

学位論文題名

救急医療高度化のためのバイオテレメトリ
に関する医工学的研究

学位論文内容の要旨

近年我国では、急速に人口の高齢化が進行し、いまや世界の平均寿命を誇るに至っている。また高齢化に加え生活様式の西欧化などの変化に伴い、疾病構造が変化し心循環器系や脳血管系の病気が増えてきている。また交通戦争とも呼ばれるように、交通事故による死亡者の増加も著しい。これまで我国は、緊急の傷病者対策として、救命救急センター等の救急医療体制を充実させてきた。しかし、心肺機能が停止した状態で救命救急センターに搬入される患者、つまりDOA (Dead On Arrival) 患者の数は増加しているのに対し、その救命率や社会復帰率は、先進諸外国にくらべ低いという現実がある。この問題を改善するために救急救命士制度が始められ、現在その人的および設備の整備が進められている。救急救命士制度は、救急救命士が医師の指導を受けながら、除細動、輸液等の高度な救急処置を行うことができるようにしたものである。しかし救急車両に常時医師が同乗するのは不可能に近く、何らかの方法で病院にいる医師に患者の様子を伝え、具体的な指示を仰ぐ必要がある。これを実現するためには、車両内の傷病者の容態をとらえ(生体計測)、それを病院まで伝えること(情報伝送)が必要である。つまり、生体計測・情報伝送の双方を行うことになり、バイオテレメトリ(生体情報の遠隔計測)の概念に該当するものとなる。本研究は、このような考えに則り、救急車両などの移動体から生体情報を固定局へ伝送する新たな手法を開発することを目的として行われた。本論文では、このような救急医療の高度化を図るために行ったバイオテレメトリに関する医工学的研究について述べる。

本論文は、全10章にて構成される。以下その内容について述べる。

第1章では、本研究の背景および本論文の概要について述べる。第2章では、本研究で使用した光バイオテレメトリの技術的背景として光通信の成り立ちについて説明し、さらにバイオテレメトリの概要について述べる。また、これらの技術を応用する救急救命士制度についても説明をする。

第3章から第5章では、光バイオテレメトリの多重化について述べる。種々の多重化法を検討した結果、周波数分割法と符号分割法が光バイオテレメトリの信号源多重化について有効と考え、この2つの方法の有効性について検討を行う。第一の方法として、周波数分割法に基づくパルスバースト法を考案し、この原理に基づく試作システムを作成した。この多重化法は簡単な装置で実現可能であり、数チャンネルまでの多重化に有効である。しかし高調波の問題により、数チャンネル以上の多重化は困難であることがわかった。第二の方法として、符号分割法に基づくスペクトル拡散法を光バイオテレメトリの多重化に応用した。この多重化法は、周波数分割法に比べ、より多くのチャンネルの多重化が可能である。さらに、雑音やマルチパス伝搬に強いという優れた特徴も得られることがわかった。この

原理に基づく試作システムを作成し、病室を模擬した実験室内において2チャンネルの多重化伝送実験を行った。その結果、2信号の受光強度が極端に違う場合を除き、通常は良好な伝送を行うことが可能であった。しかし本方式は、送信器の「消費電力が大きい」、「装置が複雑になる」等の欠点があることもわかった。

第6章では、救急車両内における生体信号計測について述べる。実際に走行する救急車両内において心電図、血圧値、血圧波形、血中酸素飽和度の計測を行った。その結果、臨床における計測法をそのまま救急車両内に持ち込んだ場合、問題があることがわかった。つまり車両の走行に起因する振動や騒音に伴う問題、エンジン等からの電磁雑音による電磁干渉の問題などである。またこれらの対策を講じることにより、生体信号の取得が可能であることも確かめられた。しかし、これらの計測器を救急車両内において同時に使用する場合、計測線が患者の周りに混在するという問題が生じ、救急作業の障害となる。このような問題を解決するため光バイオテレメトリの技術を導入し、ワイヤレス計測を行う手法を新たに考案した。

第7章では、救急車両内におけるこのような光バイオテレメトリの手法について述べる。つまり、小型の計測部を傷病者に取り付け、光により車両内の受信部まで伝送するシステムである。これにより、傷病者の周りから計測線を減少させることが可能となる。本手法において複数の計測部からの信号を多重化するために、前述のスペクトル拡散法を応用した。試作システムでは、ASK方式によるスペクトル拡散変調法を考案するとともに、SAWコンボルバによる復調器を採用し、消費電力・複雑さの問題を解決した。このシステムを用い、走行中の車両内において、被験者からの心電図波形のワイヤレス計測を行った。その結果、良好な安定した計測を行うことが出来ることを確認した。

第8章では、救急車両内において計測された信号を、救急無線や自動車電話回線を利用して病院の医師まで伝送する方法について述べる。このようなバイオテレメトリシステムとして、アナログ変調方式およびデジタル変調方式に基づくシステムを開発し、伝送実験を行った。アナログ変調方式による伝送は、無線回線の状況が悪化しても、雑音の中に波形の概形を把握することが出来る。またその狭帯域性を生かし、単一回線により連絡用音声と生体信号の多重化伝送が可能である。デジタル変調方式による伝送では、信頼性の高い伝送や、複数の生体信号の多重化が可能であることを確かめた。さらに、救急車両内の状況を伝える連続静止画像伝送の実験も行った。その結果、本システムは、医師が傷病者の容態をとらえるのに有用なものであることが確かめられた。

第9章では、光バイオテレメトリの適用範囲を広げるため、屋外における応用の可能性について計算機シミュレーションにより検討を行った。その結果、室内のシステムを屋外へ持ち出しても、数m程度しか伝送できないことがわかった。そこで、送受光器に発光パターン、反射板等の工夫をすることにより、10 m程度の範囲内の生体情報伝送が可能となることを見いだした。これにより、特定の範囲内であれば、屋外においても光バイオテレメトリの適用が可能であることがわかった。

第10章では本論文の内容をまとめるとともに、本研究で開発したバイオテレメトリシステムが救急医療技術の高度化および救急医療体制の改善にどうつながるかについて述べ、結論とする。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 本 克 之
副 査 教 授 勇 田 敏 夫
副 査 教 授 伊 福 部 達
副 査 助 教 授 清 水 孝 一

学 位 論 文 題 名

救急医療高度化のためのバイオテレメトリ に関する医工学的研究

近年、人口の高齢化や生活様式の変化に伴い、心循環器系や脳血管系の救急患者が増えてきている。また交通事故による死亡者の増加も著しい。諸外国に比べ低い救命率を改善するため、我が国でも救急救命士制度が開始された。この制度を有効に運用するためには、救急車両内の傷病者の様態をとらえ（生体計測）、それを病院まで伝えること（情報伝送）が必要である。本論文は、バイオテレメトリ（生体情報の遠隔計測）の手法を導入することにより救急医療の高度化を図ろうとするものであり、そのための医工学的研究について述べている。

第1章では、序論として、本研究に対する社会的要請を述べている。

第2章では、本研究の背景であるバイオテレメトリおよび光通信について述べ、さらに対象となる救急医療の現状について説明している。

第3章では、本研究で使用する光バイオテレメトリのチャンネル多重化法として種々の変調法について検討を行っている。

第4章では、光バイオテレメトリのチャンネル多重化法として周波数分割法に基づくパルスバースト法を提案し、理論解析および試作システムを通してその特性を検討している。その結果、本方法は簡便な方法であるにもかかわらず、数チャンネルの生体信号同時伝送が可能であるとの結果を得ている。

第5章では、より高度な光バイオテレメトリの多重化法として、符号分割法に基づくスペクトル拡散法について述べている。試作システムによる実験の結果、本方法は高い耐雑音性を持ち、数十チャンネル以上の多重化に有効であるという結論を得ている。

第6章では、従来ほとんど研究が行われていなかった救急車両内における生体計測に関し、実際の走行車両を用いた伝送実験を行い検討している。その結果、走行による振動や電磁雑音に対する対策をとることにより、救急医療に有効な生体信号の計測と伝送が十分可能であることを見出している。またこの手法の実用化に当たり、解決すべきいくつかの問題点も指摘している。

第7章では、第6章にて指摘した救急車両内での計測線の混雑、雑音の混入等の問題点を解決している。つまり、第5章で説明したスペクトル拡散法を用いた光バイオテレメ

リシステムを、SAWデバイスを利用した復調器に改良し、その有効性を検証している。また、このシステムを使用し、走行する車両内で生体信号のワイヤレス計測を行い、その有用性を示している。

第8章では、救急車両から病院までの生体信号伝送に対するバイオテレメトリ手法の応用について述べている。デジタル変調方式による多チャンネル信号の伝送システムおよびアナログ変調方式による音声・生体信号の多重化伝送システムを開発し、走行する救急車からの伝送実験の結果、救急医療の向上に極めて有効な手段であることを実証している。

第9章では、救急車両外における光バイオテレメトリの実現可能性について、計算機シミュレーションにより検討している。その結果、使用方法の工夫、装置の高効率化を行うことにより、開空間であっても数メートル程度の伝送が可能であり、傷病者の収容から救急病棟搬入まで、連続して光バイオテレメトリの適用が可能であることを見出している。

第10章では、各章の成果をまとめるとともに、光バイオテレメトリの手法を救急医療に応用することにより、救急医療を医工学的立場から高度化できると結論づけている。

このように本論文は、バイオテレメトリの手法により救急医療を高度化するという新しい発想に基づくものであり、本研究で開発したシステムにより傷病者の救命業務を迅速かつ的確に行うことを可能としたもので、救急医療および医工学の進歩に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。