

Mechanical Ventricular Assistance

—重症心不全に対する補助手段の現況—

八田光弘* 小柳 仁*

急性心筋梗塞症の発症例は全世界で年間約5000例/百万人であり、約2000例/百万人は、心機能不全により死亡するといわれている。このうち、約500例/百万人（有病率の約10%）は、各種機械的補助循環により、救命可能な症例であろうと予想されている¹⁾。各種薬剤、又は従来の治療法が奏功しないこれらの心臓を補助し、機能回復が期待できなければ、人工的に置換したいという夢は、過去30年以上に及ぶ年月の末、ようやく我々の前に実現しようとしている。

図1に示すように現在我々が臨床的に適用可能

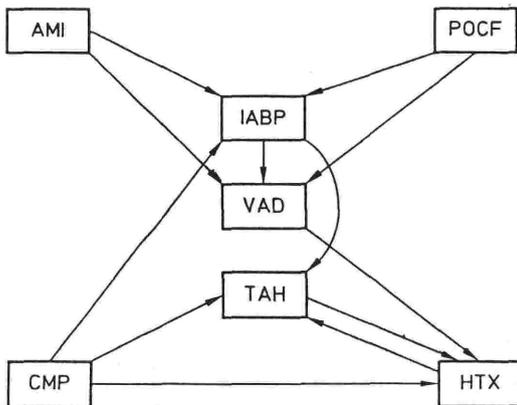


図1 重症心不全患者の治療体系

AMI: 心筋梗塞症

POCE: 開心術後心不全

IABP: 大動脈内バルーンパンピング

VAD: 補助人工心臓

TAH: 完全人工心臓

CMF: 心筋症

HTX: 心臓移植

な機械的補助循環装置 (Mechanical assist device) は、大動脈内バルーンパンピング (IABP)、補助人工心臓 (Ventricular assist device, 以下 VAD)、完全人工心臓 (Total artificial heart, 以下 TAH) である。完全人工心臓は恒久的な植え込みとしては未だ研究段階にあるため、一時的な使用が中心となる。したがって、完全人工心臓により補助された症例の大部分はブリッジバイパスを経て、心臓移植の適応となる。ポンプ失調を有する種々の病態（急性心筋梗塞、開心術後心不全、心筋症など）から、血圧が 60 mmHg 以上で、心拍出量が 1.5 l/min/m² 以下の重篤なポンプ失調に対しては IABP 又は VAD を選択することにより血行動態の改善を計り、さらに、心拍出量、血圧の改善を認めず、流量補助が必要となる重症例に対しては、補助人工心臓が適応となる。さらに、両心不全の状態を呈して、改善傾向がみられない場合には、完全人工心臓または心臓移植の適応となる。本稿ではこれらの補助循環をいかに駆使して、重度ポンプ失調に陥った心不全患者を救命してゆくか、それぞれの Assist device の適応と限界を示しながら、補助循環の全体像と将来像についても言及したい。

1. Counter pulsation

1) IABP

大動脈内に留置したバルーンを心電図に同期させながら作動させることにより、心機能を補助する方法が Counter pulsation である。最も臨床的に普及している方法は大動脈内バルーンパンピング法 (IABP) であり、その他表1に示すような各種 Counter pulsation 法が挙げられる。この

*東京女子医科大学日本心臓血圧研究所循環器外科

表1 Counter pulsation による補助循環法

① Intra-aortic balloon pump
② Dynamic aortic patch
③ Systolic counter pulsation

表2 IABP の臨床的適応

1. ポンプ失調に対する適応
① 急性心筋梗塞後の心原性ショック
② 切迫心筋梗塞及び再梗塞
③ 心筋梗塞後の心室中隔穿孔
④ 急性僧帽弁閉鎖不全症
2. 開心術に伴う適応
① 開心術の心機能の著明な低下
② 術前の循環補助
③ 不安定狭心症
④ 薬物療法に抵抗性の心室性不整脈
⑤ 慢性左心不全
⑥ 薬物療法に抵抗性の Septic shock
⑦ 心臓疾患を有する患者の一般外科手術

IABP の原理は1962年 Mouloupouls ら²⁾により、最初に報告されたもので、大動脈内で心電図に同期して、収縮期にバルーンが縮小し、拡張期に膨張するように制御することによって著明な心機能補助効果があると述べた。すなわち、駆出期の心筋の負荷を軽減し(Systolic unloading)、拡張期での心筋への血液供給の増加(Diastolic augmentation)を目的としたものである。この方法は1967年 Kantrowitz ら⁴⁾により初めて心原性ショック患者に応用されて以来、その有用性が認められ、現在までに広く普及するに至っている⁵⁾。IABP の適応となる症例は、諸外国では開心術症例の1~1.5%とされている。この点、我が国では、やや使用頻度が高いと思われる。IABP の臨床的な適応については表2に簡潔にまとめた。IABP の機種、装着方法については成書にゆずる⁷⁾。

IABP の拡張期バルーンリングの効果は、冠血流では60%、拡張期血圧は100%まで増加し、収縮期のunloadingの効果により軽減される心筋仕事量は約25%とされている。このような冠動脈血流の増加と心筋仕事量の減少を主たる効果として、心筋梗塞領域の減少、虚血心筋代謝の改善を促進することが挙げられる³⁾。また、僧帽弁閉鎖

表3 IABP 使用による合併症

① 下肢血行障害
② バルーン破裂によるガス塞栓症
③ 腹部内臓虚血
④ 大動脈食導痔
⑤ ガス塞栓
⑥ 脳血栓
⑦ 血管内アテロームによる脊髄梗塞
⑧ 下半身運動麻痺

不全症及び心筋梗塞後心室中隔穿孔に対しても実験的に有効性を認めている。酒井らによれば、IABPにより僧帽弁逆流量は13%減少し、同様に心室中隔穿孔部の短絡量は18%減少すると述べている⁶⁾。これは主として systolic unloading による25%の効果に由来する二次効果であると考えられる。総じて、このIABPの効果は、心筋症、重症弁膜症などにみられるような心筋自体の強い変性に由来する心不全よりもむしろ冠動脈疾患や開心術中の虚血性障害に由来した心臓ポンプ失調に対して²⁷⁾、より有効な補助効果を与える方法だと考えられる。

IABP は、手技操作が容易で労力が少なくすむ点から、緊急の場合に第一選択として使用できる有用な機械的補助法である⁸⁾。しかしながら、①解離性大動脈瘤を含む大動脈疾患、②高度な大動脈弁閉鎖不全、③不可逆性脳障害、などを示す症例については、IABP の効果が十分に得られないばかりか、他の合併症を引き起こす危険性が高く、適応外とされている⁹⁾。

一方、IABP の使用の際に併発する合併症の発生頻度については、本邦では益子ら¹⁰⁾が108例中9例(8.3%)にみられると報告している。欧米では10~22.5%とやや高率に認められ、したがって、ICU、CCUなどでの、厳重な注意が必要である(表3)。これら合併症への対応策として、血管内の石灰化により狭小化又は蛇行している腸骨動脈では下肢血行障害が特に多く、認められている。このため、IABP 挿入後は、定期的に挿入側の足背動脈の拍動を触知し、触知不能の場合には、積極的に対側大腿動脈により挿入部末梢側へのバイパス(F-Fバイパス)を造設し、下肢への血行再建を計る必要がある。また、我々は、バルーン破裂による内腔の血栓形成のために抜去不能とな

り開腹術にて抜去した例を数例経験したが、いずれも2週間以上の長期使用例であり、このような長期使用例では、バルーン破裂に十分な注意が必要である。バルーンの容量や長さが、日本人の体格に過大傾向にある場合には、腹腔動脈の閉塞の可能性を有する。このため、身長165cm以下の症例に対しては内腔容積が小さく、短いバルーンを使用したり¹¹⁾、バルーンポンピングの同期比率を1:2などに減じる事により予防することができる。その他の合併症に対しては、ICU またはCCU における管理を充分注意して行い早期発見を心がけることが大切である。特に、開心術に際してのIABP 使用には、術前の動脈造影、各症例の重症度により、IABP 使用の必要性など、挿入手順を充分検討し、種々の合併症を予防する

よう努めることが望ましい。

2) Dynamic aortic patch¹²⁾

慢性的にIABP に依存する場合には、図2に示したようなDynamic aortic patch と呼ばれるパッチ状のバルーンを下行大動脈に縫着し、体外に空気駆動装置を携帯することにより、社会生活を営みながら長期間に亘るポンピングが可能となる。このシステムは1971年に臨床応用され、著明な血行動態の改善が得られたと報告されている。バルーン部分は特殊なダグロンペロアーによりなり、IABP による補助の必要性がなくなれば、バルーンの膨張を停止する。バルーン表面には内膜が自然に形成されるようになっており、体外に除去する必要はない。5年以上放置した例でも感染症などの諸問題は認められていない¹³⁾。

3) Systolic counter pulsation

先に述べたIABP が Diastolic augmentation と Systolic unloading を基本としているのに対し、収縮期にCounter pulsation を用いる方法がSystolic pulsation の原理である¹⁴⁾。

図3に示したように球形のバルーンを上行大動脈に留置し、収縮期を3分し、その収縮中期(60~80 msec)に瞬間的にバルーンを膨張させ、収縮末期にはバルーンを完全に収縮させる。これ

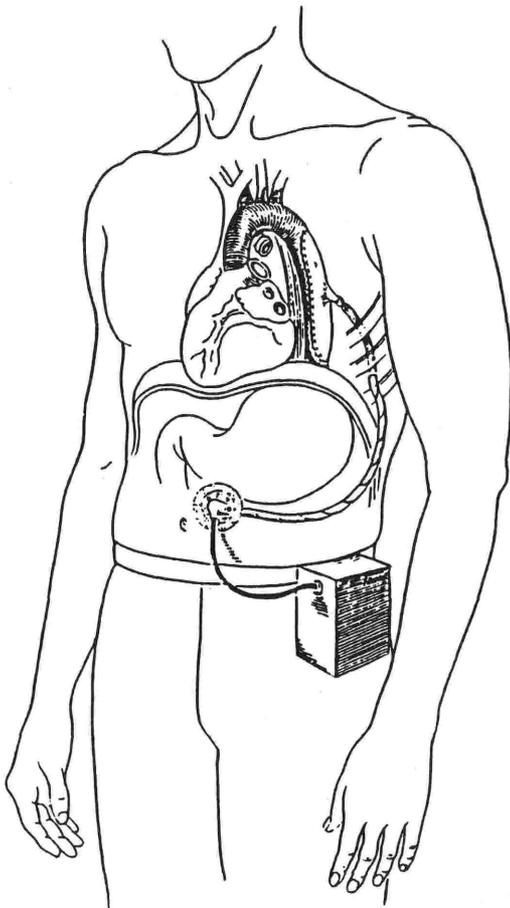


図2 Dynamic aortic patch
下行大動脈に、バルーンを縫着させ、体外の駆動装置により、制御する。

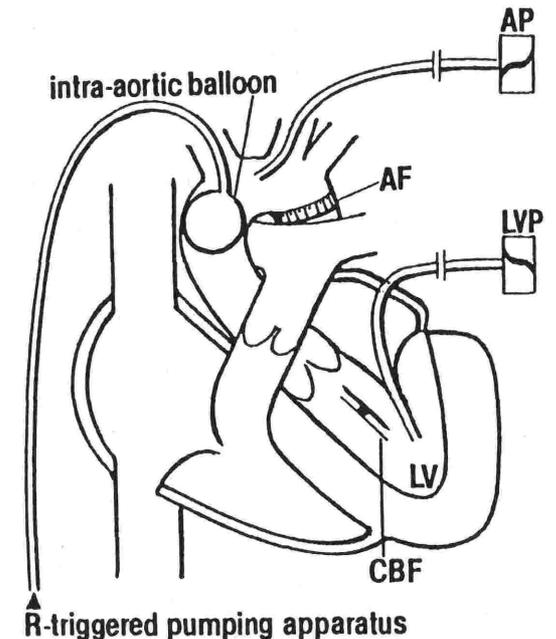


図3 Systolic counter pulsation (1)

により、大動脈血流量及び冠動脈血流量を増加させ、大動脈血流は約10%増加し、冠動脈血流量は $35.97 \pm 10.93\%$ 増加する。上行大動脈に留置することによって心配される左室収縮末期圧の上昇及び心筋酸素消費量の増大は、実験的には認められていない。同様に図4に示すように左心室腔内にバルーンを留置し、収縮中期 (90 msec) で膨張させることにより冠動脈血流量は $18.8\% \pm 3.7\%$ 大動脈血流量は $18.0 \pm 4.9\%$ それぞれ増加する。これらは原則的に IABP が挿入不能で強制的な冠血流量の増加を必要とする場合に適用すべきである。高度な心筋梗塞及び心筋障害によるポンプ失調をきたしている場合には、バルーン膨張時は一時的な過伸展を助長するおそれがあり、適用には慎重を要する。これらの高度な心筋障害を伴う場合にはむしろ、速やかに補助人工心臓への移行を考慮するのが望ましい。

4) 複数のバルーンを用いた Counter pulsation

従来 IABP の欠点として、心拍出がない場合や、血圧が極めて低い場合 (60 mmHg 以下) では、有効性が認められない点が挙げられる。これを克服するために、図5のように2つのバルーンを上下より、下行大動脈に留置し、バルーン I は従来 IABP と同じく拡張期に膨張させ、バルーン II は、これに連動して収縮期に膨張し、

張期に収縮させる。この方法により、バルーン I の Systolic unloading 効果により一旦駆出された血液は、これに連動する次のバルーンによりさらに末梢に送り出されることになる。この方法を用いれば、心拍出量がない心室細動のような場合でも 400 ml/min (体重 22 kg において) の心拍出量が得られ、またポンプ失調の場合の心拍出量でも $31.6 \pm 8.73\%$ の増加が期待できる¹⁵⁾。これら各種の Counter pulsation の新しい組合せによる効果も今後検討されるべき課題であろうと思われる。これらの Counter pulsation による効果を得るためには、60 mmHg 以上の血圧と心拍出量が最低限維持されているのが望ましい。言い換えれば、心筋ポンプ機能が極めて減退し、全身の循環維持が不能で、回復能が長期間期待できない場合には、IABP の補助能力の限界と考え、全身臓器機能の維持と心筋仕事量のさらなる軽減のために補助人工心臓を適用すべきである。

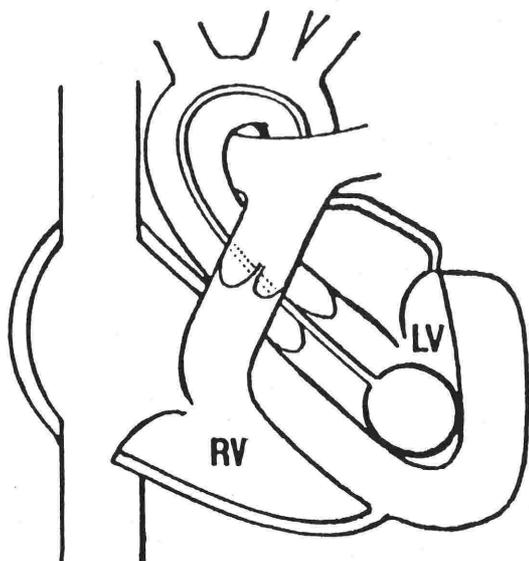


図4 Systolic counter pulsation (II)

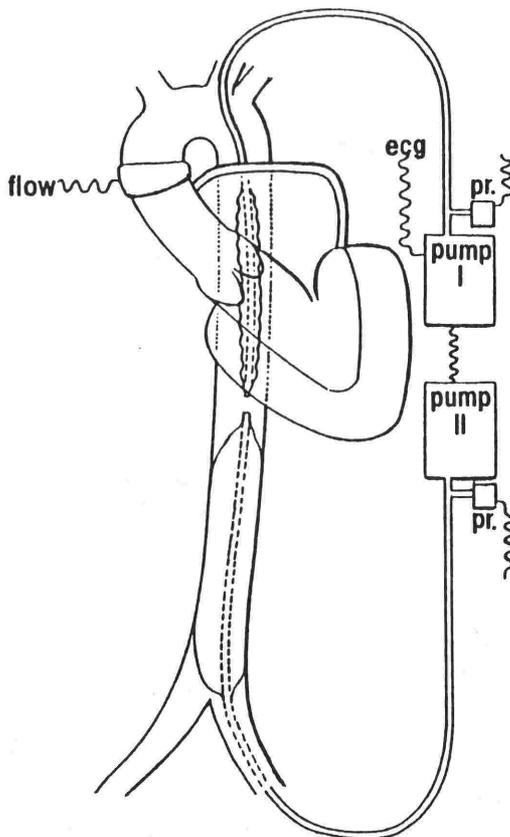


図5 複数のバルーンを用いた Counter pulsation

2. 補助人工心臓

補助人工心臓 (Ventricular assist device 以下 VAD) は心室筋の機能を代行させるために用いられるもので心房から流入した血液を大血管に拍出させる。設定通りの心拍出量が得られ、血行動態を理想的な状態に維持することができるので極度に悪化した心筋のポンプ機能不全に適応となる。これにより不全心の unloading による心筋酸素消費量の減少が得られ、比較的長時間にわたり、末期的な不全心の回復を促進させたり、心臓移植に移行することが可能である。

VAD は3種類に分類され、右心バイパス (RVAD)、左心バイパス (LVAD) 両心バイパス (BVAD) がある。RVAD は、右心房 (RA) より脱血し、肺動脈 (PA) に拍出する右心室の代用臓器であり、同様に LVAD は左心室の代用である。両心バイパスはこれらを併用し、高度な両心不全に対し、流量補助を行うものである。臨床的に多く用いられているのは、重篤な左心不全症例に対する LVAD である。表4に LVAD の適応条件をまとめた。

VAD バイパスの流量は、正常心拍出量の50%以上を目標として設定する。不全心の回復を計るためにはできうる限り心室の拡張時容量を減少させ、心室壁張力の軽減を計る必要がある。このため、不全心の程度や拡張末期容積により30~70%の流量で調節してゆくのが望ましい。LVAD は、1975年以来、300例以上が施行されているが、McGee¹⁶⁾ らは開心術例のうち、0.7%に適用し、良好な成績を示している。使用期間については重症度にも関係するが、通常、右心室の回復までに要する期間は3~5日、左心室の回復に要する期間は5~7日間であり、左心不全の改善の方が長期間を要すると述べている。LVAD には、左房圧の減少 (前負荷の軽減) だけでなく、肺動脈圧を下降させる効果もあるといわれる。しかしながら LVAD により左心系の output を高い流量に維持するためには右心室からの拍出量もこれに合わせて増加しなければならないので、右心室の仕事量としては増加するのはやむを得ない。Lefemin¹⁷⁾ らは、実験的に右心不全モデルを作成し、LVAD の効果を検討したところ、極度の右心不全の場合には、右、左心系の拍出量のアン

表4 左心バイパスの適応

- | | |
|---|-----------------------------------|
| ① | 各種薬物療法, IABP を用いても人工心肺から離脱不能の場合 |
| ② | 心筋症を伴った心不全 |
| ③ | IABP が効果を示さない高度の心筋梗塞症 |
| ④ | 急性ウィルス性心筋炎による極度の心不全 |
| ⑤ | 心臓移植後のドナー心不全
(虚血障害, 急性拒絶反応による) |
| ⑥ | 心臓移植へのブリッジバイパスとしての使用 |

バランスのために、より右心不全が増悪し、心拍出量、血圧の低下を認めたと述べている。すなわち、LVAD を行う上で、その補助流量の規定因子として、右心室機能が重要であると考えられる。

RVAD は右心不全または左心不全を伴った右心不全に適用される。RVAD は肺、更には左心系、という重要臓器に送血する特殊性を持っているため、LVAD とは異なった独自の駆動法とその評価が重要になる。すなわち流量補助が心拍出量の50%を超えると、平均左房圧が急激に上昇し、左心室の拡張も著明となり大動脈圧、心拍出量の低下を招来する。このことから左心不全を合併している症例では、30~40%程度の補助流量が至適と考えられる。

RVAD における、この左心不全を補う方法として、両心バイパスまたは IABP の併用が考慮されるが、鈴木ら¹⁸⁾ は RVAD と IABP の併用により左室前負荷、右室後負荷の軽減並びに冠血流量の増加、肺間質浮腫の軽減が期待できると述べている。

両心バイパスは LVAD と RVAD の組合せであり、完全人工心臓の項で述べる。

現在 VAD は Biomedicus (Biopump), Centrimed, Novacor, Thoratec などが製作している。その形状、駆動方法については成書を参照願いたい⁷⁾。

3. 人工心臓を用いた心臓移植へのブリッジバイパス

図1に述べたように、両心バイパス下に心筋の回復が得られない場合には、完全人工心臓を適用し、長期間血行動態を維持していく必要がある。現在得られている人工心臓の恒久的使用は未だ実験段階にあるので、心臓移植が可能であれば、こ

れに移行することが望ましい。1967年 Cooley¹⁹⁾は人工心肺より離脱不能となった左室瘤切除術後の患者に対して人工心臓を用いて64時間補助循環を行い、その後に心臓移植を行った。人工心臓による一時的な循環の補助を経た(ブリッジバイパス)後の心臓移植の概念はこの時初めて実現した。その後 Berney, Copeland らが試みたものの、最初の成功例を得るまでには1985年8月までの長い年月を要した²⁰⁾。

完全人工心臓は、通常の VAD では12日以内の補助が限界であるのに対し、耐久性、制御機構に優れているため、10日~110日までの安全性が確認されている。1988年末までに施行されたブリッジバイパス例は142例で、ブリッジ期間は53~90日(平均75日)であった。このうち99例(69.7%)に心臓移植が行われ、70例(49%)が社会復帰している²¹⁾。適応例は表4に示した VAD の不全心とほぼ近似しているが、ブリッジバイパスの予後を悪化させる要因は①ウィルス性心筋炎、②移植心の拒絶反応に伴う心不全、③5時間以上の長時間体外循環施行後、④他臓器の不可逆性の障害、

⑤免疫能の亢進、⑥活動性の全身感染症(特に肺炎など)である。ブリッジバイパスの適用から除外されると考えられる症例を表5にまとめた。

心臓移植が再開できれば、圧倒的なドナー不足が予想される我が国においては、移植待機期間が欧米よりも長期にわたる可能性があり、このようなブリッジバイパスを経て移植される症例が増加するのではないかと考えられる。

4. 骨格筋を利用した心筋補助(骨格筋ポンプ)

上記に挙げた各種補助循環法では体内に異物を留置させ、さらに体外の駆動装置に永久的に依存しなければならない不利な点がある。心臓移植の場合にも免疫抑制剤などの服用が義務とされる定期的な検診が必要である。そこで、自己体内の筋肉の一部により、心臓が補助されれば、これらの煩わしい問題から解放され、Quality of life の観点から、有意義であると考えられる。この意味で生体内の自己組織により心筋を代用できないかという発想が生まれて来る事は当然であろう。

1933年 Fontaine ら²²⁾は大胸筋を用いて、初めて心筋梗塞部を補助した。これ以後、腹直筋、横隔膜筋、広背筋などが心筋の補助として用いられてきた。

1980年 Macoviak²³⁾らは、実験的に横隔膜筋を用いて心室自由壁を再建するとともに、横隔膜神経をペースメーカーに同期させて、心機能の補助を試みた(図6)。Carpentier, Magoven ら^{24), 25)}は臨床的に広背筋を心室の全周性に縫着し、ペースメーカー刺激で心拍動に同期した収縮をさせることにより心機能の改善傾向を認めた

表5 ブリッジバイパスの禁忌

- ① 活動性全身感染症
- ② 開胸手術の既往がある
- ③ 60才以上の高齢者
- ④ HLA 抗体が強陽性である
- ⑤ 急性尿管壊死を伴っている
- ⑥ 不可逆性脳障害を認める
- ⑦ 体格が極めて小さい(体重 50 kg 以下, 胸骨-脊柱径が 8 cm 以下)

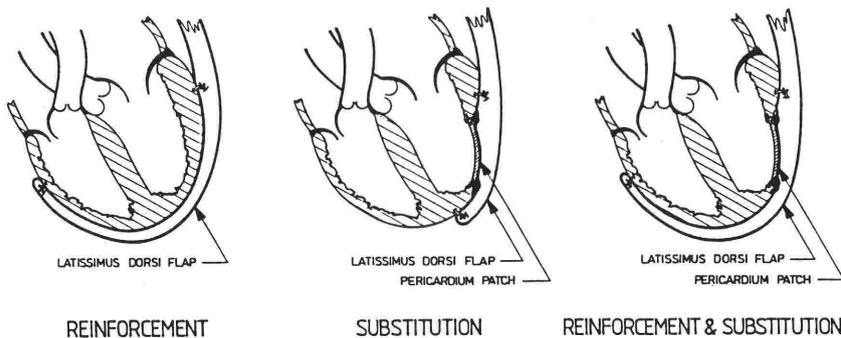


図6 心室自由壁の広背筋による再建
広背筋の収縮力を利用して両心のポンプ機能補助(左)、左室欠損壁の代用筋(中)、その両方(右)としてそれぞれの再建方法を示す。

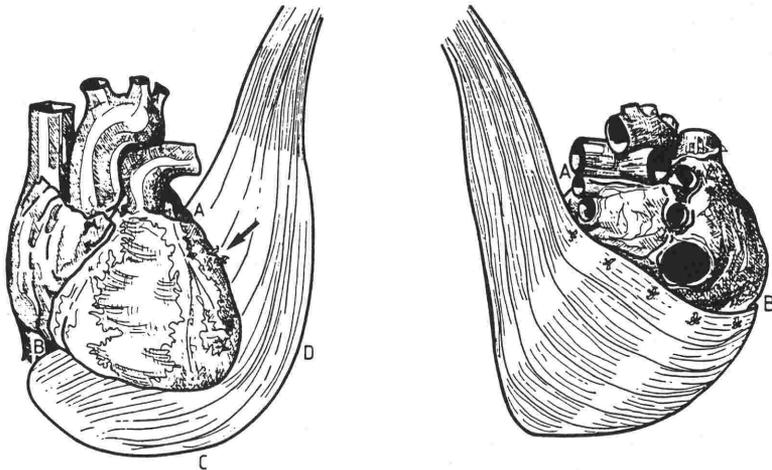


図7 心機能補助としての骨格筋ポンプ
両心室の全周に、広背筋を縫着させ、ポンプ機能を発揮させる。

(図7). この骨格筋ポンプについては骨格筋と心筋の本質的な相違点をいかに克服してゆくかが焦点となる。

心筋と骨格筋は基本構想においては近似している。しかしながら、心筋細胞は多数のミトコンドリアを有する(30%)がゆえに、好氣的代謝が非常に効率良く行うことができるのに比較して、骨格筋細胞内のミトコンドリアの数は少なく(2~5%),持続的な運動負荷を加えると、エネルギー産生が間に合わず対応しにくいという面を有している。また収縮伝達機構については、心筋細胞は、伝導速度の速い、刺激伝導路を有しており、この伝導形式は基本的に活動電位が心筋細胞間を伝達して心筋全域に到達してゆく。これに対し、骨格筋では、筋線維にそれぞれに神経終末が到達しており、この神経線維を介して個々の筋線維が収縮するため、収縮の強度は刺激する筋線維の数により決定される。つまり、心筋では、細胞間の伝導系を有しているため、単一刺激で心筋全体への収縮が可能となるが、骨格筋では複数の神経刺激を起さなければ、ポンプ機能に適した強い収縮能を得ることは困難である。

Chiu²⁶⁾らは、群発刺激を骨格筋に加えることにより、骨格筋にこのような強い収縮を期待できると述べた。しかしながら、これらの臨床応用では、術前1~2カ月の間、骨格筋の訓練を充分行い、筋肉を発達させた上で行うのが望ましいので、急性心不全状態への対応は困難であり、慢性低心拍

出量症候群を呈する患者が適応対象となる。さらにこの骨格筋の収縮力を利用して、Counterpulsationや補助心臓に応用してゆく研究も進められているが、克服してゆかねばならない課題も多く残されている。

以上重症心不全患者に対する各種補助循環法の概念、適用方法、問題点について概説した。これらの方法を用いた有効なMechanical assistanceは、今後特に救命救急センター、ICU、CCUなどの臨床の場に一層普及してゆくことは想像に難くない。救急救命の分野でのMechanical assist法治療体系は、今後、一層増加する臨床経験に学び、確立されるべきであろう²⁷⁾。

参考文献

- 1) Unger F: Assisted Circulation 3. Springer-Verlag, Heidelberg; 1-4, 1989.
- 2) Mouloupoulos SD, Topaz S, Kolff WJ: Diastolic balloon pumping (with carbon dioxide) in the aorta—a mechanical assistance to the failing circulation. *Am Heart J* 63:669-675, 1962.
- 3) Kantrowitz A, Tjonneland S, Freed PS, et al.: Initial clinical experience with intra-aortic balloon pumping in cardiogenic shock. *JAMA* 203:113-118, 1968.
- 4) Kantrowitz A: Experimental augmentation of coronary flow by retardation of the arterial pressure pulse. *Surgery* 34:678-687, 1953.
- 5) 遠藤真弘, 小柳 仁, 西田 博他: 心原性ショックに対するIABPの動向. *総合臨床* 38:104-112, 1989.
- 6) 酒井 章: 実験的増幅弁閉鎖不全および心室内圧一

- 右短絡に対する大動脈内バルーンポンピングの効果. 日本胸部外科学会雑誌 25: 123, 1977.
- 7) 小柳 仁, 木全心一, 遠藤真弘, 西田 博: 心不全の治療, 新薬から補助心臓まで. : 82-114, 1988. (中外医学社)
 - 8) Satler LF, Rackley CE: Assessment of adequate circulatory assist during intraaortic balloon counterpulsation. Chapter 12, In: Brest AN (ed) *Advances in critical care cardiology*. Cardiovascular clinics. Davis, Philadelphia, : 141-149, 1986.
 - 9) D' Agostino RS, Baldwin JC: Intra-aortic balloon counterpulsation: present status. *Compr Ther* 12:47-54, 1986.
 - 10) 益子建男, 堀越茂樹, 松井道彦, 他: 10年間の開心術症例における IABP 使用108例の検討—特に合併症を中心として—. 日本胸部外科学会雑誌 37: 101-106, 1989.
 - 11) 吉岡幸男, 齊藤寛史, 久保英史, 他: 日本人の体格に適した IABP バルーンサイズの検討—IABP による腹部合併症3例の報告から—. 胸部外科 40: 736-741, 1987.
 - 12) Freed PS, Warlie T, Bar-Lev A, et al.: Long-term percutaneous access device. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 31:230-234, 1985.
 - 13) Bar-Lev A, Freed PS, Mandell G, et al.: Long-term percutaneous access device. In: *Advances in coatieous arebulatory pertoneal dialysis*. Proceedings of the seventh CAPD Couference. Kasas City, Missouri Feb 1987. *Peritoneal Dialysis Bull*: 81-87, 1987.
 - 14) Mouloupoulos S: Systolic counterpulsation with a small balloon to increase coronary flow. In: Unger F (ed) *Assisted circulation 2*. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokyo, : 38, 1984.
 - 15) Mouloupoulos S, Stamatelopoulos S, Ekonomidis K, et al.: "Ventricularization" of the aorta. A new method of support to the severely failing circulation. VIIth Congs. International Society for Artificial Organs, Munich 1987, Sept.
 - 16) McGee MG, Zillgitt SL, Trono SA, et al.: Retrospective analyses of the need for mechanical circulatory support intra aortic balloon pump/abdominal left left ventricular assist devices or partial artificial heart following cardiopulmonary bypass: a 44 months study of 14168 patients. *Am J Cardiol* 46:135, 1980.
 - 17) Lefemine AA, Danbai J, De Lucia A: Concepts in assisted circulation. *Tex Heart Inst J* 13:23-37, 1986.
 - 18) 鈴木修: 急性右室梗塞に伴う右心不全に対する補助循環の効果に関する実験的研究—特に RVAD と IABP について—. 日本胸部外科学会雑誌 37 (8) : 1517, 1989.
 - 19) Cooley DA, Liotta D, Hallman GL, et al.: Orthotopic cardiac prosthesis for two staged cardiac replacement. *Am J Cardiol* 24:723-730, 1969.
 - 20) Copeland JG, Levinson MM, Smith R et al: The total artificial heart as a bridge to transplantation: a report of two cases. *JAMA* 256:2991-2995, 1986.
 - 21) Griffith BP, Hardesty RL, Kormos RY: Temporary use of the Jarvik-7 total artificial heart before transplantation. *N Engl J Med* 316:130-134, 1987.
 - 22) Leriche R, Fontaine R: Essai experimental de traitement de certains infarctus du myocarde et de l' anevrisme du coeur par une greffe de muscle strie. *Bull Soc Nat Chir* 59:229-232, 1933.
 - 23) Macoviak J, Stephenson LW, Spielman S et al: Electrophysiological and mecharacteristics of diaphragmatic autograft used to enlarge right ventricle. *Surg* 31:270-271, 1980.
 - 24) Carpentier A, Chachques JC, Grandjean PA, Perier P, Mitz V, Bourgeois I: Tramation d' un muscle squelettique par stimulation sequentielle progressive en vue de son utilisation comme substitut myocardique. *C R Acad Sci* 301:581-586, 1985.
 - 25) Magovern GJ, Hecksler FR, Park SB, et al.: Paced latissimus dorsi used for dynamic cardiomyoplasty of left ventricular aneurysms. *Ann Thorac Surg* 44:379-383, 1987.
 - 26) Chachques JC, Grandjean PA, Carpentier A: Latissimus dorsi dynamic cardiomyoplasty. *Ann Thorac Surg* 47:600-604, 1989.
 - 27) 八田光弘, 小柳 仁: 心臓手術と心筋 Viability. 呼吸と循環 38: 223-228, 1990.