

## 循環の人工的制御の生体システム論的考察

堀 原 一\*

循環系は血液を拍出するポンプとしての心臓と導管としての血管、さらには物質交換の場としての毛細血管から成る、主として力学的、機械的あるいは物理化学的な系である。そのなかで、血液循環の最も本質的な機能は主要臓器を含む全身組織へ酸素をはじめとする重要な物質を運搬供給し、炭酸ガスをはじめとするいろいろの老廃物を全身組織から運搬排除し、呼吸にあるいは摂取した水とともに尿として排泄することである。

そのために、全生体に必要な酸素を供給するに足る動脈血を心拍出量として送血すべく、心臓の収縮性と心拍数が調節され、各臓器、組織の酸素需要を満たすべく動脈系の各部位それぞれの緊張が調節され、全心拍出量が適正に配分されるようになっていく。また、必要な心拍出量分を心臓にもどすため、心房および拡張期心室の血液受け入れ容量と静脈系の緊張の調節によって、静脈還流量が巧妙にバランスされている。

このようなマクロ的な循環調節は、目標を生体の酸素需要を満足することにおいて行われているのであるが、ミクロ的にみると、酸素をはじめとする物質の交換の場である毛細血管における、微小循環によって行われているということが出来る。

このような循環系が急性のショックや慢性のうっ血性心不全などのような病態におちいつて、自己制御が十分できなくなったとき、血液量の不足は輸血や輸液で行い、過剰は利尿薬で腎臓からの排泄を促して期待するほか、最近では遠心分離や限外濾過による脱水やプラズマフェレシスと称される人工膜を使つての体外循環法で、人工的に血液量を制御することができるようになった。心臓

のポンプ機能の障害については、ジギタリス剤をはじめとする強心薬による収縮性の制御のほか、各種の電氣的刺激を用いる心臓ペースング法による心拍数とリズムの制御などが古くから行われている。さらに最近、病的な心臓を丸ごと他人からの心臓移植や、機械である人工心臓によって置換し、それぞれ10年以上あるいは1年を超えて、その間いろいろの問題はあるものの、患者は生存はおろか生活をエンジョイすることができるようになった。それ以前から、弁が人工弁によって置換され、心機能が著しく改善されることは、20年も前から周知のごとく日常的な治療手段となっている。

毛細血管はもちろん、数 mm 以下の太さの血管ではだめだが、それ以上で大動脈までのあらゆる部位の動脈は人工血管で置換され、血液導管としての機能を果たすことも、ふつうに臨床で行われて証明済みである。

これらの人工的循環制御法においては、その規模が例えば少量の出血や輸血はもとより、心臓ペースメーカー植込み、人工弁による弁置換や人工血管による末梢動脈バイパスや部分的な大動脈置換などのようにそう大きくない場合には、生体の自然に備わった調節系のキャパシティのなかに取り込まれ、全体として問題なく納まってしまうことがわかってきた。規模の境い目を量的にいうことはむづかしいが、例えば人工心肺による完全体外循環による開心術は、数時間までならば脳をはじめ肝、腎など主要臓器も機能を保持し、体外循環からの離脱後の生体の回復は問題なく、治療法としてすでに確立されている。心臓移植や人工心臓は心臓の全置換が急性に、しかも不連続に行われるのであるが、前者は体液性調節は維持されても神経性調節はなく、後者は体液性、神経性いずれの調節も断たれており、両方とも生体システムに

\*筑波大学教授、臨床医学系外科

とって相当大規模の外乱的人工的制御法といってよい。ことに人工心臓の場合は、今のところ一定容積のプラスチックの袋状の人工心室を空気圧によって一定のリズムで駆動するという、まだ幼稚なポンプであるが、エネルギー源としての体外においた大きな空気コンプレッサー、人工材料による血栓形成など未解決の問題があるにしても、心臓置換を受けた患者の身体機能はもちろん、人間としての知能・精神活動も保たれている事実は注目してよい。

上行・弓部を含む全大動脈置換、頸動脈、腹腔動脈や腎動脈の人工血管によるバイパス手術など、ウインドケッセルやコンプライアンスなどの機械的、力学的特性の欠如とともに、各種受容器などの生理学的特性に欠ける人工血管手術を行っても、生体は病気からの人工的解放を得れば、正常に近い人間の生活を享受することができることも、多数例で証明済みである。

このように、循環的人工的制御の手段がいろいろと開発された現在、残る生体の有する自然に備わった、中枢神経系を代表とする調節系による代償能の大きさに驚き、一方で人間機械論に基づく人体の人工的制御を可能とした優越感には自省するところである<sup>1)</sup>が、最後に最近著者らがを行っている、いくつかの補助循環法における知見を紹介したい。

×            ×            ×

大動脈内バルーンパンピング法 (IABP) が急性心筋梗塞によるショックや心臓手術後の低心拍出量症候群などに対して、ベッドサイドでも行える簡便な補助循環法の一つとしてしばしば使用される。その効果のメカニズムとして、左心室後負荷の軽減、拡張期冠血流量の増加がいわれていたが、著者らはさらに、拡張期に大動脈弓部、頸動脈洞に人工的に加える圧受容器反射による全末梢血管抵抗の低下、すなわち動静脈系の緊張軽減の

効果があることを証明した<sup>2)3)</sup>。

右心房内トリプルバルーンパンピング法を右心機能の補助循環法の一つとして、著者らは新たに開発した<sup>4)</sup>。この方法は単に右心の機械的補助だけでなく、右心房の伸展受容器反射による全末梢血管抵抗、ことに腎動脈の緊張を低下させる効果のあることを証明し、さらに利尿効果を推定した。

もう一つの新しい右心補助および肺循環補助法として、肺動脈外バルーンパンピング法の開発を行った<sup>5)</sup>。詳細なメカニズムの解明はこれからであるが、肺循環の機械的補助の効果以外にも、新しい生理学的影響が推定されている。

大動脈のほとんど全長を人工血管で置換したりバイパスする手術を行うことがあるが、いかに太い人工血管であってもこの術後、左心室肥大を起こし、ときに虚血性心筋病変を来すことがある。これは人工血管が径の方向に伸展性に乏しいこと、すなわちコンプライアンスの不足に基づくことがわかった<sup>6)</sup>。

## 文 献

- 1) 堀 原一：古典的生理学と調節・制御の外科。日本医事新報 No. 2906, p. 157, 1980.
- 2) Hori, M., Maeta, H., Kumada, M., Terui, N.: Circulatory reflex associated with the intraaortic balloon pumping method. Integrative Control Functions of the Brain, Vol. II, Ministry of Education, Tokyo, p. 221~223, 1979.
- 3) 前田 肇, 堀 原一：補助循環中の循環調節。心臓 43 : 1416~1418, 1981.
- 4) 桜井淳一, 前田 肇, 伊藤 翼, 堀 原一：右心バイパス術における右心房内バルーンパンピングの右心房機能補助効果。人工臓器 12 : 400~403, 1983.
- 5) 宮 淳, 前田 肇, 朝倉利久, 堀 原一：肺高血圧症に起因した右心不全に対する肺動脈外バルーンパンピングの循環補助効果の実験的検討。人工臓器 14 : 1953~1958, 1985.
- 6) Maeta, H., Hori, M.: Effects of a lack of aortic "Windkessel" properties on the left ventricle. Jap. Circul. J. 49: 232~237, 1985.