

No.67

June 25, 1997

Information

講 演

1997年2月4日（火）・第87回談話サロン（東京・弘済会館）

講師・題目

松田 暉：「人工臓器と臓器移植」—補助人工心臓の役割—

日本工学アカデミー

THE ENGINEERING ACADEMY OF JAPAN

「人工臓器と臓器移植」

—補助人工心臓の役割—



松田 暉 (まつだ ひかる)

1941年 9月 札幌市生まれ
1966年 3月 大阪大学医学部卒業
1968年 4月 大阪大学医学部第一外科教室入局
大阪大学医学部附属病院、ニューヨーク州立大学附属
Buffalo 小児病院心臓血管外科等を経て
1977年 6月 国家公務員共済組合連合会大手前病院心臓外科医長
1981年 1月 大阪大学助手、その後講師、助教授を経て
1991年 2月 大阪大学教授 医学部（第一外科講座） 現在に至る。

医学博士

日本外科学会、日本胸部外科学会、日本心臓血管外科学会、日本移植学会理事、
日本小児循環器学会前会長及び日本人工臓器学会副理事長。

司 会（酒井広報委員） 日本工学アカデミー第
87回談話サロンを始めたいと思います。

私、司会をさせていただきます広報委員の早稲
田大学の酒井でございます。どうぞよろしくお願
いいたします。

本日は、お忙しい中、大阪大学医学部外科学第
一教室の主任教授でいらっしゃいます松田暉先生
にお出でいただきまして、「人工臓器と臓器移植
—補助人工心臓の役割—」というタイトルでお話
を伺うことになりました。先生方よくご存じのよ
うに、人工臓器と臓器移植というのは車の両輪の
関係にあるわけですが、臓器移植というの
は私ども工学系は直接は関係ないのですが、人工
臓器のほうは科学工業技術の産物でございます、
私どもと無縁ではないということで、先生方もご
興味がおありになられるのではないかと思います。
松田先生は、この分野におきまして日本ばかりで
はなく世界の第一人者でございます、新聞やテ
レビ、雑誌などによく出ておられますので、ご存
じの方も多いのではないかと思います、恒例に
よりまして松田先生の紹介を簡単にさせていただきます
したいと思います。

先ほどお話ししましたように、大阪大学医学部
外科学第一教室の教授でいらっしゃいますが、昭

和41年3月に大阪大学医学部を卒業されておられ
ます。直ちに大阪大学医学部附属病院で医師の修
練を開始され、その後いろいろな病院を移られま
して心臓外科の技術を身につけられました。昭和
50年には米国のニューヨーク州立大学附属バッ
ファロー小児病院心臓血管外科でクリニカル・フェ
ローを経験されておられます。そして、昭和62年
の12月に大阪大学医学部講師、平成2年に助教授、
平成3年に教授ということで、現在に至っておら
れます。

現在、日本外科学会理事、日本胸部外科学会理
事、日本心臓血管外科学会理事、日本人工臓器学
会副理事長、日本移植学会理事、また、日本小児
循環器学会では前会長を務められておられます。

それでは、素人の先生方が多いと思いますので、
ぜひご指導をよろしくお願い申し上げます。

松 田 ご紹介いただきました大阪大学の松田で
ございます。（拍手）

酒井先生、土屋先生にはこういう機会を与えて
いただきましてありがとうございます。また、伝
統あります工学アカデミーの会にお招きをいただ
きましてありがとうございます。

私、心臓外科を主としてやっておりますが、そ
の中で人工臓器とのかかわりもございまして、こ

臓器移植と人工臓器	
臓器移植	不可逆性機能障害に陥った重要臓器を同種あるいは異種の臓器で代用させる。 角膜、皮膚、骨髄、血液、腎、肝、心、肺、脾、脳下垂体、小腸、弁、血管
移植に対応する人工臓器	人工皮膚、人工血液、人工腎、人工肝、人工心臓、人工脾、人工弁、人工血管

図 1

れまで主に臨床面で取り組んできました。また最近、臓器移植ということにもどうしても入らざるを得なくなりました。心臓移植を何とか日本でも進めるべく努力しているところです。皆様よく聞かれると思うのですが、日本では脳死の問題がございまして臓器移植はなかなか進まない、そのときにいつも、移植というのはどうしても人の死を期待するものだから、そういうものはあまり芳しくない。これに代わるものとして人工臓器をつくることにもっと力を入れよ、という意見が出てきています。

確かにそのとおりで、関係者はいろいろな努力をしておりますが、心臓についてはまだ心臓移植のほうが優っているわけです。それでも、人工心臓ではかなりの進歩がございますので、その辺のところ、主に「補助人工心臓」の話をさせていただきます。また、後には移植のことにも少し触れて、ふだん工学関係のいろいろな分野でご活躍の先生方に臓器移植というものを少し考えていただければと思っております。

臓器移植と人工臓器というのはいつも車の両輪のように言われております（図 1）。臓器移植は歴史も古うございまして、輸血も臓器移植のひとつと言われているわけですが、最近、肝臓、心臓、肺などの臓器移植が欧米ではずいぶん進んでいます。しかし、日本では後れていますので、いろいろな問題が起こっているわけです。これに対して、人工臓器が荒廃した臓器をそれに代行させるべく、種々のテクノロジーの発達とともに出てきております。広く使われておりますものでは人工皮膚、人工血管、人工弁というものもございまず。一つの機能として、あるいは代謝の機能とか

移植と人工臓器の比較		
	利点	欠点
臓器移植	生理的 経済的	入手困難（近親者、死者） 免疫反応（拒絶反応）
人工臓器	入手しやすい 免疫反応（－）	高価 感染、血栓 エネルギー源が必要

図 2

心臓移植と人工心臓	
心臓移植	世界で毎年3000例近く行われている。 最長22年生存 5年生存率 75% QOL高い ドナー不足、脳死ドナーが必要 拒絶反応、免疫抑制療法、感染の危険

図 3

ポンプの機能、そういう重大な機能を果たすということになりますと、幾つかの問題がございます。例えば、エネルギーをどうするのか。それから、血液と接触する場合にはどうしても血液が固まってきますので、抗血栓性、即ち生体に合った材料を開発することが必要であります。一方では、どうしてもこういうものは体にとって異物でありますので、感染という問題がございます。

図 2 はいま申し上げましたように移植と人工臓器の比較です。これを単純に比較することも難しいのですが、ヒトの臓器というのはどうしても入手困難であります。近親者とか亡くなった方からもらわなくてははいけませんし、他人の臓器でするので、免疫反応があるわけですが、それでも非常に生理的でありますし、経済的にも優れている。しかも、基本的には開発ということは要らないわけです。一方、人工臓器は、できてしまえば入手しやすいですし、大量にできるわけですが、開発に多額の費用がいります。その結果どうしても高価であります。また、感染、血栓、エネルギー源というような問題がございます。この両者をうまく合わせているのがいまの世界での心臓移植の一面と思っております。

人工心臓の歴史

- 1958年 完全人工心臓の本格的な研究始まる
(Kolff & Akutsu, Cleveland, OH, USA)
- 1961年 完全人工心臓の世界初の臨床応用
(D.A. Cooley, Houston, TX, USA)
- 1963年 完全人工心臓の段階的心臓移植への応用
(D.A. Cooley, Houston, TX, USA)
- 1980年 埋め込み型左室補助人工心臓の開発はじまる
(NHLBI, USA)
- 1986年 埋め込み型左室補助人工心臓の世界初の臨床応用
(O.H. Frazier, Houston, TX, USA)
- 1991年 電気駆動型埋め込み型左室補助人工心臓の臨床応用

図 4

心臓移植に話は戻りますが、私は心臓外科をやっておりますので、この話になりますことをお願い下さい(図3)。心臓移植は、毎年、世界で年間3,000例近く行われています。最長22年も生きている方もおられます。5年生存率が75%ぐらい。ただ生きているだけではなくて、クオリティ・オブ・ライフの高い生存例が得られているということで、世界に広まっておりますが、やはり問題はドナー不足。脳死の方は増えるわけではございませんし、すべての脳死の方からもらえるわけでもございませんので、どうしてもドナー不足である。それから、拒絶反応その他の問題がございますので、心臓移植にすべて頼るわけにはいきません。

そういう中で、人工心臓の歴史も長くあるわけです(図4)。これは日本の方が非常に貢献されています。特に、名古屋大学ご出身で、クリーブランド、ヒューストンと長らく米国におられて、その後国立循環器病センター研究所副所長、そしていまテルモの会長をされておられます阿久津哲造先生がおられます。コルフ(Kolff)先生と作った人工心臓が歴史的に知られています。人工心臓の世界で最初の臨床例がデントン・クーリー(Cooley)というヒューストンの先生で、まだご存命ですが、この方が最初に使われたのがもう35年ほど前であります。数時間の単位でしか生命維持はできてないのですが、こういう時代があったわけです。心臓移植は1967年から始まっておりますが、その前にすでに人工心臓というものを使おうという試みもされているわけであります。

その後、心臓移植はずいぶん進んできましたけれども、人工心臓も心臓移植とタイアップして使おうという動きが盛んになりました。これには完

人工心臓

現在使用可能な人工心臓

- 完全置換型人工心臓
Cardiowest
- 左室補助人工心臓
 - 体外式 Thoratec, Toyobo, Nihon-Zeon
 - 埋め込み型 TCI HeartMate, Novacor LVAS

図 5

全人工心臓と左室補助装置(LVAS: Left Ventricular Assist SystemあるいはLVAD: Device)があります。後者は大事な左心室の補助をするものです。LVASはその後体内に埋め込む試みがされています。1986年には臨床が始まって、それから5年ぐらいいまして、現在広く使われるようになった電気駆動の埋め込み型というのも進んでいるわけです。

(図5)人工心臓という中には、自分の心臓をとってしましまして、そのままかわりに入れるというものが完全置換型人工心臓です。これは、ジャービック7というタイプがありまして、15年ほど前に5人行われて、最長生存が1年ぐらでした。これは、血栓症が問題でうまくいかなかったので一時中断されたのですが、最近また復活いたしまして、Cardiowestという名前で欧米の一部で使われています。

一方、自分の心臓は置いておいて左心室だけの補助をする、自分の心臓が回復したら外す、あるいは心臓移植のドナーが出たらそれに移行するという方式があります。これがLVAS(LVAD)というものです。その中で、ポンプが体の外にあるものと埋め込み型と2つあって、体の外に置くものに国産で2種類あります。東洋紡(国立循環器病センター型)と日本ゼオン(東大型)との2つがあります。国産で2つの体外式のポンプが、現在厚生省の認可が得られて市販されているわけです。この10年ぐらい、国立循環器病センターと東大と2つのグループでつくられたものが市販されて使われていますが、今このように国産で補助人工心臓が使われるようになったというのは画期的なことであります。一方、埋め込み型LVASはTCIとNovacorという2つがいま世界でよく使われて

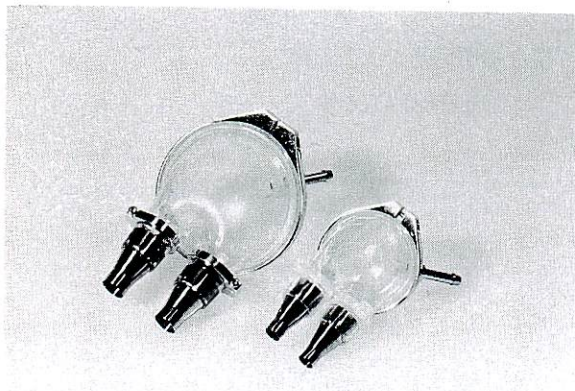


図 6

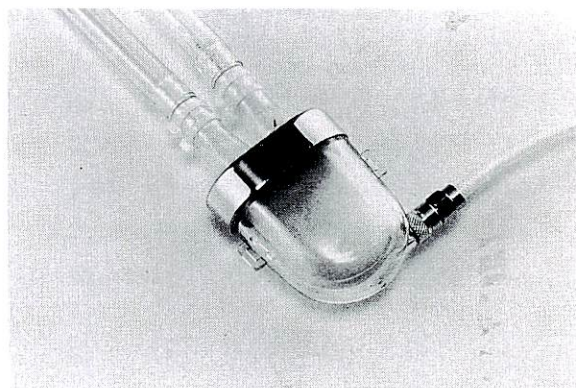


図 8

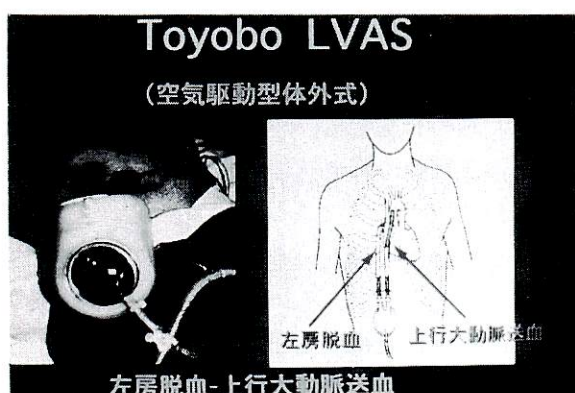


図 7

います。

完全人工心臓は2つのポンプがあって、人工弁が4つ入っておりまして、人工血管でつながわけです。技術的にも大変難しいですし、これをやりますと、あとはこれに全く頼ってゆくか、心臓移植しかないわけですが、いまのところこういうものを使って、心臓移植に数ヵ月後に移るというのが一部の施設で行われています。

(図6, 7) これは、国産の国立循環器病センター型補助人工心臓(LVAS)であります。右室補助にも使えます。出口と入口がありまして、この中にダイヤフラグムがありまして、ここにあるのが空気を入れるところです。圧縮空気が入りますと中のメンブレインが動きまして、内腔の血液が追い出される。入口に逆流防止弁と出口に弁があります。逆に、吸引で陰圧にしますとダイヤフラグムが開いて血液を吸い込むというものです。東大式は少し違ひまして、サック型といって両方から空気で押し出してまた引くということですが

症例1 18才 男性

主訴：労作時息切れ

既往歴・家族歴： 特記事項なし

現病歴：

- | | |
|----------|---------------|
| H 4.1.17 | マラソン中に動悸、息切れ |
| 1.20 | 某大学受診 DCMと診断 |
| 1.24 | 大阪警察病院に転科 |
| 4 | 心不全症状悪化し、近医入院 |
| 6.23 | 心室細動となりPCPS装着 |
| 6.26 | LVAD装着 |
| 7.29 | 当院に転院 |

図 9

ども(図8)、いずれにしてもこれは体の外におくものです。そしてわりと大きなコンソール(駆動装置)があって、そこから圧縮空気と吸引のポンプがあり、それで空気の出し入れをするという、周りの装置がずいぶん大きなものであります。

臨床例のちょっと見苦しい写真が出てくるかも知れませんが、この場合は、胸を開きまして、左心房というところから血液をとって、このポンプで大動脈に送る、こういう左房脱血上行大動脈送血をするわけです。ですから、このポンプは体の外にくるわけです。

本来、この装置は心臓の手術あるいは急性心筋梗塞などで心不全になりまして、どうしてもそのままでは具合が悪い、生命維持ができないというときに一時的に使って、自分の心臓の力が回復するまで全身循環をサポートということで認可されて使われたわけです。現実にはせいぜい1ヵ月ぐらいまでのところで使いなさいということで認可されました。もちろん、循環器病センターの実験室では、ヤギで3ヵ月ぐらいまで十分もつことは

渡米後の経過

(症例1 M.O. 18M)

8月20日	渡米
8月28日	LVAS交換
9月23日	LVAS交換
10月22日	心臓移植施行
11月5日	退院
経過中生検にて拒絶反応を認めず	
翌1月20日	帰国

図10

実証されているのですが、臨床例では1カ月以上という考えは当初なかったのではないかと思います。

さて、心臓移植は日本でもここ5～6年ずいぶん機運が高まっています。我々も移植の準備をしている中で適応患者さんがたくさんおられました。移植希望の患者さんもおられたのですが、どうしても状態が悪くなってくるわけです。何とか救命を、ということで補助心臓をつけた例が何人かあるわけです。拡張型心筋症で心臓移植が本来は適応であるという患者さんの何人か使わせていただいたわけです。

このような試みの最初のきっかけになったのは、平成4年です。18歳の高校生、尾崎君（図9）。もともと元気だったのですが、マラソン中に症状が出てきて、診てもらったら拡張型心筋症とわかりました。大阪警察病院でしばらく診ていたのですが、平成4年4月ごろよりだんだん悪くなって、6月になって心室細動、要するにショックになりまして倒れて、このままだともうだめという事態になりました。最初は簡単な補助装置をつけて何とか生命維持を図ったわけです。このときに、両親は何とか息子に心臓移植を受けさせてやりたいという希望がありました。また私ども大学の倫理委員会の承認もあって、心移植の準備をしていたときでもありました。ただ、そのままではとても移植に行きませんので、補助人工心臓の適応と考えたわけです。用いられるのは国循環型でした。それまでの経験では、先程申し上げたとおり開心術後につけたり、あるいはかなり悪くなつてから、尿も出なくなったり、肺も悪くなったりして、そういう状態で行けるので、なかなか生存し

なかったという状況でした。尾崎君の時は私どもが診に行って、いまの時点だったらまだ体の臓器も回復するだろうということで、装着に踏み切ったわけです。後のことはわからないけれども、とにかくやってみよう。そして、このポンプを装着したのです。そうしたら、おどろくほどの回復をしてくれたわけです。

これはベッドに寝ているときですが、かなり大きな駆動装置があります。（図略）コンプレッサーとバキュームの表示があります。流量計がついているわけです。それまでは、こういうのをつけますと、大抵人工呼吸器をつけて、もう意識もなくて、静脈栄養しかやれないということでだんだん状態は悪化していたのですが、尾崎君の場合は2日ほどで人工呼吸器が外れました。

体の外にあるポンプですが、ここから空気が送られて、ダイヤフラグムがあって血液が流れていくのが見えるわけです。また後で述べますが、ここに血栓ができやすかったのが問題なのです。

尾崎君はその後ベッドからおりて歩き出したわけです。御飯も食べ出した。こういう補助心臓をつけて御飯も食べるというのは本当に信じられないくらいだったのです。これだったら何とか移植まで行けるかなということで、いろいろ関係のところにも臓器提供のアピールしたのですが、当時日本の社会はなかなか動いてくれませんでした。

両親の希望もありまして、結局米国に行くことになりました。チャーターしたジェット機に装置と一緒に乗せていったわけです。途中で2カ所ぐらいとまって、ヒューストンまで行きました（図10）。

無事ヒューストンに着いたのですが、問題はこのポンプはそれまでせいぜい1ヵ月くらいしか使っていませんでしたので評価ができてなかったのですけれども、尾崎君の場合1ヵ月位でどうも血栓ができる。おそらく感染が関係していると思うのですが、何度か交換しないといけないということがありました。しかし、幸いなことに渡米してから2ヵ月ぐらいでドナーが出て移植をしまして、2週間ぐらいで退院してきました。こんなに違うのかと思うぐらい回復しました。

阪大病院に帰ってきました。現在は福岡の医療

埋め込み型補助人工心臓			
	Novacor	TCI HeartMate	
駆動方式	電気駆動	空気駆動	電気駆動
サイズ	16×13×6 cm	11×11×4 cm	11×11×4 cm
重量	1.0kg	570g	1.2kg
内面処理	なし	Sintered Titanium	Sintered Titanium
弁	ブタ生体弁	ブタ生体弁	ブタ生体弁
バッテリー	4～5 時間	30 分	5～8 時間

図11

福祉関係の大学に行っています。移植後4年を過ぎましたが元気にしています。多くの皆様にお世話になりながらよく頑張ってくれたと思います。

さて、国産の補助人工心臓は、本来は心臓手術(術)後のサポートに使おうとって作ったもので、一時的なものに使おうとしていたのが、たまたま、こういう心臓移植の前に使ったわけです。こういう使い方を「移植への橋渡し、ブリッジ」と私どもは言っているわけです。日本でも移植が進まなければそういうこともしようがないかなということで、一部の施設で応用が進んだのです。しかし、いろいろな意見がありました。移植がまだ現実に行われないのに、行き先もないのにこのような人工臓器の治療をしていいのかとか、いろいろなご批判もありました。実際に成績も悪くて、後で申しますが、尾崎君のようになかなかうまくいかないというのが現実だったわけです。

これは使用した後ですが、血栓が少しできています(図略)。この内面は抗血栓処理をしてあります。これは国産のTM3というポリウレタンでコーティングしてあるわけですが、長期に使っていると感染や血栓の問題が出てくる。こういう人工臓器の宿命といいますか、抗血栓性の材料という面での改良がもっと必要というのも現実の問題でございます。

本来このポンプをつくったのは高野久輝博士のグループで、私の高校、大学の1年先輩で、現在国立循環器病センター研究所の副所長です。その後の心臓移植待ちの患者さんで、米国へもなかなか行けなくて、ずっとつけざるを得なかった患者さんがいました。6ヵ月ぐらいもつけたわけです。ここまですと膜とハウジングの間のとこ

ろから亀裂が起こって、血液が漏れ出したわけです。やはり数ヵ月の耐用性だろうというふうに私どもは理解しています。

この装置を実際に何人かに使ったのですが、尾崎君の場合もそうですが途中でポンプを変えているわけです。もっと長期に使った方も6ヵ月ぐらいでポンプのみ交換しています。他の方はそこまですぐいきません。多臓器不全といって肝臓とか腎臓が悪くなっているのでもうまいかなかったのです。一人の方は非常に長く使って、2回目のポンプで1年以上いったわけですが、このままでは感染も起こすということで、後で述べますが、TCIという埋め込み型に移行したわけです。しかし、残念ながら救命するには至りませんでした。

こういう中で、どうしてもデバイスが体外にありますとその患者さんはあまり動けない。大きなコンソールも連なっています。活動性も悪い、感染の機会も多いということで、短期はいいのですが、長期になるとどうしても埋め込み型というのが世界のいまの流れになってきています(図11)。埋め込み型としてNovacor型とTCI Heartmate型と2つが欧米でかなり治験が進んでいます。幸い日本でもこの治験が東京女子医大の小柳教授のところと私共で始めさせてもらったので、入手する機会ができました。その前に、私どもの教室でTCIの空気駆動を入れて使わせてもらっています。心臓移植がなかなか進みませんので、何とかその間ということでやってきました。いまはTCIの電気駆動が日本に入って、治験が進んでいます。

埋め込み型ですが、重さが1kg前後です。国産の場合は機械の弁が入っているのですが、これはブタの生体弁を処理して入れています。ブタの弁は血液が固まりにくいので、抗凝固剤を服用しなくていいという利点があります。特徴は、バッテリーで5時間前後駆動できる。これが非常に大きなことであります。

これ(図12)は空気駆動のTCI Heartmateというものです。国産のものは左房脱血でしたが、これは左室の心尖(先端)から脱血して、このポンプで送って上行大動脈に戻します。ですから、これは左室補助装置(LVAS)なのです。要するに、

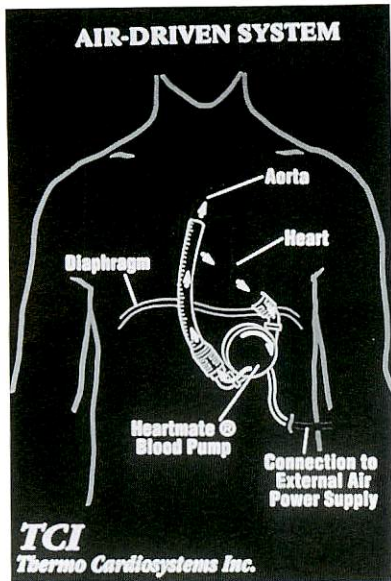


図 12

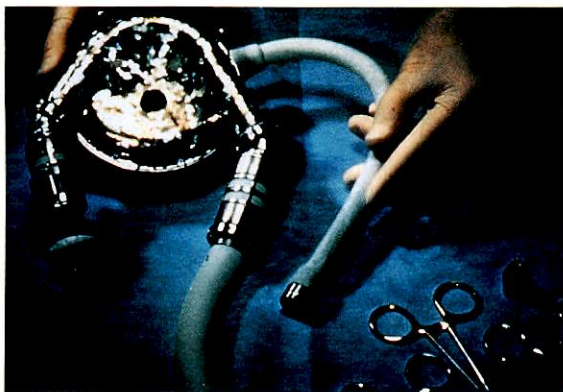


図 13

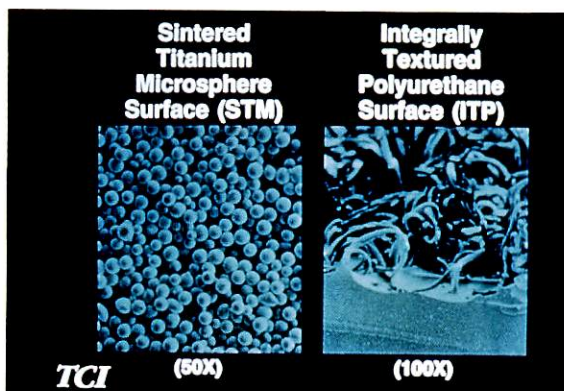


図 14



図 15

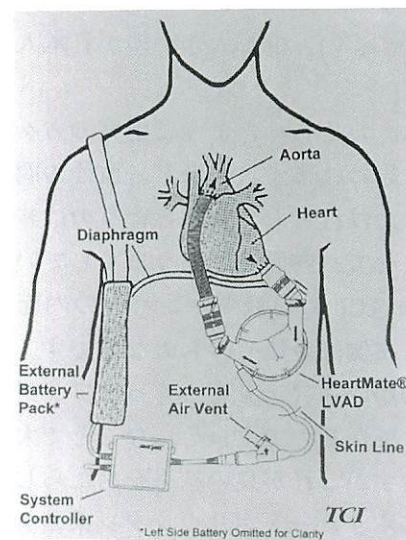


図 16

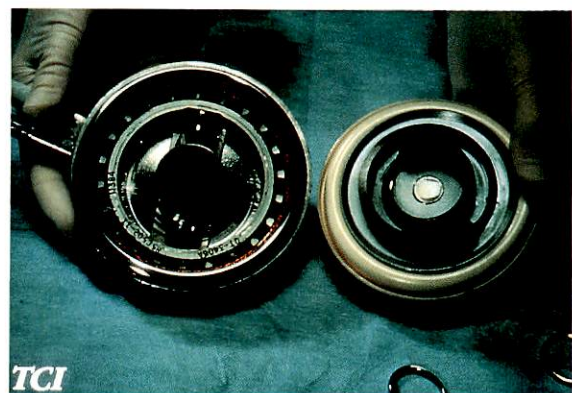


図 17

左心室に返ってきて、本来ここから大動脈に出る血液をこちらでとって代行する。装置はどこにあるかという、腹壁の下にある、あるいはお腹の中に入れてしまう。外に出てきますのはコードだけということになります。電気ないし空気のエネルギーをここから連結するということであります。

図13は TCI の写真ですが、向かって左が入口で、右側が出口です。この場合は空気駆動で、右上方にある管から空気が出入りします。手に持っている所から体外に出ます。これは欧米人用につくっていますので、ふつうの日本人には大分大きい。体表面積で 1.5m^2 以上ですから、ちょっと大きめの方でないといりません。女性の方だとなかなか入りにくい。少し大きいのが日本人には難点です。

これは、おそらくきょうご出席の方々には興味があると思われます。先ほど、血栓の問題を申し上げましたけれども、TCI というのは非常に特徴がありまして、内面処理をうまくしています。

図14は TCI の血液チャンバーの内面の拡大写真です。左側は金属そのものなのです。チタンの非常に細かいスフェアをつくってブツブツにして吹きつけてあるのです。そんなことで大丈夫かと思うのですがこれが良い結果をもたらしています。一方は高ポリマー、ポリウレタン系のものを毛羽立たせてザラザラにしています。両方ともラフ・サーフェスにしているわけです。抗血栓性材料には、非常にスムーズにしてやる場合と、かえってザラザラにする場合と、2つの手法があるので、けれども、これはラフ・サーフェスのほうです。これは何ヵ月か使った後ですが、血栓でもないし、うまく内皮が張っているわけです。

即ち、チタンのマイクロスフェアをブツブツにして金属面にへばりつけて、一方はポリウレタンのテクスチュア、ザラザラにして繊維状にして、こういうところに血液のいろいろな細胞が入り込んで、そこでしっかりした新しい内膜をつくる。ツルツルですとそれが見つからないで、また剥がれていくのですが、こういうものがありますとうまく新しい内膜ができるということで、非常に抗血栓性がよくて注目されています。

(図15) さて、永井さんという方は、移植がで

きるまで日本で何とか頑張るということで、我々も国産の LVAS を適用しました。しかしどうしても長くなってきますと、自由に動けないことが問題です。大きな機械を持って売店にも行くぐらいまでいったのですが、その後空気駆動の TCI に移行しました。1ヵ月ぐらいいは調子よかったです。感染がいろいろなところに行っていて、結局敗血症でこの後亡くなりました。私も非常にジレンマを感じながらも一緒にやってきたわけですが、彼の望みを果たすことはできなかったのです。それでも、一時は病院の外に出て、しばらくは気分転換にもなったかと思います。

(図16) TCI の中でも電気駆動のものを説明しますと、ほとんどポンプは空気駆動と同じですが、カム付きのローターを回しまして、それで同じようにダイヤフラムを動かす方式です。これですとシステム・コントロールが小さくなりますし、バッテリーで駆動できるわけです。

(図17) ポンプとしては外の格好は一緒ですが、内面は違うわけです。空気駆動の空気チャンバーのところが電磁石で動くデバイスになっているわけです。これは反対側から見ているわけですが、患部がありまして、これがグルッと回るわけです。周りに電磁石がついてコイルがついています。それで1分間に70とか 100とか押していくわけです。

(図18, 19) バッテリーを幾つかつなぎながら、5~6時間は外に出かけることも可能です。米国では、こういう状態で家に帰すというプログラムがあるのです。ヨーロッパでもそういうことも試みられています。ただ、基本的には欧米ではこういう装置も心臓移植へのブリッジということなので、あまり長いことこれにこだわっているわけではないのです。しかし、一部ではこれだけでいいというプロジェクトもあります。例えば、60歳以上の方や自分は心臓移植はいやだとか、血液の免疫反応でどうしても移植が受けられない方で、あと1年でも2年でも、これである程度元気になって外で動けたらいいという方にもこういうことをやろう、というプロジェクトもあるわけです。

(図20, 21) もう一つのは Novacor 型といいます。これが日本に入っていて、女子医大と私どもで使っています。女子医大の1人がうまくいって

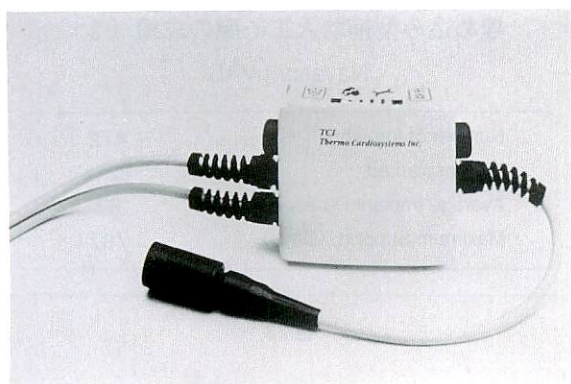


図18



図20



図19

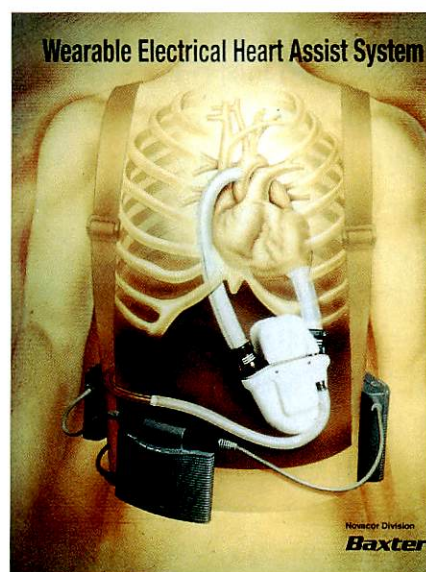


図21

米国まで行きました。これも、左心室の心尖から脱血します。デバイスは腹壁の下あるいはお腹にあるわけです。上行大動脈送血をします。これは電気駆動だけで、磁石でサックのプレッシャープレートを押さえつけます。かなり強力なポンプです。そのバッテリーパックが幾つかあって、それをベルト状に持ちながら何時間か外にも出られるというものです。

この患者さんは国循環型のポンプをつけまして元気になってこられたのですが、いままでの経験でこのままではいろいろな合併症が起こるということで、埋め込み型に移行しました。これは Novacor を埋めた後です。これは売店で奥さんと休んでいるところです（図略）。

お腹が大分張っています。大きくて、腸管の動きを圧迫して、御飯も食べられなかった時期もありました。しかし頑張って回復して歩けるようになったのです。この方も感染で結局移植まで行かなくて、亡くなりました。残念な結果になったわけであります。

さて、国産で埋め込み型の補助心臓の開発はどうなっているかということ、循環器病センターでもそのプロジェクトはありますが、大変な予算と、テクノロジーのあらたな開発が必要です。といっても現実的には少しずつ進んでいます。完全人工心臓の研究も進めている。あるいは軸流ポンプという別な概念のものが進んできています。そちらのほうにいま日本の研究は向いているといっても

埋め込み型補助人工心臓の成績（１） TCI HeartMate LVAS		
	空気駆動型	電気駆動型
Number of Implants	663	140
%Transplanted	63%	51%
Average Implant Duration	78	104
Maximum Support (Days)	422	541

図22

埋め込み型補助人工心臓の成績（２） Navacor LVAS	
Number of Implants	472
%Transplanted	62%
Average Implant Duration	67
Maximum Support (Days)	797

図23

いいのですが、何しろ開発への予算が限られています。

図22は世界のデータです。TCI 型はいままでどのくらい使われているかといいますと空気駆動で663例、電気駆動で140例です。かなりの数なわけです。そのうち半数ちょっとが心臓移植に行っています。使用期間は2～3ヵ月ぐらいです。

これだけ立派なものをつくって、耐久性のあるものを使いながら、なぜそんなに早くということはあるのですが、やはり血栓の問題とか感染の問題がありまして、ドナーが出ればそれが本来の目的ということで、移植に行っているわけです。ただ、全部の方々ではなく、半分ちょっとです。移植後の方がどれだけ退院しているかという、7割ぐらいです。全部で言いますと、約半数から40%ぐらいの救命率になると思います。その方たちは、これがなければ移植にも間に合わないし、そのままですと亡くなっていた方です。こういう一時的な補助で移植にこぎつけて救命できている。こういうことをやって移植をした人の成績と普通の場合で移植した人と比較してもあまり変わらない、というデータで出ています。尾崎君も元気です。LVAS 後の移植でも成績が悪くなるということでもない。言い換えるとそれだけ移植の技術が進んでいるということにもなると思います。

Novacor のデータも同じぐらいで（図23）、全部で約400例で、これも60%ぐらいが移植に行きまして、最長2年ぐらいの方もおられます。よく外国の人が言うのですが、日本でそれだけ脳死の問題が難しく移植がダメなら、これでずっと行きなさい、2～3年は大丈夫だから、ぜひそういうプログラムを組みなさいと。厚生省は心臓移植

は日本ではまだ認められていないというスタンスですので、心臓移植へのブリッジということでは認めてくれません。末期的心不全の補助ということで治験がスタートしました。このように、そのうち移植も始まるだろうという見通しで治験も始まったわけですが、なかなか進みませんので、いまのところは心不全に対する補助ということだけで行かざるを得ない。

現実には、なぜこのテクノロジーがここまで進んだかといいますと、片方に心臓移植というのがあったからだと思います。両輪で行っているわけです。移植は進んでいるけれども、ドナー不足だから人工臓器も開発しなければならない。移植は放っておいて人工臓器、そういう発想はあまりないわけです。世界はこのような両面で長い間研究が進んできた。お金もつぎ込まれたということが現実だと思います。

さて、最後に少し臓器移植のことをご紹介いたします。いろいろところで最近話題にはなっておりますが、世界では、一昨年の集計ですが、腎臓が一番多く、これまでもう34万人が受けています。心臓でも3万5,000人、肝臓も4万人。その他、脾臓もありますし、最近肺の移植がどんどん増えています。心臓移植で言いますと、毎年、世界で3,000人ぐらい移植が行われています。最長は、腎臓移植で31年、肝臓で24年、心臓で21年です。これは単に最長不倒距離みたいなわけですが、全部が全部20年とか生きるわけではありません。10年で6割方になります。どうしても免疫抑制をしなければいけないので、感染症が起こったり、逆に拒絶反応が起こったりします。心臓移植は同所性移植というのが一般的で、自分の心臓

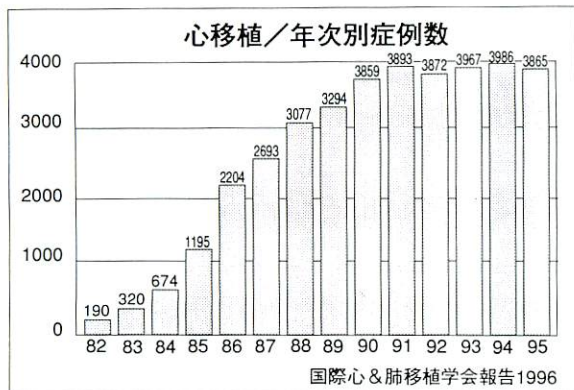


図24

をとった後、もらってきた心臓を移植する。完成がこういう格好になります。ですから、ある程度大きさが合わないといけない。両者の体重が近くないといけないということもあります。移植手技にはいろいろな方法がありますが、ラウアー・シャムウイ法が標準的なものであります。

ドナーの方からいただいて、血流が再開するまで心臓に血液が行きませんので、虚血の状態になります。その許容時間が約4時間。肝臓は24時間ぐらい保存できますが、心臓はそう長く持ちません。せっかくもらった貴重なドナーの臓器を植えてもうまくいかないというのは非常に申しわけないし、受ける方の命もかかっているのです。安全ということをとると、3時間か、せいぜい4時間までの間に植え終わらなくてははいけない。それが心臓移植の非常に大きな問題です。ですから、北海道でドナーが出て九州でといったときに、新幹線に乗ったりしていたのではだめなわけです。ですから、外国では小型ジェットで運んでいます。そういうシステムができています。予算面もできていますので、移植ということで医療になっていますから、医療費も当然入ってきます。病院としては、移植すると必ずお金を基金に払って、その基金でいろいろなネットワークを動かしているわけです。日本で始まればそういうことも当然必要になります。

(図24)心臓移植の歴史を申し上げますが、1967年にクリスチャン・バーナードが南アフリカで第1例を行ったわけです。日本では、和田移植が1968年にありまして、その影響でいまでも日本は心臓移

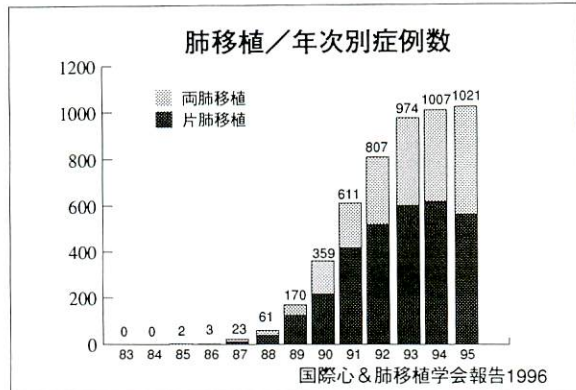


図25

植が進まないと言ってもいいぐらいなのです。その後世界でもそんなに進んでいなかったのです。スタンフォード大学が中心でやっていたのですが、1984年ごろにサイクロスポリンという免疫抑制剤ができて成績がよくなりました。心移植数は一気に増えて、5年ぐらいで3,000例まで行ったわけです。しかし、どんどん増えるのかと思ったら、プラトーになっています。これは一般的にはドナー不足と言われています。当然そうなのです。ドナーが幾らでもというわけでもありません。脳死の方に限られますし、いろいろな救命手段もできているので脳死の方も減ってきますから、頭打ちです。これがどんどん下がることはないだろうと思いますけれども、上がることもない。当面は3,000例前後で行くのではないかとというのが予想です。

(図25) いまは肺の移植がどんどん進んでいて、毎年1,000例ぐらい行われています。日本から外国に行って肺の移植を受けた方がおられます。肺移植を受ける方は、呼吸不全で本当に苦しいのです。在宅酸素療法とか、人工呼吸をやっている方が多いのです。心移植の適応の方は、ベッドで休んでいたり、ある程度落ちついているのです。肺移植の方は本当に動けない。とにかく1日でも1回でもいいから酸素なしで町に出て、女の子だったら百貨店に買い物に行きたい、それぐらいの切実な希望なのです。外国の最初の成功例の場合、1ヵ月でも良いから酸素なしで、車椅子なしで、人からジロジロ見られないで外を歩けたらそれでいいです、という患者の強い希望で始まっていま

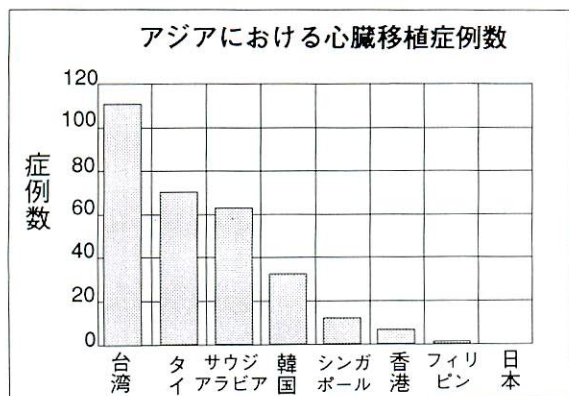


図26

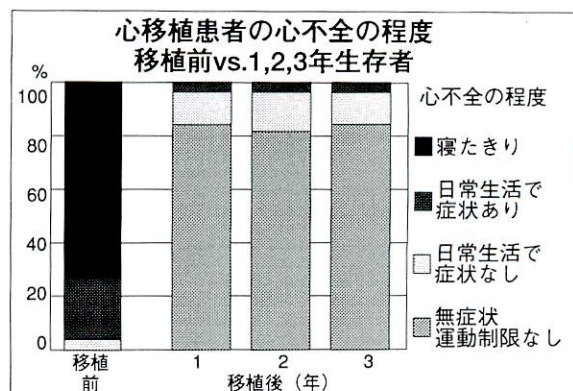


図27

す。成績は心臓移植より少し悪いですが、それでもかなり増えてきています。

よくこういう話があります。アジアは特殊である。仏教の国であるとか、儒教の国であるとか。日本では人の死に対する考え方が違う。キリスト教では魂だけの問題で、ボディにはあまりこだわらない。しかし、実際はアジアで移植はどんどん進んでいます(図26)。台湾、韓国で行われています。これは2年ほど前で少し古いデータですが、今は韓国で100例を超えています。台湾は、最初は法律なしで始まって、そのうち法律ができました。韓国はまだ法律がない状況です。

心臓移植の成績ですが、ずいぶんよくなって、5年ですと75%が生存、10年になりますと50%ぐらいになります。臓器移植というのは永久的な治療ではないというのは否定できません。免疫抑制療法がもっとうまくいけば成績がよくなると思います。移植に反対の方は、ある程度成績がいいといっても、患者さんは薬漬けであり元気がないし、また拒絶反応とか感染で亡くなっていく、こういう医療は実験医療だとおっしゃいます。

しかし、現実にはクオリティ・オブ・ライフが全然違う(図27)。移植後は約80%の方は普通の生活をしている。もちろん合併症が起こっている方もおられます。それに苦しんでいる方もおられるわけです。脳死臨調での議論の中で、内科の循環器をやっている先生で反対される先生が何人かおられて、私どももどういう考えなのかいろいろ話をしたことがあります。例えば、ピッツバーグ大学という心臓移植や肝臓移植のメッカみたい

ドナー・レシピエント適合基準					
	心臓	肝臓	腎臓	肺	脾臓
ABO型	適合	適合	適合	適合	適合
体格	体重差	体重差	なし	予測肺容積	なし
前感作抗体	-20~+30% 陰性	<20% 参考	陰性	陰性	陰性
HLA	参考	参考	適合 A,B,DR順	参考	適合 A,B,DR順

図28

なところがあるわけですが、そういうところに視察に行かれるわけです。移植病棟を回りますと、確かに、5年前に移植を受けた、3年前に受けた、そういう人が感染症を起こしたり骨が柔らかくなって背骨の骨折が起こったり、糖尿病になったり、たくさん入院しているわけです。それを見ますと、これは移植してもこんな人ばかりだというふうになるわけです。ところが、一方、外来に行きますと、マスクだけはしていますけれども、元気な人がいっぱい来ているわけです。ですから、どこを見て評価するかなのです。一部の人の悪いところを強調して評価するのも事実としては知ってもらわねばなりません。しかし、偏った判断を導くのではないかと思います。移植後のクオリティ・オブ・ライフが違うというのは歴然としているわけです。

(図28) 移植になりますとどうしてもドナーが要ります。いま、脳死の問題、法律の問題、いろいろなことが日本で議論されています。また脳死

臨時脳死及び臓器移植調査会 最終答申 要旨

- ・脳死は人の個体死とすることは、おおむね社会的に受容されている
- ・脳死の定義
- ・脳死の判定 竹内基準
- ・臓器移植をするにあたっての基本原則
- ・適正な移植医療の実施の条件
の必要性関連法制の必要性

図29

といってもどなたからももらえるというわけではないのです。ABO 型の血液型が合わないといほとんどはだめです。それから、ある程度体重が近いこと、異常な免疫反応がないことが重要です。HLA というのは白血球の型ですが、腎臓の場合はできるだけこれを合わそうとしています、心臓、肝臓は現状では無視しています。免疫の専門の先生が、HLA を無視して移植するのは問題だと言われた時代もあるわけです。心臓では HLA を合わせる余裕はないのです。腎臓は、人工透析を受けてたくさんの方が待っておられますので、全部血液型と HLA のタイピングがわかっていてコンピュータで選べるわけですが、心臓はそうもいきません。時間的な制約があってできないし、現実には合わさなくても、合った場合と成績はあまり変わってない。将来は HLA のことも考えないといけないというのはみんな認識しているわけですが、そこまで考える余裕がないというのが現実です。

脳死臨調の結論が出ましてからもう5年になります(図29)。そのときに、脳死を個体死として概ね社会的に受容されている。そして移植は進めてよらしいという結論でした。法整備が望ましいが必ずしも必要とするものではないとも述べられています。これでスタートかなと思っていましたら、次は施設の特定があつて、その次は法律となりました。

臓器提供する救急の先生方が困るからです。というのは、殺人罪で訴える方がおられます。それと検死の問題です。交通事故ですと変死になります。自分の過失でオートバイで走っていて誰か見ている前で転んで頭を打って、相手方がいないと



図30

いう場合でも、いまの法律上は変死になって検死の対象になるのです。ですから、必ず警察の方が来られるわけです。この場合は脳死での検死はしないというのが警察庁の通達ですので、警察は来ない。そうすると、臓器摘出はできない。心拍動下では死亡の診断が出来ないわけです。ですから、法律をつくらないとこれがクリアされないというのが現実なのです。しかし、脳出血や喘息で脳死になった方は病死ですので検死は不要です。警察も関係しません、と言っているのですが、行政がうまく動いてくれません。いまはとにかく法律をつくらないとだめだという方向になったわけです。

そうしているうちに、昨年の9月に国会が解散になりました。2年ほど臓器移植法案をほとんど審議せずにこうなったのです。移植学会も自重して待とうということだったのですが、国会が解散になって法案が廃案になってしまったということで、移植学会で責任を持って行動しようということになりました。

日弁連の方は臓器移植には反対ではないのですが、脳死患者さんの人権をちゃんと守れといわれます。脳死の方の人権とおっしゃるけれども、移植を受ける希望があつて、適応と認められて、希望されている方の人権はどうなるのでしょうか。毎年何百人と亡くなっているわけです。ごく一部の幸運な方が外国に行っている。そうしたら、移植を希望して亡くなってゆく方たちの人権はどうなるのかということも考えてほしいと思います。

これ(図30)が最後のスライドです。これは昨年『ワシントンポスト』に出たニュースですが、

アレックス君という米国の子供さんが横須賀の米軍病院で働いているお父さんのところに夏休みに来て、中の学校に行くときに転んで脳内出血を起こして脳死になったのです。両親よりドナーシヨンの話があって、結局は腎臓の提供がされました。心・肝については提供はうまくいかなかったのです。この子供さんが米国でニュースに登場しています。彼は遺産を日本に残し、**Changing Minds in a Land Where Organ Donation is Largely Banned** ということが紙面に出ています。日本での臓器移植の問題に一石を投じたことです。現実には、米軍病院というのは米国の法でいきますので、そこでは脳死の診断が出来るわけです。向こうの外科医の先生は、脳死の診断は米軍病院でやりますから、本当にやる気があるのだったら摘出はあなた方が来てやりなさいというわけです。いまは移植学会で対応していますが、我々は臓器提供まで外国に頼っていいのかということになります。

あまりアカデミックな話ではございませんでしたが、補助人工心臓というものが心臓という重要な臓器で生命維持にかかわるところのサポートをする。何とか救命を図って、全身状態を良く保って、場合によっては移植にも、という可能性をもたらしているわけです。今後心臓移植も始まれば、人工臓器も発展してゆく、即ち移植と両輪で進んでいくと思います。

そういうことを期待して、きょうご出席の先生方に、臓器移植についてもご理解いただいて、助言ご支援をいただければと思います。ご清聴ありがとうございました。(拍手)

司 会 松田先生、大変貴重なお話をありがとうございました。

先生が最初に拡張性心筋症の患者さんを引き合いに出されまして、その患者さんに対する補助人工心臓と臓器移植の問題についていろいろお話しになりました。さらに、臓器移植あるいは補助人工心臓の過去と現状についていろいろ私どもにお教えいただいたわけでございます。

先生のお話を伺っておりまして、特に補助人工心臓におきまして私どもの工業技術が広く使われているということを先生方はお分かりになられた

のではないかと思います。ただ、先生のお話にもございましたように、私ども、健康なときと、自分がもし患者になったときというのは、考え方がかなり変わるのではないかと思います。日本のこれからの医療、特に臓器移植と人工臓器に関してどういう方向に進んでいくか、あるいはもっと積極的にどういう方向に進んでほしいか、進まねばならないかということを、常日ごろ私どもは考えていなければいけないのではないかと思います。

そういうことも含めまして、先生にご質問をしていただければと思います。いかがでございましょうか。

山 田 (元理研) 20年ぐらい前に、抗血栓性材料とかメディカル材料についての研究グループを40人、50人でつくって、4年間やっていたのですが、研究費をどこから導入するかということで、科学研究費も非常に冷たくございます。そういうときの、研究体制の現況がどうなっているかということと、抗血栓性材料、人工臓器材料の開発についての理学系と工学系の研究費のサポートの実態をご説明いただきたいと思います。

松 田 現在おたずねの関係ではいろいろなプロジェクトがあります。前は文部省の科学研究費でしたが、最近は大型プロジェクトがずいぶん出てきました。科学技術庁、厚生省などでも大型プロジェクトを募集しています。補助人工心臓にこのような大型のものはありませんが、抗血栓材料についてはかなり潤沢になってきているのではないのでしょうか。10年前と比べますと、文部省あるいは科学技術庁もかなりの予算を投入しています。

ただ、日本の問題は、基礎研究を実際に臨床に応用する、それをあるモノにして完成してコマーシャルベースにのせるにはいろいろなバリアがあると思うのです。基礎的研究が実験室でこういうことができました、非常にアイデアもいいし、抗血栓材料も非常にいいものができましたけれども、それをまとめて何かできるかという、なかなかできないのです。それは、研究体制の問題でもあるし、業界の方々との連携がまだ少ないことと、あとは医療経済の問題です。

外国で人工心臓のような研究がなぜ進むかといいますと、医療産業にすごいお金が動いているこ

とに関係していると思います。日本ではお金が薬にもずいぶん行っていますし、老人医療にも行っています。米国は、かなりのところが医療産業界へ行っています。メディカル分野に投資しても戻ってくるという感覚です。

ですから、ベンチャービジネスが大きな役割を果たします。そういうのが育って、FDA でいろいろ規制はしますが、臨床試験がスムーズに行える。日本はそこまで持っていくのに大きな規制があります。日本ゼオンと東洋紡に大赤字覚悟で2つのデバイスをつくっていただいたのですが、その後がなかなか進まない。日本の医療費がそういうところにフィードバックするシステムにないわけです。すべて社会保険ですから、手続きが大変です。採用まで時間がかかります。外国は、自分の保険にも入っているし、動いているお金が違うのです。医療産業を盛り立てるように動いているわけです。これは根本的なことですが、日本はだれでも医療を受けられて、ほぼ 100%保険でできるというのはいいのですけれども、何か大きなものに会社の将来をかけるというときに、医療システムとのギャップが大きい。日本で開発しても、市場に出すまでにいろいろな手続きがあります。いろいろな規制がある。

司 会 では食事をしてからご質問を受けるということで、ここで休憩をとりたいと思います。

——休憩——

司 会 先生は大阪のほうで患者さんを至急診なければならぬということで、8時の新幹線でお帰りになられますので、7時15分まで質問をお受けしたいと思います。

皆様方はよくご存じだと思うのですが、日本の心臓の手術で、西の一番多いところが松田先生を中心とした阪大グループ、東のほうは東京女子医科大学ということで、先ほども補助人工心臓の治験をやっているところが松田先生のところと女子医大の小柳先生のところというお話が出てまいりましたけれども、症例が日本で両横綱の代表者ということでございます。

城 水 (富士通) 先ほどの説明の中で、移植に対する補助的な役割ということでしたが、そうで

なくて人工臓器だけで生きるとしたときに、それは現在ではどういう点でネックになっているのか。アメリカの場合は、人工臓器だけで生きるというような試算のポイントでつくっているのかどうか、あくまでもブリッジとして開発しているのか、そこら辺をお聞きしたいのです。

松 田 人工心臓だけで何年もいくというのがやはりゴールで、特に電気駆動の場合はそういう傾向があります。ただ、アメリカの場合、FDA のコントロールが厳しいですので、急に長期というわけになかなかいかない。とにかく半年、せいぜい1年ぐらいのところで見なさい、そういうことで許可が出たと思うのです。

実際としましては、先ほども申しましたように、1年以上継続できている症例もありますので、移植を考えないプロジェクトも当然出て来ています。イギリスでは確かに1つのグループが移植を考えないでやりましょうということで始まったのですが、ただ、血栓とか感染の問題でうまくいかなかったのです。最近デバイスをつけて病院から離れてもいい、退院しても良いという状況になっています。ですから、そういう方向にはあります。しかし、それで5年もつかというと、ちょっと難しい。おそらく2～3年でいろいろな合併症が起こるでしょう。

城 水 それは工学的にということですか。

松 田 工学的によりも、血栓性の問題と、中に入っている弁がブタの生体弁ですので、それがかなりリミテイング・ファクターなわけです。普通のそれだけ入れた場合は5年も7年ももつのですけれども、ああいう機械の固いところに生体のものを入れると、メカニックスが違いますので、早く壊れるのではないかと。その問題が1つあります。

ですから、いま人工弁というものをもっと安く長持ちするのを何とか開発してくれないか、というのが工業側に関する私どものお願いなのです。いまの普通の機械弁は1つ50万円もするわけです。ですから、すごいお金がかかる。国産のものでも2つ入っているわけで、それだけで非常にお金がかかるわけです。もっと短期でもつもので、プラスチックとか、ポリウレタンでもっと安い弁を

つくって入れようとするのですけれども、その耐久性とかいろいろな問題でクオリティが下がりますので、思い切ってできない。ですから、人工弁の問題が1つあります。それと、いくらやっても抗血栓性と感染というのはなかなか難しい。プロジェクトとしてはあります。日本も補助人工心臓のみのプロジェクトでいったらどうか、という議論も出ています。ですから、もう少し経験が蓄積されて、移植もある程度進み、そういうデバイスのことがわかってくれば、当然それはあると思います。

司 会 補助人工心臓を心不全の患者さんに使おうとすると、常時使っていかなければならないということで、いまおっしゃられたようないろいろな問題があるのですけれども、人工臓器によっては間欠的な治療でもいいものがあるから、人工腎臓というような場合にはわりあい条件は緩いというのが現状だと思うのです。人工腎臓は間欠的な治療でいまやっていますから、携帯型であるか、あるいはインプラントブルにしようということになりますと、やはり同じような問題が出てくるのではないかと思います。

松 田 エネルギーがいまはバッテリーですから、管が一部皮膚から出るわけです。あのデバイスをつけても、お風呂に浸かってしまうことは出来ないのです。かなりシールしてシャワーは浴びられるのですけれども、日本式にお風呂に入っているというわけにいかないのです。全部体の中に埋め込んでしまって、外からエネルギーを伝達する。そういうことである程度することはできるので、すけれども、実用に至っていません。ですから、エネルギーの問題が1つです。完全に中に入ってしまうと、それはかなり違う。現実にはかなり太い管が皮膚から出ています。

司 会 原子力を使う。原子エネルギーを使う。

松 田 それは、ペースメーカーでもリチウムとか入っているのですけれども、その方が交通事故か何かで、あるいは全然知らないところで亡くなったとか、問題を生じますので難しいですね。それと人体への影響もあります。人間の体温を使って動かすという試みもあります。

飯 塚（五洋建設） 変な質問になりますが、臓

器移植の必要性というのは、若ければ若いほど多分先天的な理由でなるでしょうし、ぼつぼつ平均寿命に近くなればその人の臓器が耐用年数がきて、仮にどこか生かしても、ほかのものも大体バランスよく耐用年数にきていると思うのです。そうすると、私個人はもう古稀を過ぎておりますので、日本でそういうものが整備されても、当分の間は、非常に必要とする、我々から見れば子供・孫の将来ある人物に与えたほうがいいのであって、ドナー不足の折から我々にはもったいないような気がするのですが、医学的に見て、あなたはもうむだだというのはどの程度からあるのですか。

松 田 それは一応決まっていますのです。55歳以上の方は遠慮願っています。そう言って実際は、60歳ぐらいまでは対象になると思います。外国では60歳を超えても移植を受けた方がおられます。基本的には大事なドナーの臓器を社会的にも意義のある、社会に還元できる人に与えるのが原則です。

合 志（東京大学） 先ほど両方のメーカーともそうかどうかわかりませんが、ベンチャーでスタートしたというお話でしたけれども、開発に非常にお金がかかるとか安全性の問題で大変難しいところだと思うのです。日本ではなかなかベンチャーの規模でそういうところまで行けるかどうかというのは不思議に思うのですけれども、FDAのいろいろな規制もあって、ベンチャーでそれやっていった理由といいましようか、その辺についてもしお考えがあれば伺いたいと思います。

松 田 全部理解しているかどうかわかりませんが、完全人工心臓はFDAがある程度お金を出して、そのかわり幾つか条件を決めて、コンペティションをやって企業努力を起こさせてやっています。完成したとき向こうでは有償治験ということが許されるわけです。ですから、FDAが認めて、これは今年1年間に何十例やりなさいと言ったときに、それは資質的に還元されるわけです。治験をやらせてくれという手が挙がるところは、そこでお金を払うわけです。医療システムが違っていると申し上げたのは、向こうは患者さんからも場合によってはもらえるし、自分たちの病院のファンドの中からも払うし、お金を払わないと治験させてく

れないのです。基本的に有償治験なのです。

日本ですと、開発して、治験まで行けても、最初は全部無償提供です。しかも、場合によっては周りの医療費から全部払わないといけません。ものすごく違うのです。日本の企業の大変なことは、1人について、例えば補助心臓の場合も500万、1,000万払わなければいけないかもしれない。そうすると、とても日本では米国のような治験はできないということになります。日本では、治験が終わって、次は高度先進医療というのがあります。保険に乗せてくれるまでにはもう一つステップがつけられています。治療は保険で見ましよう、しかしそのデバイスは患者さんに買わせなさいというわけです。生体部分肝移植もそうです。そういう新しいものに対する保険制度について、日本は消極的です。健康保険というのは一般的になってみんなが恩恵を受けるものに対して保険で払いましよう。そこへ行くまでが全然違うのです。私はそれが大きいと思います。

森（三菱電機） エネルギーの問題というお話が工学アカデミーとしては納得できないのです。非接触で入れるのと電線を中から出しているのとで違うわけですか。非接触でよければ、非接触の方式というのは昔からあるファラデーの電磁誘導でできる。そうではなくて、持っているのがぐあい悪いのですか。

松田 非接触でもいいのですけれども、いま申し上げたああいうモーターを回すにしろ、かなりのエネルギーが要るのです。

森 いまはそんなにエネルギーは要らないと思うのです。例えば、電気自動車に充電するのでも全部非接触でやっていますし、信号でもエネルギーでもみんな非接触でやるということが、多分だれか特許をとっておられると思うのですけど。

松田 バッテリーを内蔵するというアイデアですね。

森 バッテリーが中へ入っているのと、電磁誘導でそれだけ効率は悪いけれども外に持っていて線は通さないというのでよければ、90%以上の効率ではいくと思いますけれども、どうでしょうか。

松田 中にセンサーを入れて体外にベルトをまく方法があります。動物実験では始まっているの

ですけれども、なかなか現実的に十分なパワーが保たれないようです。

森 それは大阪大学の電気工学の先生にご相談して……。

松田 私どもとは違うのですけれども、いま米国でも始まっているところです。

森 できないことはないと思いますけどね。原理的にはローテクですから。

松田 わかりました。

太田（ポリテクニクコンサルタンツ） 非常にテクニカルな問題ですけれども、心拍数のコントロールというのはどういうふうにされているのですか。つまり、体温とか温度によるのか。

松田 国産のものとすと、全くこちらで好きなようにするわけです。マニュアルで。ただ、最近では、中にセンサーを入れまして、中のダイヤフラグムがどこまで戻ったら打つ、要するに血液がどれだけ戻ってきたら次に打つというフルフィル・フルエンプティが基本です。外国のものの場合でも、センサーがあってコントロールしてあります。ですから、自然と血液がたくさん返ってくれば多くなりますし、少なければゆっくり行く。体温は関係ありません。

太田 そうすると、患者さんの意思は無関係なのですか。

松田 関係ないです。フィックスモードを自分で70と決めれば、もうそれですつと行きます。オートモードと両方可行。大体そうなっています。ただ運動すれば早くなりますし、睡眠中はゆっくりになることはあります。

竹内（日機装(代理)） 先ほどの森さんの質問に関連しまして、電池については現在埋め込みが通産省の機械研究所と国立循環器病センターである程度進められています。問題は、非接触でバッテリーチャージするわけでございますけれども、結局そこにおいて皮膚の温度上昇であるとか、中に埋めたバッテリーの寿命であるとか、諸条件をいまから詰めていく段階ということで、先ほどのお話ですと、いい知恵をお持ちであれば……。中にバッテリーを入れることで進められております。非接触でやりますと、駆動体とモーターの間での発熱というのが、1つの問題として上がってくる

のだろうというふうに考えられて、あまり多い金額とは思えないですけれども、わずかな金額でそういうことが進められているということだけは追加させていただきます。

松 田 循環器病センターの研究所ではかなりの研究が進んでいます。私は全部把握していませんが、いま熱が1つ問題なのです。完全人工心臓でも発熱と溶血が問題となっています。

藤 森（東京通信ネットワーク） 心臓移植、さらには心臓そのものは修理できないと治らんということですが、どういう例があるのか。私、ちょっと考えると、一応はそのまま修繕できる場合と、外して、我々工学系ではメーカーに持って帰って手入れして、それを元へ戻してやる、そういうことができるはずなのでございますが、それがインポッシブルなのはどういう点でどういう例があるのかお聞かせいただきたいと思います。

松 田 治せるのは我々も治すわけです。ただ、筋肉の病気ですと治せないのです。例えば、心筋梗塞を何度も起こしてみんな繊維化してしまったような心筋は、もう治しようがないわけです。心筋細胞は増えないのです。肝臓は、残った細胞が増えて代償します。ところが、心筋細胞は数が増えないのです。ですから、やられたらやられただけ減るのです。それから、拡張型心筋症も心筋自体の病気ですので、それはいまのところ治しようがないのです。遺伝子治療ができるようになって、心臓を一時とって遺伝子の導入をしてまた戻すということも、我々も考えていますけれども、現実にはなかなか難しい。

ですから、いま適応となっているのは、手術もできない、ほかのことはできないということに限られます。それは主に拡張型心筋症といって、それこそだんだん筋肉が薄くなったものか、心筋梗塞ばかり起こして、風船治療もだめ、バイパスもだめなもの。その2つが主です。あとは、生まれつきの赤ちゃんの病気です。

心筋梗塞の方は、ある外科医はまだバイパスが

できるとか、一部縫い縮めればいいというふうに意見が分かれるのです。ですから、日本の循環器内科の先生は、最初やるのはだれもが納得いく拡張型心筋症で始めなさいと指導しています。

司 会 臓器移植と人工臓器がこれから特に日本でどういうふうになっていくのか、臓器移植と人工臓器との関係がどうなっていくのか、先生はどうなってほしいか、ということはいかがでしょう

か。

松 田 例えば、腎臓も透析の方がものすごくおられて、透析としては進んでいるのですけれども、腎臓移植の数は非常に少ないですね。毎年、死体腎の方は全国で200人ぐらいです。たった200人です。あとは、兄弟とか親からの提供です。私はやはり、日本でも臓器移植は進まないとおかしいと思うのです。日本が外国に比べて極端に臓器移植を除外する理由は全くないし、臓器提供すると言っている方もたくさんおられるわけです。必要な医療だと私は信じています。

ただ、そればかりでなく、人工臓器と非常に密接な関係で進まないといけないと思います。移植が進めば人工臓器も進む。人工臓器が進めば移植も進む。日本は人工臓器については非常にテクノロジーが進んでいますし、実績もありますので、移植だけがものすごく後れているのです。外国は移植に比べ人工臓器は後れている。ですから、何とか同じレベルまで行ってもらえれば、非常にうまくいくと思うのです。

司 会 最後に、先生がもし仮に拡張性心筋症になったら、どういう治療をチョイスされますか。

松 田 年齢によりますが、私はまだ辛うじてレシピエントのクライテリアのところにおりますので、いまはやはり移植だと思います。もう5年、10年したらLVAS人工心臓でお願いすることになるでしょう。

司 会 時間になりました。それでは、大変貴重なご講演をいただきました先生に、感謝を込めて拍手をして終わりたいと思います。（拍手）

1997年6月25日

編集
発行 **日本工学アカデミー**

〒100 東京都千代田区丸の内1-5-1
新丸ビル 4-007

TEL : (03)3211-2441 ~ 2

FAX : (03)3211-2443