

このページでは医療の最前線でご活躍されているメディカルセンターのドクターにリレー方式でご登場頂き、健康と医療についてお話しして頂きます。

今月号は安田怜先生から人工心臓がご専門の栗田伸幸先生にバトンが移りました。

## 第218回

## 今、人工心臓はどこまで進歩しているのか？

ベイラー医科大学/テキサス小児病院 准教授 栗田伸幸



みなさんこんにちは。2022年6月より、ベイラー医科大学/テキサス小児病院に勤務しております栗田伸幸と申します。私はこれまでに寄稿されているドクターとは少し異なり、MDはMDでも、Doctor of Medicineではなく、Doctor of Mechanical Engineerで

す。前職の群馬大学では電子情報部門に所属していました。テキサス小児病院でも医師としてではなく、小児用人工心臓の研究開発を行う研究者として働いています。今回は「今、人工心臓はどこまで進歩しているのか？」と、カッコいいタイトルを付けましたが、人工心臓とはどのようなものか、どんな分類があるかなどについて書いていきたいと思ひます。

## 心不全と人工心臓

通常、成人の心臓は1分間に約60回拍動し、約5リットルの血液を拍出します。なんらかの原因で、この機能が低下してしまう状態が心不全です。仮に1回の拍動で送ることができる血流量が半分減少したとすると、生命維持ができませんので、心臓は心拍数を2倍にし、必要な血液を体に送ります。このような患者さんは安静にしているときでも心臓だけはマラソンをしているような状態になってしまいます。この状態が続けば心臓にとっても負担がかかり、症状はますます悪化してしまいます。そんな患者さんを救うためには心臓移植が最も有効です。しかし、現在はドナー不足が深刻化しており、心臓移植が必要と判断されても、実際にドナーとなる心臓が見つかり移植手術を行うことができるまでの待機時間は、平均1500日(日本)と長期化しています。そこで登場するのが人工心臓です。人工心臓により必要な血流量を補うことで、心臓を休ませ、長い待機時間を安全に過ごせるようにします。ここ、テキサスメディカルセンターは、人工心臓の開発とその埋め込み手術において、半世紀以上に亘り、世界をリードしてきました。

## 流れの方式による分類

開発が始まった当初、人工心臓は人間の心臓の動きを機械的に模した構造(図1)をしていました。心臓と同じように脈打ちながら血液を送り出す拍動流ポンプです。空気圧等の駆動力によりダイアフラムを押し下げ、血液ポンプ室の容積を増やし、血液を血液ポンプ室に流入させます。次にダイアフラムを押し上げ、血液ポンプ室の容積を減らして、血液を流出させます。この人工心臓では1分間に送ることができる血液の量は、血液ポンプ室の大きさやダイアフラムの拍動数に比例しますので、小型化が難しいという問題があります。そこで、人工心臓の第一人者としてベイラー大学医学部で長らく教授として研究室を率いておられた能勢先生らにより、遠心ポンプや軸流ポンプなどの連続流型の血液ポンプ(図2)の開発が進められてきました。これは、モータによりインペラと呼ばれる羽根車を回転させ、遠心力・揚力を発生させて血液を送出する方式です。1分間に送ることができる血液量はモータの回転数で制御できるため、拍動流型に比べて小型化することができます。

## 支持方法による分類

連続流型の人工心臓(図2)はモータによりインペラを回転させるため、ポンプケーシングをモータの回転軸が貫通しています。貫通する部分にはシールと呼ばれる血液の漏れを防ぐ部品が取り付けられていますが、シールの耐用期間が短いなどの問題があります。この問題を解決するためにインペラを回転させるためのトルクはケーシング外部のモータから磁気カップリング(永久磁石の吸引力を利用して非接触でトルク伝達を行なう機構)を介して付与し、インペラの支

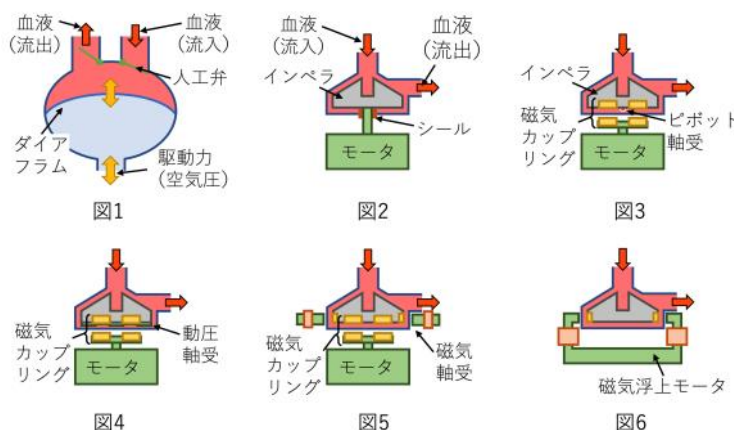
持はピボット軸受で行う方式の人工心臓(図3)が開発されました。ピボット軸受とはコマのように回転体を点で支持する軸受です。この採用によりシール部を撤廃することができるため、装置の耐用期間が延長されました。しかし、ピボット軸受部においても擦り合わさる部分は僅かながら存在しています。そのため、使用時間が長くなるとピボット部に血栓ができてしまうという問題がありました。そこで、さらに溶血を減らすために動圧軸受や磁気軸受を用いて回転体を非接触で支持する方式の人工心臓(図4、5)が開発されました。動圧軸受とは、ポンプケーシングと回転するインペラの間にある血液により潤滑流体膜と呼ばれる薄い膜を作り、回転体を滑らかに支持する装置(図4)です。動圧軸受はケーシングとインペラ間のギャップ(浮上距離)が狭いため、赤血球にせん断応力と呼ばれる断面をずらすような力加わるため、血液へのダメージがあります。一方、磁気軸受を用いた人工心臓(図5)は磁気力を利用して回転体を非接触支持する方式であり、動圧軸受に比べてギャップを広くすることができるため、赤血球に加わるせん断応力が小さく、血液へのダメージが非常に少ないです。さらに、小型化と簡素化を目的に、磁気軸受とモータを機能的に一体化させた磁気浮上モータを用いた人工心臓(図6)も開発されました。現在の人工心臓の主流となっているHeartMate3(Abbott社)がこの方式を採用しています。HeartMate3は、心臓移植に迫る非常に高い有効性を示しています。

## 人工心臓の未来

これまでに非常に様々なタイプの人工心臓が開発されてきました。上記で紹介した人工心臓は、流れの種類と回転体の支持方法の観点から特徴的なものをピックアップしたに過ぎず、実際にはもっとたくさんの種類の人工心臓があります。現在でも、カテーテルで挿入可能な人工心臓、体表面積の小さい小児にも埋込可能な超小型の人工心臓、皮膚を経由して電力転送をする人工心臓など、新たな技術を用いた様々な方式の人工心臓の研究開発が世界中で進められています。将来的には人間の心臓を超える性能を持つ人工心臓が開発されるかもしれません。

以上、人工心臓について色々書きましたが、紙面の関係でかなり端折った内容になっています。もっと詳しい説明が必要な方は何らかの方法でご連絡ください。

ところで、アメリカの死因No.1は心不全を含む心血管疾患であり、全体の32.5%を占めています。No.2は癌で26.27%です。日本ではNo.1は癌で31.6%、No.2が心血管疾患で26.61%です。アメリカに比べて日本の心血管疾患が少ない理由は食生活であると言われていて、アメリカで生活しているのになかなか難しいかもしれませんが、日頃から健康的な食事を摂る努力をしておいたほうがいいかもしれません。



次回は、歯科がご専門の中井雄太先生です。現在は、University of Texas Health Science Center at Houston School of Dentistryでご研究なさっています。先生とは、同じアパート内で大変お世話になっています。笑顔のたえない物静かな先生です。歯医者さんに行くのを嫌がるお子さんでも、安心して治療が受けられると思います。