

微小循環観察による人工心臓の流れ状態の生体影響に関する 総合的研究

Comprehensive study of the influence of blood flow pattern
on living body by observation of microcirculation

井街 宏 (Imachi Kou)

東北大学・先進医工学研究機構・教授



研究の概要

人工心臓による流れ状態（拍動流、連続流など）が生体の微小循環にどのような影響を及ぼすかを解明するために、自由に流れ状態を変化できる人工心臓（波動型人工心臓）と生体に埋め込んで長期連続的に微小循環観察が可能なプローブを開発した。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード

複合領域/人間医工学・医用生体工学・生体材料学/ 人工臓器工学、生態情報・計測、生体制御

1. 研究開始当初の背景・動機

生体にとって拍動流は必須なものなのか、連続流でも生体は正常に生存可能なのかは古くからの論争になっている課題であるが、ことに最近人工心臓の臨床応用が進むに従ってその議論が再燃してきた。もしも生体が連続流下で生存が可能なら、人工心臓のシステムは著しく小型化され高耐久性化が可能になるからである。

しかし、次の二つの点がこの問題を解明するのに大きなネックとなっていた。

- 1) 流れの状態を拍動流から連続流まで瞬時に、任意に変化できる人工心臓がないこと。
- 2) 微小循環のように生体の末梢の流れ状態を長期に連続的に観察する技術が確立されてないこと。

2. 研究の目的

本研究は、流れ状態が拍動流から連続流まで瞬時に変更でき、かつある程度の長期の耐久性、血液適合性が確保された完全人工心臓を開発すること、生体に埋め込んで長期、連続的に微小循環が観察可能な小型プローブを開発することによって人工心臓の流れ状態が生体に及ぼす影響を解明することを目的にした。

3. 研究の方法

- ・流れ状態を自由に変更できる完全人工心臓として波動型完全人工心臓の開発を行う。(CNC 旋盤による加工)

- ・微小循環観察用の小型のプローブを開発する(レンズの開発、焦点機構の開発)
- ・この人工心臓による慢性動物実験を行い微小循環を観察(DDG アナライザー、無侵襲脳内酸素飽和度モニターによる循環動態計測、評価)

4. 研究の主な成果

- ・波動型完全人工心臓という自由な流れ状態を産み出せる人工心臓及びその制御方法の開発に成功した。
- ・これは世界で最もコンパクトな完全人工心臓である。
- ・これによってヤギを最長 72 日まで生存させることに成功した。



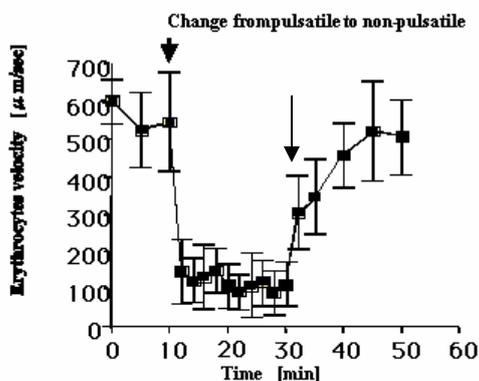
- ・市販の CCD カメラを改造し、新たに設計開発したマイクロレンズを装着することにより微小循環観察プローブの開発に成功した。
- ・焦点機構としてネジ式、マイクロモーターギア方式、空気バッグ方式等の機構を試作した。

[4. 研究の主な成果 (続き)]

- 最終的には 14 インチのモニター画面上で 650 倍の拡大率を有するプローブの試作に成功したが、これによって毛細血管やその中の赤血球の流れを観察出来るようになった。



- 波動型完全人工心臓を埋め込んだヤギの流れ助歌を拍動流から連続流に変化させ、30分後に再び拍動流に戻す実験を行い、この間の眼球結膜での微小循環の変化を観察した。
- その結果、(1) 流れを拍動流から連続流にすると細動脈が収縮し、毛細血管内の赤血球の速度は約4分の1 (526→132 $\mu\text{m}/\text{sec}$) に低下した。(2) このとき毛細血管の密度 (流れている毛細血管の数) も3分の2に低下した。(3) 流れを拍動流に戻すと多くの毛細血管の流れは元に戻るが、一部の毛細血管では低値のまま維持された。(4) これらの現象は急性実験でもほぼ同様であった。



5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

- 世界で最もコンパクトな完全人工心臓の開発に成功した。
- 生体の微小循環を長期に連続的に観察するプローブの基礎開発に成功した。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

K. Imachi, S. Mochizuki, A. Baba, T. Isoyama, I. Saito, K. Takiura, T. Chinzei, Y. Shiraishi, T. Yambe, and Y. Abe: Development of implantable probe for observation of microcirculation, Biocybernetics and Biomedical Engineering, 27(1/2), 45-52, 2007

K.Imachi: Artificial heart research and present status of clinical application in Japan, ASAIO Journal, 52(1), 9-16, 2006

P. Dobsak, M. Novakova, A. Baba, J. Vasku, T. Isoyama, I. Saito, Y. Abe, T. Chinzei, **K. Imachi**: Influence of flow design on microcirculation of undulation pump artificial heart testing, Artificial Organs, 39(6), 478-487, 2006

A. Baba, P.Dobsak, I. Saito, T. Isoyama, K. Takiura, Y. Abe, T. Chinzei, J. Vasku, **K. Imachi**: Microcirculation of the bulbar conjunctiva in the goat implanted with a total artificial heart: Effects of pulsatile and nonpulsatile flow. ASAIO J, 50(4),321-327, 2004

A. Baba, P. Dobsak, S. Mochizuki, I. Saoto, T. Isoyama, K. Takiura, M. Shibata, Y. Abe, T. Chinzei, J. Vasku, **K. Imachi**: Evaluation of pulsatile and nonpulsatile flow in microvessels of the bulbar conjunctiva in the goat with an undulation pump artificial heart. Artificial Organs, 27(10), 875-881, 2003

Y. Abe, T. Chinzei, T. Isoyama, T. Ono, S. Mochizuki, I. Saito, K. Iwasaki, M. Ishimaru, A. Baba, A. Kouno, T. Ozeki, T. Tohyama, and **K. Imachi**: Third model of the undulation pump total artificial heart, ASAIO Journal, 49(1), 123-127,2003