

宇宙遠隔自動治療システムの開発

神谷 厚範・上村 和紀・杉町 勝

国立循環器病センター研究所循環動態機能部

Development of Automated Remote Medical System in Space

Atsunori Kamiya, Kazunori Uemura, Masaru Sugimachi

Department of Cardiovascular Dynamics, National Cardiovascular Centre Research Institute, Fujishirodai 5-7-1, Suita-city, Osaka 5658565, Japan

Email; kamiya@ri.ncvc.go.jp

Abstract; Since a health care of astronauts is important for the human space development in the 21th century, it is ideal to manage the medical treatment in space by using cardiovascular medicine on the Earth. However, since cardiovascular medicine requires special techniques and knowledge, most of astronauts cannot learn it easily. Therefore, the present study has developed the automated remote medical system in space to optimize hemodynamics in heart failure (J Appl Physiol 2006). The system diagnoses hemodynamics by receiving measured hemodynamics parameters and quantifies cardiovascular mechanical properties from the parameters. Based upon the diagnosis, the system calculates and sends command signals to treatment equipments (drug infusion pump), and controls pumping ability by dobutamine, stressed blood volume by dextran and arterial resistance by nitroprusside/norepinephrine. By using the closed-loop circuit (biosignal-diagnosis- treatment), this system restored all mechanical properties (pumping ability, stressed blood volume, arterial resistance), and normalized arterial pressure, left atrial pressure and cardiac output in anesthetized animals with acute decompensated heart failure (n=10) and cardiogenic shock (n=6). The system has the ability to remote update the treatment algorithm. This system began the remote space medicine that supports human development to space. In addition, this system would be useful to support the medical treatment on the Earth, particularly in underpopulated area.

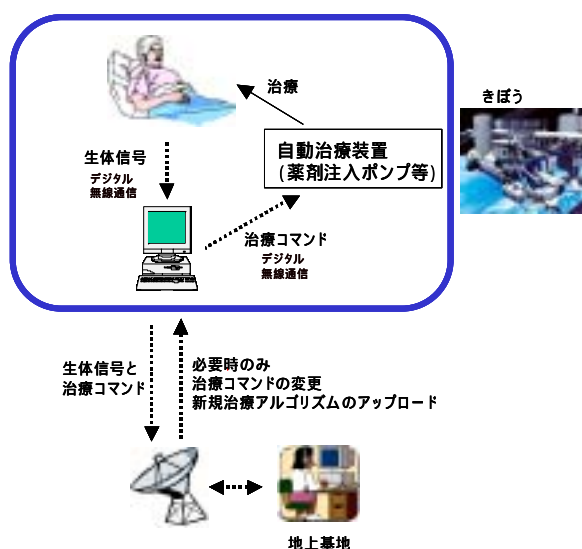
Key words; space medicine, circulation, remote medicine, automated medicine

国際宇宙ステーションをはじめとする21世紀の有人宇宙開発において、宇宙飛行士の健康管理は益々重要である。心循環系は生体の最も重要な恒常性維持機構であるため、地上における循環器病医学を宇宙環境に展開して、宇宙飛行士の健康を管理し、必要があれば治療も出来ることが望ましい。しかし、循環器病医学の専門知識や技術は高度で習熟を要す

るため、宇宙飛行士がそれを習得するのは容易でない。そこで本研究は、地上の循環器医学を宇宙環境に展開する遠隔自動治療システムを開発することを提案した。宇宙環境における心循環器病医学の主な治療対象疾患は、宇宙環境曝露による心循環デコンディショニング、および不測の事態によるショックであると考えられる。本研究の目的は、これらの克

服に焦点を合わせた遠隔自動治療システムの基盤技術を開発することとした。地球 宇宙環境間の通信には数分の遅れ時間が生じるため、一刻を争う状況では地上基地からの指令では治療が間に合わず、単に遠隔地で診断等を補助するテレメディシンでは対応できない。そこで、宇宙ステーション内に閉ループ制御自動治療装置（患者生体信号を受けてパソコンで病態を自動診断し、算出した治療コマンドで治療装置を外部制御して自動治療し、治療効果を生体信号変化で捉えて診断治療を時々刻々更新するような、閉ループ型の自動治療）を設置して自動的に医療を行い、さらに、病態（患者生体信号）や治療の様子を地上基地で監視でき、また必要があれば地上基地からも治療に介入できるシステムを考案した。

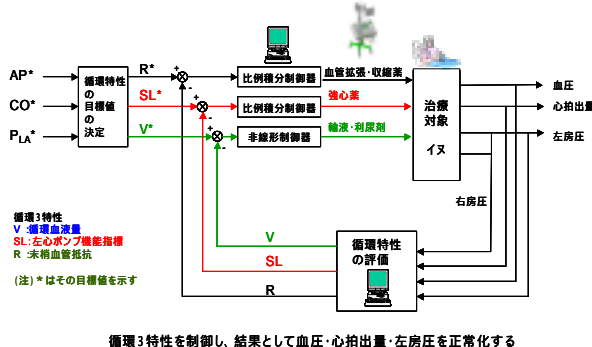
宇宙環境における遠隔自動治療システムの概要



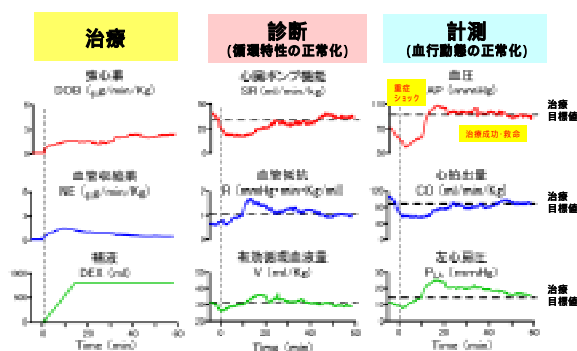
コンピューターによる自動診断自動治療では、生理や病態のモデルが必要である。そこで、血行動態（心拍出量・心房圧・血圧）が循環3特性（心臓ポンプ機能・循環血液量・末梢血管抵抗）から決定される心循環系システムの機能構造のモデル（循環平衡理論）を用いて、血行動態実測値をパソコンに送信して循環動態を自動診断するシステムを開発した。次に、薬剤治療に対する循環3特性の応答特性を実測してシステム同定し、複数の薬剤による治療が血行動態の全体に及ぼす影響のシミュレーターを開発し、閉ループ治療のアルゴリズムを開発した。これは循

環3特性を制御し、結果として血行動態3パラメータをすべて正常化する仕組みであり、心ポンプ機能指標と末梢血管抵抗はそれぞれ強心薬と血管拡張（収縮）薬による比例積分制御、循環血液量は輸液と利尿剤による非線形制御によって目標値に制定する。この治療アルゴリズムに基づいて治療コマンド（薬物投与速度など）を算出し、これによって治療装置（薬物注入ポンプなど）を外部制御して治療するような遠隔自動治療システムの基盤技術を開発した。本治療システムを用いて、心循環デコンディショニングに似た心不全血行動態異常や、不測の事態に起こり得る心原性・出血性ショック（低血圧）を治療する動物実験（イヌ）を行い、病態の自動診断自動治療に成功した。さらに必要に応じて、治療アルゴリズムを更新できるシステムも開発した。

閉ループ型自動治療システムの概要



ショック(低血圧)の自動治療に成功



本研究は、宇宙環境における遠隔自動治療システムの基盤技術を、循環器医学領域において開発を図ったものである。人類の宇宙進出をサポートする宇宙遠隔医療の幕開けであると思われ、また、過疎地など地上医療への応用の可能性も期待される。