

## 論文の内容の要旨

### 体内埋込型人工心臓へのエネルギー伝送システムに関する研究

尾関 俊長

心臓病に対して様々な研究がなされてきたが、現在では末期の心臓病患者にとって、有効的な治療法は心臓移植しか残されていない。しかしながら、心臓移植におけるドナーの数が絶対的に不足しており、世界中で毎年多数の心臓病患者が命を落としている。また、拒絶反応の問題が克服されておらず、さらに、死亡判定・脳死判定等の倫理的・社会的問題も残されている。これらの問題を解決するために人工心臓の研究開発が続けられてきた。体外に駆動装置やポンプを置く人工心臓はすでに臨床に応用されているが、感染症や患者の自由度の低下など問題を抱えており、完全埋込型の人工心臓への要求が日増しに強くなっている。このような背景の元、世界中の様々な研究施設で、完全埋込型人工心臓の研究開発が日々進められており、それぞれしのぎを削っている。完全埋込型人工心臓のエネルギー伝送部分は経皮エネルギー伝送システムが最も有力な方法であるとされている。そこで、経皮エネルギー伝送システムの抱えている問題を解決するために次のようなシステムを考案した。

経皮エネルギー伝送システムには体内電池と体外電池があり、そのエネルギー密度が十分でないため、人工心臓を駆動するためには、その大きさ、重さが問題となる。さらに充電時間や充電場所、充電可能回数(寿命)の問題を抱えている。リチウムイオン電池を用いることによりある程度問題は改善されたものの、まだ十分でない状態である。体内電池に関してはリチウムイオンを用い、体外電池を別の手法で代用する方法を提案する。具体的には、床面一面にたくさんのコイルを敷き詰め、患者には靴底にコイルをセットした靴を装着する。床側と靴側のコイルで生じる電磁結合を用いて、床面から靴側へと電気エネルギーを伝送する。そして、胸部もしくは腹部に設置された体外コイルと体内コイルを用いて、体内へと電気エネルギーを伝送し、体内電池や体内デバイスへと給電する方法である。床側、靴側共に単層円形スパイラルコイルを用いた場合について、実験を行い、床側コイルを一層構造にした場合には効率が60%以上を得られる面積占有率(被覆率)は41.1%であり、床側コイルを三層構造にした場合のそれは100%となり、コイルが敷き詰めてある床を移動する際にはすべての場所から効率60%以上で電気エネルギーを供給できることが示された。このシステムにより、コイルの敷き詰めてある屋内であれば、専用の履物を身につけることにより、体外電池を運搬する必要がなく、充電容量、充電場所、充電時間を気にすることなく、しかもコードにより拘束されることなく自由に移動することができる。

次に、経皮エネルギー伝送システムの体外コイルと体内コイルの相対的位置のズレが

生じた場合の問題を扱う。体内・体外両コイルの相対的位置のズレは時として、電力効率の低下を引き起こすだけでなく、体内デバイスの必要とする電力を供給できなくなる危険性を抱えている。すなわち患者の命を奪いかねない、最も注意を払うべき事項の一つとして考えられている。現在の技術ではズレの許容範囲はそれほど大きくないので、様々な固定方法が試されてきた。しかしながら、コイルを強固に固定することは、取り外す際には手間がかかり、本来経皮エネルギー伝送システムの長所であるべき患者の自由度に対して、それが損なわれる結果になる。逆に、ルーズに固定することは安全性の点においてリスクを取ることに成りかねない。これらの問題を解決するために、両コイルの相対的位置ズレに対して、その許容範囲を広くするシステムを考案した。

体外回路において体内コイルの位置情報を検知し、その情報を元に体外回路側の共振点を調節し、相対的位置ズレが生じた場合でも伝送電力と電力効率を高いまま維持させる。共振点を調節する方法は二通り考えられ、コンデンサーを挿入する方法と入力周波数を変化させる方法である。そのどちらについても実験を行い、効率が60%以上を得られる範囲について、コンデンサーを挿入することによって、調節した場合は面方向、垂直方向に対して約1.5倍許容範囲が広がった。これらの方法により、ズレに対しての許容範囲が広くなり、体外コイルに柔軟性を持たせたものが採用できる可能性を見出した。そのことはすなわち、経皮エネルギー伝送システムを使う患者にとって、さらなる生活の質の向上を導く結果となる。

経皮エネルギー伝送システムはほぼ確立したシステムであるので安全性と信頼性を第一条件として、使用者や術者に対して friendly であることや利便的であることが望まれる。現状に満足せず、更なる改良を加えていくべきシステムである。