

## 014 自己複製型マイクロナノロボット式人工心臓

山村 美華

### 【概要】

**現行型の人工心臓の欠点をすべて克服した全く新しい人工心臓の提案です。**自己複製型マイクロナノロボット式人工心臓は、直径数ナノメートルの自律型人工知能 GPT-54(現行 GPT-4 の Ver.54 という設定)を実装したナノロボットにより成型され、自己形成過程や自己修復過程で知的自立性を持ちます。つまり、**単一のナノロボットが生体内に導入され、体内で人工心臓のパーツにトランスフォーメーションするという画期的な人工心臓**です。

患者さんの体格に応じて計算されたマイクロナノロボット約  $10^{17-20}$  個は、経静脈的に One-Shot で生体に導入され、生体内で人工心臓の構成要素である左室内インレット、完全磁気浮上型ポンプ、ポンプと上行大動脈を連結する導管を自己形成します。マイクロナノロボット表面は患者の iPS 細胞から抽出した血管内皮細胞でコーティングされ、抗血栓性能力を高めるとともに、水分の完全なシーリングを可能にします。このマイクロナノロボットを用いた画期的な人工心臓は、**①超短時間での導入(経静脈的に One-Shot 導入、左室に到達後 2 秒以内に人工心臓の構成要素を形成)、②血管内皮細胞にコーティングされているため抗凝固療法の必要がなく、脳梗塞・出血などの人工心臓に特有な血栓性合併症のリスクがほぼ無い、③完全埋没型のためドライライン感染のリスクがない、④自己電力供給であり、外部電源を必要としないこと、⑤生体の創傷治癒過程を模した自己修復能で異常ナノロボットの自己修復、⑥内臓マノメーターによる持続的な血行動態監視および外部への情報伝達のためのテレメトリーシステム、⑦心機能が改善すると大腿静脈アプローチを介して回収可能性を有する**という多数の利点があります。

この人工心臓は、現行法の心臓移植が必要な重症心不全患者に使用されますが、この自己複製型マイクロナノロボットは 2 秒以内に埋め込むことができ、大腿静脈アプローチによるマグネットシステムで回収できる画期的な人工心臓であるため、一時的な補助循環にも利用可能です。つまり、**短期的なサポートである IABP、ECMO、IMPELLA、ECPELLA の補助循環システムの代替システムとして大きな変革をもたらす**ことができます。そればかりでなく、左室補助循環はもちろんのこと、必要に応じて**右室補助循環**も同時に可能にします。その上、耐久性も優れているため、**DT 療法にも応用が可能**です。

### 【アイデアのコンセプト】

人工心臓は、現在 HearMate3 が主流ですが、遠隔期合併症として、血栓性合併症、消化管出血、ドライライン感染症、相対的右心不全があります。また、人工心臓補助後に左室リバーシブルモデリングが起きた際に、人工心臓離脱の評価の困難さ、離脱後の左室収縮低下の見通しの難しさがあります。これら、現行型の人工心臓のデメリットをすべて克服し、全く新しい新機軸での人工心臓の想像をアイデアコンセプトの基軸に

しています。50年後は、ナノロボット工学の医学応用が進展しているはずですが、これまでの概念にないものとして、最小単位のナノロボットが生体内に解き放たれ、必要な臓器で必要な形を形成することをまず想起しました。**自己複製型マイクロナノロボット式人工心臓は、直径数ナノメートルのナノロボットにより構成**されます。1個1個のマイクロナノロボットが結合連結することで人工心臓のインペラや送血管・脱血管を成型します。その結合様式は、共有結合的に連結するものもあれば、ソフトにある程度の動きの許容を持たせる形（分子間結合）で連結させることができます。また、ナノロボットには、自律型人工知能 GPT-54(OpenAI 社 GPT4 の 50 年後のバージョン)が実装されており、自己形成過程や自己修復過程で、知的自立性を持ちます。個体でも知性を持ちますが、連結してネットワークを広げることでさらにニューラルネットワーク構造をとることができ、非線形の深層学習による生体デマンドに応じた最適な血行動態循環補助がシステム全体で出来るようになります。ナノロボットには、圧力センサー、血液流量センサー、超精密 GPS センサーが搭載されており、安静時はもちろん、刻々と変化する運動時にも最適な補助流量をサポートします。これらの設定は**患者さんのスマートフォンやテレビ、PC にテレメトリーで連結することが可能であり、補助流用や Pulsatility index ナノロボットの状態、システムの異常や suction アラートなどを把握**することができます。

この最新型人工心臓の最大の機能は、ナノ単位で自律的に最適な人工心臓のパーツになり続けようとする**デジタル自己修復能**を持つことです。それを可能にするのは、生体の創傷治癒過程を模倣したデジタル自己修復能であり、機能障害に陥ったナノロボットは、正常なナノロボットに置換され、故障したナノロボットは、尿として安全に排出されます(システム改修の際は、経静脈的にマグネット回収システムで回収されます)。優れた抗血栓性を獲得するため、マイクロナノロボット表面は患者の iPS 細胞から抽出した血管内皮細胞でコーティングされています。このことで、異物反応が起きず、凝固系が変化することはありません。そして、マイクロナノロボット自体は磁性体であり、電気伝導性も併せ持ち、**回路内で電磁誘導を介した自己発電能力を持つ**ため、外部電源を必要とせず、完全埋没型のためドライラインもありません。そして、**このシステムは左室不全ではなく、右室不全、両心不全に応用利用が可能**です。

### 【アピールポイント】

- ① 人工心臓装着手術がワンショット(数秒)で終了する。
- ② 患者本人の血管内皮細胞で被覆された抗血栓性システムのため血栓塞栓性合併症がない。
- ③ 完全埋没型のため感染リスクがない。
- ④ 自己発電能力があるため自己電力供給が可能であり、電池不足の心配がない。
- ⑤ 機能不全になったナノロボットは新しいナノロボットに新陳代謝されるように自己修復能を持つ。

- ⑥ ナノロボットの内部構造に圧力センサーおよび角加速度センサーを有するため全時相の血行動態把握が可能である（テレメトリーによる遠隔操作が可能）。
- ⑦ 特殊チタン合金によるナノロボットのため腐食はなく耐久性は半永久的である。

### 【使用するシーンや使い方の説明】

従来、心臓移植を前提にした心臓移植待機のために用いる場合は、心臓移植検討委員会で承認され、日本臓器移植ネットワークに登録の上、重症心不全患者に使用していました。**本システムは導入から回収までが極めて短時間に安全にできるため、倫理委員会の承認を必要としません。**左室機能が回復しない場合、移植を前提とした移植待機もしくはDT療法に移行する時、検討委員会を開くことになります。

たとえ、クラッシュアンドバーンの状態であってもワンショットで自己複製型マイクロナノロボットの導入が可能であり、人工心臓による補助循環開始までの時間が2秒以内であること、さらに、心機能が改善し、リバースリモデリングが生じた際、自己複製型マイクロナノロボットは数秒で解体され大腿静脈アプローチの磁石により回収可能であるという特性を持つ画期的な人工心臓となるはずです。

一時的な補助循環にも利用可能であるため、**短期的なサポートである IABP、ECMO、IMPELLA、ECPELLA の補助循環システムの代替システムとしても使用することが出来る**ので、循環補助デバイスに大きな変革をもたらします。そればかりでなく、左室補助循環はもちろんのこと、必要に応じて右室補助循環も同時に可能にしますので、**場所を選ばず即時導入が可能**です。その上、**耐久性も優れているため、DT療法にも応用が可能**です。画期的なシステムであるため、循環器内科医、心臓血管外科医はもちろん、患者さん本人、ケアギバーへの**圧倒的なユーザーフレンドリー**さを兼ね添えた補助循環デバイスの新機軸になるはずです。



