

# IABPに関する話題

平成 17 年 3 月 19 日

## 目次

<b>1</b>	<b>IABP の歴史的経過</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>IABP の適応疾患</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>IABP の作動原理</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>血行動態に与える影響</b>	<b>5</b>
4.1	体循環に与える効果 . . . . .	5
4.2	冠状動脈血流上の効果 . . . . .	7
<b>5</b>	<b>IABP の体の中での位置</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>バルーンの膨張、収縮のタイミング</b>	<b>9</b>
6.1	IABP の圧波形 . . . . .	11
<b>7</b>	<b>臨床応用</b>	<b>14</b>
7.1	適応疾患 . . . . .	14
7.2	急性冠動脈症候群 . . . . .	14
7.3	心原性ショック . . . . .	14
7.4	ハイリスクの PTCA . . . . .	15
7.5	急性心筋梗塞に対する PTCA . . . . .	16
7.6	難治性の心室不整脈 . . . . .	16
<b>8</b>	<b>禁忌</b>	<b>16</b>

<b>9</b>	<b>合併症</b>	<b>17</b>
9.1	血管性の合併症 . . . . .	17
9.2	他の合併症 . . . . .	17

## 1 IABPの歴史的経過

大動脈内カウンターパルセーションは、1962年に最初に開発された。

当初は心臓の拍動に同期できなかったが、しばらくして心電図に同期して駆動を制御できるようになり、現在のIABPとほぼ同じものになっている。

このデバイスの出現当時はまだデバイスの径も太く<sup>1</sup>、下肢の虚血の合併症は多かった。このためIABPが紹介されてしばらくの間は、このデバイスは下肢の動脈に人工血管をT字型に縫い付け、そこを通じて挿入することが必要であった。

経皮的な挿入方法が開発されて以後、挿入の速度および容易さは改善され、臨床での使用は拡大した。

## 2 IABPの適応疾患

- 心臓性ショック(急性心筋梗塞の左室不全あるいは機械的な合併症)の治療
- 難治性の狭心症の治療
- 人工心肺の離脱が困難なとき
- 再狭窄のリスクが高い患者に、thrombolysisを行った際の付加的な治療
- ハイリスクの、あるいは複雑な血管病変の患者にPTCAを行う場合
- LMT病変の患者、あるいは重大な大動脈弁狭窄症を持った患者の手術待機時

IABPは最も有効な循環アシストデバイスとして、アメリカでは1年間で70,000以上のIABPが挿入されてる。

## 3 IABPの作動原理

血液は心臓の拡張期に流れる。心筋は冠動脈からの血流で栄養されるが、心臓が収縮する関係上、血液は心臓の拡張期に流れる。

<sup>1</sup>現在は7Fのシースを通じて挿入できるものまで市販されている。

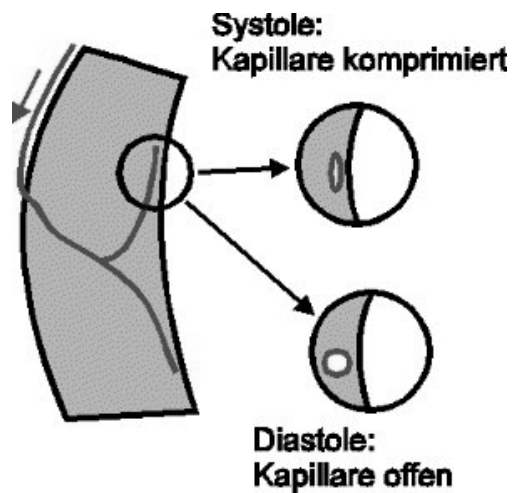


図 1: 心筋が収縮しているとき (上円) は血管はつぶれており血液は流れない。心臓が拡張期に入ると (下円) 血管も元の形に戻り、心筋に血液が流れる。

何らかの原因で心筋への血液供給が十分でなくなると、胸痛や血圧低下、梗塞といった心筋虚血に伴うさまざまな症状が出現する。

**IABP** は拡張期血圧を上昇させる これを解決するには、大きく 3 つの方法がある。

1. 冠動脈に狭窄がある場合、それをもとに戻す。CABG や PTCA がこれにあたる。
2. 脈拍数を下げること拡張時間は延長 (図 2) し、心筋血流は増える。狭心症の  $\beta$  遮断薬の効果はこれである。
3. 拡張期血圧を上昇させればそのぶん冠動脈血流は増える。ただし、強心剤を用いると心筋酸素需要も増えてしまう。

IABP は主に 3 番目の作用を利用して、心筋への血液供給を上昇させている。血圧の上昇はバルーンによる機械的なものなので、血圧は上がるにもかかわらず、心筋酸素消費量はむしろ低下する。

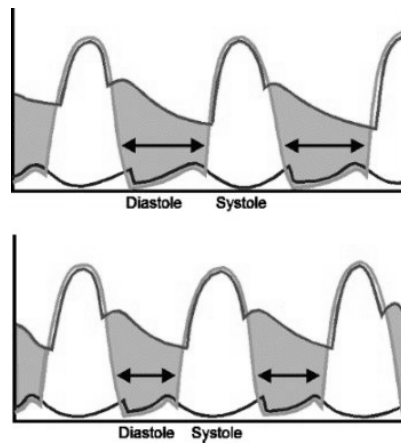


図 2: 脈拍数に関係なく、心臓の収縮時間は大きな変化をしない。このため、心拍数が早い状態(下)に比べて、心拍数が減少した状態(上)では拡張期の時間が増え、心筋への血液供給は増加する。

## 4 血行動態に与える影響

### 4.1 体循環に与える効果

心臓周期と同期された大動脈カウターパルセーションは、1969年に心原性ショック中の患者ではじめて使用された。このデバイスは心臓の収縮と同時にバルーンが収縮し、心臓が拡張期に入って大動脈弁が閉鎖すると同時に拡張することで、心臓に以下のような血行力学上の効果を与える。

- 血液は心臓の拡張期に、バルーンの膨張によって心臓に近い方の大動脈に逆流する(図3)。
- 心臓の収縮期には、バルーンの収縮により作られた吸引力によって心臓の仕事量が減少する(図4)。

効果の程度は患者ごとに異なる。これらの効果は、体内でのバルーンの位置、患者心拍数、大動脈のコンプライアンスなどにより、変化する。

IABPの効果が一定しないにもかかわらず、心臓性ショックを持った大多数の患者の血行動態のプロフィールは、好ましい方向に変化する。

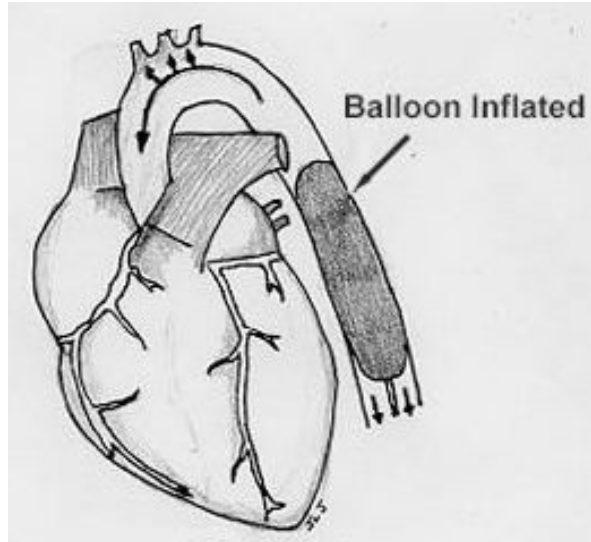


図 3: 心臓が拡張すると同時にバルーンも拡張する。ここで血液は大動脈を逆流し、冠動脈から心筋に流れ込む。

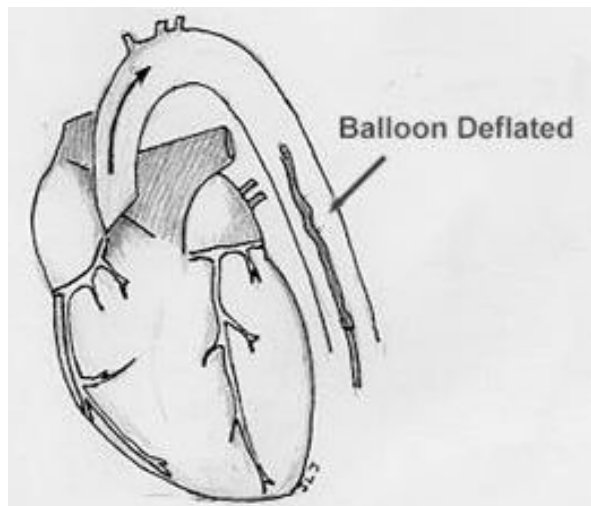


図 4: 心臓が収縮する瞬間、バルーンは収縮する。心臓の中の血液はバルーンに吸引された形になり、心臓の仕事量が減少する。

文献で報告されている、血行動態上のメリットには以下のようなものがある。

- 20%の収縮期圧の減少
- 30%の拡張期圧の増加(それは冠状動脈灌流圧にもなる)
- 20%未満の心拍数の減少
- 20%程度の肺毛細管楔入圧の減少
- 20%程度の心拍出量中の増加作用

さらに、大動脈内バルーンパンピングは収縮期圧を縮小し、アフターロードを下げることで、計算上は左心室の壁応力を14%低下させうる。

アフターロードの低下、および壁応力の低下は、結果として心筋の酸素消費量の低下を生じる。

## 4.2 冠状動脈血流上の効果

IABPは、冠動脈の血流を変化させる。いくつかの研究では、冠動脈の血流の変化はほとんどなかったと報告されている。一方、他の報告では、冠動脈血流量は増加したと報告されている。

この報告の差は、冠動脈血流量が、冠動脈血流量の自動調節能力の影響を受けること、狭窄の程度によっては、IABPは冠状動脈の血流量を維持することができないことなどが原因と考えられている。

冠状動脈の狭窄が強いと、効果を十分に出せない IABPに対する冠状動脈の量の重要な決定要素のひとつは、冠状動脈の狭窄の程度である。

例えば、重大な狭窄(95%以上)を持つ患者の場合は、IABPによる冠動脈血流量の改善効果が認められなかったと報告されている。

一方、PTCA後に狭窄が平均18%まで改善された後は、血流量は著しく増加したという。

## 5 IABPの体の中での位置

一般に、IABPバルーンの位置は大動脈弓部の頂点である。

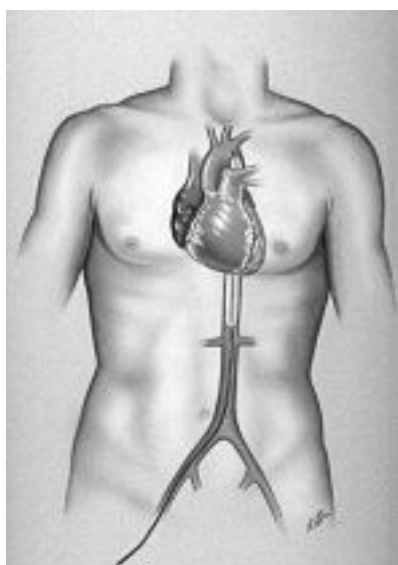


図 5: IABP の位置。バルーンの上端は大動脈弓の頂点、下端は腎動脈よりも上にくるようにする。適切な大きさなら、カテ室で一番上まで挿入すれば、下端は腎動脈よりも上に来るはず。

この位置が心臓側にずれて大動脈弁に近づくと、脳に灌流している血管の血流量が低下し、神経症状を生じる可能性がある。

また、バルーン的位置が末梢側にずれると、今度はバルーンのインフレーション/デフレーションのタイミングが有効に伝わらなくなり、心臓に対する効果が落ちる。

さらに、バルーン的位置が腎動脈にかかった場合、尿量の低下や、場合によっては腎系球体の不可逆的な損傷を生じる可能性が指摘されている。一般には、バルーン位置の異常による尿量の低下は可逆的なものであると考えられている。

上行大動脈での **IABP** も研究されている CABG 後も、IABP はしばしば用いられる。

最近開発された、上行大動脈にも留置可能な IABP の使用が動物実験で報告されている。

バイパスグラフトや内胸動脈の血流量は、下行大動脈に留置した IABP では変化せず、上行大動脈に IABP を留置することで、はじめて有意な血流量の増加を確認できたという。



## 6 バルーンの膨張、収縮のタイミング

正しいタイミングにあわせないと効果がない IABP の効果を十分に発揮するには、バルーンの膨張(インフレーション)、収縮(デフレーション)のタイミングが重要である。

バルーンをインフレートするタイミングは、大動脈弁の閉鎖の直後である。これにより、冠動脈血流量増加する効果が最大になる。

一方、バルーンのデフレートを行うタイミングは、左心室が収縮する直前である。バルーンのデフレートにより、心臓のアフターロードを低減し得る。

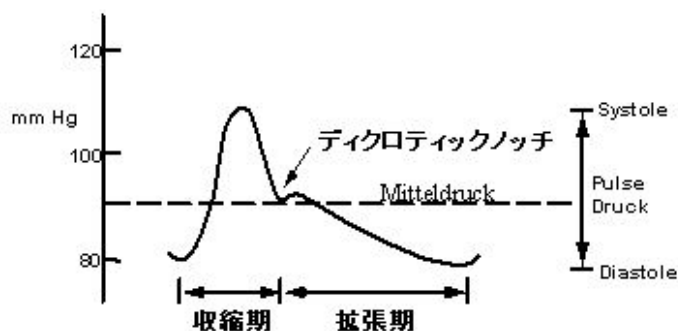


図 6: ディクロティックノッチ。心臓の収縮期と、拡張期とを分ける点である。この位置は、心電図ではT波の末端になるため、動脈圧波形のほうが位置を決めやすい。

基本的には動脈圧波形で調節する 実際の現場では、バルーンのデフレーションはR波の直後に行い、バルーン収縮後の心臓の収縮期圧のピーク値が低くなるように設定する。

体内では、バルーンのインフレート/デフレートは機械で設定したタイミングよりもわずかに遅れる<sup>2</sup>。このため、バルーンデフレートのタイミングは、最終的には動脈圧波形を見ながら微調整する<sup>3</sup>必要がある。

バルーンインフレーションのタイミングは、大動脈圧波形のディクロティックノッチ(図6)に合うように調整する。

<sup>2</sup>この傾向は細いIABPを用いるほど顕著になる。

<sup>3</sup>心臓の収縮圧波形が立ち上がる瞬間にバルーンの収縮が始まるようにする。

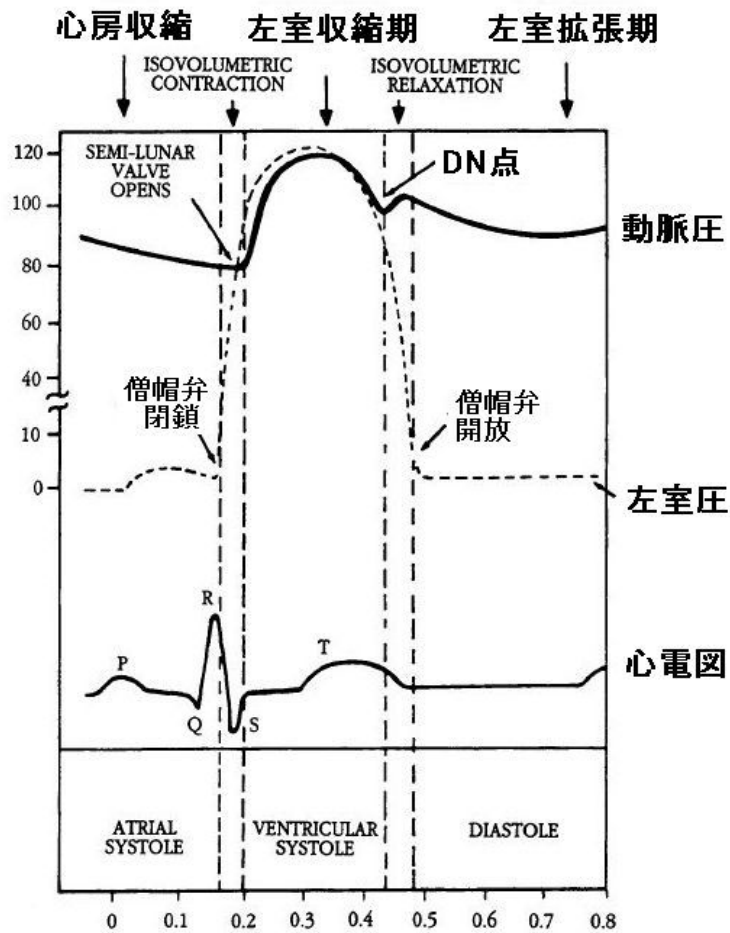


図 7: 正常大動脈圧波形と、心電図の関係。T 波の終了間際に拡張期が始まり (図の DN 点)、QRS の開始とほぼ同時に心臓収縮期が始まる。IABP のタイミング調整は、この圧波形と心電図とを見ながら行う。

## 6.1 IABP の圧波形

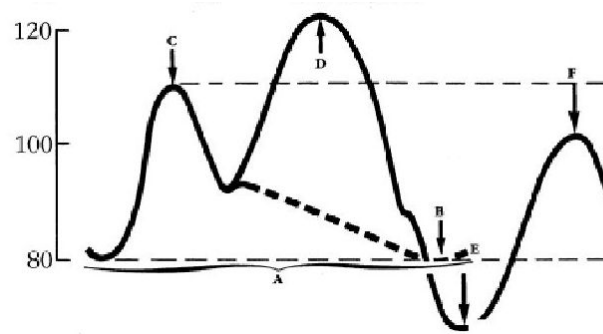


図 8: 理想的な IABP 波形。正常な圧波形に比べて、拡張期血圧は上昇 (図の D 点) し、バルーンの収縮により、収縮初期に吸引効果 (図の E) を生じている。

正しく作動させると、心臓収縮期の血圧は下がる IABP を駆動させた直後は、圧補助は 1:2 で行い、IABP の圧波形を見ながら、この波形になるように微調整を行う。以下に、バルーンのタイミングが悪いケースを示した。

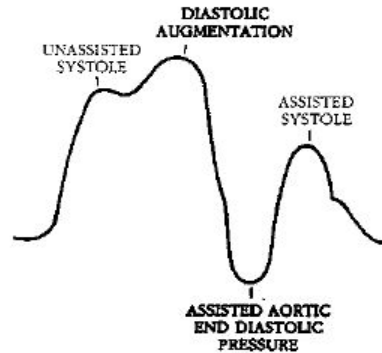


図 9: インフレートが速すぎた場合。バルーンのインフレートのタイミングが早すぎると、大動脈弁が閉鎖する前に血流が逆流する。このため生じた大動脈弁逆流により、左室拡張末期圧は上昇し、心臓の負担が増えてしまう。

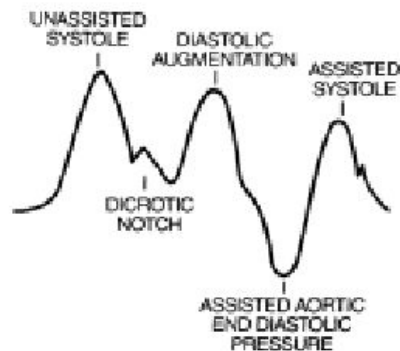


図 10: インフレートが遅すぎた場合。バルーンのインフレートのタイミングが遅すぎると、今度はバルーンによる拡張期の血流量増加の効果が十分に得られない。動脈圧波形上はディクロティックノッチが確認でき、また diastolic augmentation が十分に効かない。今度は、冠動脈の血流量増加の効果が減少してしまう。

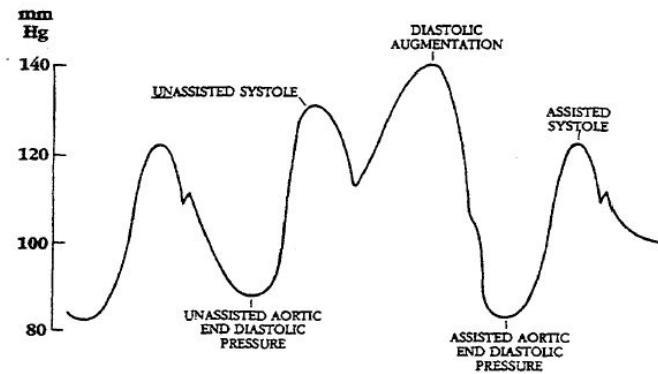


図 11: デフレートが速すぎた場合。バルーンの手放しのタイミングが早すぎると、心臓が拡張期であってもバルーンによる血液吸引効果が生じてしまう。動脈圧波形上は、diastolic augmentation の急峻な減少が見られ、また自己の心収縮波型が増高する。このために、アフターロードの減少効果が十分でなくなり、冠血流が吸引された結果、狭心痛を生じるケースもある。冠動脈の血流量、および脳血流量は低下する。

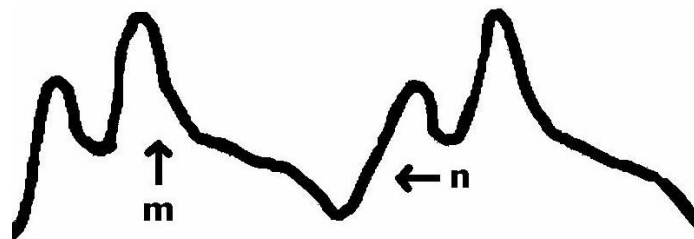


図 12: デフレートが遅すぎた場合。バルーンの手放しのタイミングが遅すぎると、心臓が収縮している時にもバルーンが拡張している (図の n の部分)。自己の心収縮波型は、このため著しく減少し、末梢血管抵抗はバルーンの方だけ増加する。当然、心臓の仕事量が増えてしまう。

## 7 臨床応用

### 7.1 適応疾患

IABP は、虚血に起因する心機能を持った患者の、有効な治療のひとつである。

IABP を使用した、16,909 人の患者の調査では、適応となった患者は以下のとおりであった。

- 心臓カテーテル中の、あるいはその心臓カテーテルの後の血行動態の安定化 21%
- 心臓性ショック 19%
- 心肺バイパスからの離脱が困難なとき 16%
- ハイリスクの患者の中の手術前の治療 13%
- 治療抵抗性の狭心症の治療 12%
- 治療抵抗性の心不全 6.5%
- 心筋梗塞の機械的な合併症 5.5%
- 難治性の心室性不整脈 1.7%

### 7.2 急性冠動脈症候群

大動脈内バルーンパンピングは、急性心筋梗塞か、不安定狭心症の患者の ST 異常を縮小し、内科的治療に反応がない狭心症の治療に有効である。

### 7.3 心原性ショック

**IABP** だけが、心原性ショックの血行動態の改善に有効 急性心筋梗塞の患者がショックになった場合、IABP だけが、心原性ショックの血行動態の改善に有効である。

血行動態の反応は、僧帽弁逆流や心室中隔穿孔といった合併症を持った患者で、とくに有効である。こうした患者にIABPを用いることで、心拍出量は増加し、肺毛細管楔入圧は減少する。

血栓溶解療法、またはPTCAが行われる前に挿入されたIABPは、薬物治療の効果のなかった心筋への血液灌流を再開しうると報告されている。

血行再建をしないと効果は薄い 一方、IABPが、血管再開通療法と併用されない場合、その予後改善効果は十分に生かされない。血管の再開通が行われなかった心臓性ショックの患者の死亡率は、報告では83%と、非常に高かった。

GUSTO-1<sup>4</sup>のサブグループ分析では、急性心筋梗塞の後にIABPを挿入することで、心臓性ショックを持った心筋梗塞の患者の死亡率が減少するかもしれないと報告されている。心原性ショックで入院し、IABPを挿入された患者は出血の合併症が多かったが、一方、30日目の生存率は、IABPを挿入されなかった患者よりも少なかった。

## 7.4 ハイリスクのPTCA

大動脈内バルーンパンピングは、ハイリスクかまたは複雑な手技が予想される血管形成において有用かもしれない。または、血栓溶解療法に失敗した、救命的なPTCAにおいて、効果があるかもしれない。

ハイリスクPTCAの成功率は向上する たとえば、心不全を伴った(LVEF24%以下)の患者に対してPTCAを行う際、予防的なIABP挿入を行うと、PTCAの成功率は、24時間以内の死亡、あるいは心筋梗塞を生じずに、96%の症例で成功すると報告されている。

IABPはさらに、PTCA中、もしくは手技後の合併症を減少させるかもしれない。

PTCA後の不整脈も予防しうる 急性心筋梗塞で入院した、1490人の患者のスタディでは、PTCAの前に挿入されたIABPは、心臓性ショック、またはうっ血性心不全を持った患者に対して、予防的なIABPを挿入することで、心室性細動あるいは心室頻拍、あるいは治療を要する低血圧の頻度が減少したという。

<sup>4</sup>血栓溶解療法を行った、急性心筋梗塞のトライアル

## 7.5 急性心筋梗塞に対する PTCA

IABP は、急性心筋梗塞中に PTCA を行った患者の、冠状動脈の開存を維持しようとして、使用されることがある。複数医療機関による報告では、急性心筋梗塞で入院した患者にプライマリー PTCA を行った後、スタンダードな治療（ヘパリン）と、スタンダードな治療に IABP の挿入を追加した群とで予後を比較している。

心筋梗塞再発率は低下した。結果、48 時間の IABP を治療に加えることで、死亡、あるいは脳梗塞、心筋梗塞の再発率は有意に低下（13 対 24%）し、また、フォローアップ CAG での責任血管の再閉塞率も有意に低下（8 対 21%）した。

## 7.6 難治性の心室不整脈

IABP は、内科的な治療に対する反応が悪い心室性頻脈、または選ばれた患者の心室性細動の治療に寄与することができる。

IABP が効果がある患者としては、著しい左心不全を生じた患者、あるいは不整脈が血行動態に著しい悪影響を与えている場合があげられる。

難治性の不整脈の治療のために IABP が挿入された、18 人の患者の報告では、18 人中 13 人は IABP から離脱することができたが、5 人は心移植が行われるまで IABP の継続が必要であったという。

## 8 禁忌

以下の状況は、IABP 挿入の禁忌である

- 重篤な大動脈弁逆流、あるいは重篤な AV シャント
- 腹部大動脈瘤あるいは解離性動脈瘤
- コントロールのついていない敗血症
- コントロールのついていない出血
- 重篤な末梢血管障害



## 9 合併症

IABPに関連した合併症は、血管性、非血管性の2種に分類できる。1996年から2000年までIABPを挿入した17,000人の患者の調査では、合併症の発生率は7%だった。

その一方で、重篤な合併症(下肢の虚血、重篤な出血、バルーンの破裂、IABP挿入に伴うトラブル、あるいは死亡)は、2.6%で生じた。

### 9.1 血管性の合併症

- 下肢の虚血
- 外科的な治療を要する、血管裂傷
- 重篤な出血

血管穿刺部位が、大腿動脈の分枝ではなく、本幹に挿入されることは重要である。

その枝のどちらも、IABPを挿入するのに十分な太さを持っておらず、これらにIABPが挿入された場合、下肢の虚血が生じる可能性がある。

穿刺部位があまりに末梢側であった場合、IABP挿入側の虚血を生じる可能性があり、IABPの抜去を行わざるを得ないことがある。

血管の解離も、よく見られる合併症である。この場合、血管内に入っていないなくても、IABPは正常に動作しうるため、注意が必要である。血管のエコーを行うことで、この合併症は発見することができる。

### 9.2 他の合併症

IABPには、他にも多くの合併症がある。

**コレステロール塞栓血症** コレステロール塞栓血症は、比較的まれな合併症であるが、下肢の切断に至ることがある。この合併症は血小板減少症、腎不全の出現、好酸球増加および腎臓の塞栓の影響で、尿中にエオジン好性の細胞が出現することで、診断する。

抗凝固療法は、コレステロール塞栓症の場合には、かえって予後を悪くする可能性があるともいわれている。

脳梗塞は生じにくい 脳血管発作は、通常は脳血管からバルーンが離れているため、IABPの患者に生じることは少ない。IABPが近位へ置かれすぎた場合、または血栓の移動がバルーンにより生じた場合は、脳梗塞が生じる可能性がある。

IABPの挿入期間が7日間以内であれば、敗血症の発症は比較的まれである。

バルーンの破裂 バルーンの破裂はまれな出来事で、石灰化されたプラークに対してバルーンを挿入した場合に生じる可能性がある。バルーンの破裂孔から血栓がバルーンの内部に生じた場合、外科的にバルーンを抜去する必要があることがある。

こうしたバルーンに関するトラブルは、バルーン内圧の波型をモニターすることで、回路のガス漏れと回路のキンクに関しては、予測できる。

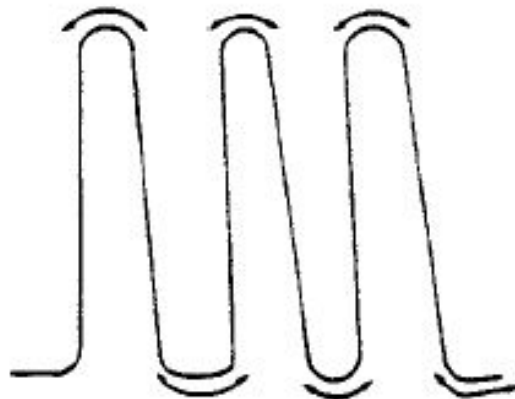


図 13: 回路がキンクした場合のバルーン内圧波形

他の合併症として、血小板減少、溶血、脊髄乏血、内臓の乏血、ニューロパチーなどが報告されている。

下記要因は、合併症の増加と関係しているという。

- 末梢血管障害
- 高齢者
- 女性

- 糖尿病
- 高血圧症
- 長い治療期間
- より大きなカテーテルサイズ
- 体表面積;  $1.8m^2$
- 心係数;  $2.2l/min/m^2$