助手段として臨床に応用され優れた成績をあげている。単純低体温法は無血静止野が得られること、低侵襲性で術後管理が容易なこと、体外循環装置を必要とせず単純な冷却操作で手術ができることなどの利点がある。しかし循環遮断許容時間に制限があり、また病的心に一切の心機能を委ねなくてはならないことが欠点である<sup>1-3)</sup>。そして、複雑心奇形症例に手術適応を拡大するには20℃以下に体温を低下させ、循環遮断許容時間を延長させる必要がある。高度の体温低下を求めるとか極度の心不全症例に応用するとかのためには何らかの循環補助を行い、低体温麻酔中良好な循環を維持することが重要である。カテコールアミンは体温低下とともにその効果を減じ体温20度以下ではその有効性は期待できない<sup>4)</sup>。単純低体温法は多くの臨床成績、研究により現在20℃までは安定した循環動態が得られ、満足



すべき成績であるが、体温 $20^{\circ}\text{C}$ 以下では不整脈の発生、血圧低下をきたし、循環動態は不安定で実用的でない。

大動脈内バルーンポンピング法（以下IABP）はHarkenによってその原理が報告され、Kantrowitzによって心原性ショックの患者に初めて臨床応用された。現在の補助循環のなかでは最も簡便でかつ効果も大きいことから急速に普及し、経皮的なバルーンの挿入が可能となってからは日常的に使用されている<sup>5)</sup>。その効果は心収縮期に後負荷を減じ左室仕事量を軽減させること（systolic unloading）と、心拡張期に大動脈拡張期圧を上昇させて冠血流を増加させること（diastolic augmentation）とである。悪循環に陥った心筋代謝は改善し、心拍出量の増加が期待できる<sup>6)</sup>。

IABPの対象となる疾患はますます適応が拡大しつつあり、虚血性心疾患等による心原性ショック、開心術後の体外循環離脱困難例、低心拍出症候群を伴う弁膜症などに左心補助とし

て術前術後に応用され優れた成績をあげている。  
対象となる年齢は主として成人であるが、小児  
用バルーンの開発と駆動装置の改良により小児  
に対する I A B P 例も近年報告されるようにな  
った<sup>7-12)</sup>。

著者は I A B P を単純低体温法に併用すれば  
極度の心不全例にも良好な循環が維持できるで  
あらうと考えた。そこで低体温麻酔時における  
I A B P の循環動態に及ぼす影響を検討すべく  
実験を行った。I A B P 使用群と非使用群とで  
循環動態に差があるかどうかを、常温から 20℃  
までの冷却過程とその加温過程とで経時的に追  
求し、比較検討を行った。



## II . 実 験 対 象 並 び に 実 験 方 法

体 重  $8.7 \pm 1.2 \text{ kg}$  ( $\text{mean} \pm \text{S.D.}$ ) の 雑 種 成 犬 20 頭  
を 用 い て、岩 手 医 科 大 学 式 単 純 低 体 温 麻 酔 法 に  
よ り 氷 水 浸 漬 法 に て 体 温  $20^{\circ}\text{C}$  ま で 冷 却 し、次 に  
 $45^{\circ}\text{C}$  の 温 水 で 体 温  $35^{\circ}\text{C}$  ま で 復 温 さ せ た。I A B  
P 非 使 用 群 ( 単 純 低 体 温 法 の み、以 下 C 群 ) 10  
頭 と I A B P 併 用 群 ( 以 下 I 群 ) 10 頭 に つ き、  
循 環 動 態 を 比 較 検 討 し た。

硫 酸 ア ト ロ ピ ン  $0.2 \text{ mg}$  の 筋 注 後、塩 酸 ケ タ ミ  
ン  $10 \text{ mg/kg}$ 、thiamilal Na  $10 \text{ mg/kg}$  を 静 注 し て  
麻 酔 導 入 し た。pancuronium  $0.1 \text{ mg/kg}$  静 注 下  
に 人 工 呼 吸 器 ( ア コ マ 社 製 A R - 3 0 0 ) に つ  
な ぎ、麻 酔 全 経 過 中、人 工 呼 吸 を 行 っ た。温 度  
補 正 し た  $\text{PaCO}_2$  値 が  $35-40 \text{ mmHg}$  に 維 持 さ れ る よ う  
に 体 温 の 変 化 に 応 じ て 換 気 量 を 調 節 し た。補 液  
は 生 理 食 塩 水 を 全 経 過 中  $5 \text{ cc/kg/hour}$  投 与 し た。

右 房 圧 測 定 用 カ テ ー テ ル を 左 大 腿 静 脈 か ら、  
肺 動 脈 楔 入 圧、肺 動 脈 圧 測 定 用 の ウ エ ッ ジ バ ル  
ー ン カ テ ー テ ル ( C A T E X 社 製 J C 2 1 3 5 F r ) を 右 大

腿静脈から、また動脈圧測定用のカテーテルを左総頸動脈からそれぞれ挿入留置した。それぞれのカテーテルを日本光電社製血圧測定用アンブ（AP-641G）に接続して圧測定を行った。胸骨縦切開し、上行大動脈基部に電磁流量計プローブ（FB-160T径12mm）を装着し日本光電社製MFV-3200に接続して心拍出量を測定した。

全経過を通じ昇圧剤（DOA、DOBなどのカテコラミン等）は使用しなかった。また必要に応じ炭酸水素ナトリウムを投与した。最低体温での循環遮断は行わなかった。IABP使用群は右大腿動脈よりIABP用バルーン

（Datascop社製Intra-Aortic Balloon 7.0cc）を挿入し、駆動装置（AVCO社製model-10）に接続した。冷却過程体温30℃より最低体温まで、さらに最低体温より加温過程体温30℃までの間、IABPを心拍に対し1：1にて駆動させたが、その前後では8：1で駆動させた。



## 測定項目及び時期

測定項目は心拍数 (beat/min)、動脈圧 (mmHg)、肺動脈圧 (mmHg)、肺動脈楔入圧 (mmHg)、右房圧 (mmHg)、心拍出量 (l/min) である。これらをもとに次のパラメーターを算出した。

- 1) 心係数  $CI$  ( $l/min/m^2$ )

$$CI = CO / BSA$$

( $BSA = 0.11 \times \text{体重}^{2/3}$  として算出)

- 2) 一回拍出量指数  $SVI$

$$SVI = CI / HR \quad (ml/beat/m^2)$$

- 3) 体血管抵抗  $SVR$

$$(\text{dyne} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-5} / m^2)$$

$$SVR = (MAP - mRAP) \times 79.92 / CI$$

- 4) 肺血管抵抗  $PVR$

$$(\text{dyne} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-5} / m^2)$$

$$PVR = (mPAP - mPCWP) \times 79.92 / CI$$

- 5) 左室分時仕事量指数  $LWI$

$$(kg \cdot m / m^2)$$

$$LWI = (MAP - mPCWP) \times CI \times 0.0136$$

6) 右室分時仕事量指数 RWI

(kg · m / m<sup>2</sup>)

$$RWI = (mPAP - mRAP) \times CI \times 0.0136$$

測定時期は冷却過程では体温35℃から20℃まで2.5℃毎に、また加温過程も2.5℃毎に体温35℃までの各体温で計13回である。



### Ⅲ . 結 果

#### 1 ) 血 圧 曲 線

I 群では拡張期に diastolic augmentation の圧波形が得られた。しかし全経過を通じ diastolic augmentation による圧が収縮期圧を越えることはなかった。(図 2)

#### 2 ) 心 拍 数

両群とも冷却の進行とともに徐脈となり、また加温の進行とともに頻脈となり最低体温を底とする鏡像形に経過した。全経過を通じ各温度で C 群, I 群間に有意差はなかった。

#### 3 ) 平 均 動 脈 圧

両群とも冷却により低下し加温により上昇し、最低体温を底とする鏡像形となった。各温度にて C 群, I 群間に有意差はなかった。

#### 4 ) 肺 動 脈 圧

冷却過程より最低体温までは両群とも徐々に低下し、最低体温で最低値をとった。加温過程では C 群はゆっくりと上昇し鏡像形を示したが、

I 群では最低体温から 25℃までの間は急上昇し、その後はゆっくりと上昇した。しかし各温度で両群間に有意差はなかった。

#### 5) 平均右房圧

両群とも冷却過程はゆっくりと低下した。C 群は加温過程体温 22.5℃にて最大値  $9.1 \pm 3.6$  mmHg をとった後は 8.3 mmHg 前後とほぼ一定した値をとったが、I 群は加温過程体温 25℃にて最大値  $10.1 \pm 4.7$  mmHg をとった後 27.5℃より 35℃までの間は 8.2 mmHg 前後のほぼ一定した値をとった。各温度で両群間に有意差はなかった。

#### 6) 平均肺動脈楔入圧

両群とも冷却により徐々に上昇し、C 群は加温過程体温 22.5℃にて最大値  $12.1 \pm 5.1$  mmHg をとった後、徐々に低下した。I 群は加温過程体温 22.5℃にて  $12.1 \pm 3.3$  mmHg となりその後ほぼ一定した値をとった。加温過程体温 32.5℃及び 35.0℃では I 群が高値となり、有意差 ( $p < 0.05$ ) を認めた。

#### 7) 心係数



冷却過程では両群ともに低下し最低体温で最低値をとった。加温により上昇し鏡像形を示した。各温度にて両群間に有意差はなかった。

#### 8) 一回心拍出量指数

両群とも低体温になるにしたがい若干増加し、加温過程体温  $22.5^{\circ}\text{C}$  にてそれぞれ最大値をとり復温するにつれ低下する傾向があったが、各温度間での有意差はなかった。また各温度で両群間に有意差も認めなかった。(図4)

#### 9) 体血管抵抗

冷却過程体温  $35^{\circ}\text{C}$  ではC群, I群それぞれ  $2057 \pm 205$ 、 $2802 \pm 340 \text{ dyne/sec/cm}^{-5}/\text{m}^2$  で、以後C群, I群ともに冷却、加温過程にて大きな変動はみられなかった。全経過を通じI群はC群よりも高値であった。冷却過程体温  $35^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.005$ )、 $32.5^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.01$ )、 $30^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.05$ )、 $27.5^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.05$ )及び加温過程体温  $27.5^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.05$ )、 $30^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.01$ )、 $32.5^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.005$ )、 $35^{\circ}\text{C}$  ( $p < 0.005$ )で有意差を認めた。(図5)

#### 10) 肺血管抵抗

C 群、I 群それぞれ冷却過程、加温過程とも大きな変動なく経過した。各温度で両群間に有意差はなかった。

#### 11) 左室分時仕事量

両群とも冷却過程では低下し最低体温で最低値をとり加温により上昇した。各温度で両群間に有意差はなかった。

#### 12) 右室分時仕事量

C 群、I 群それぞれ冷却により低下し最低体温で最低値をとり加温により上昇し、鏡像形となった。各温度で両群間に有意差はなかった。

#### 13) まとめ

I A B P を使用しても右心循環動態には影響を与えなかった。また動脈圧、心係数、一回心拍出量指数、分時仕事量にも変化が見られなかった。体血管抵抗は全経過を通じ C 群よりも I 群のほうが高値であり、また肺動脈楔入圧は加温過程の最後で I 群が高値を示した。



#### IV . 考 察

1 . I A B P を使用した群の動脈圧波形をみると（図2）、臨床で使ったときのような顕著な diastolic augmentation や systolic unloading の圧波形が認められなかった。これら圧波形は I A B P が正確に作動していることの必要条件であるが<sup>6)</sup>、これらの出現しなかった原因について I A B P 機器及びバルーンの問題、大動脈壁コンプライアンスの高いこと、低体温における心拍出量の低下と3つの原因が考えられたので、それぞれについて考察した。

##### 1-1) バルーン及びカテーテルについて

我々の実験で使ったバルーンは人間の小児用として開発されたものである。バルーンの容量は7.0cc、外径は9mm、長さ142mm、カテーテル部外径は5.5Frのものを用了。Holly Webster<sup>11)</sup>は小児におけるバルーンの容量について図6に示す計算式を提唱している。もし低体温でもその計算式を当てはめることができるのな

らば、体重 10 kg で計算してみると 35℃ では 4.4 cc であったものが 20℃ では 6.9 cc となり、適当とされるバルーンの容量は低温になるにつれ大きくなる。臨床的には一回心拍出量と同じバルーン容積であれば理想的とされている<sup>12)</sup>。犬の場合一回心拍出量は 5～10 cc であり 7.0 cc というサイズは適当と思われる。新生児、幼小児では成人とは異なる特有の大動脈形態であるためバルーンはその年齢に見合った太くて短いものの選択が必要である。Fukumasu ら<sup>13)</sup>は小児専用バルーンの開発により有効な圧波形が得られたと報告している。

カテーテルに関して幼小児に使用する場合、挿入部の動脈の太さを考えると細い方がよい。しかし細くて長いほど気体の流入抵抗値は増すためバルーンの deflate, inflate に時間がかかり、圧波形はなだらかになる。このバルーン容量の  $dv/dt$  の低下により有効な diastolic augmentation や systolic unloading が得られなくなる可能性が高い。その分 I A B P 駆動



装置の改良が必要で、現在SMEC社製の装置を用いることで、そのハードウェア的特徴から細いカテーテルでも充分IABPが可能とされている<sup>15)</sup>が、今回の実験はAVCO社製model-10を使用したためにIABPの効果が不十分であった可能性もある。

今回の実験ではIABP使用群すべての温度にて体血管抵抗の上昇を認めた。(図5)バルーン収縮時の容積が関係していると思われる。体血管抵抗の上昇は心臓に後負荷をかけ、同じ動脈圧を出すためには心臓はそれだけ多くの仕事をしなければならない。IABP群では肺動脈楔入圧の上昇も加温過程の最後の方で認めた。バルーン自体の容積のために後負荷がかかり、心不全傾向になったのではないかと思われる。

#### 1-2) 大動脈壁コンプライアンスについて

丸山ら<sup>16)</sup>はIABP使用下での成人の大動脈圧波形の解析を行い血圧の上昇とともにコンプライアンスは減少し、また平均圧80mmHg以下ではコンプライアンス値の変化は大きいことを

報告している。また Megermanら<sup>17)</sup>の犬や牛を使用した報告では血圧の低下に伴い compliance は非直線的に上昇するとしている。単純低体温法では低温になるにしたがい平均動脈圧は直線的に減少するので低温状態では更にコンプライアンスが大きくなることが予想され、I A B P の効果が出にくいと考えた。

近年は小児の重症心不全、術後 L O S などにも I A B P の適応が拡大され、臨床に使用されている<sup>7-13)</sup>。しかし成人で見られる systolic pressure を上回る diastolic augmentation の圧波形が得られない例が多く、やや高いかそれ以下の場合はほとんどである。この原因については幼少児の大血管のコンプライアンスが高いことが言われている<sup>7, 18)</sup>。本実験ではカテコールアミンは一切使用しなかった。1例だけ noradrenalin を  $3.0 \mu\text{g/kg/min}$  使用し大動脈壁コンプライアンスを低下させてみたが心拍数は上昇したが diastolic augmentation は若干上昇するのみで、noradrenalin 使用の効果



は小さかった。(図7)

### 1-3) 大動脈血流量について

I A B P は血液そのものを拍出する機能はなくその心補助効果は正常心の15~20%が限界とされている<sup>5)</sup>。またI A B Pの効果を出すにはある一定以上の心拍出量が必要である。当科の経験例ではあるが53才女性で僧帽弁置換術を行い術後LOSとなり補助循環にI A B Pの他に両心バイパスによる流量補助を行った例を参考にすると流量1.5 l/minの補助ではほとんど効果がなかったが、1.9 l/minにあげることで著明な diastolic augmentation と systolic unloading が得られた(図8)。実際の臨床では心係数が1.8以上2.2 l/min/m<sup>2</sup>以下がI A B Pの適応とされ、1.8 l/min/m<sup>2</sup>以下または血圧50 mmHg以下ではI A B Pの有効性は乏しく他のassist deviceの併用を検討しなくてはならないとされている<sup>19, 20)</sup>。幼少児でもPollockら<sup>7)</sup>は有効な diastolic augmentation を得るには十分な拍出量が必要だと報告し、同

様に Bernhard<sup>21)</sup>も一定以上の心拍出量が I A B P 成功に重要と考えられると報告している。

しかし低体温麻酔では低温になるにしたがい心拍出量，血圧，心拍数は生理的に低下してくる。著者の実験では 27.5℃ 付近での心係数は 1.8 l/min/m<sup>2</sup> 以下となり最低体温では約 1.0

l/min/m<sup>2</sup> であった。体温低下にともなう心拍出量の低下は I A B P の効果を期待できないと考えた。

## 2. I A B P の低体温麻酔法への適応について

I A B P はその効果が安定するには時間が必要である。原田ら<sup>22, 23)</sup>は急性心筋梗塞に合併した心原性ショックに対し I A B P の効果について検討している。それによると I A B P 開始後約 3 時間で血行動態各値の改善が始まり，最大の効果が出るのは 24-48 時間と報告している。また 維田<sup>14)</sup>は心筋梗塞後の患者に I A B P を使用し，心係数は I A B P 開始後 6 時間まで一時的に減少，一回心拍出量は I A B P 後 12 時



間まで不変，心仕事係数はI A B P後12時間まで減少傾向を認めたと報告している。然るに低体温麻酔の冷却過程では25-30分の間に体温は5℃低下する。体温の低下とともに短時間に心拍数，血圧，心拍出量は直線的に低下する。I A B Pの効果が安定しないうちに心機能の各パラメーターが激しく変動してしまいI A B Pの効果が時間的に充分出にくかったとも考えられる。

さらにI A B Pは正常な心臓に対し行っても心機能に影響を与えない。大平ら<sup>24)</sup>は正常犬に対しI A B Pの効果を調べたところ左心補助効果は10%程度だったのに対し，梗塞犬ではその効果は著明であったと報告している。I A B Pは冠血流の低下した症例には有効であるが冠血流量が正常の場合さらにその流量を増加させても心機能自体に影響を与えないと考えられる。佐藤ら<sup>25-27)</sup>は単純低体温麻酔下での冠血流量は心筋酸素消費量と高い相関を示し，心拍出量に占める冠血流量の割合は体温によらず一定で

あり， $20^{\circ}\text{C}$  付近でも心拍出量と冠血流量のホメオスターシスは保たれていると述べている。安定した低体温麻酔下では $20^{\circ}\text{C}$  付近でもその体温に見合った十分な血液量が流れているので，さらに I A B P を用いて冠血流を増やしても循環動態には影響を与えないと考えられる。

### 3. 体温を安全に $20^{\circ}\text{C}$ 以下とするために

本実験ではエーテルの十分な吸入及びトリフルプロマジンの投与<sup>2, 28)</sup>により寒冷反応は防止できたため体血管抵抗は温度変化により変動しなかった。抵抗が一定ならば血圧は心拍出量と相関関係にあるといえ，十分な血圧を出すためには十分な心拍出量が必要である。一回心拍出量は従来全経過を通じ一定であると言われてるが<sup>29)</sup>、著者の実験では有意差は認められなかったが低温時には若干増加するようである。

(図4) 一回心拍出量は低下しないので十分な心拍出量を得るには十分な心拍数が必要である。心拍数維持のためカテコールアミンを投与して



も 20℃ 付近の超低体温では心拍数の増加がみられないばかりか心室細動の促進因子となるので可及的に避けるべきである。岡田ら<sup>4)</sup>は心拍数維持に心房ペーシングが有用であることを述べている。ペースメーカーを使用する際は、低温状態では不応期が延長しているのでその体温における心拍数の期待値<sup>3 1)</sup>以上に心拍数を上げようとしてもペーシングの反応が得られないこと、また刺激閾値が上昇していることに注意しなければならない。

心室細動や *torsade de pointes* といった致死的不整脈を防止することも大切である。低体温における不整脈発生の原因は刺激伝導系の抑制とともに心筋の被刺激性が高まるため、交感神経系の活動の亢進、電解質バランスの異常などがいわれている。エーテルを使用することで不整脈の発生を低下させることができる<sup>3 2)</sup>。

## 結 語

1 . 動物実験にて I A B P を併用したエーテル単純低体温法をおこない循環動態を測定した。良好な結果は得られず，むしろ I A B P を使用することにより心不全状態を引き起こす可能性があった。

2 . その原因には以下のいくつかが考えられた。

1 ) バルーンサイズが大血管の太さに比して適当であったか，

2 ) カテーテル内腔が細いことのためバルーンの拡張、収縮に気体抵抗があること、および I A B P 駆動装置の問題，

3 ) 低温状態で血圧が低下している場合、血管のコンプライアンスが増加すること，

4 ) 低体温では心拍出量は低下するが，ある一定以上の大動脈内血流量がないと I A B P の効果が期待できないこと，

5 ) 低温でも冠血流量はその温度に見合った量が維持されているためさらに増加させても心



機能の上昇は期待できないこと。

3. 20℃以下まで安全に冷却するためには全身の要求するある一定以上の心拍出量を維持する必要がある。また一回心拍出量指数は低温でも低下しないことから心拍出量を増加させるには心拍数の増加を図るべきである。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり直接ご指導をいただきました岩手医科大学第三外科教室浜田洋一郎助教授、岩手医科大学麻醉科学教室涌澤玲児教授、岡田一敏助教授、実験に協力して頂いた千葉覚学兄に深謝するとともに教室員各位のご協力に感謝いたします。



## 文 献

- 1) 新津勝宏：低体温法 外科領域における応用．手術 27, 1062-1067, 1973.
- 2) 涌澤玲児，岡田一敏：低体温麻酔．新外科学体系 3 . pp. 149-166, 中山書店，東京，1989.
- 3) Gollan, F. : Physiology of deep hypothermia by total body perfusion. Ann. NY. Acad. Sci. 80, 301-314, 1959.
- 4) 岡田一敏：単純低体温麻酔と循環．循環制御 4, 405-412, 1983.
- 5) 西田 博：心不全に対する循環補助機器とその適応．Medical Practice 8, 1205-1208, 1991.
- 6) 阿久根淳：I A B P の適応限界の決定因子．循環器科 16, 537-539, 1984.
- 7) Pollock, J. C. , Charlton, C. , Williams, W. G. , et al. : Intraaortic Balloon Pumping in Children. Ann. Thorac. Surg. 29, 522-528, 1980.

- 8) Veasy, L. G. , Blalock, R. C. , Orth, J. L. ,  
et al. : Intraaortic balloon pumping in infants  
and children. Circulation 68, 1095-1100, 1983.
- 9) 岡林均, 廣瀬 光, 荻野 均, 他: 小児に対する  
I A B P の適応とその問題点. 人工臓器 18,  
495-498, 1989.
- 10) 近江三喜男, 古川昭一, 森 文樹, 他: 幼児開心  
術後の重篤な心不全に対する I A B P の使用経験.  
胸部外科 36, 57-60, 1983.
- 11) Webster, H. , Veasy, L. G. : Intra-aortic  
balloon pumping in children. Heart Lung 14,  
548-555, 1985.
- 12) 岡本好史, 伴 敏彦, 野本慎一, 他: 小児期の I  
A B P . 人工臓器 14, 1159-1161, 1985.
- 13) Fukumasu, H. , Tatsuta, N. , Okamoto, Y. ,  
et al. : Intraaortic Balloon Pumping in Infants.  
日外宝函 55, 561-572, 1986.
- 14) 維田隆夫: 急性心筋梗塞による心原性ショックに  
対する intraaortic balloon pumping の効果に関する  
臨床的検討. 日胸外会誌. 29, 8-25, 1981.



- 15) 松田光彦, 平田和男, 西村和修, 他: 補助循環の臨床 - I A B P 不成功例の検討. 人工臓器 14, 1173-1176, 1985.
- 16) 丸山俊之, 荒井裕国, Beh, C. K., 他: I A B P 使用下における大動脈圧波形の解析. 人工臓器 17, 956-959, 1988.
- 17) Megerman, J., Hasson, J. E., Warnock, D. F. et al.: Noninvasive measurements of nonlinear arterial elasticity. Amer. J. Physiol. 250, H181-H188, 1986.
- 18) Hollander, P. B., Webb, J. L.: Cellular membrane potentials and contractility of normal rat atrium and the effects of temperature, tension and stimulus. Circulation Reserch 3, 604-612, 1955.
- 19) 上田睦, 田中明彦, 前川功二, 他: I A B P 40 症例の検討. 循環器科 16, 563-565, 1984.
- 20) 前田肇, 筒井達夫, 酒井章, 他: 動脈圧からみた I A B P の適応限界. 循環器科 16, 540-543, 1984.

- 21) Bernhard, W. F. , LaFarge, C. G. , Liss, R. H, et al. : An appraisal of blood trauma and the blood prosthetic interface during left ventricular bypass in the calf and humans. Ann. Thorac. Surg. 26, 427-437, 1978.
- 22) 原田 厚, 山内 茂生, 維田 隆夫, 他: I A B P の効果と限界. 循環器科 16, 517-519, 1984.
- 23) 原田 厚: 急性心筋梗塞に合併した心原性ショックにおける intraaortic balloon pumping ( I A B P ) の効果と限界に関する臨床的検討. 日胸外会誌. 36, 167-178, 1988.
- 24) 大平 政人: 大動脈内バルーンポンピングの心機能に及ぼす影響. 日胸外会誌. 29, 1646-1659, 1981.
- 25) 佐藤 朗: 単純低体温麻酔時における冠血流量と心筋酸素消費量について. 麻酔 34, 1194-1202, 1985.



- 26) 小川晃史, 水野啓之, 川村隆枝, 他: PGI<sub>2</sub>アナログ (OP-41483) 併用単純低体温麻酔時の循環動態および心筋代謝に対する検討. 麻酔 38, 1444-1455, 1989.
- 27) 坂田正策: GOFおよびNLA麻酔下における単純超低体温の体および冠循環動態ならびに心筋代謝に及ぼす影響. 麻酔 28, 245-257, 1979.
- 28) 松井秀明: 自律神経遮断薬併用単純低体温麻酔の循環動態について. 麻酔 29, 999-1007, 1980.
- 29) 岡田 弘: 単純低体温麻酔時の循環動態の研究. 麻酔 29, 888-897, 1980.
- 30) 佐野 彰: 単純超低体温麻酔時の心室細動発生に関する研究. 日胸外会誌. 28, 36-47, 1980.
- 31) 岡田一敏, 涌澤玲児: 低体温麻酔における循環定量法の提案. 臨床麻酔 11, 115-118, 1987.
- 32) 深津修, 藤原孝憲, 小杉 功, 他: 低体温麻酔と麻酔薬に関する研究. 麻酔 37, 1074-1082, 1988.

## 図説明

図1：実験プロトコール

図2：I A B P使用群と非使用群との血圧波形の比較

図3：肺動脈楔入圧の変化

図4：一回拍出量指数の変化

図5：体血管抵抗の変化

図6：バルーン容積の計算式

C I：心係数，B S A：体表面積，H R：心拍数

図7：ノルアドレナリン使用との比較

図8：補助される流量による血圧波形の変化



体 温 [°C]		35.0
HR [beats/min]	IABP	171.4±22.2
	%	98.6
	control	169.7±11.7
	%	93.3
AP [mmHg]	IABP	116.7±24.7
	%	120.9
	control	97.0±22.5
	%	111.5
PA [mmHg]	IABP	22.6±5.8
	%	113.6
	control	19.0±4.7
	%	105.6
RA [mmHg]	IABP	8.2±2.3
	%	141.4
	control	8.1±3.7
	%	162.0
PCWP [mmHg]	IABP	12.7±4.1
	%	147.7
	control	9.1±3.7
	%	130.0
CI [l/min/m <sup>2</sup> ]	IABP	2.91±0.85
	%	103.2
	control	3.27±0.82
	%	109.4
SVI [ml/beat/m <sup>2</sup> ]	IABP	17.0±6.7
	%	107.6
	control	19.5±5.6
	%	119.6
SVR [dyne.sec.cm-5/m <sup>2</sup> ]	IABP	3223±855
	%	115.0
	control	2146±190
	%	104.3
PVR [dyne.sec.cm-5/m <sup>2</sup> ]	IABP	285±154
	%	92.8
	control	258±90
	%	87.2
LWI [kg.m/m <sup>2</sup> ]	IABP	4.24±1.51
	%	124.3
	control	4.08±1.90
	%	121.1
RWI [kg.m/m <sup>2</sup> ]	IABP	0.58±0.31
	%	105.5
	control	0.48±0.12
	%	92.3
		mean±sd

入压,  
 時仕事量指数,



# 循環動

		冷却過程							
体温 [°C]		35.0	32.5	30.0	27.5	25.0	22.5	20.0	22.5
HR [beats/min]	IABP	173.8±30.2	150.3±28.0	127.3±21.2	100.0±15.9	69.6±15.0	53.1±10.5	40.3±11.0	63.2±9.9
	%	100	86.5	73.2	57.5	40.0	30.6	23.2	36.4
	control	181.8±27.1	152.8±18.6	128.2±14.3	102.4±13.4	74.9±13.8	57.0±13.8	44.8±11.0	61.0±15.2
AP [mmHg]	IABP	96.5±28.0	88.8±27.2	79.6±31.1	76.3±29.6	65.3±29.1	52.5±22.5	36.8±15.1	59.4±28.1
	%	100	92.0	82.5	79.1	67.7	54.4	38.1	61.6
	control	87.0±27.3	77.1±26.2	68.5±26.3	67.4±25.8	58.8±30.1	48.0±26.8	34.1±21.1	51.5±25.3
PA [mmHg]	IABP	19.9±6.9	19.8±6.8	18.1±6.9	17.1±6.4	17.1±6.4	15.6±5.3	12.8±4.1	18.1±4.3
	%	100	99.5	91.0	85.9	85.9	78.4	64.3	91.0
	control	18.0±4.5	19.3±3.3	18.8±3.8	18.9±3.9	17.1±3.8	15.4±4.3	14.5±5.3	16.9±4.5
RA [mmHg]	IABP	5.8±4.1	6.4±4.5	6.3±4.3	6.1±4.1	6.6±4.3	6.9±3.9	7.0±3.5	9.1±2.7
	%	100	110.3	108.6	105.2	113.8	119.0	120.7	156.9
	control	5.0±2.4	5.9±2.7	5.9±3.3	6.7±3.4	7.2±3.6	7.6±4.4	7.6±4.8	9.1±3.5
PCWP [mmHg]	IABP	8.6±4.5	8.2±4.8	9.1±5.5	8.8±5.3	10.1±4.9	10.2±5.0	8.6±3.6	12.1±3.3
	%	100	95.3	105.8	102.3	117.4	118.6	100.0	140.7
	control	7.0±1.6	8.1±2.1	8.4±2.8	10.1±3.7	10.3±4.1	10.2±4.3	10.1±4.0	12.1±5.1
CI [l/min/m <sup>2</sup> ]	IABP	2.82±0.70	2.92±0.98	2.24±1.03	1.95±0.75	1.46±0.61	1.22±0.46	0.91±0.21	1.49±0.45
	%	100	103.5	79.4	69.1	51.8	43.3	32.3	52.8
	control	2.99±0.43	2.82±0.41	2.52±0.70	2.38±0.64	1.93±0.74	1.60±0.78	1.10±0.39	1.63±0.43
SVI [ml/beat/m <sup>2</sup> ]	IABP	15.8±4.6	18.8±6.6	16.0±6.3	18.5±6.7	19.6±8.1	20.6±6.1	22.8±8.1	23.2±6.7
	%	100	119.0	101.3	117.1	124.1	130.4	144.3	146.8
	control	16.3±2.5	18.4±2.7	18.7±3.9	22.1±4.3	24.3±7.6	23.9±8.0	24.1±8.6	27.7±7.4
SVR [dyne.sec.cm-5/m <sup>2</sup> ]	IABP	2802±340	2533±585	3016±1087	3256±1394	3187±731	2666±663	2583±717	2611±714
	%	100	90.4	107.6	116.2	113.7	95.1	92.2	93.2
	control	2057±205	1868±268	1898±274	1942±265	2020±487	1851±496	1715±874	1950±745
PVR [dyne.sec.cm-5/m <sup>2</sup> ]	IABP	307±126	326±148	338±179	347±154	392±175	326±113	332±154	320±125
	%	100	106.2	110.1	113.0	127.7	106.2	108.1	104.2
	control	296±105	308±66	345±112	306±120	300±148	300±190	295±266	241±125
LWI [kg.m/m <sup>2</sup> ]	IABP	3.41±1.45	3.27±1.55	2.30±1.54	1.88±1.16	1.19±0.94	0.76±0.56	0.36±0.21	1.07±0.78
	%	100	95.9	67.4	55.1	34.9	22.3	10.6	31.4
	control	3.37±1.74	2.75±1.51	2.27±1.90	2.05±1.75	1.54±1.89	1.09±1.38	0.45±0.51	0.95±0.64
RWI [kg.m/m <sup>2</sup> ]	IABP	0.55±0.25	0.53±0.23	0.37±0.23	0.30±0.16	0.21±0.11	0.15±0.09	0.08±0.04	0.19±0.13
	%	100	96.4	67.3	54.5	38.2	27.3	14.5	34.5
	control	0.52±0.15	0.50±0.11	0.44±0.14	0.37±0.11	0.25±0.09	0.18±0.10	0.11±0.06	0.16±0.12
	IABP	100	96.2	84.6	71.2	48.1	34.6	21.2	30.8
	%								
	control								

HR:心拍数, AP:平均動脈圧, PA  
CI:心係数, SVI:一回拍出量指数  
RWI:右室分時仕事量指数 IABP:



# 循環動態

			加溫過程						
			20.0	22.5	25.0	27.5	30.0	32.5	35.0
5.9	69.6±15.0	53.1±10.5	40.3±11.0	63.2±9.9	83.4±12.7	112.1±15.7	137.4±10.4	157.8±16.4	171.4±22.2
6	40.0	30.6	23.2	36.4	48.0	64.5	79.1	90.8	98.6
13.4	74.9±13.8	57.0±13.8	44.8±11.0	61.0±15.2	94.6±24.0	116.8±24.5	137.5±21.5	158.6±17.6	169.7±11.7
6	41.2	31.4	24.6	33.6	52.0	64.2	75.6	87.2	93.3
9.6	65.3±29.1	52.5±22.5	36.8±15.1	59.4±28.1	69.0±28.2	80.6±27.7	93.6±22.6	108.4±24.1	116.7±24.7
6	67.7	54.4	38.1	61.6	71.5	83.5	97.0	112.3	120.9
5.8	58.8±30.1	48.0±26.8	34.1±21.1	51.5±25.3	64.1±20.8	79.7±21.4	91.2±22.3	98.4±17.4	97.0±22.5
5	67.6	55.2	39.2	59.2	73.7	91.6	104.8	113.1	111.5
6.4	17.1±6.4	15.6±5.3	12.8±4.1	18.1±4.3	21.0±6.1	21.3±5.3	22.5±6.7	22.2±6.6	22.6±5.8
9	85.9	78.4	64.3	91.0	105.5	107.0	113.1	111.6	113.6
3.9	17.1±3.8	15.4±4.3	14.5±5.3	16.9±4.5	18.2±4.1	19.3±4.8	20.5±5.3	21.0±4.5	19.0±4.7
0	95.0	85.6	80.6	93.9	101.1	107.2	113.9	116.7	105.6
4.1	6.6±4.3	6.9±3.9	7.0±3.5	9.1±2.7	10.1±4.7	8.2±2.5	8.1±2.5	8.5±3.1	8.2±2.3
2	113.8	119.0	120.7	156.9	172.4	141.4	139.7	146.6	141.4
3.4	7.2±3.6	7.6±4.4	7.6±4.8	9.1±3.5	8.3±3.4	8.1±3.7	8.2±4.2	8.8±3.2	8.1±3.7
0	144.0	152.0	152.0	182.0	166.0	162.0	164.0	176.0	162.0
5.3	10.1±4.9	10.2±5.0	8.6±3.6	12.1±3.3	12.1±4.0	12.9±2.9	12.3±4.2	11.9±4.7	12.7±4.1
3	117.4	118.6	100.0	140.7	140.7	150.0	143.0	138.4	147.7
3.7	10.3±4.1	10.2±4.3	10.1±4.0	12.1±5.1	11.3±4.9	10.8±4.6	10.1±4.4	9.3±2.5	9.1±3.7
3	147.1	145.7	144.3	172.9	161.4	154.3	144.3	132.9	130.0
0.75	1.46±0.61	1.22±0.46	0.91±0.21	1.49±0.45	1.72±0.56	2.01±0.60	2.31±0.68	2.65±0.90	2.91±0.85
1	51.8	43.3	32.3	52.8	61.0	71.3	81.9	94.0	103.2
0.64	1.93±0.74	1.60±0.78	1.10±0.39	1.63±0.43	2.05±0.25	2.64±0.52	3.18±0.50	3.47±0.38	3.27±0.82
6	64.5	53.5	36.8	54.5	68.6	88.3	106.4	116.1	109.4
6.7	19.6±8.1	20.6±6.1	22.8±8.1	23.2±6.7	19.8±5.4	17.7±5.3	16.2±4.7	16.5±6.8	17.0±6.7
1	124.1	130.4	144.3	146.8	125.3	112.0	102.5	104.4	107.6
4.3	24.3±7.6	23.9±8.0	24.1±8.6	27.7±7.4	22.9±6.3	22.5±5.7	23.3±4.0	22.6±2.4	19.5±5.6
6	149.1	146.6	147.9	169.9	140.5	138.0	142.9	138.7	119.6
1394	3187±731	2666±663	2583±717	2611±714	2676±868	2893±726	3126±614	3402±1068	3223±855
2	113.7	95.1	92.2	93.2	95.5	103.2	111.6	121.4	115.0
265	2020±487	1851±496	1715±874	1950±745	1970±543	2114±474	1993±322	1953±139	2146±190
4	98.2	90.0	83.4	94.8	95.8	102.8	96.9	94.9	104.3
154	392±175	326±113	332±154	320±125	442±263	340±146	384±185	352±180	285±154
0	127.7	106.2	108.1	104.2	144.0	110.7	125.1	114.7	92.8
120	300±148	300±190	295±266	241±125	292±185	279±137	262±126	264±94	258±90
4	101.4	101.4	99.7	81.4	98.6	94.3	88.5	89.2	87.2
1.16	1.19±0.94	0.76±0.56	0.36±0.21	1.07±0.78	1.47±0.97	1.99±1.16	2.67±1.18	3.59±1.50	4.24±1.51
1	34.9	22.3	10.6	31.4	43.1	58.4	78.3	105.3	124.3
1.75	1.54±1.89	1.09±1.38	0.45±0.51	0.95±0.64	1.52±0.67	2.59±1.28	3.61±1.40	4.23±1.00	4.08±1.90
8	45.7	32.3	13.4	28.2	45.1	76.9	107.1	125.5	121.1
0.16	0.21±0.11	0.15±0.09	0.08±0.04	0.19±0.13	0.28±0.19	0.37±0.24	0.47±0.28	0.50±0.32	0.58±0.31
5	38.2	27.3	14.5	34.5	50.9	67.3	85.5	90.9	105.5
0.11	0.25±0.09	0.18±0.10	0.11±0.06	0.16±0.12	0.26±0.09	0.39±0.14	0.50±0.18	0.55±0.12	0.48±0.12
2	48.1	34.6	21.2	30.8	50.0	75.0	96.2	105.8	92.3

mean±sd

HR:心拍數, AP:平均動脈壓, PA:平均肺動脈壓, RA:平均右房壓, PCWP:平均肺動脈楔入壓,  
CI:心係數, SVI:一回拍出量指數, SVR:體血管抵抗, PVR:肺血管抵抗, LWI:左室分時仕事量指數,  
RWI:右室分時仕事量指數 I ABP: I ABP使用群, control: I ABP非使用群

表 1



# プロトコール

ハイドロコルチゾン 10mg/kg i.v.  
 トリフルプロマジン 1.5mg/kg i.m.  
 ヘパリン 0.1cc/kg i.v.



生理食塩水 5cc/kg/hour

デキストラン 10cc/kg

エーテル 3cc/kg

冷却

加温

8 : 1

I A B P 1 : 1

8 : 1

35

30

25

20

25

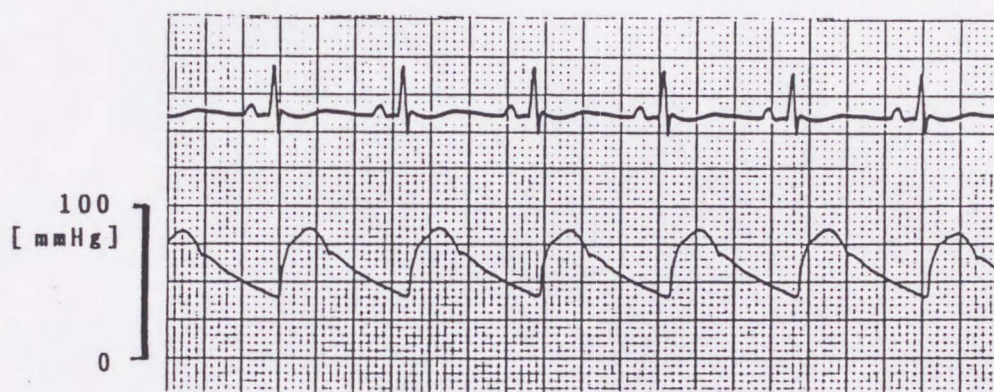
30

35 [°C]

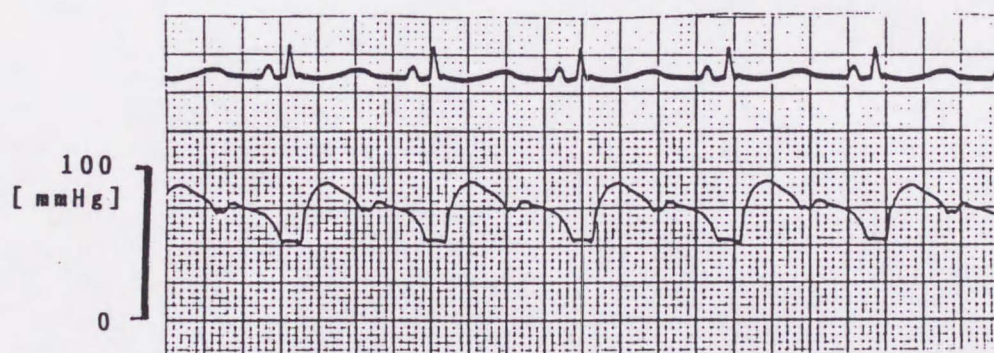
食道温



## I A B P 使用例と非使用例との比較

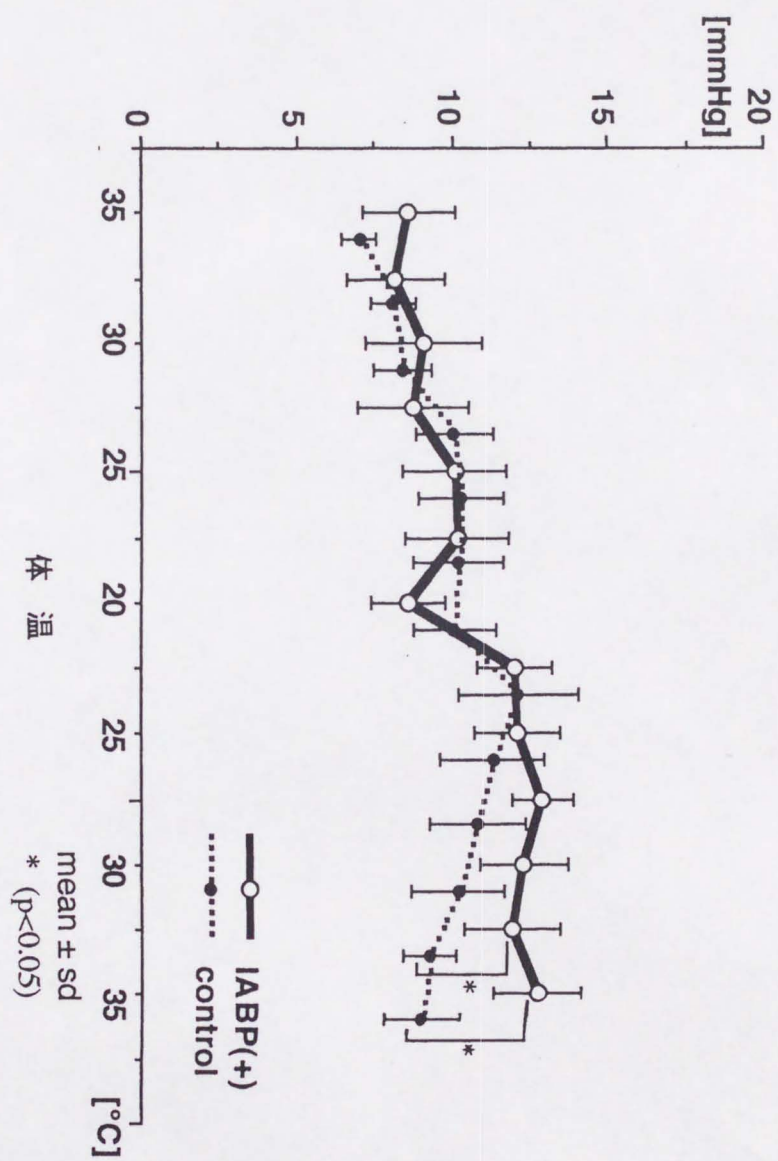


a · I A B P 非使用例 (冷却過程 25℃)



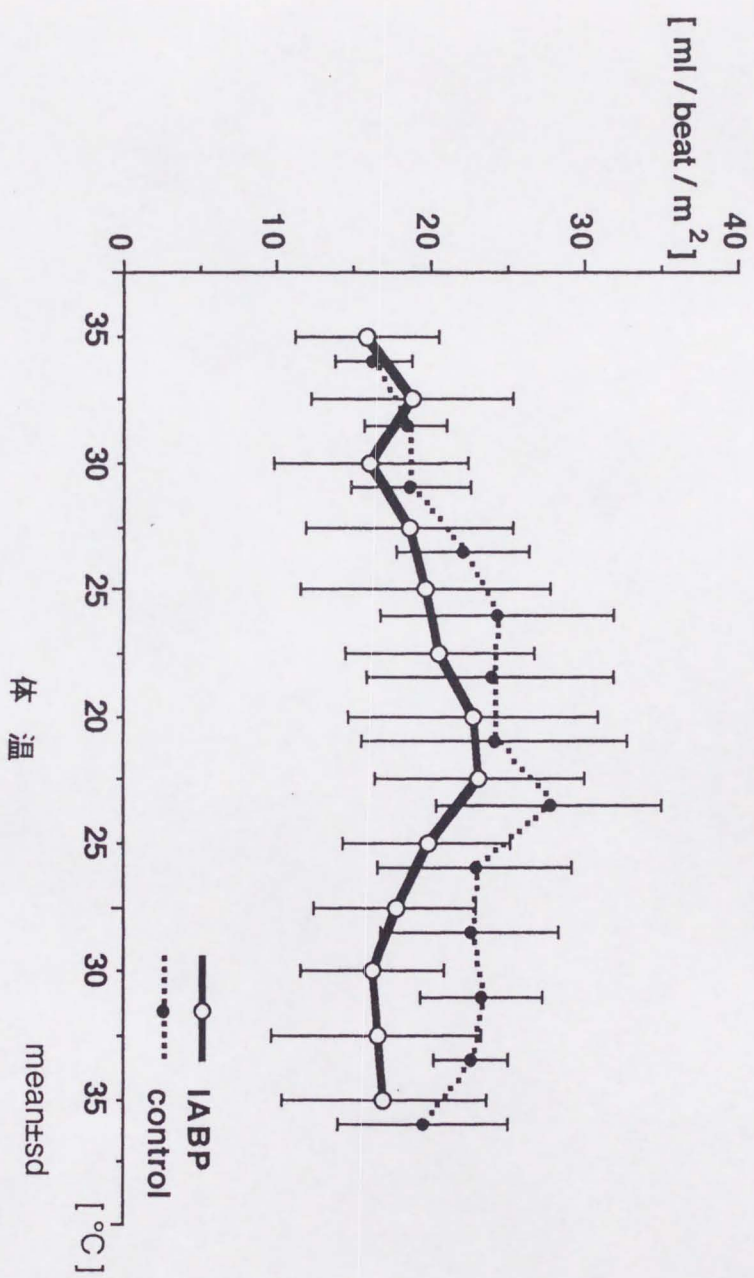
b · I A B P 使用例 (冷却過程 25℃)

# 肺動脈楔入圧





# 一回拍出量指数



# 体血管抵抗

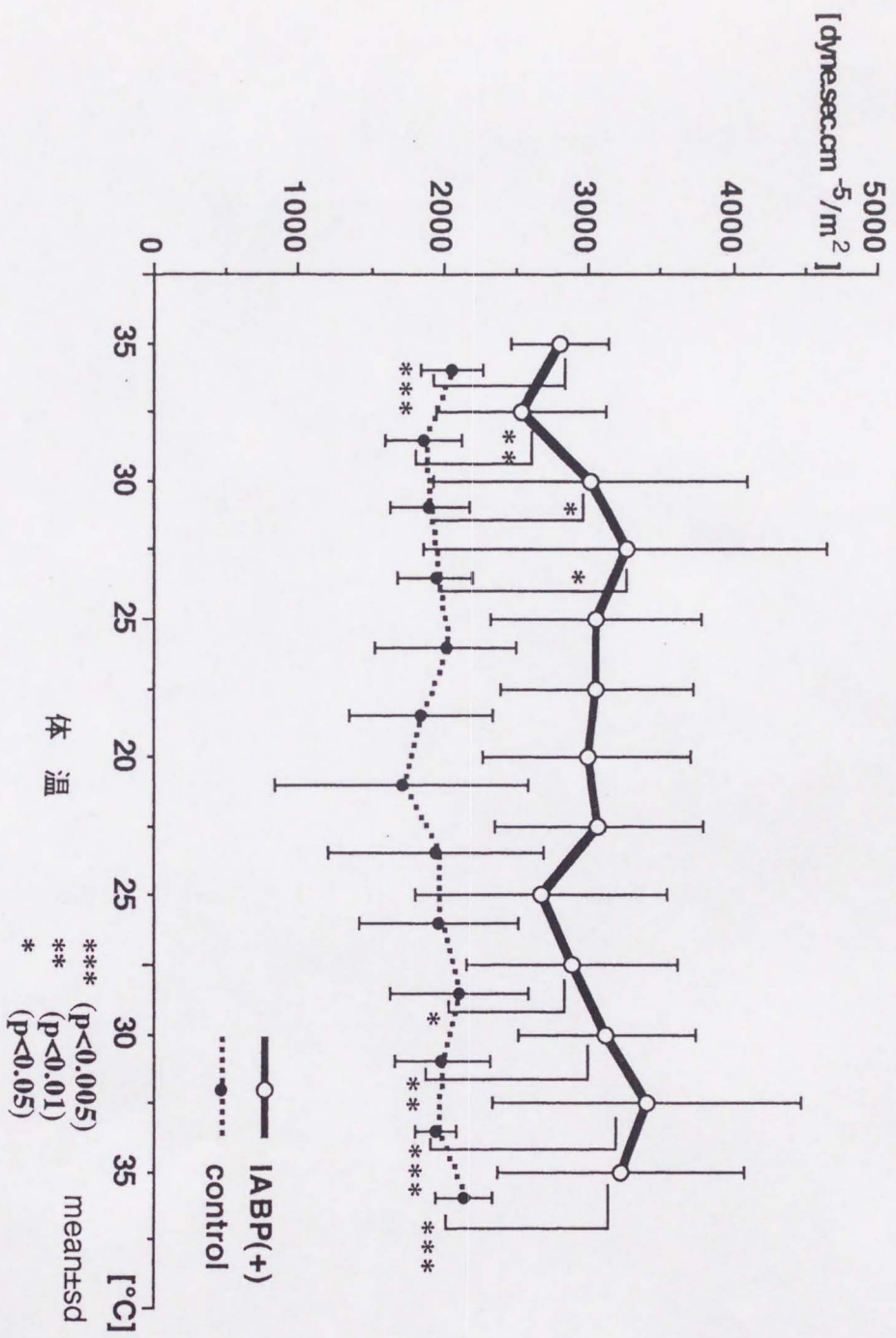


图 5



## バルーン容積の計算式

$$\text{バルーン容積 (cc)} = \frac{\text{CI} \times \text{BSA}}{\text{HR}} \times 0.5$$

35°C -----> 4.4cc

30°C -----> 4.8cc

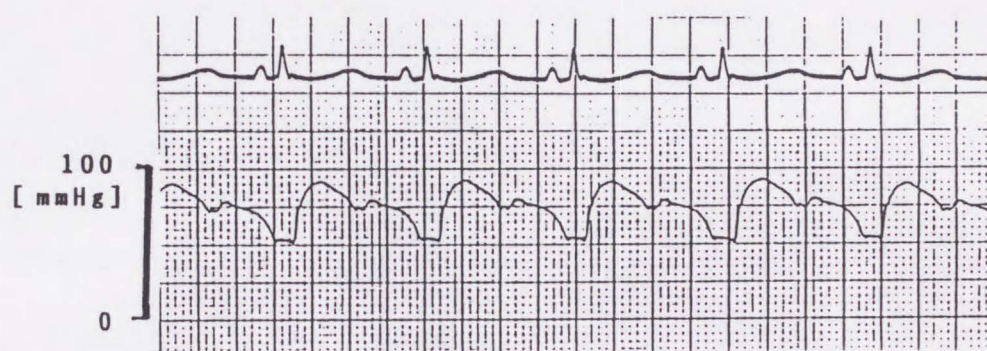
25°C -----> 5.8cc

20°C -----> 6.9cc

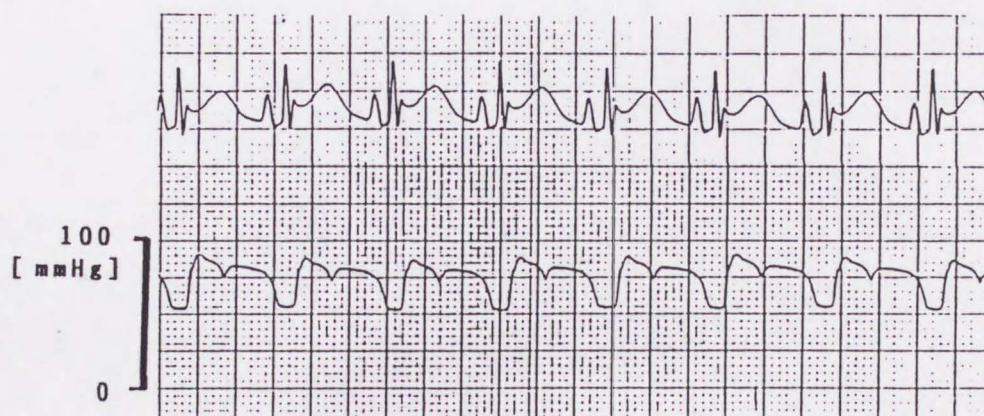
使用したバルーン -----> 7.0cc

CI ; 心係数、BSA ; 体表面積、HR ; 心拍数

## ノルアドレナリン使用例との比較



a・IABP使用例 (冷却過程 25℃)



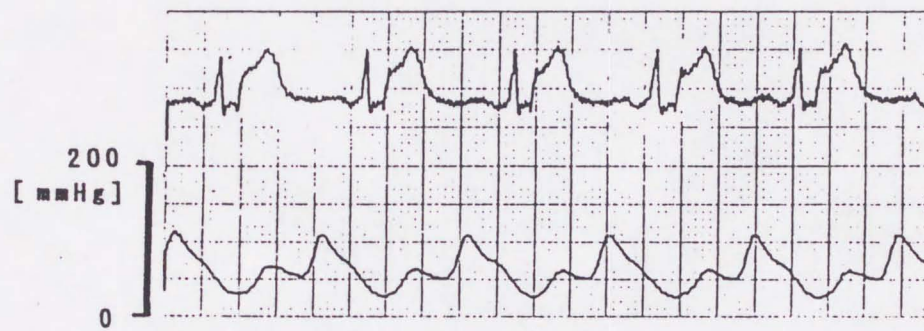
b・IABP + Noradrenalin使用例 (冷却過程 25℃)

Noradrenalin ...  $3\mu\text{g/kg/min}$



# 補助される流量による 血圧波形の変化

(53才女性 僧帽弁置換術後)



流量補助 1.9 l/min



流量補助 1.5 l/min