(a) 解離性大動脈で緊急手術

梅津先生　まずどちらにお住まいですか？

戸田さん　この病院から歩いて一二、三分です。

梅津先生　いま、おいくつになりましたか？

戸田さん　六七歳になりました。

梅津先生　どういうお仕事をされていましたか？

戸田さん　証券会社にいました。大学を出て入社しまして三七年間です。

インタビュア　手術をされたのはいつごろですか？

戸田さん　たしか一九九八年の一二月です。

インタビュア　手術をすることになったのは、健康診断などで？　それともなにか症状があって病院に行かれてすることになったのですか？

戸田さん　いえいえ、家にいたときに、早朝にですね、ケヤキの木の葉があまりたくさん散るものですから、それをちょっと掃いていたら、なんとなくいままでにない痛みを感じました。胸の痛みはたぶん心臓だろうと思い、すぐ救急車を呼んで病院へ行ったのが良かったんじゃないかなぁと思います。

梅津先生　そうでしたか。急なことでしたね。

戸田さん　私の家のあたりで救急車に乗ると、ふつうこの病院へは連れて行ってくれないらしいんですよね。ほかの病院へ運ばれて行きそうになったのですが、ボクは前にここの形成外科に入院したことがあったものですから、この病院に来ることができました。救急車の中ではほとんど意識朦朧だったんですけど、あえてここに運んでくれということで。

梅津先生　そうですか、それは良かったですね。

インタビュア　そのときの検査ではどのような診断がされたのですか？

戸田さん　病院に着いて一〇分ぐらい先からはもう意識がありませんでした。なぜか意識がなくなって。それで目が覚めたら集中治療室にいて、手術が終わっていたんです。

梅津先生　ご家族はどうされたのですか？

戸田さん　女房が一緒に来ました。息子が二人いるんですが、手術に際し息子も呼んだほうがいいといわれたそうで、あとで呼んだのです。

梅津先生　息子さんは別のところに住んでおられるんですか？

戸田さん　一人は東京にいるんですが、もう一人は神戸にいるんです。

梅津先生　それでみなさん来られて…。

戸田さん　はい。ところでボクは…。これは先生の今日のインタビューの主旨じゃないと思いますけれど、臨死体験をしましてね。いままでいろいろ読んだりなんかしているので、それが記憶の中

で合わさっているのか、それは定かではないんですけどね、臨死体験をしたと思ってます。

梅津先生　それはどういうことですか？　どんな感じだったんですか？

戸田さん　まず白かったんですね。ミルクのようなモヤモヤのあるところにずっとボクがいて、『川のどっちへ行くんだろうなぁ…。』って自分でそのときに思いましたね。『でもここまで来ればもうしょうがないよな、自分で決められることじゃないから。』なんて思って。それをあとから思うとそんなことないよ、っていわれるんですけど。そこで川の向こう側のほうでなにやら息子たちが話しているのが聞こえた。自分はいま川のこっち側にきていて、向こう側で話していることがこんな感じで遠く聞こえる、なんて鮮明に記憶しています。

梅津先生　へぇ。そうですか。そのあとどうなったんですか？

戸田さん　「私の悪口をいったな。」なんていった記憶があるんですけど。

ところで、人工臓器を使うとか手術をするとか、ボクはそういうことは何の決定もしていないんです、もう意識がなかったですから、すべてやっていただいた、というわけなんです。それと、あとから聞いたんですけど、朝、緊急入院したときは体温がかなり落ちて冷たくなっていたそうです。

手術は午後だったそうですけど、その間はいろいろ検査をしたんでしょうか？

梅津先生　岩村先生、そのときはどういう検査をされたんですか？

岩村先生　心エコー検査とCT検査が中心ですね。

梅津先生　なるほど。岩村先生はそのとき主治医だったんですか？

岩村先生　いえ、私がここに来る前でしたので、主治医は須磨久善先生（当時）でした。

梅津先生　そうですか、では、いろいろな検査を行ったことはあとで聞いたんですね。

戸田さん　いえ、なにも聞いていません。気がついたときは集中治療室にいました。そのときは、なんていうんでしょうか、手術のあと、麻酔の影響等々で、『自分は監禁されちゃったんだろうなぁ』と考えましたね。『なんでこんなところにいないといけないんだろう…』とか。ちょうど正月前でした。十二月の二十日だったと思いますけど、「どうしてここにいないといけないんだろう、早く出さしてくれ。」ってだいぶ駄々をこねたようです。

梅津先生　そのあと奥様に会われたのですか？

戸田さん　えぇ、女房には、そのときにね。その前の年にパリに半年ぐらいおりましてね、会社を辞めたあと一緒に住んでいました。その影響からか、女房が来たときにボクが「ボンジュール」っていったそうなんです。それで女房が、頭のほうは大丈夫かなって、心配したそうです。何回もいったそうなんです、大きな声で「ボンジュール」って。まぁ、自分ではそのときは正常だとは思っていたんですけど、あとからそういう話を聞くと、正常に戻るまでは数日間かかったみたいですね。

インタビュア　ご自身では、手術をされたということはわかっていたのですか？

戸田さん　その段階ではね。すでに看護婦さんから手術をしたことは聞いていましたからね。

梅津先生　実際に胸の中央を切って、その上にガーゼがかぶさっているのを見て。

戸田さん　はい。上手に切ってありましたよね。いま見てもほとんど跡がありません。当時から傷跡なんかはほとんど意識になかったですね。

インタビュア　痛みというのはなかったのですか？

戸田さん　切った跡はありましたが、そのあと、ボク自身の認識では、ずっと良い方向にいってますね。一時的でも悪くなったという認識はありませんからね。

梅津先生　そうすると、重かった痛みというのは、二度と感じていないのですね。

戸田さん　そうです。じつは救急車で運ばれたときが初めてなんですよ。ただ会社で定期検診を受けたときに不整脈と診断されたことは二回ぐらいあったかもしれませんけど。そりゃぁ、こんな仕事してればなるさ、って思ってほとんど気にしていなかったのです。

インタビュア　血圧はもともと高かったのですか？

戸田さん　そういえば高かったですね。でも高いといってもこれが許容限度かどうかはわかりませんが、一五〇～一七〇 mmHg って感じでしたかね。やっぱり高かったんでしょうかね。

インタビュア　手術をされたあとは、先生からどのような症状だったと説明されたのですか？

106

戸田さん　要するに、手術の成功・不成功は五分五分だったよ、という話を聞きました。解離性大動脈だったということでした。

インタビュア　解離性大動脈ですか？

梅津先生　そう、血管の壁を構成している複数の層の、層と層の間が、ピリピリピリと裂けてくるんですね。

インタビュア　病院に運ばれたときは、かなり症状が進んだ状態だったのでしょうか？

岩村先生　心臓から腰のあたりまで、かなり裂けていて、心臓の出口から一〇センチ付近では、破裂する可能性が高いのでそこを人工血管に取り換えました。

梅津先生　本当に運が良かったですね。

戸田さん　あとで聞いたことなんですけど、ちょうどボクが運ばれた日が木曜日でしたが、その日がこの心臓外科の手術日になってるんですか？

岩村先生　なってます、以前はそうでしたね。

戸田さん　その日はちょうどキャンセルがあって、それで私の緊急手術がすぐに行えたということをあとから聞きましたけれど。

梅津先生　待ってるわけにいかないですからね。

インタビュア　CTの検査で、そういう症状がわかるものなのですか？

107

岩村先生　だいたいわかります。

インタビュア　今回は初めからこういう症状があったので、CTの検査を利用して病状の発見に至ったのですか？

岩村先生　そうです。状況証拠が揃うと、だいたいわかりますね。

インタビュア　こういう胸が痛くなる症状というのは、朝が多いのですか？

岩村先生　この病気の場合はいろいろですね。

(b)　手術前と後の体調

梅津先生　食欲はどうですか？　一生懸命お仕事をされて、とおっしゃっていましたが。お仕事を辞められてからこれが起こるまでどのくらいありましたか？

戸田さん　一九九六年六月に辞めまして、一九九八年一二月ですから…。

梅津先生　二年半ですね。パリに半年おられた以外はどのようにされていたのですか？

戸田さん　あとはね、いまでもやっているんですけれど、テニスを週二回ぐらいやっていました。ほか週四回ぐらいは囲碁をやりましてね。でも、会社を辞めてからも会社内のことでストレスがあったのかもしれません。

インタビュア　ストレスが原因ということもあるのでしょうか？

岩村先生　まぁ、ありますね。

インタビュア　お酒やタバコは吸われたりしていたのですか？

戸田さん　お酒はあまり飲みませんが、まぁタバコは一箱ですかね。

インタビュア　えっ、一日に一箱ですか？

戸田さん　はい、そうですね。

インタビュア　現在はどうですか？

戸田さん　お医者さんはとにかく良くしようと思っていろいろやってくださっているんですけどね。ボクはタバコが悪いというのは信用していないんです。しかし手術をしたときから二〇〇一年の夏まではタバコをやめていたんですよ。やめたっていうのは気がついたときに、ニコチンが切れちゃったというか、別に自然にやめたんですけど。

　で、もう一回パリに行ったんです。そしてね、パリのカフェでタバコを吸わないなんてなんたることだ、って思ってそれからまた。

梅津先生　面白い話だなぁ。でもなんだか人間らしい話ですよね。

インタビュア　お食事の好みは、カロリーの高いものがもともとお好きとか、そういうのはあったのですか？

戸田さん　じつは、もう一つ病気を持っていましてね。腎臓結石という痛風と親戚みたいな病気

で、それをずっといわれているもんですからね、あまり脂っこいものを食べないというか、そういうのは守ったつもりですけどね。ただ、太ってたところをみるとそこそこ食べていたのかもしれませんね。

インタビュア　手術をされる前といまとでは、体重はだいぶ変わりましたか。

戸田さん　はい、すごく減りましたね。八二キロぐらいあったのが、手術後退院するときは六〇キロを割っていたと思います。いまは七〇キロですね。それからずっと横ばいですね。

インタビュア　現在は食事や運動などの制限はありますか？　以前されていたテニスなどはやっておられますか？

戸田さん　週に一度テニスをやっています。

梅津先生　見ると、とてもお元気そうですね。

戸田さん　はい、お陰様で。こんなことをいっていいのかどうかわかりませんが、手術をしたことは生活になんにも関係ないといった感じです。

インタビュア　それは良かったですね。現在は、検診をどのくらいのペースで受けているのですか？

戸田さん　検診は、岩村先生のところでやってもらって。検査は半年に一回で、薬は毎月ちょうだいしてます。聴診器で診てもらって、まぁ特別なことがないっていわれれば安心して帰ってます。

インタビュア　お薬はどういうのを？

岩村先生　血圧の薬ですね。

インタビュア　血圧をあげないようにすることが大事なんですね？

岩村先生　そうですね。

梅津先生　こんなにお元気だったら、もうお聞きすることもないですね。

戸田さん　こちらから人工の臓器ということをお聞きしたんですけどね、自分の体の中に人工の臓器が入っているという意識はまったくありませんね。そんなものなんでしょうか。

梅津先生　人工血管の場合はですね、特に生体と馴染んじゃうんですね、ですからあまりそういう意識がないかもしれません。あと手術が良かったんだと思いますね。

戸田さん　先生からお聞きしたんですけど、自分の寿命よりも血管のほうが長生きするって。

梅津先生　人工臓器を入れると普通の人よりも長生きをするという統計的なデータがあるのは、ペースメーカなんですね。ペースメーカを入れている人のほうが平均余命が長いんですよ。だから、自分の寿命以上に生きるということは、当然可能性があると思いますね。

人工臓器を使う手術というときに、たぶん奥様が息子さんと一緒に決断されたと思いますが、奥様はどういう風に決断されたか、そのときのお話を聞かれたことはありますか？

戸田さん　息子を呼んでくれというので、かなりリスクが高いのかなと思ったというのと、あと私

と同じでなんにもわかりませんからね。先生が「これがベストです。」とおっしゃれば「それでお願いします。」というふうにお願いしたということです。

インタビュア　奥様はご心配だったでしょうね。

梅津先生　しかし、あとは下駄を預けてということですね。ところで奥様が手術のあとになにか急に変わったってことはありましたか？

戸田さん　私がですか？　それとも向こうがですか？

梅津先生　奥様のほうが。なにかこう『急に態度が変わったなあ』とか。

戸田さん　まったく変わりません。冷たいですね（笑）。

梅津先生　そうですか、つまらないことを聞いちゃいました（笑）。

それでは岩村先生にお聞きしますが、人工血管っていうのは、家でこういうケアをしなさいっていうことはなにかあるのですか？

岩村先生　特別ないですね。

戸田さん　ここを退院するときに、看護士さんが作ってくれた生活メモみたいなのをちょうだいしましてね、その中では、体重が増えるのは良くないと、そこは注意してください、と書いてありました。

梅津先生　それだけ注意すれば大丈夫だということなんですね。

インタビュア　手術したあとは、動悸はまったくありませんか？　身体をかばって生活するということもないのですか？

戸田さん　まったくないですね。

梅津先生　最後の質問なんですけどね、人工臓器を体内に入れてしばらくはあれこれと気をつけるのですが、あるときからそういうことをまったく意識しなくなったということに気がついたという話を聞きますが、いかがでしたか？

いま、テニスをされたっていわれたんですけど、やっぱり運動をするっていうときに初めはあれこれ考えたとボクは思うんですけど、そんなこともなかったですか？

戸田さん　バスに乗るときに走る、なんていうのは気にしたかな。退院した直後は走らなかったですね。走るとこの手術のせいなのか、入院したせいなのか、ちょっとだるくて。そういう意味じゃ走りたくもなかったし、テニスもしばらくはしなかったですかね。

十二月に手術を受けてたしか手術後一ヶ月弱ぐらいで退院したと思うんですけど、三月ぐらいまではわりにゆっくりゆっくりしてましたね。四月ぐらいから前とあまり変わらないなって思って、なんとなく普通の生活に戻っていましたね。

梅津先生　すごいですね。じゃあそれからテニスを？

戸田さん　ほとんど週に一回。入院してるときは『テニスは今後できないなぁ』と思っていました

けれど。

梅津先生　そうですか、今日はありがとうございました。

人工臓器の開発者側からいうと、それが体内に入っているという意識をもたないということが、一番嬉しいわけです。そういうものがうまく体に馴染んでいるということがお聞きできて良かったです。

インタビュア　今日はどうもありがとうございました。

〔2〕人工血管の研究
―対談者（先生）　白石泰之先生―

<白石泰之先生プロフィール>
一九九五年早稲田大学理工学部機械工学科卒。その後修士、博士課程を梅津研究室で過ごし、早稲田大学理工学総合研究センター助手を経て、現在は、東北大学加齢医学研究所病態計測制御研究分野（山家智之教授）の教室の助手を務めている。また、早稲田大学理工学総合研究センターの客員研究員でもある。
博士号のテーマは、循環系人工臓器を医工学的に評価するものであった。
早稲田大学助手時代に東京女子医科大学の医用工学卒後教育プログラムを修了し、医学への応用分野研究を行うための基礎工学を学んだ。現在の研究テーマは、心臓血管外科支援を目的とした循環シミュレータ開発、人工心筋、人工食道の開発など、幅広く研究を展開している。

また、白石氏の研究のアプローチで特徴的なことは、バイオエンジニアでありながらヤギを用いた動物実験を多数並行して行い、説得力のあるデータを取得していることである。
医学部という『地の利』を活かし、典型的な医工連携を実践している若手研究者。後輩の面倒見も良く、研究室や屋上で鍋を作り、それを囲みながら親睦を深めている場面も多数目撃した。
人工心臓と補助循環懇話会 Young Investigator's Award（二〇〇三年）、（二〇〇四年）を授与された。
二〇〇三年一〇月インタビュー。

(a)　人工血管の形状

梅津先生　今日は人工血管について、早稲田大学理工学総合研究センター客員研究員で東北大学助手の白石泰之さんからお話を伺いたいと思います。

インタビュア　単刀直入に、人工血管というのはどんなものですか?

白石先生　人間の体の中の血液循環系は心臓と血管で構成され、その中を血液が流れるようになっているのですけれども、血管がなにかの病気になったときに、それを人工的にその管路として置き換えるというものが人工血管です。(1)

インタビュア　それは、どこの血管でも換えられるものなのでしょうか?

白石先生　血管として置き換えるのが適切な箇所というのがあります。例えば、ものすごく細く

て、手のひらにあるような末梢の血管を置き換えることは、いまのところ人工的にはできないのですけれど、心臓からでて全身に血液を送るような太い血管、あるいは重要な血管、それが一本しかない代わりのないような血管は、人工的に置き換えることができます。

それからもう一つは、人工透析のときに血液を体の外に一度だしてそれを戻すときに、生体血管ではなく人工血管を使うこともあります。

インタビュア　太いというのは、どのくらいなんでしょうか？

白石先生　日本人の場合は、だいたい直径三センチぐらいですね。工業的には数ミリくらいから造ることは可能なんですけれども、現在の人工血管の材料は体にとっては異物なので、生体がそれをカバーしようとして、組織がどうも血管の中に育ってくるんです。

それで、あまりにも細すぎた人工血管の場合は、じつは、防御反応によって詰まってしまうことも起こるので、現実のところは、六ミリとか五ミリとかが体の中に安全に入れられる小さなサイズです。

インタビュア　その人の血管のサイズは、手術のときに初めてわかるのですか？

白石先生　いえ、いまは、手術前の段階でCTなどでわかります。ただ、現場では、何種類かをあらかじめ用意しておいて、そのときに一番都合の良いものを使います。

梅津先生　そうすると、長さもですね。

白石先生　長さもいろいろあります。例えば、大動脈という心臓からでて、全身に血液を送る血管の場合には、心臓をでる直後から足の付け根ぐらいまで、七〇～八〇センチあるのですが、それをすべて人工血管に置き換えるというケースもありますし、大きな血管では病気の部分だけを換えるというのが一般的です。

(b)　人工血管の種類

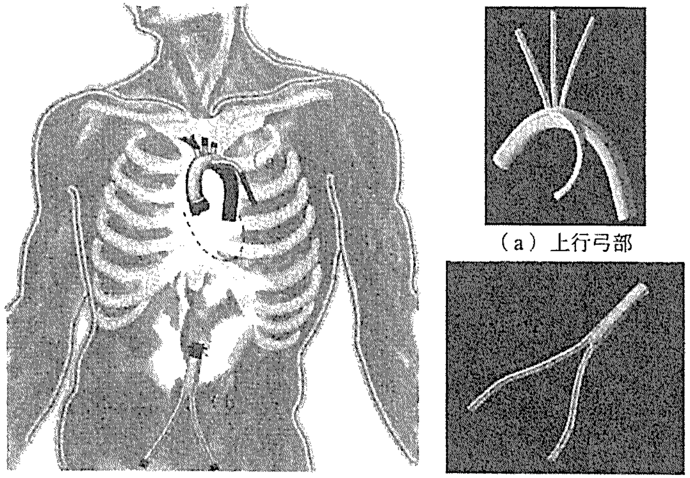
インタビュア　その人工血管を自分の血管とつなげるのにはどうやって行うのですか？

白石先生　基本的には、血管に糸で縫い付け、病気の部分を取り去った部分に、人工血管を入れるのです。というのは、血管の病気は、だいたい大きく二つぐらいに分けられるんです。血管が詰まり、細くなって血液が流れなくなってしまう。もう一つは、血管の壁の構造が壊れてきて、大動脈瘤というコブのようになってしまうものです。(2)

例えば、コブのように大きくなってしまったところでは、三層からなっている生体の血管はその層の間が解離して、非常に壁が破れやすくなります。中には流体が流れているんですが、圧力が高いので、その圧力に対して壁を補強する意味で内側に人工血管をいれます。

インタビュア　では、ヒトの血管のように人工血管も三層からなっているのですか？

白石先生　いえ、人工血管の場合はだいたい単層で、一般的には布一枚でできています。(3)



さまざまな動脈血管の形状に対応するポリエステル製人工血管（Boston Scientific 社，Hemashield Gold™）。複雑な形状をもつ心臓に近い動脈用（上行弓部）人工血管（a）や，腹部と足の動脈にあわせた人工血管（b）などが用途に応じて選択される。

図 3.1　上行弓部および腹部大動脈置換用人工血管

それではここで人工血管をもっと詳しく見てみましょう。図３・１の(a)は、心臓からでたところから、三〇センチぐらいの大動脈の部分を全部取り換えるときに使う人工血管です。われわれ人間の心臓からでた血液は、いったん頭のほうに向かい、そのあとU字型に曲がって体の足のほうに向かって流れます。

インタビュア　(a)には細い血管が四本見えますが、これは何ですか？

白石先生　はい、これは頭や腕に行く血管で、U字型の一番上のところで分岐します。つぎに(b)は、お腹の動脈から二本の足のほうへ分岐するところに使うY字型の人工血管です。

インタビュア　これに使われている布というのは、私たちが普段着るような洋服の布とは違いますよね。血液が固まったりはしないのですか？

白石先生　一般的に、皆さんが洋服で着ているような材料が使われています。ポリエステルという材料が基本的に使われています。ダクロンと呼ばれる良いものもあります。

インタビュア　ジャバラ（蛇腹）みたいに伸縮ができるのですね。

白石先生　そうですね、メーカによっていろいろあります。これらはクリンプ加工というのですが、蛇腹構造にするというのは、血管のような柔らかい性質に対応しようとしています。例えば、図３・１の(a)のように、カーブを造ろうとするときに、クリンプ加工をしておくと、曲がる部分が座屈（もとの形状を維持できない状態）しにくいんです。ということで、しなやかな形状が造れま

す。また、らせん状に巻いてあるものもあれば、リング状にできているものもあります。

インタビュア　図３・１の人工血管はすべて日本製ですか？

白石先生　輸入品が多いんですけれども、日本製もあります。最近では、国内のベンチャー企業も人工血管を造っています。(4)

インタビュア　これは体内で使っているうちに傷んだりすることはないのですか？

白石先生　時間が経つと体内の組織がカバーして、内面がもともとある血管と同じような性状になってくるので、そうすると破れるということはないですね。ただ、このしわのある人工血管の場合には、長手方向には伸びるのですけれど、直径の方向には伸びないのです。これが現在の人工血管の大きな特徴です。

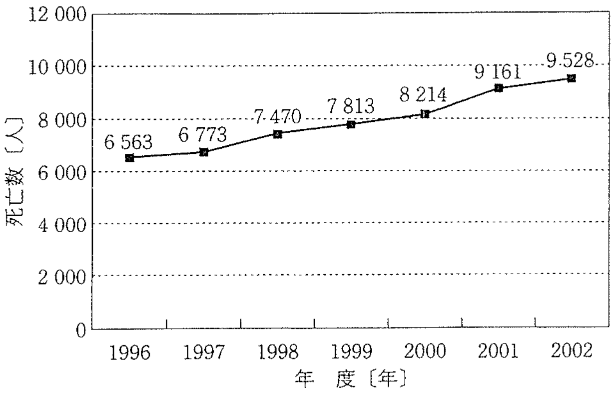
インタビュア　それでは、人工血管に換えた部分は、もう病気になるということはないのですね。

白石先生　置き換えた部分がまた破裂するというような致命的なことは、ほとんどないですね。

インタビュア　そもそも日本では、この人工血管はどのくらい使われているのですか？

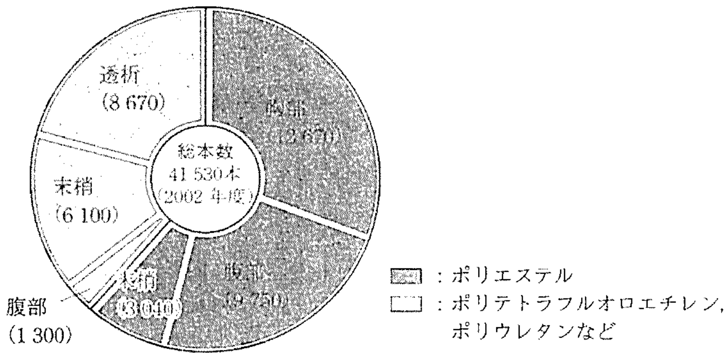
梅津先生　図３・２に示されているように、日本人だと、だいたい一年間で一万例ぐらいの人が、大動脈瘤や大動脈の解離などの血管の病気で亡なっています。(5)それに対して、人工血管は何人ぐらいにつけているんですかね。

白石先生　ええ、一年間でだいたい四万本の人工血管が出荷されていますが、人工血管をつけるの



社会の高齢化に伴い，大動脈の疾患による死亡数は増え続けている。

図 3.2　大動脈瘤および解離による死亡数推移[5]



人工血管の出荷本数は１年に４万本を超えている。胸部もしくは腹部の動脈血管疾患に用いられる人工血管はその６割を占める。おもな材料には，合成高分子材料のポリエステルが使われている。

図 3.3　人工血管市場における部位素材別構成比[4]

は、患者さん一人に対して一本という場合だけではないので、その率は年々増え続けています。図3・3は、約四万本の人工血管が体のどこにどんな素材で使われているのかを示した図です。[4] 胸部と腹部で全体の半分以上を占めています。血管の病気で、外科的に治療のできるものは、ほとんどすべて人工血管に置き換えるというのも一般的になっていますね。

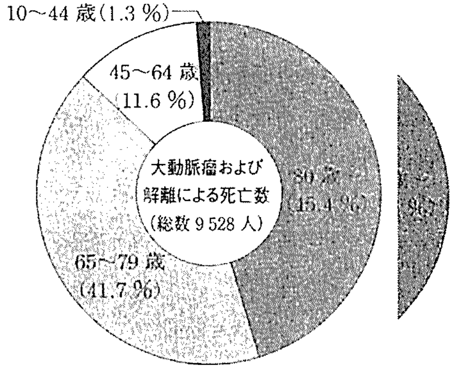
インタビュア　こういう病気になる人は多いのですか？

白石先生　年間の死亡数の統計を見ると、亡くなる患者さんの数は年々増加する傾向にあって、死亡率の約八パーセントを占めています。病気の原因は、遺伝的な要因があるともいわれていて、ほかには食事のコレステロールが要因になるというのもあります。また事故によるケガもあるのですが、基本的に高齢化が進んでくると、組織がもろく弱くなる人たちが増えてきます。

インタビュア　そうですよね、長年使っていればもろくなりますね。

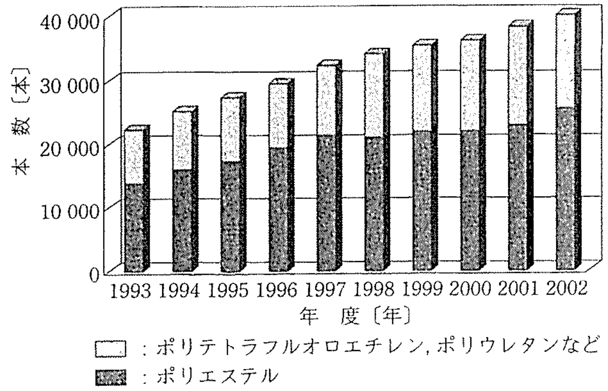
梅津先生　血管の病気の原因はいろいろです。この間、透析の原因の一番は糖尿病の患者さんだっていう話を聞きました。動脈硬化というのは、糖尿病とも非常に関連があるということを知りました。

白石先生　図3・4がその大動脈瘤とか解離とか、大きな血管に多い病気での年齢階級別の死亡数なんですけれど、六五歳以上の人の死亡が八割方を占めています。[5] 特に八〇歳以上ですと、半分ぐらいになります。



大動脈瘤や解離といった疾患による死亡は，65歳以上の高齢者に多く，超高齢化社会に向かって，さらなる増加が予想される。

図 3.4　年齢階級別の大動脈瘤および解離による死亡数[5]



人工血管の国内市場は，この10年で約2倍に拡大した。この傾向は近年の高齢者の増加とよく相関する。

図 3.5　国内人工血管市場の推移[4]

図３・５は最近一〇年間の国内人工血管市場の推移を示したものですが、出荷本数が増え続けている様子がよくわかります[4]。これは、高齢者数が増えていることだけではなく、手術の技術が進歩したり、良い薬が使われるようになったりということなども理由として考えられます。ですが、ここ一〇年くらいでは、もとになる材料は変わっていないのです。

インタビュア　材料が変わっていないということは、これが良いということですね。

梅津先生　完璧じゃないけれども、十分に使えるということでしょうね。

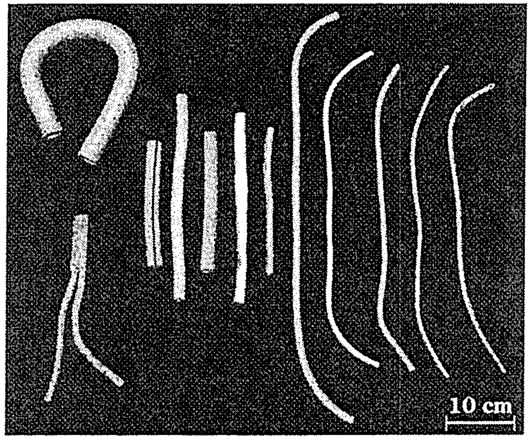
インタビュア　心臓からでる血管と透析をするときの血管といっても、これだけいろいろな形があるんですね（図３・６）。

白石先生　そうですね。体のいろんな部分に応じて、例えば、心臓からでたところの血管だと、最初に心臓から頭のほうに向かってまっすぐいって、それがお腹のほうに、下のほうへ足に向かって流れていくんです。

インタビュア　これからもっと良いものを造ろうとしているのですか？

白石先生　人工血管の形は、生体そのものの血管の形とは違いますが、新しい血管を造るという発想でいえば、太さも形もいろいろ複雑なので、それに合うような人工血管の設計をポイントに開発することになると思います。

例えば、人の体ではお腹のところで急に狭くなるわけではなくて、少しずつ細くなってきて、そ



合成高分子製人工血管でも，材料，形，太さ，長さなどはさまざまである。人工血管内面への組織新生（治癒性），漏血の有無（止血性），手術時の取り扱いやすさ（操作性）も重要な選択肢である。

図 3.6　さまざまな人工血管

の先がスムーズに分岐するという形状が理想です。実際の手術のときには、こういうようなきれいなカーブを造ることはほとんど不可能で、ちょっとカクカクという風になることもあるようですが、そういうことにならないようにしたいですね。

インタビュア　そのほかに現在新しく開発しているものは、なにかあるのでしょうか?

白石先生　代表的なのは、ティッシュエンジニアリング（組織工学）という手法の導入です。これは、患者さんの組織や細胞を人工的に血管内で培養すれば、より生体に近い特性をもった血管ができるのではないかという発想です。血液が人工血管から漏れないというのは、この布の中にこの人の細胞が入ってくるからなのですね。それをより付着しやすくなるようにしてあげること。あともう一つは形状ですね。

(c)　人工血管接続の手術

インタビュア　人工血管を一つつなげるのには、どのくらい時間がかかるのですか?

白石先生　実際に縫う時間は、そんなにかからないのですけど、手術の全体の時間は、手術の内容や患者さんの状態にもよりますが、だいたい三時間から七時間ぐらいです。先日の患者さんの戸田さん（三章〔1〕参照、手術時間七時間一〇分）の場合は、おそらく一般的な例だと思います。

梅津先生　麻酔をかけてから手術が終わるまではずいぶんかかりますが、縫っている時間は、一〇～三〇分くらいなのでしょう?

白石先生　そうですね。例えば、『手術中に必要で心臓の拍動を停止させたり、人工心肺という装置を使って血液循環を代行させたり』ということになると、手間がかかるので時間もかかります。普通、足の手術は、短い時間であれば、血流のことをあまり考えずに手術をしても大丈夫です。

インタビュア　ということは、血流を止めて手術をするんですね。

梅津先生　そうです。ただ人工血管に取り換える手術が終わっても安心はできない。取り換えない部分の血管もボロボロになっていることが多いんです。だから、手術の間に、ほかのところが出血して、その修復に手間どってなかなか終わらない、ということもあるのかもしれない。

インタビュア　正常なところも少し傷ついてしまうのですか?

梅津先生　人工血管と接続する血管組織のところに針をかけたら、そこが裂けたというケースもありますね。こういう手術を受ける人の血管は、いろんなところがもろくなっているのです。

インタビュア　こうやって、針を刺すだけでも、ちゃんとつながるものなのですか?　すぐ裂けてしまうようなことはないのでしょうか?

梅津先生　要するに、縫い目を細かくしてつなげていくわけです。

白石先生　縫うときには、その瞬間だけ、生体側の血流を遮断するわけなのですけれど、縫い終ったあとに少しずつ流して、その縫い目あたりから漏れがないかということを確認しながら手術を進

めていくので、おそらくでき上がったときは、漏れはないと思います。

インタビュア　針で刺しても、血はでないのですね。

梅津先生　はじめ、針糸で穴が開いたときはちょっと漏れますよ。ただしばらく圧迫しておけば、自然に漏れが止まります。最終的には生体の組織がカバーしてくれる。漏れがなかなか止まらないときは、生体に適合するノリを塗ることもあるのです。

インタビュア　そうなんですか。人工血管の寿命はどのくらいなのですか？

白石先生　人工血管が破れるというのは、最近ではほとんど例がないと思います。

インタビュア　痛みもないのですか？

白石先生　ないですね。

梅津先生　さっきも話題に出ましたが、本当の血管と、この人工血管では性質が違うから、境目のところで、もしも血液が脳を持った生き物のようだったらきっと混乱すると思う。『なにが起こったのかしら？』って。なんらかの防衛反応が働いて、『そこのところだけ壁を厚くしてやろう』とか『血が固まらないようにしよう』とか、いろいろな反応が起こる場合もあります。大動脈の三層の血管だと伸縮があるんだけれど、人工血管は伸びないから、生体血管がドキンときたときに、人工血管のほうは伸びないから、引っ張られて『これはおかしいんじゃないか』って思うこともあるんじゃないかな。

インタビュア　え？　引っ張られるような感じですか？

白石先生　あると思います。引っ張られることによる影響もあって、最初は心臓に直結する大動脈の血管の病気の程度がひどいからといってそこを人工血管に換える。ところが、そこが治ったらそのつぎの血管部分も同じように悪くなるのでそこも人工血管に取り換える。結局、次々に連鎖していって、大動脈のかなりの部分を換えるという話も病気の種類によってはあります。

梅津先生　ところで、人工血管の値段はどのくらいですか？

白石先生　だいたい人工血管一本で、三〇万円位です。でも保険がききます。

(d)　人工血管の歴史

梅津先生　では、歴史について聞いてみましょう。

白石先生　血管という管を、人工物に置き換えるという発想で、患者さんの治療に使おうという試みは、一九〇〇年の頭ぐらいからです。最初は、ガラス管を使ったり、パラフィンを使ったり、あとは金属管を使って流したらいいんじゃないかというさまざまなアプローチがなされました。ただ相手が血液という非常に機能性の高い流体なので、なにがいいかということについては、そのあと五〇年間ぐらいではまだ結論がでていませんでした。いまから五〇年前、ようやく布製のものやメッシュ構造にするなど、いろんな高分子の材料やシリコーンなどを使ってみていたよう

です。(6)

いま使われているような材料は、ダクロンなどのポリエステルの人工血管です。もう一つよく使われる別の材料としてはゴアテックス。これはスキーウェアなどでよく使われるもので、湿度はよく逃がすけれど、水は逃がさないというようなもの。これは吸水しにくいので中でなかなか血液が固まらないという特性を持っているのですが、そういうものであれば、少し細いものまで造れるのです。ほかにはブタの血管を材料とした試みもあります。

インタビュア　動物ではブタが一番人間に近いんですね。

白石先生　はい、サイズと形状からブタは適切ですね。それ以外にも、プラスチックで血管の構造を造り、それに細胞を培養するという試みもあります。

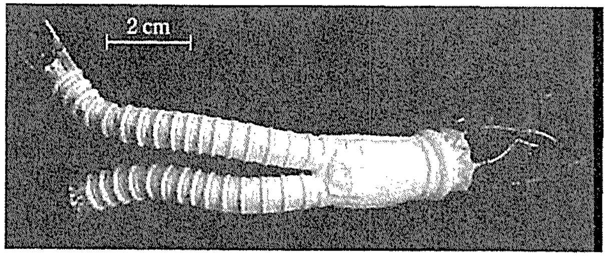
梅津先生　人工的にこういう管をうまく造って、将来、体の中でプラスチックが分解し、なくなっていく。その間に自分の体で細胞がプラスチックの中で育つ。そうすれば、だんだん立派なチューブになって、人工物から生体に置き換わる。そんなようなことが今後できれば治療方法も大きく変わると思います。

白石先生　こういった分野で人工血管置換術そのものの代替として考えられることは、まだ完全に安全な治療として定着できるかどうかはわかりませんが、ステントグラフト（stent graft：図3・7）というものです。(7) 日本国内でも臨床例があります。傘の骨のような金属があって布が張ってありますよね、ステントという金属の骨格で血管を内側から支えてあげるような構造に造られています。

なにが良いかというと、さっき話したように、七〇、八〇歳のお年を召した患者さんでは、手術のときに体に大変な負担がかかるわけですね。そういう患者さんに対しては、検査の時に、足の付け根などからカテーテルという細い管をつかってステントを血管を経由して運んでいって、病変のところで膨らます。こういう方法がいま臨床で使われています。ただし、臨床的にはやっぱり手術中のリスクと手術後の経過を考えると、開腹して手術をしたほうが成績は良いようです。

インタビュア　この場合は中で縫わないんですよね。

白石先生　中に入れて拡張させて置いてくるとい



金属製のステントが骨格となり，過剰に膨大した腹部大動脈瘤内部に設置されて，血液の流れを正常化させる。カテーテルという細い管に折りたたむなどして収納され，血管を経て目的部位に運搬される。胸部用のステントグラフトもあるが，いずれも開腹もしくは開胸手術を行わずに血管の治療が行えるという利点がある。

図 3.7　腹部大動脈用ステントグラフトの一例(7)
(Boston Scientific 社、TriVascular™ Stent Graft)

うことだけで、縫うことはありません。ステントを使っている多くのケースでは、緊急用途として使っています。そして、つぎになにか問題が起こったときは、人工血管で置き換えます。人工血管の置換手術をしたら、たぶんもう二度と治さなくて良いというぐらいになるのです。

(e) 新しい試み

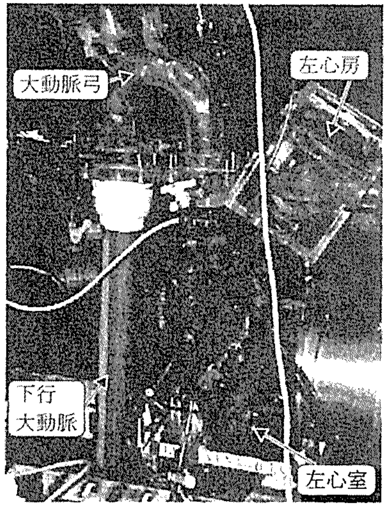
インタビュア　そのほかになにか人工血管のトピックスはありますか?

白石先生　最後に人工血管の工学的評価について、少しお話ししたいと思います。

例えば、硬いもしくは柔らかいという人工物が血管の中に入っている場合、それがどのくらい生体に影響があるかということを調べるのには、梅津研究室で開発研究している血液循環シミュレータ（図3・8）というのを使うと可能なのです。[8]

このシミュレータという装置では、血管の部分を人工血管に置き換えるということができます。患者さんそれぞれの血管の病的な状態を再現することができ、患者さんそれぞれに最も適切な人工血管を選択することができる可能性があるわけです。

なぜこういうものが必要かというと、患者さんの血管には、いろいろな形状があるわけです。流れの抵抗を考えると細いものよりも太いもののほうが良いのではないかという話がでてきます。でも患者さんに入れられない場合もあるわけですね。そうすると、どの程度の細さまで大丈夫かということを調べるために、このシミュレータという装置を使うのです。



生体の血液循環系を力学的に模擬した流体回路。人工血管だけではなく補助人工心臓や心臓代用弁（人工弁）の性能の定量的な評価が行える。心臓外科手技をシミュレータ上で再現し，その治療効果を予測することも可能である。

図 3.8　血液循環シミュレータ[8]

これはちょっと珍しい例なんですけど、図3・9は、手術前の大動脈瘤の様子を示したものです。白い点線の部分が本来の健康な血管なんですが、大動脈瘤というのは、三層構造になっている血管の組織が破壊されるので、ボコボコになってふくらんで見えます。この写真では、血液中に造影剤を注入しているので、血液の流れが黒く見えます。瘤の部分に血液が流れ込む状態が観察されます。大動脈瘤周辺の血管の壁は、薄く破れやすくなっているということもあって、人工血管で弱

134

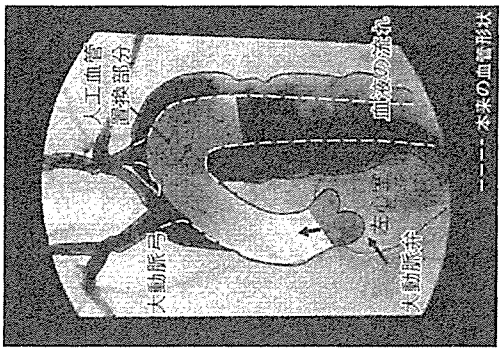
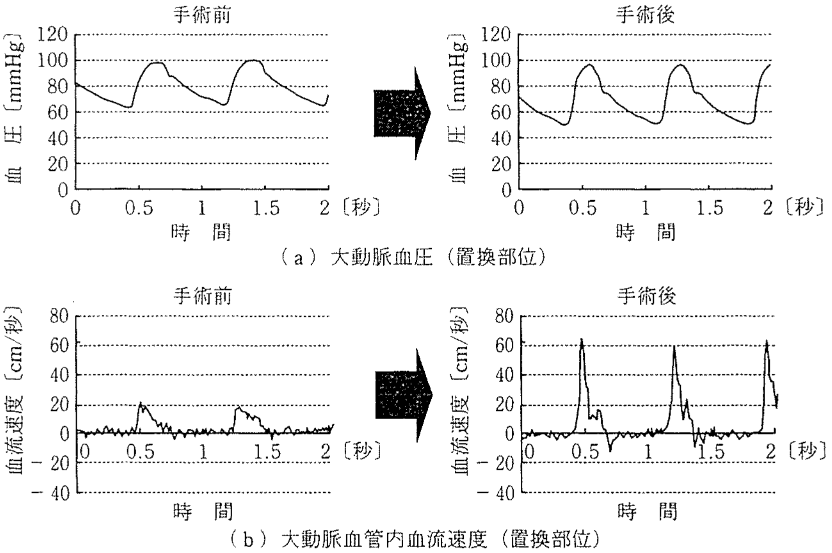


図3.9　69歳男性（体重49 kg）の大動脈瘤の造影画像(8)

った部分を置き換える手術が行われます。この患者さんの場合には、瘤が広い範囲にわたっているので、部分ごとに置き換えていきましょうということで、大動脈の根元（左心室の出口直後）部分から大きく曲がる血管部分までを置き換える手術が行われました。

そうすると、図3・10の血圧波形や血流速度の波形に示されるように、人工血管に置換する前後で、血管内部の脈圧（動脈圧の山の高さのこと）が大きくなったりとか、流速が非常に速くなっているといったことがわかりました。圧力が上がったときに流速がそれほど大きくならないというのは、血圧の上昇に伴って血管がふくれているということです。病気のせいでこういうデータがとれ



大動脈瘤の治療のため，ポリエステル製人工血管を用いた手術を行った前後の大動脈の血圧と血流速度の波形の一例。人工血管は一般に生体血管よりも加圧変形しにくいが，血管を構成する素材が変わることによって，血管内の圧力と流速の変化が引き起こされる。人工物を用いた血管の外科的治療によって，心臓などほかの臓器に及ぼす影響も重要である。

図3.10　人工血管置換前後の血圧・血流速度の変化(8)

135

ることもあるのでしょうが、人工血管に置き換えることで、流れの抵抗が非常に大きくなるという可能性もあるわけです。研究としては、シミュレータを使ってデータを計測することによって、手術をすると大動脈の中でどういうことが起こるか、また心臓に対してどのように負荷が増大するか、といったことを手術の前に調べることが可能になります。つまり、この患者さんにはどういう手術をしたらいいのかを前もってある程度評価することができるわけです。

梅津先生　いままで病院では、人工血管を入れて患者さんが助かった、助からなかったという手術結果を統計的なデータで説明することが多かったと思います。でもシミュレータを使えば、人工血管を入れる前から、手術後の状態を予想をすることができ、患者さんは術後がどのくらいつらいのか、心臓は何パーセント回復するのかとか、ある程度の数値で表すようになるので、はっきりと治療の効果が見えるわけですね。こうやって医学は発展するのではないかなって思います。

インタビュア　前もって予想がつけば良いですよね。

白石先生　じつのところ、生体っていうのは、ある程度適応能力があるので、こういうものを入れたからといって、すぐ心臓にものすごい負荷になっていくということではありません。五年、一〇年にわたってストレスを受け続けたときに、それが患者さんの命を左右させる要因となる可能性があるわけです。だからこそ、少しでも生体に適合しやすい人工臓器を開発することが必要なのです。

インタビュア　いろいろな新しい試みについてもお話しいただきまして、ありがとうございました。

引用・参考文献

（1）野一色泰晴　人工血管―開発の歴史、現状と将来展望―、川田志明編　人工臓器、日本人工臓器学会、四一～四六ページ、一九九八。
（2）木全心一ほか　解離性大動脈瘤の治療選択、臨床科学、二六（四）、四三三～四三九ページ、一九九〇。
（3）ボストン・サイエンティフィックジャパン株式会社　Hemashield Goldパンフレット。
（4）矢野経済研究所編　人工臓器の市場動向の分析、矢野経済研究所、一九九八、二〇〇〇、二〇〇二。
（5）厚生労働省平成一四年度日本人口動態統計、二〇〇三。
（6）Philip P. Sawer ed. Modern Vascular Grafts, McGraw-Hill, 1986.
（7）ボストン・サイエンティフィック ジャパン株式会社　TriVascular Stent Graftパンフレット。
（8）白石泰之ほか　高齢者の血行動態を再現する血液循環シミュレータ開発のための検討、ヒューマンサイエンス、一三（二）、九五～一〇一ページ、二〇〇一。

あとがき

この本をまとめるにあたり、たくさんの方々にインタビューをさせていただきましたが、そこから私個人が多くのことを学ぶことができました。そのいくつかをご紹介したいと思います。

まず、この本では主治医の方々を通じて何人かの患者様を紹介していただき、直接インタビューする機会をいただきました。いずれもすべてうまくいっておられる方で、人工臓器を使う前に比べて圧倒的に生活の質の向上がみられているということがインタビューからよくわかりました。その方々が医師団に対して、そして病院に対して本当に心から感謝しておられるということを実感し、理想的な医療の姿を見たような思いがします。

人工臓器を使う治療というのは、本来、その人工臓器について十分に理解していただくことが大切ですが、一般の方々にそれらを説明するのはなかなか難しいと思います。しかし、ご本人やご家族の方々に理解していただくために医師の方が一生懸命努力され、お互いに治療というものに対して信頼関係を築いて、適切に理想的な治療が行われた現場の姿を知ることができて、私はとても嬉しく思いました。もちろん全員がこのようにうまくいくとは限りませんが、成功例を知ることは、治療を前向きにとらえるうえで重要だと思います。特に、同じような病気に直面されている方やそ

のご家族には、少しでもいろいろなケースを知ることで治療方法を考える一助にしていただければ幸いに思います。

このインタビューをまとめるうえでは、プライバシーに対しては十分に配慮をしたつもりですが、病気と闘い、中には死の淵にまで行った経験を語っていただいたときなどは、『日ごろ病気で苦しんだ経験のない者が気軽に聞き過ぎているのでは…』と考え込むこともありました。インタビューにご協力をいただいた方々に心より感謝申し上げます。

つぎにバイオエンジニアの方々にインタビューした解説記事について触れたいと思います。どの内容も人工臓器の将来について、かなり具体的な取組みを紹介したものだと思います。現在のペースメーカ、人工弁、人工血管などの人工臓器による治療は、ある程度うまくいっていると思います。しかし、少しでも医療の質を向上させ、安全かつ有効な治療法を確立していくために、多くの技術を融合させ、そして夢を持ってチャレンジすることがとても大切であることをご理解いただけるのではないでしょうか。いつも広い視野をもって、異なった分野の人たちがお互いに協力できるような融合組織を持つことがとても大切である、と私自身も再確認した次第です。

最後に、人工臓器を開発することの意味について触れたいと思います。私はこの三〇年間人工臓器の開発に携わってきましたが、失われた、あるいは低下した臓器の機能をいかに代行するか、あるいは回復させるか、という機能中心に設計・製作を行ってまいりました。もちろんそのプロセス

は正しいのですが、患者様とのインタビューを通じて私自身わかったことがあります。それは、病気で低下した臓器の機能を良い状態に戻すことができれば、身体全体も良い方向に向かい、そのことは、身体のみならず『心』も回復方向に向かうということです。

例えば、心臓の機能が回復すると、腎臓の機能も改善して『むくみ』がなくなり、呼吸も楽になってくる、といった具合です。それが実感できれば精神的な苦痛を取り去ることができる、ということだと思います。患者様の生のお話を聞くことが、製品の開発や改良の動機付けにとても大事なんだなぁと痛感しました。自分の家族や愛する人のために本当に性能のいいものを造っていく。このためには謙虚さを忘れずにチャレンジしていくことがとっても大切なんだということを学んだ次第です。患者様が今後、クオリティーオブライフ、すなわち生活の質を高めて、さらに幸せに過ごしていただくことを祈念して、この本の終わりの言葉とさせていただきたいと思います。

梅津　光生