

優秀賞 [高校生の部]

拡張型心筋症治療の未来

——心臓移植以外の手段で命を救う

群馬県立中央中等教育学校 2年

武井 綾音 たけい あやね

心臓移植の課題に対し、人工心臓の小型化ポンプを動脈・静脈の複数箇所につけるという目からうろこの治療法アイデアを提案。技術的な問題解決に取り組む姿勢はエネルギーが豊富かつ挑戦的で、実現性は不明確ながら将来に向けて新しい革新につなげてほしいという審査委員の期待感を集めました。

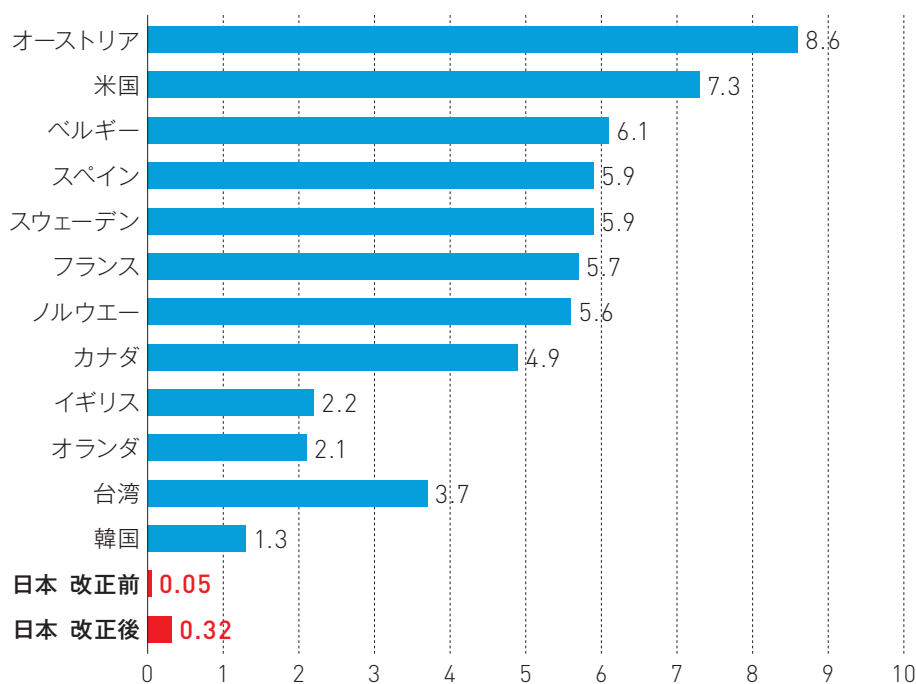
日本の臓器移植、特に心臓移植は、他の先進国に比べてかなり後れをとっている(図1)。国内での心臓移植にはドナーが足りず、実際、2014年に心臓移植を受けた日本人のおよそ4割は海外で手術を行った。米国においては米国籍を持たない人への心臓移植も認めているが、この制度は主に移植技術を持たない国の患者を受け入れるためにある。しかし、この制度での移植の多くを日本人が占めており(図2)、米国内においても心臓移植待機中に死亡する患者もいる(図3)ため、ひんしゆくを買っている。また、2008年の「臓器移植と移植ツーリズムに関するイスタンブール宣言」において、「国外患者への治療は、それに

よって自国民が受ける移植医療の機会が減少しない場合にのみ許容される」と述べられている。そのため、ヨーロッパ等では日本人の心臓移植の受け入れを断るようになってきており、今後さらに日本人に対する心臓移植が行われにくくなる可能性があり、移植以外の方法の開発が求められている。

そこで私は、自分なりのアイデアでこの問題の解決に近づけないかと考え、研究を進めることにした。

研究では、まずは書籍やインターネットで心臓移植が必要な病気や循環器系のつくりについて学び、それらをもとに治療のアイデアを考える(考察)といった形式で進めていく。

図1 人口100万人あたりの年間心臓提供者(2009年)



※「日本改正後0.32人/100万人」は2014年のデータ

まず、心臓移植が必要な病気にはどのようなものがあるのかを調べたところ、特発性心筋症（拡張型心筋症、拡張相肥大型心筋症、拘束型心筋症）、虚血性心疾患、心臓弁膜症、先天性心疾患（外科的に修復のできない場合）などが挙げられた。中でも、拡張型心筋症が心臓移植の原因の約7割を占めている（図4）ため、今回はこの疾患に絞って研究することにした。

拡張型心筋症とは、左心室あるいは両心室の心筋が薄く伸びて血液をうまく送り出せなくなる、うっ血性心不全（心臓の

ポンプ機能が不十分なために全身に血液を送り出すことができず、血液が渋滞している病態）のことである。血液を送り出す機能が低下すると血液の循環が停滞するため、全身で血流が滞る。肺でうっ血が起こると、息切れ、呼吸困難などの症状が出て、進行するとピンク色の泡状の痰が出たり、意識レベルの低下を来したりする。全身の肺以外の部位でうっ血が起こると、むくみ、手足の冷え、全身倦怠感、尿量の減少などが起こる。

図2 米国における海外渡航小児心臓移植実施数の推移 (1995-2006 UNOS)

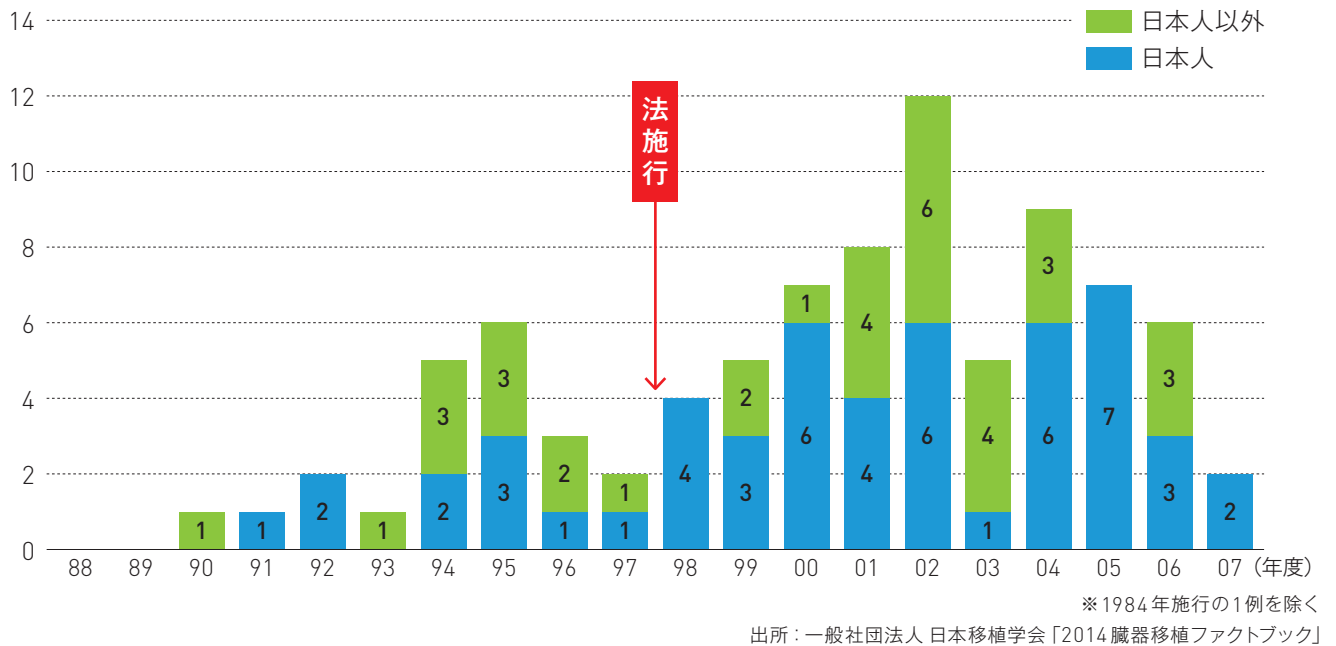


図3 米国における小児心臓移植待機中の死亡者数の推移 (1998.1.1-2007.3.31)

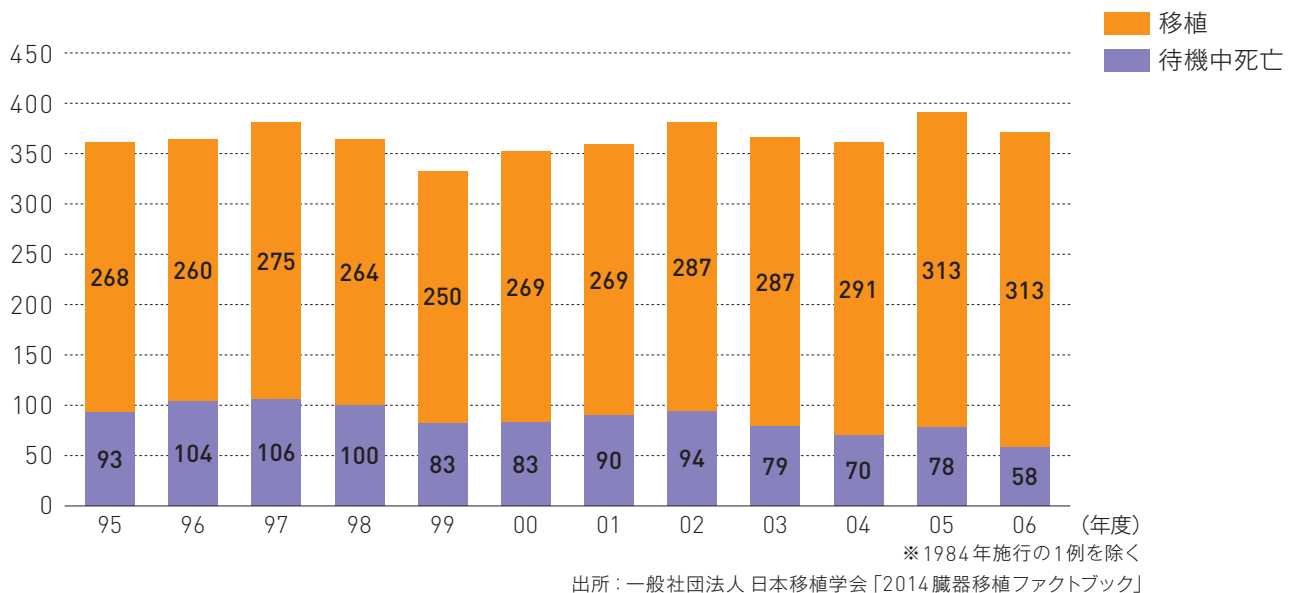
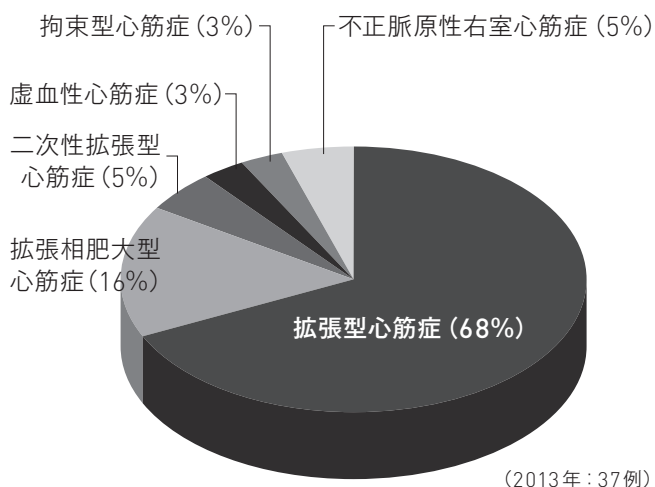
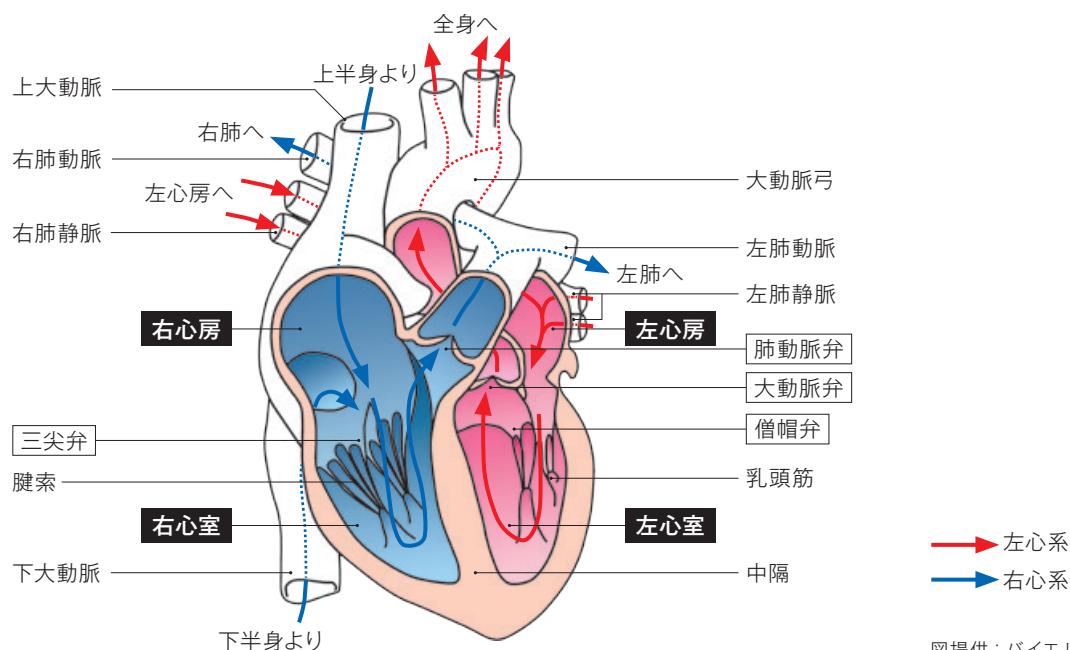


図4 日本における心臓移植の原疾患 (2013年)



次に、循環器系のつくりについて調べた。心臓については、図5からわかるように、大きく4つの部屋に分かれている。左右それぞれに心房と心室があり、心房は心臓に戻ってきた血液を受け止める役割、心室は心房から入ってきた血液を筋肉の収縮によって勢いをつけて送り出すポンプの役割を果たしている。全身から戻ってきた血液は右心房に入り、三尖弁を通過して右心室へ。右心室から送り出された血液は、肺動脈弁を通過して肺へ。肺から戻ってきた血液は左心房に入り、僧帽弁を通過して左心室へ。左心室から送り出された血液は、大動脈弁を通り、分岐して全身へ。これを繰り返すことで血液を循環させている。

図5 心臓解剖図



図提供：バイエル薬品株式会社

血管については、心臓から出た血液が流れる動脈、それが枝分かれして各組織に網目状に分布する毛細血管、それが次第に集まって心臓に戻る静脈に区別することができる。動脈の血管壁は、高い血圧に耐えられるように厚くなっている、伸縮性と弾性に富む。それに対して、すでに血圧の変化が小さく血管壁の負担が少なくなっている静脈では、血管壁は薄く弾性に乏しい。

以上の結果から、私は以下のような治療方法を考えた。弁閉鎖不全症(心室の拡大などの原因で、右心房と右心室の間にある三尖弁や左心房と左心室の間にある僧帽弁がうまく閉じなくなり、心臓内で血液が逆流してしまう病気で、心臓から送り出される血液量が少なくなる)がある場合は、それを手術で治療したのちに、より血液の停滞が激しいと思われる下半身にポンプを装着する。ポンプは人工心臓を改造し、静脈の途中に装着できるようにする。静脈の血管壁は高い血圧に耐えられる構造ではないため、改造する人工心臓には、拍動型人工心臓ではなく血液を送り出す圧力が一定な定常流型人工心臓を利用する。

一般に、心臓に装着する場合は、患者の心機能低下が進んだ場合、定常流型ポンプによる血液の流れでは脈が発生しないため、脈がふれなくなる可能性があるとしており、血流が無拍動であることが生体に及ぼす影響が十分に解明されていないことが課題となっている。しかし、定常流型ポンプにすることで、押し出される血液の圧力が一定であるため、静脈に極端に高い負荷がかからず、血管壁損傷の可能性が抑えられること、人工

弁を取り付ける必要がなく、小型化できるため、より小さなスペースでも装着することが可能であることの2つのメリットが期待できる。

この案に対して、私は次のように考察した。ポンプは吸った血液を勢いをつけて押し出しているため、ポンプを取り付けるということは、ポンプの後ろ側で血流が速くなるだけでなく、前側にも同じように影響している。そのため、ポンプをわざわざ血管壁の薄い静脈に装着しなくても、動脈に装着することで同じ働きを得られるのではないかと考えた。

ここで、ポンプを取り付ける部位を下半身の血管にすることに疑問を覚えた。ヒトの血管は、左心室から大動脈を経て次第に細かく分岐し、各器官へと血液を運搬する。分岐したあとの部分にポンプを装着した場合でも、ヒトの血管は閉鎖血管系であるから、理論上では、血液が数回循環するうちに、どの血管でも等しい速さで血液が血管内を流れるようになって考えられる。これにより、装着する部位に関わりなく、心臓の力だけでは滞っていた(循環が遅かった)血流が全身において改善されると考えられる。

このように考えると、心臓の機能が不十分になった場合でも、血管系の中に血流を促し調整する装置を1つでも装着すれば、必要量の血液が循環するということになる。しかし、これは理論上の話であり、実際には拡張型心筋症の患者に人工心臓を装着しても根本的な治療にはならないために、最終的には移植が必要になっているのである。

そこで私は、以下のようなアイデアに至った。定常流型人工心臓を改造し、より小型化した定常流型ポンプを作る。それをさまざまな部位の動脈、静脈に装着し、それぞれで血流を促す。これにより、全身のどの部位でも血流が停滞なくなり、必要量の血液が供給される。

この案の実現のためには、さまざまな課題が存在する。定常流型ポンプをより小型化し、スペースの少ない部位でも装着が可能になるようにすること。小型化した定常流型ポンプを動脈、静脈に装着し、血管を傷めずにポンプとしての役割を長期間持続できるようにすること。血栓ができないようにする、もしくは血栓への対処法を確立すること。どの部位にポンプを装着するのがよいか研究し、決定すること。無拍動のポンプが拍を打つ心臓やその他の器官に及ぼす影響を研究し、確かめること。本来(心臓がきちんと機能している場合)であれば、交感神経や副交感神経の働きで、運動の激しさによって心臓が送り出す血液量が調整されるが、血管系にポンプをいくつも装着したときに、その調整はどのように行かざるかを研究すること、などである。しかし、このような全く新しい観点から考えていくことで、新たな可能性が見い出せると思う。

参考文献

- ・ J-castニュース「国内ダメだから「海外で臓器移植」それは外国の子供の「命」を奪うこと」2009年2月22日
<http://www.j-cast.com/2009/02/22036175.html?p=all>
(2016年1月14日閲覧)
- ・ 一般社団法人 日本移植学会「2014臓器移植ファクトブック」
<http://www.asas.or.jp/jst/pdf/factbook/factbook2014.pdf>
(2016年6月7日閲覧)
- ・ 国際移植学会「臓器取引と移植ツーリズムに関するイスタンブール宣言」2008年5月2日
http://www.asas.or.jp/jst/pdf/istanblu_summit200806.pdf
- ・ 日本心臓移植研究会「本邦心臓移植登録報告」『移植』Vol.42 No.5、pp.427-429、2007年
http://www.asas.or.jp/jst/pdf/reports/42-5_p427-429.pdf
- ・ 日本心臓移植研究会「日本の心臓移植レジストリ」
<http://www.jsht.jp/registry/japan/>
- ・ 日本心臓移植研究会「本邦心臓移植登録報告(2014)」『移植』Vol.49、No.2-3、pp.275-280、2014年
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jst/49/2-3/49_275/_pdf
- ・ 慶應義塾大学病院 医療・健康情報サイト [KOMPAS]「拡張型心筋症」
<http://kompas.hosp.keio.ac.jp/contents/000200.html>
- ・ 山田智行・吉澤 誠・田中 明・阿部健一・小野寺弘晃・武田 宏・山家智之・仁田新一「定常流人工心臓の推定と制御」計測自動制御学会東北支部 第192回研究集会 資料番号192-15、2000年
www.topic.ad.jp/sice/papers/192/192-15.pdf
(2016年5月24日閲覧)
- ・ バイエル薬品株式会社 Adalat.jp「心臓(解剖図)」基礎から学べる循環器疾患講座 解剖・病態編
<http://adalat.jp/ja/home/pharmacist/basic/01/t01.php>
- ・ 海堂尊『トリセツ・カラダ』宝島社、2009年

※閲覧の日付のないウェブサイトは2016年7月15日閲覧

【受賞者インタビュー】

人の体の仕組みや働きは
素晴らしく、
興味は尽きない



—— コンテストに応募した理由、きっかけは？

学校の「総合的な学習の時間」の授業の一環として論文を書きました。

——この論文を書き上げるまでに、どのくらいの時間がかかりましたか？

高1の春に調べ学習を始めて、高2の7月頃この論文を書いたので、テーマ設定からだ1年3カ月程度です。週1回の授業を中心に研究しました。

——この論文を書いたことで良かったことはありますか？

日本の心臓移植の現状や問題の所在について知ることができたことです。また、表彰式では他の受賞者の方々とお会いして興味深いお話を直接聞き、意見交換ができたことで、大変刺激を受けました。

——今、どんなことに興味を持っていますか？

心臓に限らず、人の体の仕組みに興味があります。一番身近なはずの自分の体なのに、実はその働きや仕組みは知らないことが多く、少しずつ理解していくうちにその素晴らしさに気づき、ますます知りたくなります。