
 話 題

定常流ポンプによる長期循環補助

京都大学医学部心臓血管外科 西 村 和 修

補助循環，完全置換型人工心臓装置は重症心不全患者の救命手段として極めて有用である。人工心臓装置は大きく分けて拍動流型と無拍動流型（又は定常流型）の2種類に大別されるが，これまで拍動型の方がより生理的であるので望ましいとされてきた。一方，無拍動型ポンプの代表である遠心ポンプは低コスト，易操作性の点で拍動型ポンプより優れており，臨床現場ではすでにかなり普及している。

しかしながら，現在市販されている遠心ポンプは，回転軸とそのシーリング部分に大きな欠点があり，この部分での血栓形成，血液リークといった問題が生じていた。このため耐久性は48-72時間と短く，補助循環が長期になれば頻回にポンプヘッドを交換する必要があった。臨床的には最低でも2週間，できれば3か月以上の連続運転可能な遠心ポンプが望まれていた。

我々はこの問題を克服するために，京都大学工学部と共同研究で，磁気浮上型遠心ポンプを開発した¹⁾。このポンプは磁気カップリングされたインペラーがポンプ内で完全に浮上しており，軸受けのないシールレス遠心ポンプとして作動する。シール部分がないので血液リーク，摩擦熱発生等を生じないため，長期連続運転が可能となる。磁気浮上型遠心ポンプは，これまでの遠心ポンプに比べ溶血が少なく^{2,3)}，これまでのヒツジを用いた動物実験でも2か月程度の連続運転に成功している。DC ブラッシュレスモーターを使えば理論的には半永久使用も不可能ではない。今後，ポンプ内抗血栓性が改善されれば，近い将来，植え込み型の補助心臓として臨床応用されることが期待される。

さて，定常流で循環を行う場合，非生理的な無拍動流が生体に悪影響を及ぼすことが懸念される。通常の開心術で使用する人工心肺は，定常流であるローラーポンプ又は遠心ポンプで運転されており，無拍動が生体の種々の臓器（脳，肝，腎，消化管，皮膚等）に与える影響が数多く研究されてきた。実験的には腎臓の機能，血流が多く検討されてきたが，その結果は一定以上の流量（2.2 l/min/m²）が保たれているかぎり，無拍動でも腎機能に悪影響は与えないが，腎皮質は髄質に比べ血流は低下すると報告されている。肝静脈血流においても，無拍動で十分血流は保たれている⁴⁾。脳循環は無拍動にするとその血流と代謝率が低下すると言われているが，詳細なデータは不足している。大半の心臓外科医は現実的には短時間の人工心肺では無拍動で問題はないことを経験的に知っている。

人工心肺中のこれらの結果はいずれも3時間程度の短期の循環でのもので，長期に循環を行った場合の影響はいまだ十分解明されていない。定常流ポンプを100%に近い補助率で補助循環する場

 KAZUNOBU NISHIMURA: Long term assisted circulation by non-pulsatile pumps.

Assistant Professor, Department of Cardiovascular surgery, Faculty of Medicine, Kyoto University.

Key words: Assisted circulation, Non-pulsatile flow, Centrifugal pump, Implantable assist device

索引用語: 補助循環, 無拍動流, 遠心ポンプ, 埋め込み型補助心臓

合,あるいは定常流ポンプを完全置換型人工心臓として応用することを試みるならば,長期に無拍動とした場合の生体反応の解明が重要となる. 1980年始めに, Cleveland clinicのグループは心室細動としたウシに両心補助として遠心ポンプを装着し, 99日の生存を得ている⁵⁾. 平均血圧は拍動の時と比べ少し高めに設定されていた. この報告により, 無拍動でも生体はかなり順応するのではないかと考えられてきた. その当時は長期連用可能な定常流ポンプがなかったが, 最近になって軸流ポンプ, 遠心ポンプの技術的レベルが向上し, 長期間無拍動の循環生理の重要性が再びクローズアップされてきた.

無拍動か拍動かという議論はどちらが良いかという視点ではなく, 拍動の方が優れていることは当然であるが, ある条件下では無拍動でも十分ではないかという点で議論されている. 例えばショックに陥った後の回復には拍動が必要であることは実験的に証明されている. しかし, 拍動と言っても平均血圧, 脈圧, 流量などの因子があって一概には無拍動との比較は難しい. ことにどの程度の脈圧が必要であるのかは, 生体の血管コンプライアンスにも依存してくるので, さらに問題は複雑となる. 一方, 無拍動でも生理的に問題ないとなれば, 工学的には無拍動のほうが効率の良いポンプが造れるので有利である. 長期循環可能なポンプが入手できるようになった現在, 慢性期におけるこの分野の研究がもっと進んでくると思われる.

周知の如く, 本邦では心移植治療の面で, 欧米はもとより, アジアの近隣諸国からも大きく遅れを取っている. 心移植に替る救命手段として, アメリカで開発された半永久使用の埋め込み型補助心臓(拍動型)が実用化されつつあるが, ポンプ自体が大きく, 体格の小さな日本人にはふさわしくない. より小型化された埋め込み型補助心臓の開発が待ち望まれている. この領域で, 京大で開発中の磁気浮上型遠心ポンプは有望なポンプとして脚光をあびている.

文 献

- 1) Akamatsu T, T Tsukiya, K Nishimura, CH Park, T Nakazeki: Recent studies of centrifugal blood pump with a magnetically suspended impeller. *Artif organs* 19: 631-634, 1995.
- 2) Nishimura K, CH Park, T Akamatsu, T Yamada, T Ban: Development of magnetically suspended centrifugal pump as a cardiac assist device for long-term application. *ASAIO Journal* 42: 68-71, 1996, 1996.
- 3) Park CH, K Nishimura, T Yamada, H Mizuhara, T Akamatsu, T Tsukiya, K Matsuda, T Ban: Development of a magnetically suspended centrifugal pump —in vitro and in vivo assessment— *ASAIO J* 41: M345-350, 1995.
- 4) Yamada T, S Nomoto, M Aota, K Nishimura, K Matsuda, T Ban: Hepatic circulation during nonpulsatile cardiopulmonary bypass. *ASAIO J* 41: M294-297, 1995.
- 5) Golding LR, T Murakamai, H Harasaki et al: Chronic nonpulsatile blood flow. *ASAIO Trans* 28: 81-85, 1982.