

イラスト解説

心臓には4つの部屋がある。“心房”と“心室”がそれぞれ右と左にある(右心房、左心房、右心室、左心室の4つになる)。“心房”は、血液を貯める部屋、“心室”は血液を送り出す部屋である。“心室”は血液を送り出すために高い圧力をつくる部屋なので、血液が逆流しないようなドア(心臓では“弁”と呼ばれる)が入口と出口についている。このドアはひとつの方向に進むことはできるが、反対方向に通ることはできない(これを“一方弁”という)。右心室には“三尖弁”と“肺動脈弁”、左心室には“僧帽弁”と“大動脈弁”があり、心臓には合計4つの弁がある。こうして血液は、右心房→右心室→肺動脈→肺→肺静脈→左心房→左心室→大動脈と逆流することなく、ひとつの方向に流れて循環していく(図④参照)。

イラストは、背中の上側から心臓を見ている。心房を透かして4つの弁が見える。左心房の僧帽弁(画面左下)と左心室の大動脈弁(画面中央)が、本来の弁から人工材料でできた人工弁(機械弁)に置き換えられている。円盤を2つに割った半月型のドアが開閉するタイプの人工弁

(二葉弁)である。イラストでは僧帽弁は閉じて、大動脈弁は開いている状態で、左心室から大動脈に血液が送り出されている。右心室を見ると、いずれも心臓の元々の弁で、三尖弁(イラスト右側)は閉じて、肺動脈弁(イラスト左上)は開いていて右心室から肺動脈に血液が送り出されている。

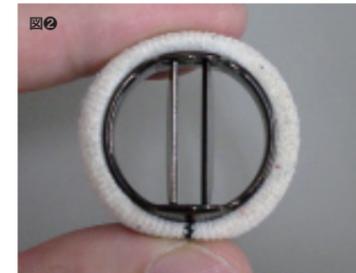
心室に付いている一方の弁が“閉じ”もう一方の弁が“開く”というのは、血液の逆流を防いで血液を絶えず一定の方向へ送り出すための生体のしくみである。つまり、心房内に貯まった血液を心室に送る際には、動脈弁(肺動脈弁と大動脈弁)が閉じたまま房室弁(三尖弁と僧帽弁)が開いて心室内に血液を流し込み、心室内に貯まった血液を心臓の外へ送り出す際には、房室弁(三尖弁と僧帽弁)は閉じた状態で動脈弁(肺動脈弁と大動脈弁)を開いて心室からは血液が勢よく送り出される。

心臓の弁がしっかり開かなくなって血液が流れにくくなったり、閉じなくなって血液が逆流するようになった病気が“心臓弁膜症”であり、弁が大きく壊れて修理不能になると人工弁と取り替える必要が出てくる。



[図1] 機械弁の構造

機械弁は一方に開く円盤を2つに割った半月型のドアと言える。分解して部品を見ると、ご覧のように開閉するドアの役目のバイロライトカーボン炭素材料製のリーフレット(弁葉(べんよう)), オリフィス(リング; 弁葉を支えるハウジング)、布製のソーイングカフ(人工弁を心臓に糸で縫いつけ固定する部分)だけであり、とても単純な構造をしている



[図2] 二葉弁

開閉するドアの円盤を2つに割り、それぞれが蝶番(ちょうつがい)で開閉する弁で、現在、最も一般的に使われている機械弁である。弁の開閉がスムーズで、血液の流れが弁の中心近くを通るように工夫されている。二葉弁として1977年に最初に実用化されたSt. Jude Medical弁は、現在まで160万個以上が世界で使用された。日本では1978年以来8万5000個が使用されており、毎年4500個前後が患者に植込まれていることになる



[図3] 生体弁

機械で作る弁ではなく、動物の弁を取り出して加工した弁である。そのまま用いると拒絶反応(きよぜつはんのう)がおきるので、なめ革の原理を用いて薬品処理が施され、人体に入れても影響がないようにしてある。最初はヒトの屍体(しかい)から採取した弁(大動脈弁)が移植されていたが、ヒトの組織を用いるため、大量にいろいろな大きさ(患者により必要な弁の大きさが微妙に違う)の弁を揃えることが困難なことを理由に、現在はヒト以外の生物(ウシやブタ)から組織を取り出している。製品となった弁の細胞は生きていないので、非常に多い回数の開閉を繰り返すうちに徐々に壊れていくという欠点を持つ

天文学的な回数 の開閉に耐える ための条件

心臓の弁の機能が不調となって血液が逆流したり、弁が十分に開かなくなると血液の流れにくくなるのが“心臓弁膜症”といわれる病気です。疲れやすくなったり、顔や足に浮腫が出てきたりします。薬を飲んででも症状がコントロールできないときには、弁を修理する手術が必要になります。弁が大きく壊れて修理不能の場合は、弁を切り取って人工弁と取り替える必要が出てきます。

人工弁は患者本来の弁に代わって、心臓の動きに合わせて開閉を繰り返して、患者の生涯にわたって休むことなく働き続けます。

ヒトの心拍数が毎分70回だとすると、1時間に4200回、1日に10万800回、1カ月に302万4000回、

1年には3628万8000回も開閉を繰り返すことになり、10年ではなんと3億回以上にもなります。患者の術後の寿命は10年以上であることも多いことを考えると、植込まれた人工弁が開閉する回数は天文学的といわざるをえません。人工弁に求められたのは、この（開閉の動きに耐えるだけの）耐久性でした。今では、人工弁を植込んでから30年以上も普通の生活を送っている患者も珍しくなくなっています。

生体弁と機械弁それぞれの課題

人工弁には、人工材料でできた“機械弁”と、ウシやブタの生体組織でつくった“生体弁”があります(図③)。

一般に生体弁は、機械弁に比べて患者自身の弁の形に近く、血液の流れがスムーズで逆流もほとんどないので、機械弁よりすぐれているといわれています。しかし、ヒト以外の動物の組織を用いる場合、そのままヒトの体内に植込むと異物と認識され拒絶反応が起こってしまいますし、何十年も大丈夫であることが保証できないという大きな欠点がありました。

一方で、機械弁の最大の懸案となったのは、いかにスムーズな血液の流れを得るかという点でした。そのために、これまでにいろんなことが試されてきました。

最初に考えられたのは“ボール弁”という人工弁です(図⑥)。金属製のカゴの中にあるボールが上下することによって開閉機能を果たします。単純な構造のため1960年に実用化されています。次に現れたのがドアのように開閉する弁(傾斜円盤弁)でした。金属でできた円盤が蝶番でドアのように開閉します(図⑦)。1970年ごろに実用化されました。しかしながら、いずれの弁も血

液の流れが偏り、スムーズな血液の流れは得られませんでした。そこで、開閉する円盤を2つに割り、それぞれが蝶番で開閉する弁が考案されました。“二葉弁”です。1970年代後半に実用化され、現在まで人工弁として広く用いられているのが、この二葉弁なのです。血流の流れを中心に持ってくることで、より生体に近い血液の流れを二葉弁は実現しています。

服薬による合併症への対処

こうした人工材料で作られた人工弁は大変丈夫で、機械的テストでは100年以上も大丈夫といわれるほどの耐久性があります。これなら患者の体内に植込んで問題なさそうです。でも、機械弁を人間の心臓内に植込んだ場合には別の問題がありました。

血液は血管内にあるときは固まりませんが、血管外に出て外界のものに触れると固まります。心臓内に機械弁を植込むと、血液は人工弁を異物として認識して弁の表面で固まっ

てしまうのです。人工弁に血液の固まり(血栓)ができると重大な支障をきたします。

ひとつは、血液の固まりが蝶番に付着することで弁の開閉が十分できなくなります。人工弁が開かずに血液の流れを悪くしたり、弁が完全に閉じずに逆流してしまうこととなります。さらには、人工弁に付着した血液の固まりが剥がれて血液中に流されると、どこかの臓器の血管に引っかかってその血管を詰まらせます。“血栓塞栓症”と呼ばれる病気ですが、脳血管に引っかかれば脳梗塞になります。人工弁を植込んだ患者にとっては重大な合併症です。

このため患者は抗凝血剤(ワルファリン)という薬を内服しています。薬で血液を固まりにくい状態にして、凝血塊ができないようコントロールするというわけですが、この薬は人工弁(機械弁)が体内にあるかぎり、生涯にわたって飲み続けなければなりません。また、抗凝血剤の影響でいったん出血すると血がなかなか止まらず、歯を抜くなどの出血を伴う手術では注意を要します。

理想的な人工弁ができる日

長期間にわたる耐久性やその機能において、現在最も優れていると見なされているのが二葉弁です。しかし、機械弁である二葉弁は生涯にわたって抗凝血剤の内服が必要であり、出血や血栓塞栓症もゼロとは言えません。一方、生体弁は抗凝血剤の服用が不要なものの、耐久性に問題を残します。つまり、現在ある人工弁はどれも完全とはいえません。このため現在も理想の人工弁を作るための努力が続けられています。

理想的な人工弁とは、1) 開閉についての機能が優れている(大きく開き、逆流がない)、2) 抗凝血剤の内服が不要である、3) 耐久性がよい(生涯にわたり使える)、が目標となります。新しい人工弁材料の開発や組織工学を利用して生きていくヒトの細胞を組み込む工夫などが実現すれば、理想的な人工弁ができる日も夢ではないでしょう。

渡辺 弘

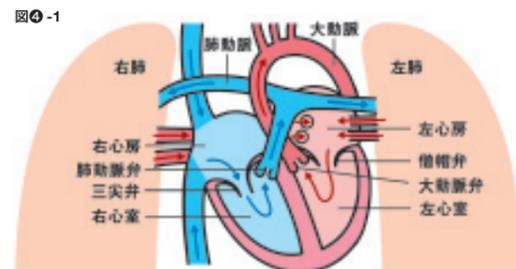
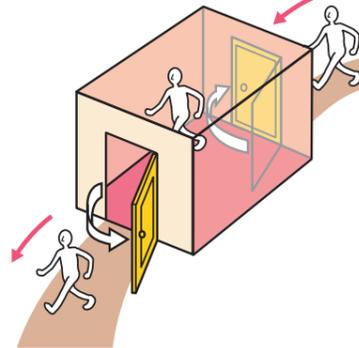


図4 肺への循環(肺循環)と体への循環(体循環)

肺は大気中から酸素を取り込む装置であり、心臓は血液を循環させるポンプの役割を果たしている。全身から戻る酸素の少ない暗赤色(あんせきしよく)の血液を心臓の右側にある右心房と右心室が肺へ送り出し(肺循環)、肺で酸素化された鮮赤色(せんせきしよく)の血液を心臓の左側にある左心房と左心室が全身に送り出す(体循環)。血液は肺で酸素を受け取り、酸素を使う体のすみずみまでめぐっているが、血液が逆流することのないように、ポンプである心臓は定まった方向に血液を送り出している。心臓の血液を送り出す(拍出(はくしゅつ)する)力を一定の方向の流れにするために、心臓には大動脈弁・僧帽弁・肺動脈弁・三尖弁と呼ばれる合計4個の一方方向弁がある。こうして血液は心臓を介(か)して一定の方向に流れ、逆流することはないのである

図④-2 [一方方向弁のイメージ]



図⑤ 手の平に載る人工弁



図⑥ ボール弁

ボールがカゴの底(大きな丸い穴があいている)から浮き上がったときにはボールの脇を通して血液が流れ(弁が開いた状態)、ボールが落ちてカゴの底にピッタリはまる穴が閉じられるしくみになっている。弁自体が比較的大きく心臓内に納めにくいこと、弁の中心にあるボールが血液の流れを妨げて血液の流れが弁の中心部ではなく周辺部に偏っているために、スムーズな血流が得られないという欠点があった



図⑦ 傾斜円盤弁

金属でできた円盤が開く角度は60~70度。ヒトの弁は中央が開いて中心部に乱れのない流れが生じるが、これに対して傾斜円盤弁では血液の流れが円盤の開くほうへ偏っていた