

10. 補助循環 (Assisted Circulation)

小柳 仁* 西田 博* 遠藤 真弘*

近代的な CCU(Coronary Care Unit), mobile CCU, ペースメーカー, 抗不整脈剤, 新しいカテコラミンの開発, 心蘇生術, 除細動器などを総合したいわゆる心蘇生学¹⁾ともいうべきものが, 各科の領域をとりはらったかたちで臨床家のものになってから約10年の歳月が経過した. このあいだ, 急性心筋梗塞における rhythm death²⁾については, 明らかな改善がえられたものの, ポンプ不全については CCU 開設前と, その救命率の点で本質的な差は残念ながら認められない³⁾. この点での飛躍がないかぎり, 急性心筋梗塞における救命率の向上は遅々としてはかどらぬ時期がつづくであろう.

このような内科的治療限界をはるかにこえた心不全患者に対して機械的手段を用いて循環の補助, 代行を行い, あわせて冠循環, 腎循環, 血液ガス交換の改善なども計り, さらに一旦悪循環におちいった心不全患者の心機能の回復までを目差そうというのが補助循環法である. 1960年代から開発されてきた種々の補助循環法はすべて, 重症心疾患開心術時の人工心肺よりの pump off の問題および虚血性心疾患の増加とそのポンプ不全に対する治療法の模索からはじまっている(表 1).

一般に心肺機能を代行するものとして, 短時間使用下に開心術を行うための人工心肺装置を一方の極とし, 長期または半永久的に心機能を補助または代行するものとしての補助心臓, 完全人工心臓を他方の極とすると, その中間に機械的手段を用いて急性心不全患者や開心術後の患者に数時間ないし数日間使用できる, いわゆる狭義の補助循

表 1. 心筋梗塞合併症に対する外科的な治療

I. 冠血行再建術	
II. 心筋破裂	{ 破裂閉鎖 中隔穿孔閉鎖 僧帽弁置換術
III. 梗塞切除術	{ 心室瘤切除術 急性心筋梗塞切除術
IV. 梗塞心の循環補助	{ IABP 体外式 CP 左心バイパス 補助心臓
V. 心臓置換術	{ 心臓移植 人工心臓

環法がある. もちろん本稿ではこの本来の狭義の補助循環法について述べることにする. 本誌の性質上臨床応用されているもの, その可能性のあるものに重点を置き, 実験段階のもの, 理論上, 歴史上のものは極力省く方針をとる.

I. 補助循環法の分類

補助循環法の分類は大切である. なぜなら補助循環が臨床で成功するためには時々刻々変化する循環動態を同時性をもってとらえ, どのパラメータの改善を目標として, どのタイプの補助循環をくみ合わせてゆくかが大切で, 一つの方法ですべての循環不全に対応できるはずはない. したがって正しい, 臨床応用を念頭においた分類を頭の中におき, 随時適当な方法を取り出せるように各人が整理作業を試みるのがのぞましい. ここではアプローチによる分類(表 2)⁴⁾, 適応別にみた分類(表 3)⁵⁾をあげておく. 分類は固定せず, 新しい方法が登場したり, 心不全についての理解, 解析がすすんだときに合わせて絶えず整理統合, 廃止, 細分化が行われることになろう⁶⁾. 以下, 主要な補助循環法について略記したい.

*東京女子医科大学
日本心臓血圧研究所

表 2. アプローチによる補助循環の分類

- I. 外科手術を必要としない方法
 1. 体外式心臓アッサージ (用手)
 2. 体外式心臓マッサージ (機械によるマッサージマシン)
 3. カウンターマッサージ法
 4. 心拍同調節呼吸による補助循環法
 5. 心弾動図 (バリストカルディオグラム) を利用した補助循環
 6. 体外式カウンターパルセーション
- II. 末梢血管に手術操作を加える方法
 1. 静動脈バイパス (部分心肺バイパス)
 2. 経心房中隔左心バイパス
 3. 経上腕動脈左心バイパス
 4. 心拍同調節脈反脈動法 (カウンターパルセーション)
 5. 大動脈内バルーンパンピング (IABP)
 6. 拍動型静動脈バイパス法
- III. 開胸下に行いうる方法
 1. 部分心肺バイパス (右房脱血)
 2. 左心バイパス
 3. 経心房中隔両心バイパス
 4. シリーズ型補助心臓
 5. バイパス型補助心臓
 6. 開胸式心臓マッサージ

表 3. 適応別にみた補助循環法の分類

- I. 右心不全に対する補助循環
 1. 瀉血, Tourniquet, Balloon による静脈遮断
 2. 静動脈バイパス (部分心肺バイパス)
 3. 選択的右室バイパス
 4. 心拍同調節呼吸
- II. 左心不全に対する補助循環
 1. 腹部大動脈遮断 (体外からの圧迫, Balloon)
 2. 大動脈内バルーンパンピング (IABP)
 3. 大動脈壁または左室壁パンピング (Patch Booster)
 4. 心拍同調節脈反脈動法 (カウンターパルセーション, CP)
 5. 体外式カウンターパルセーション (CP)
 6. 左心バイパス
 7. カウンターパルセーションを併用した左心バイパス
 8. 異所性心臓移植による左心バイパス (左房一大動脈)
- III. 両心不全に対する補助循環
 1. ペースメーカー
 2. 補助呼吸, 調節呼吸
 3. 各種心臓マッサージ
 4. IABP, CP を併用した静動脈バイパス
 5. 完全心肺バイパス
 6. 心臓移植, 完全人工心臓

II. 静動脈バイパス (V-A bypass, F-F bypass, 部分心肺バイパス) (図 1)

もっとも簡便で臨床応用が容易であり、その意義を十分理解すれば、種々の場面に適応があると考えられる方法である。アプローチは多くの場合大腿動静脈を用い、時に頸動静脈が用いられる。末梢静脈よりの脱血を人工肺または reservoir に入れ、通常ローラーポンプで動脈に送血するものである。したがって手技は容易で補助循環開始までに時間を費すことなく、麻酔もとりあえず局部ですむなど利点が多い。

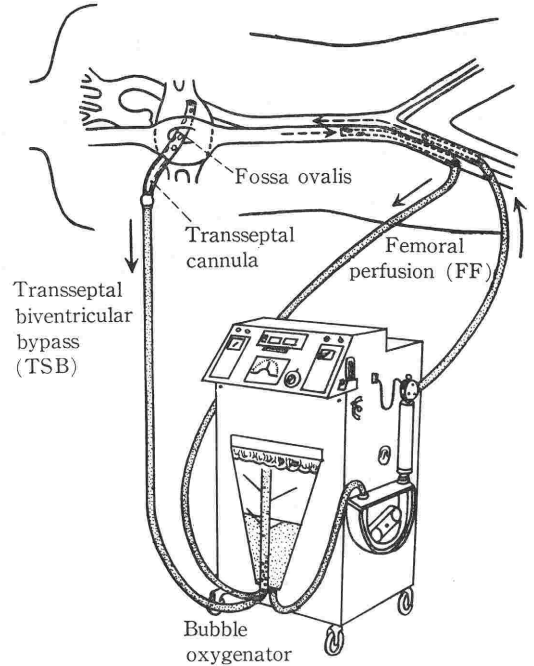


図 1. 補助循環 (部分心肺バイパス, 経中隔両心バイパス) の模式図

この方法は、従来、右心不全に対しては、静脈血の吸引効果により、右心系の圧低下、右心仕事量減少が期待でき、明らかな右心補助効果を示すと考えられてきた。事実臨床著効例も報告されている。一方、左心に対しては左室仕事量の減少を認めるが、末梢動脈への灌流操作により、かえって大動脈圧の上昇、左室拡張終期圧、左房圧の上昇など左心の圧負荷を増大させるといわれ、左心不全に対する適応に疑問が投げかけられている^{4, 7, 8)}。

臨床著効例の報告⁹⁻¹¹⁾では対象となる不全心の病態が右心不全を主体とし、左室は右室拍出量の増加に十分応じることが必要であり、もし左心不

全が主体であればかえって肺水腫を誘発するおそれがあると考察しているが残念ながら左心系パラメータの検索がなされていない。

一方、静動脈バイパスは開心術における完全体外循環の導入部、離脱部に必ず通る過程で、自己心機能との相互関係で効果と副作用とは表裏一体の関係である。また時々刻々変化する循環動態の正確な評価と補助循環の導入、離脱のタイミングが補助循環法の成否に不可欠であるにもかかわらず、生体现象とポンプ条件とを刻明に追求することはむづかしく、点の集積に終わる可能性がある。いかえると、補助循環の解析には、定量化された心不全を定量化されたバイパス量比で補助し、時々刻々変化するパラメータを追求する必要がある。

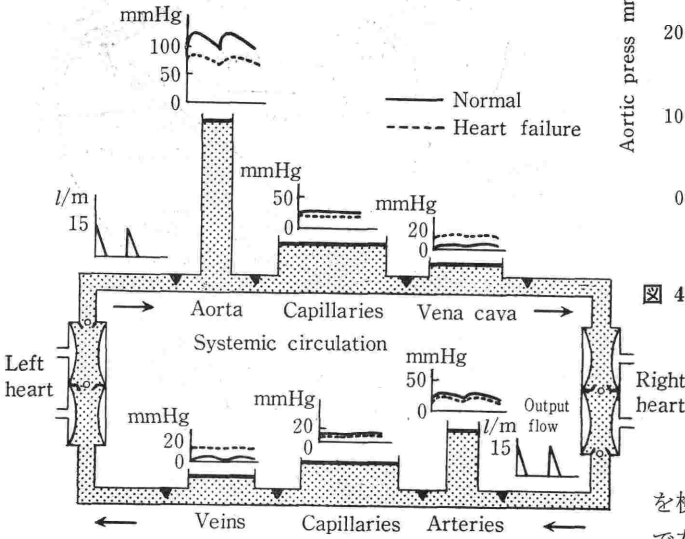


図 2. 血液循環系の数学モデル

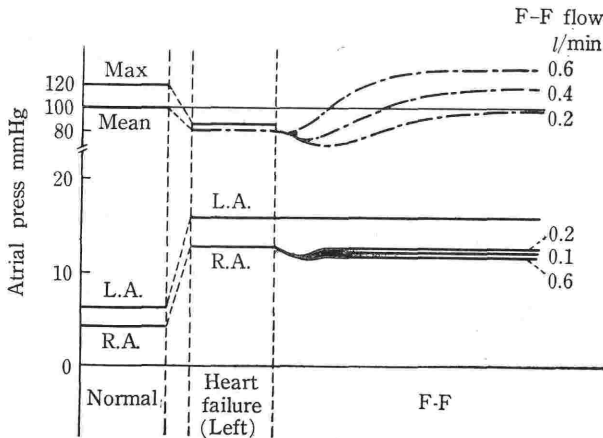


図 3. F-F バイパス流量のちがいに對する各部の血圧変化 (数学モデル計算結果)

このために血液循環系のメカニカルモデルおよび数学モデルによる解析を行い、その結果を臨床に導入応用した¹²⁾。図 2 は循環系モデルの基礎となった数学モデル、図 3 は、シミュレーターによる左心不全に対する効果と限界の解析を示したものである。バイパス率が 0.2 を越えると左房圧の改善がみられぬまま、体血圧のみが上昇する結果となり、これを理論的根拠として、左心不全に対する V-A バイパスの流量を約 3 分の 1 内外と決定した。従来漠然と考えられていた V-A バイパスの左心不全に対する限界について明確な一線をひきえたと考える¹³⁾。

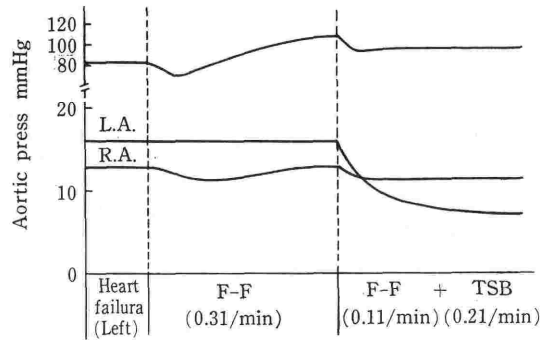


図 4. Hemodynamics in F-F & F-F+TSB (digital simulation)

さらにこの V-A バイパスの限界を克服するために左心バイパスを加えて検討を進めた。すでに心保存用に開発していた経中隔両心バイパス (TSB)¹⁴⁾ を検討に用いた。図 4 のように F-F バイパスで左心系パラメータの改善がえられなかったものに約 17% の左心バイパスを加えることにより、左房圧の低下、体血圧の適正化をみた。

しかしこのような左心バイパスを用いずに V-A バイパスの適応を拡大するため補助循環中の循環血液量を検討した^{12,13)}。その結果、hypovolemia の場合 (10%程度) は、バイパス率 30% を越えると左房圧は容易に上昇するが、10% hypovolemia の場合はバイパス率を上昇させても左房圧は上昇しない。この hypovolemic assist は臨床的に重要かつ容易な概念でこれにより開心術の導入、離脱の方法に大きな変化をもたらした。

以上、シミュレーション技法による定常流 V-A バイパス法の解析結果から、次の事項が明らかとなった。

1) 定常流 V-A バイパス法は、右心不全に対しては有効な右心補助効果を示した。

2) 左心不全に対しては、いつも左心補助効果が期待できるわけではなく、補助効果が期待できるのは心筋予備力が十分にある場合に限られた。

3) 定常流 V-A バイパス法の効果が期待できる心臓に対しては、本法に最適バイパス量が存在し、その値は不全心拍出量の1/3~1/2であった。その最適条件下では、左心流入負荷の軽減と、平均大動脈圧の上昇がみられるため心筋収縮力が回復し、生体心拍出量、および末梢灌流量の増加傾向がみられた。

4) 定常流 V-A バイパスに対して補助効果が期待できないような重症例では、バイパス施行によりかえって心臓前後の負荷増大を招いた。

また、上記のシミュレーション結果と、動物実験データ、また臨床からえられるシステムパラメータは酷似している。

V-A バイパスの欠点を克服する方法としては、さらにバルーンまたは拍動流ポンプを利用する方法がある。冠血流量、心拍出量はいずれも拍動流が定常流を上まわり、しかも左房圧は定常流より低く、V-A バイパスの欠点のもっともすぐれた解決法であると考えている。

以上 V-A バイパスの安全化と適応拡大について述べてきたが、将来バルーンの併用、血管拡張剤の有効な使用なども V-A バイパスの欠点を克服する重要な手段となりうるであろう。また、回路に抗血栓材料を用いることによる heparinless の考え方にも興味がある。

III. 静動脈バイパスによる呼吸補助*

急性呼吸不全に対する呼吸補助の目的で行われる本法は、優秀な膜型肺の登場で現実のものとなった¹⁵⁾。Geelhoed¹⁶⁾は V-V で心拍出量の50%以下で灌流し、1例の生存をえている。V-A で4例に成功しているが、心拍出量の40~85%の灌流量を用い、mean PaO₂75mmHg、肺のコンプライアンスの改善と肺高血圧の低下を認めている。しかし、この V-A 法でも前項で述べた F-F バイパスの限界の問題が避けられない。Esato¹⁷⁾によると静動脈バイパスを呼吸補助に用いる場合、効果的であるためには、心臓、中枢神経系に近い

大動脈弓の酸素飽和度が上昇しなければならない。F-F バイパスで大動脈弓の酸素飽和度をあげるためには、60ml/kg/min の流量が必要でこれは前述の F-F バイパスの限界以上である。したがって左心不全のある症例の呼吸補助には F-F バイパスでは心臓に負担がかかるので、頸動脈、鎖骨下動脈など上半身へのアプローチが必要となる。

IV. 拍動型静動脈バイパス

拍動型ポンプを用いて、静脈から吸引し、酸素化された血液を拡張期に動脈送血する方法である。F-F バイパスの限界もこの送血法を採用すればある程度緩和されるのではないかと思われる。事実 Goldman¹⁸⁾によれば左室の TTI を下降せしめ、冠血流量を50%増加させ、心停止後の心蘇生で27頭の細動犬に1時間のバイパスを加えて全例回復させたとしている。

V. 左心バイパス法

左房あるいは左室より酸素化血を脱血し、ポンプで大動脈に送血する方法で直接的な左室補助の目的で行う。日常開心術に際しては開胸して左房ないし左室を venting し、術後の循環補助に用いている。その他開心術時に左房 vent をグラフトにより造設して体外に導き、術後の左心バイパスに用いる方法¹⁹⁾、Dennis²⁰⁾の経心房中隔左心バイパス、Zwart ら^{21,22)}の経上腕動脈左室バイパス、経肺動脈脱血による左心減圧法²³⁾などがある。開胸せず左心系より脱血できる安全確実な方法がなく、臨床例の報告が少ない。著者の経心房中隔両心バイパス法^{24,25)}も開心術時の循環補助にとどまっている (図 5)。

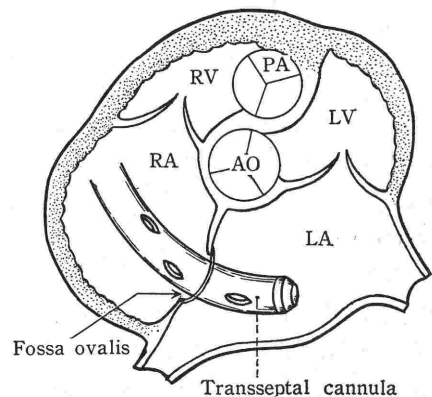


図 5. Transseptal biventricular assist system

*Extracorporeal Membrane Oxygenator (ECMO)

左心バイパスの効果を考えるとき、左心系の血管床は肺と左房のみであり、大きな実質臓器、筋肉などを有する右心系にくらべバイパス効果は低流量で顕著となるはずである。桜井⁴⁾によると心拍出量の70~80%のバイパスで左室収縮期圧は下がりはじめ TTI も減少するし、90~100%バイパスによって心筋の O₂ 消費は25~31%減少するという。血液を送り出す前方効果としては、冠血流の増加、心拍出量の増加、動脈圧の維持、心室細動発現防止効果などが挙げられる。

VI. 大動脈内バルーンパンピング [Intraaortic Balloon Pumping (IABP)]

大動脈内バルーンパンピング法 (Intraaortic Balloon Pumping, 以後 IABP と略す) は最近わが国においても急性心筋梗塞による心原性ショックや開心術後の低心拍出量症候群に用いられ、その効果が一般的に認められるようになってきた補助循環法のひとつである。この IABP の理論 (図 6) は1953年に Kantrowitz²⁶⁾ が初めて記載し、

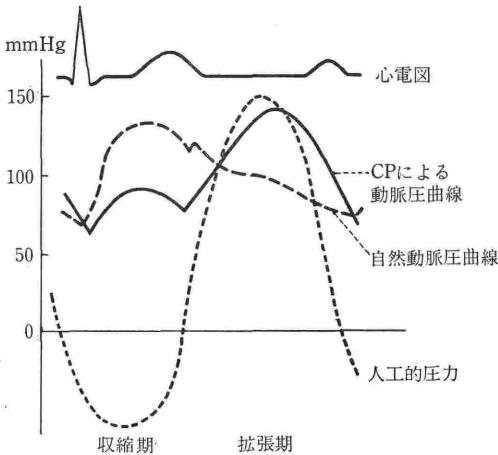


図 6. Counterpulsation の原理

Moulopoulos²⁷⁾ が1962年に動物実験でその効果を確かめた。臨床的には1968年に Kantrowitz²⁸⁾ が2例の左心不全患者に用い1例を救命したのが最初である。

★ IABPの効果

下行大動脈内に留置されたバルーンを心周期に合わせて拡張 (inflate), 収縮 (deflate) させることによりえられる効果である (図 7)。すなわち、左室の収縮が終了し大動脈弁が閉鎖したとき (動脈圧波形では dicrotic notch の時期) にバ

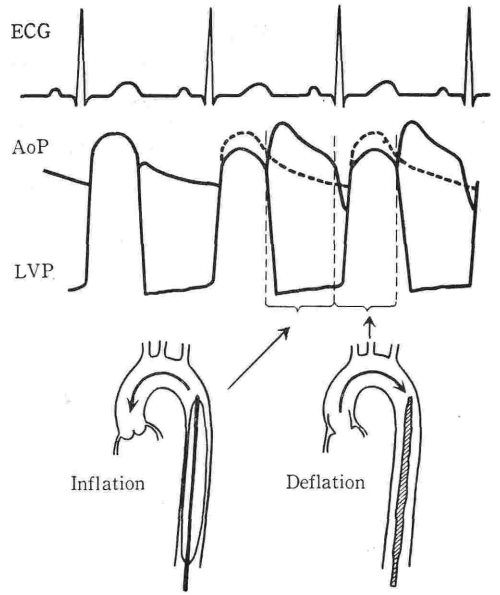


図 7. 大動脈内バルーンパンピングの方法と血行動態に及ぼす効果

ルーンを急激に拡張させることにより大動脈拡張期圧を上昇させる。次に左室収縮期直前にバルーンを収縮させることにより大動脈内圧を低下させた左室から大動脈への駆出を容易にさせる2つの効果である。前者を diastolic augmentation, 後者を systolic unloading と呼んでいる。Diastolic augmentation で大動脈拡張期圧が上昇することにより冠血流量の増加が期待できる。また, systolic unloading で左室の収縮期圧が低下することにより仕事量が減少する。これを繰り返すことにより左心機能が改善し心拍出量が増加する。

このような効果をうるためにはバルーンの拡張、収縮を適正に行うことが重要である。拡張、収縮の trigger はおもに心電図のQRS波であり、そのタイミングは動脈圧波形をみて行うため、IABPの施行に際して心電図と動脈圧のモニターは最少の必須条件である。他に CVP ラインやスワン・ガンツカテーテルを挿入することにより CVP, 肺動脈圧, 肺動脈楔入圧, 心拍出量, 動-静脈血酸素含量較差などの変化を知ることができ、血行動態をより詳細に把握することができる。

★ IABPの適応

IABPの適応となっているのは、1) 急性心筋梗塞や開心術後の心原性ショック, 2) 心筋梗塞後の胸痛, 3) 虚血に基づく不整脈, 4) 不安定狭

心症、5) 開心術後の体外循環からの離脱が困難な場合、などである。心原性ショックの基準として、著者らは、1) 血圧が90mmHg以下、2) 心指数が $2.0\text{l}/\text{min}/\text{m}^2$ 以下、3) 左房平均圧(または肺動脈楔入圧)が25mmHg以上、4) 尿量が $20\text{ml}/\text{hr}$ 以下などを採用しているが、臨床的に血圧が90mmHg以下で四肢末梢が冷たく、冷汗、尿量低下が認められれば時間を浪費することなく、心原性ショックと判断し IABP を施行する方針である²⁹⁾。

★ バルーン挿入法 (図 8)

鼠径部を縦切開し、外腸骨動脈および大腿動脈を露出する。この際、大腿深動脈の分岐部を確認

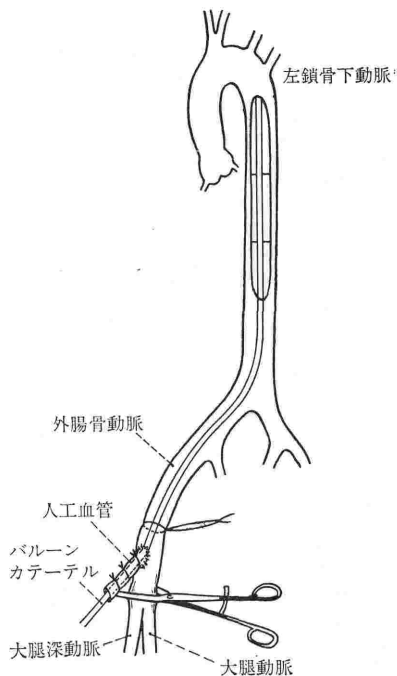


図 8. バルーン挿入法

し、この2~3cm proximal で挿入できるように十分露出することが肝要である。ヘパリンを $1\text{mg}/\text{kg}$ 投与後、distal は動脈鉗子で、proximal をテープで遮断した後大腿動脈または外腸骨動脈を切開する。バルーンカテーテルにはあらかじめ10mmの人工血管を通しておき、また、先端が第2肋骨の位置に到達する距離を計測し、縫合糸で目印をつけておく。バルーンを目印まで挿入すればすぐに IABP を開始する。次に人工血管と動脈切開部を4-0か5-0 prolene 糸で端側吻合を行った後、人工血管を2重ないし3重に結紮した後、

動脈の遮断を解除する。吻合部の上下に拍動のあることおよび出血のないことを確かめてから、人工血管を皮下に埋没するように創部を閉鎖する。なお創部を閉じる前に胸部レントゲン写真でバルーンの位置が適当かどうかを確認しておくことが必要である。

バルーン挿入後の血栓形成を防止するために低分子デキストラン(10%レオマクロデックス)を $10\sim 20\text{ml}/\text{hr}$ を投与したり、ヘパリンを時間ごとに投与したりするが、著者らは余分の補液を避ける意味でヘパリンの持続投与を行い、血液の凝固時間を2倍程度に延長させるように調節している。

なお、わが国で使用されているバルーンは容量が $20\sim 30\text{ml}$ で triple segment または dual chamber のものである。またバルーンはポリウレタンまたはこれとシリコンの重合体で作られており、抗血栓性に富んでいる。バルーンの拡張・収縮にはヘリウムガスや炭酸ガスが使用されている。

Dunkman ら²⁹⁾によると心筋梗塞により心原性ショックに陥り、IABP のみで治療を行った25例のうち9例(36%)は IABP から離脱できるが、遠隔の生存例は4例(16%)と内科的治療の成績と同様である。しかし、手術療法を加えた15例のうち6例(40%)に長期生存例をえているところにより、心筋梗塞により心原性ショックに陥った例は IABP により虚血範囲の縮小と血行動態の改善を図り、冠動脈造影を行い、手術適応のあるものは積極的に手術療法に移行することが、最善の方策であろう。わが国での IABP の歴史は浅くまだまだ一般に普及していないが、今後、もっと繁用されてよい補助循環法である。

また最近 Bregman らにより始められた経皮的 IABP カテーテル挿入法はきわめて簡便で合併症も少なく、動脈硬化性変化のため下肢よりの挿入が困難な症例にも行えるようになった。今後、この経皮的挿入法を飛躍台として、適応の拡大、症例の増加が予想されると同時に内科医が IABP に参加寄与してくると思われる³⁰⁾。

VII. 心臓マッサージ

- 1) 用手心臓マッサージ^{21,32)}
- 2) Assister cup, Anstadt cup³³⁾(図 9)
- 3) Pneumomassage³⁴⁾

4) 心臓マッサージマシン^{35,36)}

VIII. 体外式カウンターパルセーション

下肢に圧力衣を着用させ、 $\pm 100\text{mmHg}$ の陽陰圧をかける。収縮期に陰圧を、拡張期に陽圧をかけて CP 法の効果をねらうものである。この方法と心マッサージとを併用すると効果があるといわれ、カウンターマッサージの考えと類似している。Parmley³⁷⁾による nitroprusside と体外式 CP の併用による臨床例の報告によると、17例中13例は心筋梗塞で、そのうち5例は心原性ショックの状態にあり、nitroprusside の静注 ($16\sim 200\mu\text{g}/\text{min}$) により肺毛細管圧が下降し、cardiac index は上昇した。体外式 CP による diastolic augmentation により cardiac index は14%上昇したという (図 10)。

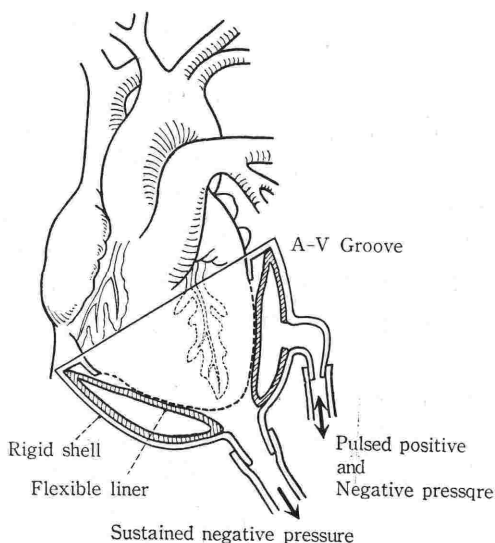


図 9. Anstadt cup. の装着模式図

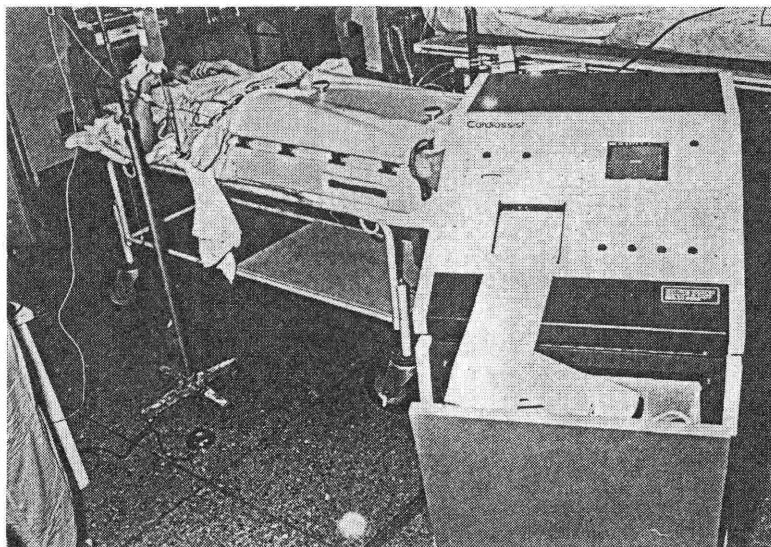


図 10. 体外式カウンターパルセーション

IX 補助心臓

これまで述べてきた補助循環法によっても心機能の回復しない重症心不全患者は補助循環装置の使用も長期化する。そこで長期ないし半永久的に自然心臓の機能の一部または大部分を代行し、患者の延命、さらには社会復帰を計る目的で開発されているものが補助心臓である。補助心臓の装着場所は生体内に設置されるものと paracorporeal に設置されるものがあり、tube型、sac 型および diaphragm 型がある。制御駆動装置はいずれも体外にあり、駆動エネルギーは空気圧駆動が大

部分であるが、水力、モーター、電磁力の利用も検討されている。心臓を補助する方式として、自然心に並列して装着するバイパス型と左心室流出路に直列に装着するシリーズ型とがあるが、バイパス型が主として行われている。1966年DeBakey³⁸⁾が初めて人工心臓ポンプを、補助人工心臓として臨床に応用して以来、補助人工心臓の開発とこれに伴う基礎研究は完全人工心臓 (Total Artificial Heart, TAH) と並行して意欲的に研究されてきた。すでに欧米では数百例の臨床例を経験し、離脱例も増加しつつある。わが国でも、東大型、国循環型がそれぞれ臨床応用され、一応の成

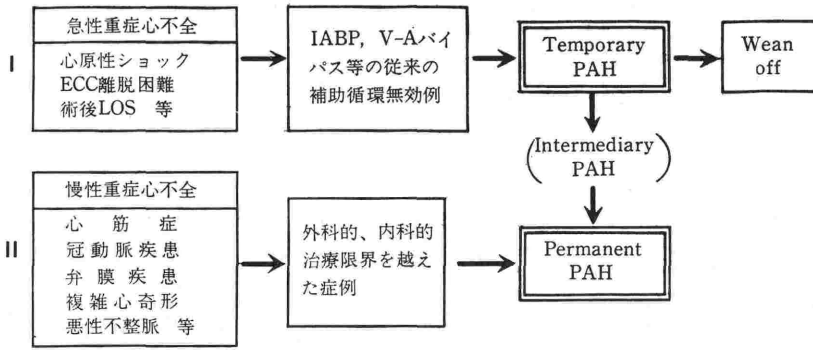


図 11. PAHの適応

果を収めている。

1. 補助人工心臓 (Partial Artificial Heart, PAH) の適応

補助循環法の目的を、全身の循環の維持、自然心の機能回復、の2点にしぼると、図11のごとく心原性ショック、体外循環離脱困難例、術後のLOS などはこの2つの目的を目指しうるので、IABP や V-Aバイパスが無効のとき、このPAHの適応が生じる。これに反し、心筋症、冠動脈疾患、弁膜疾患、複雑心奇形、悪性不整脈などの慢性重症心不全などでは心機能の回復は期待できず、現時点では心移植の適応と考えられる^{39,40)}。そしてその心臓移植との相互補完的なパートナーとしてこの補助心臓が浮び上がってきたのである。

表 4. 重症心不全の判定基準

CI	< 2.0l/min/m ²
Syst. A. P.	< 80~90mmHg
LAP	> 20mmHg
CVP	> 20mmHg
Urine	< 20ml/h
PvO ₂	< 30mmHg

この心移植と協調すべき、いわば permanent PAH は一応本稿では省くことにし、temporary PAH、すなわち急性心不全で自然心の機能回復が期待できる場合にしぼる。高野⁴¹⁾は IABP の限界を越えた症例を分析し IABP で左室機能の向上を計るだけでは不十分な症例が死亡しており、直接左心流入例の過負荷を除いて循環維持をはか

表 5. PAH臨床応用 (NIHによる1981年3月の統計)

	Patient	Weaned	Long-term survivors
Houston (DeBakey, diaphragma)	10	2	2
Houston (Norman, concentric tube)	22	3	1
Boston (Bernhard, concentric tube)	17	6	3
Hershey (Pierce, sac)	17	6	4
	(19	6	4)
		(.....Novembar, 1981)	
Vienna (Wolner, diaphragma)	10	6	1
Zurich (Turina, concentric tube)	6	4	2
Tokyo (Atsumi, sac)	1	0	0
	83	27	13
		32.5%	15.7%
	(85	27	13)
		31.7%	15.3%
cf) Centrifugal pump			
Cleveland (Golding)	12	3	2
St. Louis (Pennington)	13	7	2
	108	37	17
		34.3%	15.7%

る必要性が生じ PAH の意義が浮び上がると説いている。

2. 各施設の PAH の特徴

図12に示すように Boston の Bernhard⁴²⁾, Houston の Norman⁴³⁾, Hershey の Pierce⁴⁴⁾, Vienna の Wolner⁴⁵⁾, Zurich の Turina⁴⁶⁾, Tokyo の渥美, 国循の高野⁴⁷⁾は空気駆動式の拍動流ポン

X. 結 語

補助循環は現状では血栓, 溶血, 非生理的循環動態のために, たとえ目標とするあるパラメータを改善できたとしても, 長期になると全身的に何処かにマイナス面が現われてくるという時間的制

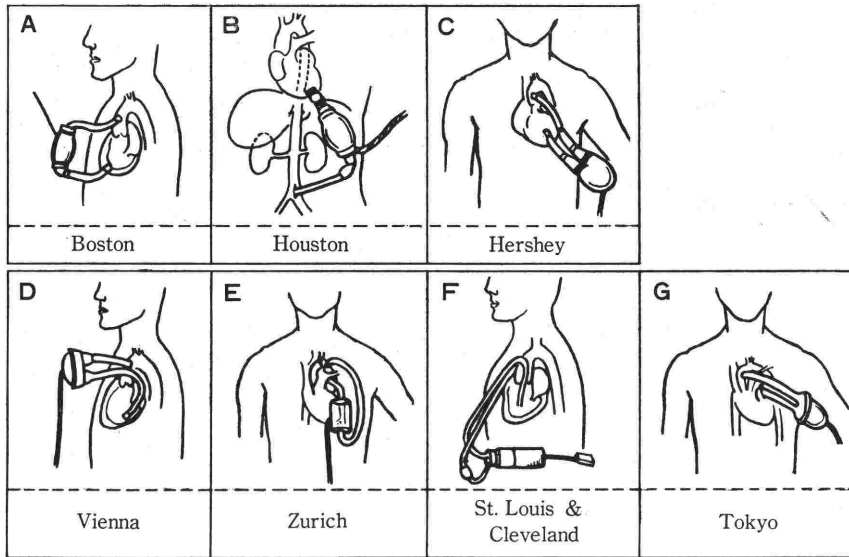


図 12. 各施設の臨床用 PHA

プを用いている。これに反し St. Louis の Pennington および Cleveland の Nose はモーター駆動の遠心無拍動ポンプを用いている。ポンプの材料はポリウレタン系が多く拍動ポンプに必要な人工弁は臨床弁置換用の傾斜ディスク弁が用いられることが多い。

3. PAH の将来

IABP, V-A バイパス, ECMO などが各施設で普及し, 重症心不全に対する治療成績は向上が著しい。逆にこれほどの進歩をもってしても救えないグループは, PAH, TAH, 心移植という次段階の治療法に進むべきであろう。これらの assist device, replacement surgery が一般の治療と遠くかけはなれていた時代は過ぎ, これらの治療法は同一線上に並ぶ連結性をもった治療体系の一部に今まさにとりこまれようとしているわけである。その進歩を見守り, 正しく判断し, あるいは進歩に寄与することが臨床医師の一人一人に必要となる日が近いと感じられる。

限があり, 限界がくるまえに原疾患の根治的な治療法を考えるのが現在のレベルでは最善と思われる。もし本当に長期の使用に耐える補助循環方式が出現し, switch off の問題が安楽死の問題として論じられるようになれば, それはそれで補助循環法研究のひとつの勝利ともいえる。

文 献

- 1) Stephenson, HF. Jr. : Cardiac Arrest & Resuscitation. Mosby, St. Lous, 1974.
- 2) BeBeck, CS, et al. : Operation for Corcnary Arlery Disease. JAMA 156, 1954.
- 3) 三浦 勇, 他 : 急性心筋梗塞 207 例のレビュー. 心臓 2 : 1246, 1970.
- 4) 桜井靖久 : 補助循環. 呼吸と循環 18 : 25, 1970.
- 5) 阿久根淳 : 補助循環—その原理と臨床応用—. 臨床外科 22 : 1347, 1967.
- 6) 小柳 仁, 梅津光生, 今野草二 : 補助循環の現況 (I) 右心バイパスと左心バイパス. 呼吸と循環 24 : 405, 1976.

- 7) Sugg, WL., Webb, WR., *et al.* : Assisted Circulation. *Ann. Thoracic Surg.*, **3** : 247, 1967.
- 8) Galletti, PM. : *Progress in Cardiovascular Diseases*. **11** : 312, 1969.
- 9) 阿久根淳, 他 : 補助循環施行後興味ある経過をたどったうっ血性心不全症の1例. *心臓* **5** : 726, 1973.
- 10) 橋本明政, 他 : 再開心手術のための一工夫. *日胸外会誌* **22** : 875, 1974.
- 11) Akio, Wakabayashi, Y., Nakamura, KJ., Murphy, EA., Stemmer, and JE., Connolly : Heparinless Venoarterial Bypass. Its Application in the treatment of Experimental Cardiogenic shock. *Arch. Surg.* **108** : 497~501, 1974.
- 12) 梅津光生 : V-Aバイパス法の工学的解析と臨床応用. 第一篇. 定常流V-Aバイパス法の効果と限界. *日胸外会誌* **26** : 27, 1978.
- 13) 小柳 仁, 梅津光生ほか : 重症心疾患開心時における股動静間右心バイパスおよび左心バイパスの効果と限界. *日胸外会*, 1975.
- 14) 小柳仁, 北村信夫ほか : 経心房中隔両心バイパス法の臨床応用. *人工臓器* **3** : 273, 1974.
- 15) Kolobow, T., *et al.* : Partial extracorporeal gas exchange in alert newborn lambs with a membrane artificial lung perfused via an A-V shunt for periods up to 96 hours. *Tr. ASAIO* **14** : 328, 1968.
- 16) Geelhoed, GW., *et al.* : Clinical effects of membrane lung support for acute respiratory failure. *Ann. Thorac. Surg.* **20** : 177, 1975.
- 17) Esato, K., *et al.* : Distribution of oxygenated blood in experimental perfusion via the femoral and carotid arteries. *I. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, **69** : 467, 1975.
- 18) Goldman, A., *et al.* : Veno-arterial phased pulsatile partial bypass (VAPPPB) for intensive coronary care unit. Assisted zirkulation. Mechanical assistance of the circulation. p. 65, Georg Thieme. Stuttgart., 1967.
- 19) 風間繁, 他 : 経胸壁左心房カニューレーション法による左心バイパスの研究. *人工臓器* **1** : 280, 1972.
- 20) Dennis C., *et al.* : Clinical use of a cannula for a left heart bypass without thoracotomy : Experimental protection against fibrillation by left heart bypass. *Ann. Surg.*, **156** : 623, 1962.
- 21) Zwart HHJ. : Transarterial closed-chest left ventricular bypass. *Tr. ASAIO* **15** : 386, 1969.
- 22) Zwart HHJ., *et al.* : The effects of transarterial left ventricular bypass on hemodynamics of the failing left ventricular in sheep. *Ann. Surg.*, **178** : 710, 1973.
- 23) Zwart HJ. and Richard, A., DeWall : Left venting via the pulmonary artery. *ASAIO Abstracts* **4** : 71, 1975.
- 24) 小柳 仁, 北村信夫, 工藤竜彦, 黒沢博身, 平塚博男, 橋本明政, 今野草二 : 経心房中隔両心バイパス法. *医学のあゆみ* **89** : 54, 1974.
- 25) 小柳 仁, 北村信夫, 工藤竜彦, 黒沢博身, 平塚博男, 橋本明政, 今野草二 : 経心房中隔両心バイパス法の臨床応用. *人工臓器* **3** : 273, 1974.
- 26) Kantrowitz, A. and Kantrowitz, A. : Experimental augmentation of coronary flow by retardation of the arterial pressure pulse. *Surgery* **34** : 678, 1953.
- 27) Mouloupoulos, SD. Topaz, S. and Kolff, WJ. : Lliastolic balloon pumping (with carbon dioxide in the aorta : Amechanical assistance to the failing circulation. *Am. Heart J.* **63** : 669, 1962.
- 28) Kantrowitz, A., Tjonneland, S. Treed, PS., Phillips, SJ., Bumtner, AN. and Shermam, JL. : Initial clinical experience with intra-aortic balloon pumping in cardiogenic shock. *JAMA* **203** : 113, 1968.
- 29) Dunkman, WB., Leinbach, RC., Buckley, MJ., Mundth, ED., Kantrowitz, AR., Austen, WG. and Sanders, CA. : Clinical and hemodynamic results of intraaortic balloon pumping and surgery for cardiogenic shock. *Circulation* **46** : 465, 1972.
- 30) 遠藤真弘, 樗木等, 西田博, 小柳 仁, 鈴木進, 小橋信二 : 経皮的 IABP 法 (Percor®) の使用経験, *胸部外科* **34** : 858, 1981.
- 31) Kouwenhoveu, W., *et al.* : Closed chest cardiac massage. *JAMA* **173** : 1064, 1960.
- 32) 黒沢博身, 今野草二 : 心蘇生法. *臨床外科* **28** : 183, 1973.
- 33) Anstadt, GL., *et al.* : Prolonged circulatory support by direct mechanical ventricular assistance. *Trans. ASAIO* **12** : 72, 1966.
- 34) Bencini, *et al.* : The "Pneumomassage" of the heart., *Surgery* **39** : 375, 1956.
- 35) 土屋喜一, 他 : 心臓マッサージ機に関する研究. *早大理工研報告* 第53輯, 1971.
- 36) Tsuchiya, K. : Cardiac massage machine machine. Amer. Soc. Mech. Engineering. New York, Nov., 1974.
- 37) Parmley, WW., *et al.* : Hemodynamic effects of noninvasive systolic unloading (nitroprusside) and diastolic augmentation (external counterpulsation) in patients with acute myocardial infarction. *Amer. J. Cardiol.*, **33** : 819, 1974.
- 38) DeBakey, M E., Liotta, D. and Hall, CW. : Left heart bypass using an implantable blood pump in mechanical devices to assist the failing heart. National Academy of Sciences, p. 223, National Research Council, Washington, D.C., 1956.
- 39) Stinson, EB. : Initial Experience in the Human Hewt Transplant. Symposium on Cardiac transplantation. 30th Annual Scientific Sessin of the American Couege of Cardiology. 1981.
- 40) 小柳仁, 中沢 誠 : 心臓移植と人工心臓との関連について. *心臓* **13** : 1428, 1981.
- 41) 曲直部寿夫, 高野久輝, 林紘三郎, 梅津光生, 富野哲夫, 鬼頭義次, 小柳 仁, 藤田毅 : *人工臓器* **9** : 770, 1980.
- 42) Bernhard, WF., Berger, RL., Stetz, JP., Carr, JG., Calo, NA., McCormick, JR. and Fishbein, MC. : Temporary left ventricular bypass : Factors affecting patient survival. *Circulation* **60** : Suppl.

131, 1979.

- 43) Normbn, J.C. : partial artificial hearts : Mechanical cloning of the ventricle. *Artif. Organs* 2 : 235, 1978.
- 44) Pierce, W., Donachy, J., Landis, D., Brighton, J., *et al.* : Prolonged mechanical support of the left ventricle. *Circulation* 58 Suppl. : 133, 1978.
- 45) Wolner, E., Deutsch, M., Losert, U., Stellweg, F., Thoma, H., Unger, F., *et al.* : Clinical application of the ellipsoid left heart assist device.

Artif. Organs 2 : 268, 1978.

- 46) Turina, M., Bosio, R. and Senning, A. : Clinical application of paracorporeal uni- and biventricular artificial heart. *Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs* 24 : 625, 1978.
- 47) 高野久輝, 林紘三郎, 梅津光生, 富野哲夫, 康義治, 鬼頭義次, 小柳 仁, 内藤泰顕, 藤田 毅, 曲直部寿夫 : 補助人工心臓の臨床応用に関する基礎的研究——補助心臓システムの開発. *人工臓器* 9 : 601, 1980.