

東京大学医学部・医学部附属病院
健康と医学の博物館

第2回企画展

血管の ひみつ

血管の長さ

Length of blood vessel

約**100,000** km

地球を**2**周半に相当



血管のひみつ

展示期間2011.9.15～2012.2.19

企画展概要

今回は「血管のひみつ」と題し、循環系、とりわけ血管に関する知識や最新の知見、それにまつわる医療の現場を紹介します。当館の来館者アンケートでは、日本人の死因統計でも上位に入るような身近な疾患への関心の高さがうかがわれました。血管に関連する病気としては、心筋梗塞、脳梗塞、大動脈瘤^{りゅう}といった病名の記入が目立っています。これらの病気を怖れるのは当然ですが、病気が起きている「血管」について、あらためて知ってみてはどうでしょうか。

血管は、血液が流れる道路や橋に例えることができるかもしれませんが。そうであれば、まず太さ、長さ、硬さ、材質を知ってみましょう。一方で、血管の巧妙なところは、身体が置かれた状況に応じて太さを変え、血液を送る機能を調節していることで、かなり賢い道路であるといえます。

人間が血管を理解してきた過程を知ることも重要です。なぜならば、「血管に何が流れているのか」に関する考察の転換は、人間が宗教的観念から解放され、自然をありのままに理解するようになったことと軌を一にするものだったからです。Zone 1とZone 2では、血管の構造や機能を理解し、古から現代の血管の描写をお楽しみください。

現代に生きるわれわれにとって、やはり医学によって病気を克服するということは、一つの命題であり続けています。そして賢い血管といえども、病気とは無縁ではありません。血管には全身に血液を送るという重要な役割があるので、血管の病気は生命の維持に対して深刻な影響があります。血管の病気にはたくさんの種類がありますが、ここでは細い血管、太い血管それぞれの病気の成り立ち、血圧の仕組みと高血圧、血管の診断や治療を支える最新の医療機器を紹介します。実際に臨床で用いられている機器の繊細さと大胆さに驚いていただけるものと思います。さらにZone 3とZone 4では、血管の炎症、収縮のメカニズム、血管の新生、毛細血管内の物質の移動を捉えた研究を紹介します。

このように、本企画展では、血管を多くの視点から取り上げました。これまで知らなかった「血管のひみつ」に関心を持っていただきたいと思います。

血管のひみつ 企画展概要	…P.1
目次	…P.2

ZONE 1「血管のイメージ～過去と現在～」

1. 血管研究の歴史	…P.3-5
2. 洋書・和書の中に描かれた血管イメージ	…P.6
3. 現在の取り組み (UT-Heartの3Dによる可視化)	…P.7

ZONE 2「血管とそのはたらき」

1. 標本・病変	…P.8
2. 血管の仕組みとそのはたらき	…P.9-10
3. 動脈硬化とは？	…P.11
4. 血管Q & A	…P.12-13

ZONE 3「血管の病気と治療」

1. 血管の病気	…P.14
2. 心筋梗塞	…P.15-16
3. 急性心筋梗塞の治療と医療システム	…P.17
4. 動脈塞栓術	…P.18
5. 大動脈瘤	…P.19
6. 糖尿病網膜症	…P.20
7. 高血圧	…P.21-22

ZONE 4「最前線の医療と研究」

1. 超微小外科手術	…P.23-24
2. 脂肪組織・血管の慢性炎症	…P.25
3. 生体イメージングによる炎症や肥満の研究	…P.26
4. 血管平滑筋の収縮	…P.27-28
5. 血管新生	…P.29-30
6. 人工心臓	…P.31
7. 人工弁	…P.32
8. 人工心臓	…P.33

おわりに	…P.34
------	-------

血管研究の歴史

History of Vascular Research

0

紀元前 (BC)

紀元後 (AD)

(BC.460-BC.370) ギリシャ

ヒポクラテス *Hippocrates*

ヒポクラテス医学は自然治癒を重視し、食事・運動・入浴・しゃけつ瀉血*・浣腸・薬草などによる治療が中心だった。四体液説(血液・粘液[フlegマ]・黄胆汁・黒胆汁)を説き、病気は四体液の調和の乱れによると考えていた。

*しゃけつ：血液を体外に排出する治療法



1975年「ヒポクラテスの木」が緒方富雄名誉教授より寄贈される。ギリシャのコス島で実生から得られた証明書があり、現在も健康と医学の博物館庭に大きく育つ。ヒポクラテスがプラタナスの木の下で医者仕事をし医学を教えたという言い伝えがあることから、医学のシンボルとされている。



1981年東京大学医学図書館に、ヒポクラテス像(ブロンズ製)が緒方富雄名誉教授の申し入れを受け嶋田宗之博士より寄贈される。フィレンツェのウフィツィ美術館所蔵のヒポクラテス像の複製。東大医学図書館入口に展示。



『ヒポクラテス全集』扉
1538年版 東大医学図書館蔵

ヒポクラテス全集には多くの格言があり、「術は長く、人生は短し」「人間への愛のあるところに医術への愛がある」など、当時の医療の考え方を知らることができ、現代の医療倫理の根幹を成している。

(129-199) ギリシャ

ガレノス *Claudius Galenus*

ヒポクラテス学派を継承し、ギリシャ医学を集大成したガレノスの学説は中世カトリック教会の公認となり、16～17世紀まで覆されず、西洋医学の権威とされた。

自然力(引寄力、保留力、変質力、排除力)は身体各部の目的に応じて調和されており、その力は栄養物によって養われ変化し、さらに血液を栄養の最終的な形とみて血液の中に精気(プネウマ)が含まれ、霊魂(自然)の統制実行力として働くと考えていた。代謝調節思想や、動脈には血液が流れていることなど現在の生理学や生化学に通ずる視点をもつ。



ガレノス肖像画
ビエール・ロッシュ・ヴィニユロンによるリトグラフ

日本語で「精気」や「氣息」としばしば訳される語「プネウマ」Pneuma(ギリシア語)ラテン語では一般に「スピリトゥス」Spiritusと訳される。



『ガレノス全集』扉
1565年
ヴェネチア版
東大医学図書館蔵

扉絵の下部 「豚の解剖」拡大図



(1452-1519) イタリア

レオナルド・ダ・ヴィンチ
Leonardo da Vinci

絵をより美しく真実に近づけようとする目的から、動物(馬とされる)の解剖を行う。後に人体の解剖に立ち会い、自分自身でも行い、極めて詳細に書きこんだ解剖図を多数作成している。

ダ・ヴィンチ自画像



「心臓と肺」の図版



「女性の主要器官および動脈系の解剖」の図版

「レオナルド・ダ・ヴィンチの解剖図」
(ウィンザー城王室図書館蔵手稿より)
東大医学図書館蔵

(1514-1564) ベルギー

アンドレアス・ヴェサリウス
Andreas Vesalius

ガレノス学がサル、ブタ、ヤギの解剖学であることを知っていた彼は、人体解剖学のしっかりした正確な著作を書こうと『人体構造論(ファブリカ)』を完成させた。医学史として、またルネサンス美術史でも重要な書である。

『ファブリカ』を出版した年代は動乱と革新の時代だった。ミケランジェロは画業の最盛期、コペルニクスは『天体の回転について』を出版した。宗教裁判で弾劾されたガリレオは、宇宙は「数字の言葉」で書かれていると唱え、これにより天文学と物理学が発展した。物理学と化学に基礎を置く生理学が19世紀に成立してから、医学が数字の言葉で語られるようになった。



ヴェサリウス肖像画

『人体構造論(ファブリカ)』扉
1555年 バーゼル版
東大医学図書館蔵

「動脈」の図版



「静脈」の図版



(980-1037) イスラム

イブン・シーナ
Ibn-Sina

* ラテン語名は、アヴィセンナ Avicenna

ローマ帝国滅亡後、古代ギリシャの学問はイスラムに伝えられ、医師で哲学者だったイブン・シーナはアリストテレスの思想にプラトンのアイデア思想を取り入れ、唯一神教者にも受け入れられるものとした。理論的かつ実践的な医学の体系化を目指してシーナが執筆した『医学典範』は、17世紀までヨーロッパの医学教科書として使用された。

(1511-1553) スペイン

ミカエル・セルヴェトゥス *Michael Servetus*

ヴェサリウスのあと、解剖の仕事を引き継いだスペイン人の医師で神学者。異端審問が相次ぐ時代に『キリスト教の再建』を著し、その中で「右心室の血液は肺動脈を経由して肺を通過し、そこで精気(スピリトゥス)と混じって鮮赤色になる。そして肺静脈を経由して左心室に戻る」との肺循環説を唱えた。彼の言葉の精気を酸素と読み替えれば現在の認識と近いことがわかるが、その時代スピリトゥスは「聖霊」だったため、それが血液を座とするといった主張は異端審問を逃れられず、また、三位一体(さんみいったい)論も否定していたため、1553年に火あぶりの刑に処せられた。

三位一体とは、キリスト教理で父と子と聖霊が一体(唯一神)であること。



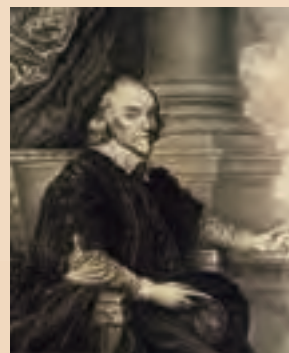
セルヴェトゥス肖像画

(1578-1657) イギリス

ウィリアム・ハーヴェイ *William Harvey*

近代医学の始まりとされる人物。ヴェサリウスに代表される16世紀の解剖学はハーヴェイによって「生きた解剖学」(生理学)となった。未解決だった肺循環説を、栄養やプネウマを無視し、吸気の意義や体熱の起源も問わない全く新しい考え方で、血液の運動学に考察を集中することで「動脈から出た血液が再び心臓に還り、その還り道として静脈があり心臓に向かってだけ流れ、そこで弁がものをいう」ということを発見、「血液循環説」を説いた。これは絶対権威だったガレノスの説を覆し、科学が宗教から独立する契機となった。

ハーヴェイのことば〜テムズ川のたとえ〜
「血液が動脈を巡って全身に行きわたるのは、わがイギリスのテムズ川が海に注ぎこむごとく確かです。…ただ、テムズ川がまっすぐ大洋に注いでいるのとは異なり、…海における水の動きのごとく、絶えず流入と流出があり血管の中で動き続けているに違いありません」



ハーヴェイ肖像画
ロンドン医学会編『ハーヴェイ全集』より



『動物の心臓ならびに血液の運動に関する解剖学的研究』
1628年 復刻版 東大医学図書館蔵

(1516-1559) イタリア

レアルド・コロンボ *Matteo Realdo Colombo*

解剖学者。解剖学的知見に基づいて血液の肺循環を指摘し、ハーヴェイの血液循環説の確立に寄与した。



「心臓ならびに血液の運動」の挿絵



洋書・和書の中に描かれた血管イメージ

Blood vessel image drawn in foreign book and japanese book

“The anatomy of the arteries of the human body and its applications to pathology and operative surgery with a series of lithographic drawings”

●著者 Richard Quain (リチャード・クエーン) (1800-87)
Joseph Maclise (ジョセフ・マックリース) 図版



東大医学図書館蔵

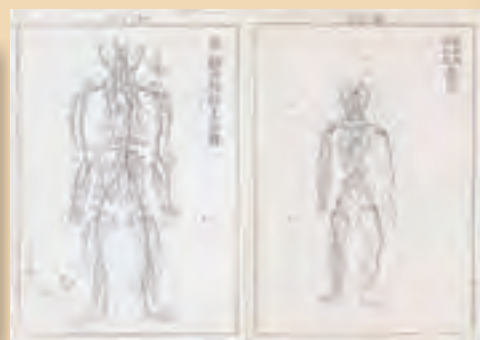
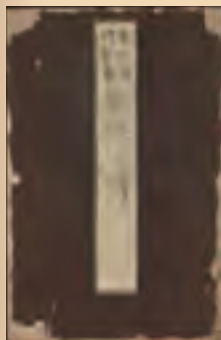
リチャード・クエーン
ロンドン大学の臨床外科教授。ヴィクトリア女王の特任外科医もつとめる。

じゅうてい かい たい しん しょう ばん ぜん す

『重訂解体新書銅版全図』

●著者 杉田 玄白 等訳 (天保14年(1843))

おおつき げんたく なか いさぶろう
大槻 玄沢 重訂 中 伊三郎 図版



東大医学図書館蔵

『解体新書』

明和8年(1771)3月、江戸千住小塚原で行われた刑死人の解剖を見た杉田玄白らが、ドイツ人クルムス(1689-1745)が書いた医学書のオランダ語訳である『ターヘル・アナトミア』と比較してその正確さに驚き、翻訳を志して3年半の言語に絶する苦労ののちに完成させる。日本の医学に貢献をもたらし、蘭学がさかになるきっかけとなった医学史上とても重要な資料。

『重訂解体新書』

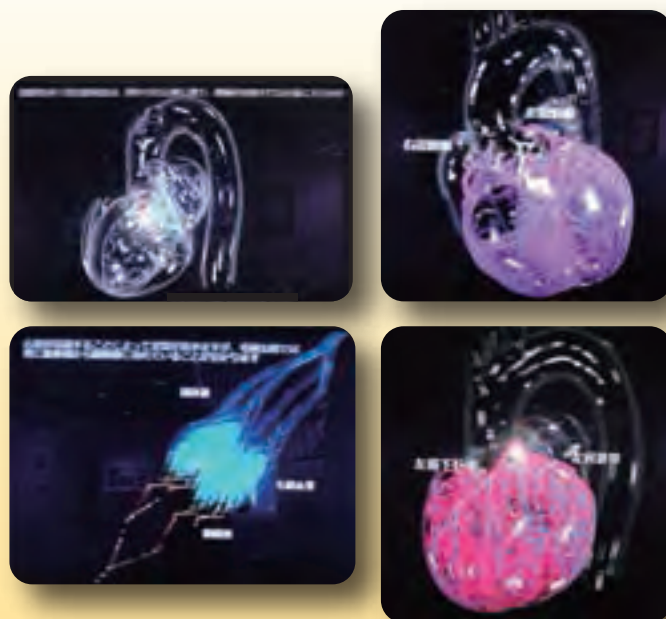
『解体新書』の原典を翻訳・重訂するよう、大槻玄沢(1757-1827)が師の杉田玄白より依頼され刊行した。さらに正確さを増し、江戸時代の解剖書としては最も完備されたもの。

現在の取り組み（UT-Heart の3Dによる可視化）

ヒトの心臓は一瞬も休むことなく、毎分5リットル以上の血液を私たちの身体全体に供給しています。しかも普通は80年以上も働き続け、拍出する血液の総量は大型タンカー1杯分にもなります。

東京大学大学院新領域創成科学研究科 UT-Heart 研究開発チームでは、このような高性能で長寿命の小型ポンプを、生体を分子機能から始まるマルチスケール・マルチフィジックス現象ととらえ、シミュレーションを行っています。この心臓シミュレータは、細胞内の各種イオン電流や収縮タンパクの挙動を表す生理学モデルから出発し、内部微小器官もモデル化された「数値細胞」の運動を経て、心筋組織の収縮・弛緩、そして心臓の拍動と血液の拍出、さらには血圧・心電図までを一貫して再現する世界でも前例のないマルチスケール・マルチフィジックスシミュレータです。このシミュレーションにより、医学的・生理学的研究が進展するだけでなく、現実の医療への画期的貢献が期待されています。今回、健康と医学の博物館では、このシミュレーションを3D映像で可視化することにより、リアルで理解しやすい循環動態を示しました。

3D映像で見る、心臓と冠循環
スーパーコンピューターで再現する
マクロとミクロの血流



※3D映像のため、文字や画像の焦点は合っていません。

心臓シミュレータ（マルチフィジックスシミュレータ）の概要

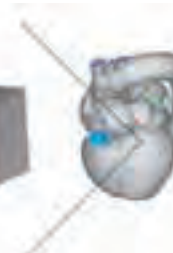
分子

細胞

組織

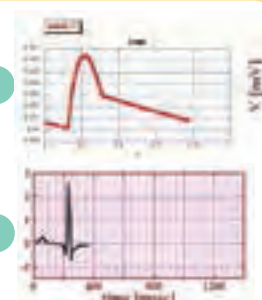
臓器

生体



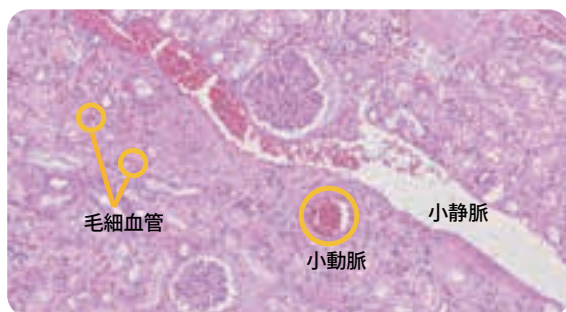
血圧

心電図



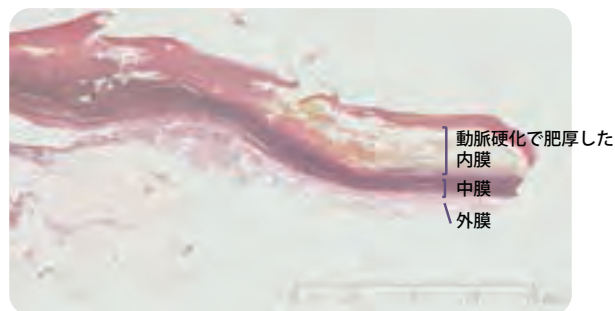
標本・病変

腎臓の組織標本（H E 染色）

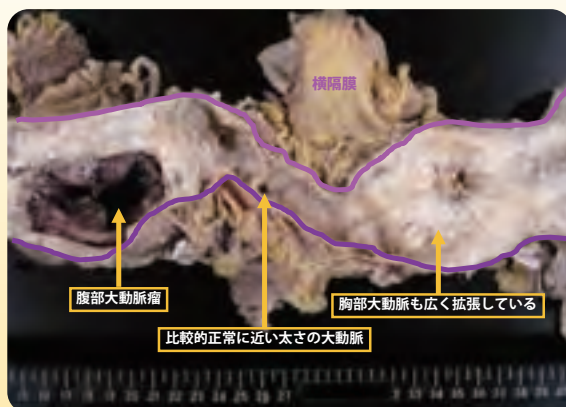


腎臓は、全身の血流の約 $1/5$ が流れ込む血液量の多い臓器です。大動脈から分岐した腎動脈を経由して流入し、次第に細くなり小動脈から毛細血管へと移行します。そして静脈を経由して心臓へ戻ります。この標本では、血管の中に赤血球が見られます。また小動脈では、血管の壁が厚いことがわかります。

大動脈の組織標本（E V G 染色）



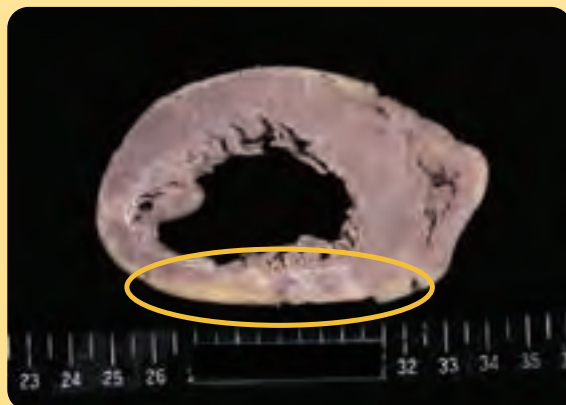
動脈瘤



全体に動脈硬化が強い胸部から腹部にかけての動脈です。腹部（左側）では、血栓を入れた瘤状の病変が見られます（腹部大動脈瘤）。胸部（右側）でも動脈の拡張があり、動脈瘤が形成されつつあります。

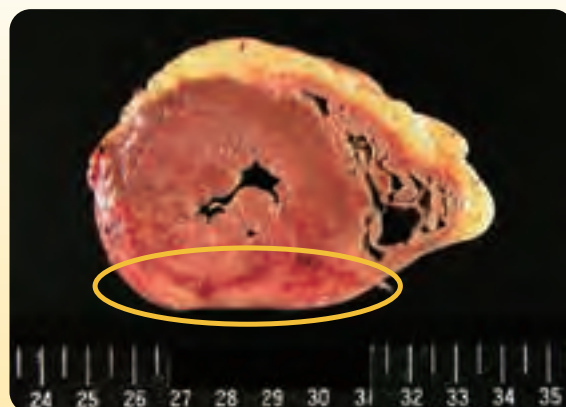
ちんきゅうせい

陳旧性心筋梗塞



陳旧性心筋梗塞とは、過去に心筋梗塞を発症したことがあるという意味です。幸いにも一命をとりとめて数年経過していますが、心臓の働きが弱くなっています。左心室の後壁が白くなっている（線維化している）のがわかります。

急性心筋梗塞



心筋へ酸素と栄養を運んでいる冠状動脈に、血のかたまりが詰まって血液がいき渡らなくなり、心筋の細胞が壊死した状態になります。発症後、比較的時間の短い状態です。左心室の後壁に、出血が広がっています。

脳出血



脳内の血管が何らかの原因で破れ、脳のなか（大脳、小脳および脳幹の脳実質内）に出血した状態をいいます。そのために意識障害、運動麻痺、感覚障害などの症状が現れます。右大脳から右側脳室へ大規模な出血がみられます。右脳が腫れている（脳浮腫）の状態です。

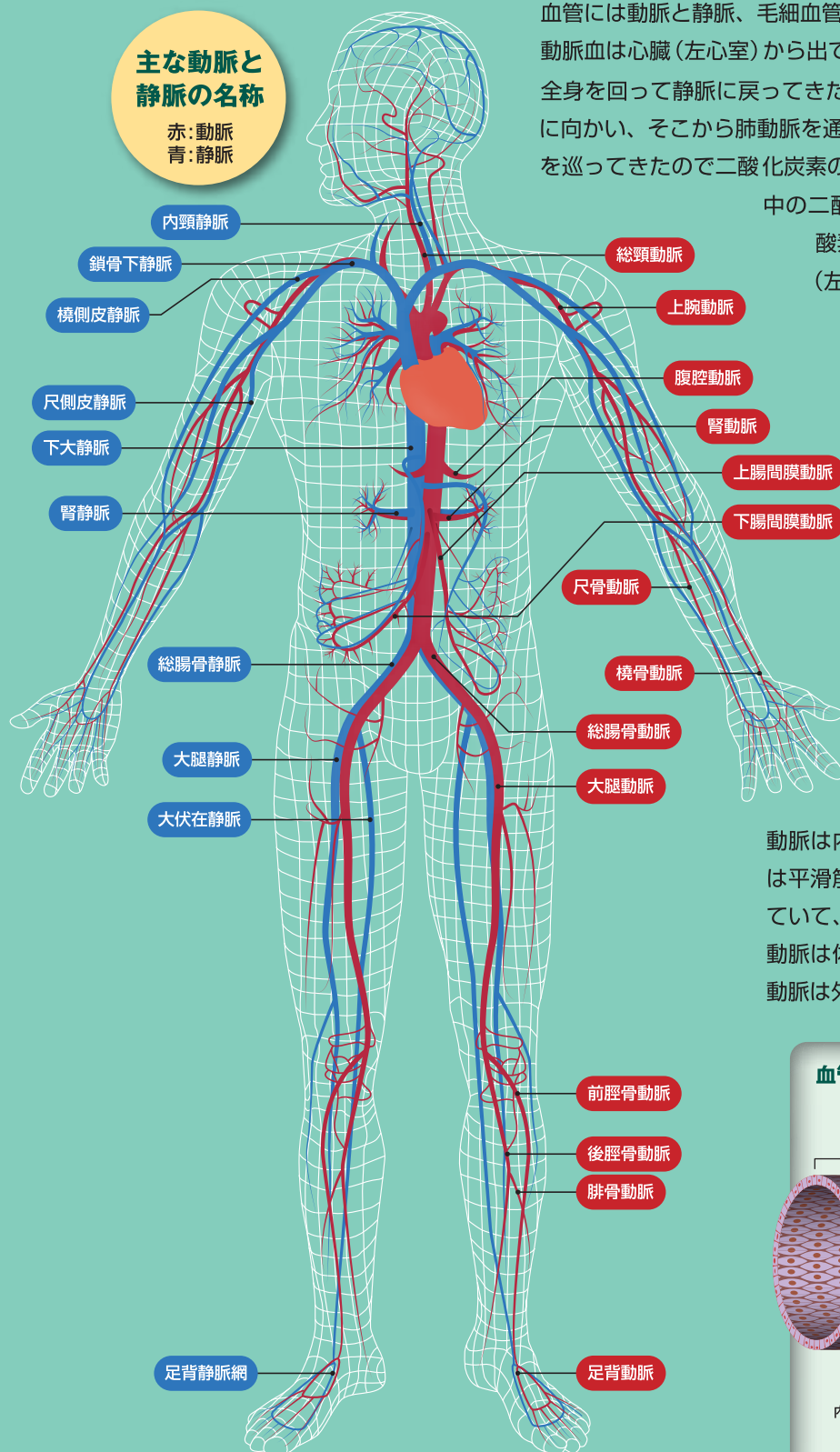
血管の仕組みとそのはたらき

Blood Vessel Structure and Function

動脈を通る血液の酸素と栄養は毛細血管を経て隅々へ。

主な動脈と 静脈の名称

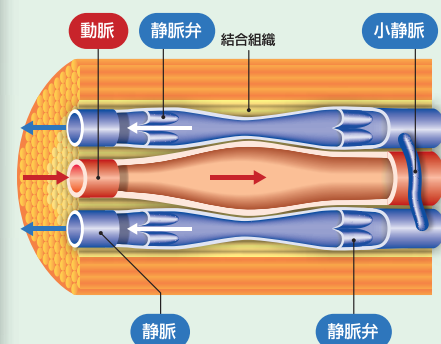
赤:動脈
青:静脈



血管には動脈と静脈、毛細血管があります。

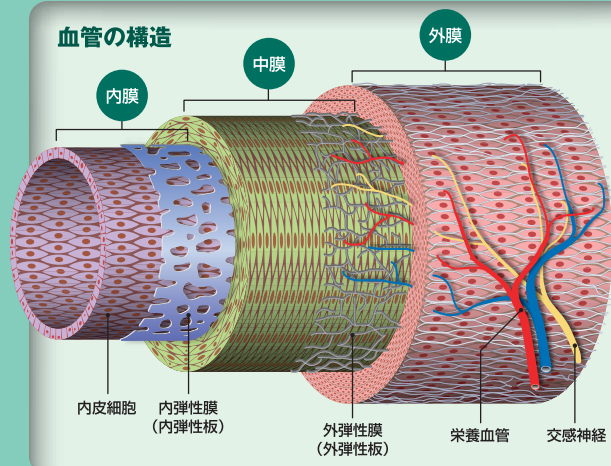
動脈血は心臓(左心室)から出て大動脈を通り、全身の毛細血管に回ります。全身を回って静脈に戻ってきた血液は大静脈を通して心臓(右心房・右心室)に向かい、そこから肺動脈を通して肺に入ります。肺動脈を通る血液は全身を巡ってきたので二酸化炭素の濃度が最も高くなっています。肺では、血液中の二酸化炭素が酸素にガス交換されます。その後、酸素を十分に含んだ血液は肺静脈を通して心臓(左心房)へと戻ります。

静脈での血液の流れと弁の働き



動脈は内膜・中膜・外膜の3層構造になっています。中膜は平滑筋でできており、伸び縮みできる弾性線維も混じっていて、このため動脈は収縮して拍動します。ほとんどの動脈は体の奥深くにあります。首の頸動脈や手首の橈骨動脈は外から触れて拍動(脈拍)を感じることができます。

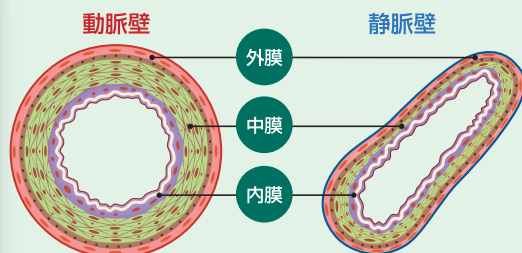
血管の構造



静脈を通る血液が二酸化炭素と老廃物を運ぶ

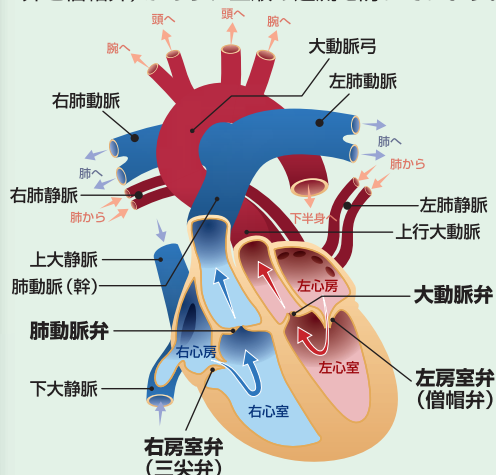
静脈は動脈と同様に3層構造になっているものの、平滑筋の層は動脈よりもかなり薄くなっています。心臓から遠い手足の静脈では、心臓まで血液を戻す際に血液の逆流を防ぐために半円形の弁がところどころに付いています。静脈は拍動しませんが、体の前側や手足の奥にある静脈は動脈と並行しており、動脈の拍動や周囲の筋肉の収縮を利用して、血液を心臓まで運びます。

動脈壁と静脈壁の違い



血液を全身に送り出す心臓

心臓の大きさは拳(こぶし)大で、心房と心室が2つずつあります。心房と心室の間の壁にあたる部分は筋肉(心筋)でできており、心房と心室を交互に収縮・弛緩させる(拍動させる)ことで、全身に血液を送り出すポンプの役割を果たしています。心筋の収縮は、洞房結節で発生する電気信号によって起こります。心電図はこの電気信号を測定しています。心臓には半月弁と房室弁(三尖弁と僧帽弁)があり、血液の逆流を防いでいます。



全身にくまなく張り巡らされている毛細血管は、動脈が何度も枝分かれして、細くなったもので、毛細血管の先は静脈につながっています。細胞の層は1層しかありません。血液の血漿(けっしょう)成分は毛細血管からしみ出して、細胞と細胞の間にある組織液となります。組織液は再び毛細血管に戻るか、リンパ管に流れ込んでリンパ液となって体内を循環します。血液中の酸素は赤血球のヘモグロビンが運びますが、毛細血管では赤血球を通す大きさの孔は開いていないため、酸素は血漿成分に溶解込み、外の細胞に与えられます。

ケガを治すとき、女性の排卵後の黄体形成や月経後の内膜形成、胎児の発育過程では、新しい組織を作るために新たな血管が必要になります。そのときには新しい組織に血管を成長させるための生理活性物質が出て、新しい血管が生まれます。

全身の血液循環



動脈硬化とは？

動脈硬化は老化にともない血管の壁の内層にコレステロールが沈着して、徐々に血管内腔の狭窄をひきおこし、ついには心臓や脳などの重要な臓器への血流が途絶え、心筋梗塞や脳梗塞を発症します。動脈硬化を原因とする心筋梗塞や脳梗塞によって亡くなる人は年間総死者数の1/3を占め、がんによる死者数にほぼ匹敵します。死亡に至らなくとも、血管狭窄による血流不足が原因の狭心症や下肢の壊疽などの病気に苦しむ患者さんも数多くいます。動脈硬化では、まず血液中のコレステロールが血管壁に沈着します。血液中から血管壁に侵入したマクロファージと呼ばれる白血球由来の細胞が、この沈着したコレステロールを取り込み、細胞内にコレステロールを貯め込んで、泡沫細胞と呼ばれる細胞に変化します。それによって血管内腔の狭窄が進行していくのです。動脈硬化の血管壁ではコレステロールを取り込んだマクロファージが炎症を引き起こし、血管内皮の傷害も相まって、さらに新しい白血球を呼び寄せて泡沫細胞の集積が進行するという悪循環が起こっています。

大動脈瘤とは？

大動脈の一部が「瘤」＝「こぶ」のように膨らんだ状態のことです。

瘤の部位

瘤は大動脈のいろいろな部位にでき、部位によって治療方法も異なります。

瘤の形態

「こぶ」には大きく分けて、「紡錘状」と「嚢状」の2種類の形があります。

瘤の壁の構造

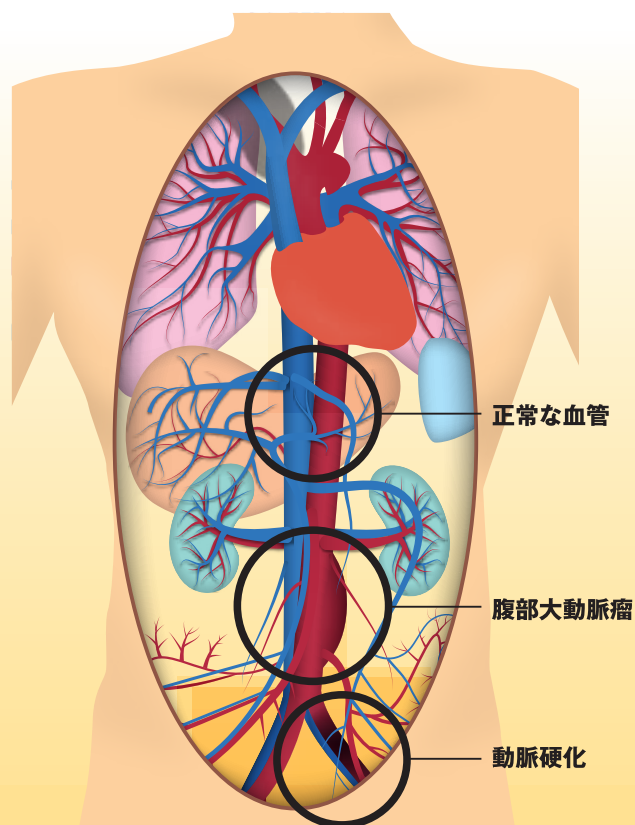
大動脈の壁は通常「内膜」「中膜」「外膜」の3層構造になっています。

大動脈瘤は、その部分の壁の構造によって3種類に分類されます。

真性瘤——瘤の壁にも通常の大動脈の壁構造がみられるもの。
紡錘状、嚢状ともある。

解離性瘤——大動脈壁の解離によってできたもの。

仮性瘤——瘤の壁に大動脈の壁構造がみられないもの。ほとんどが嚢状。
外傷、感染など特殊な原因で生じる、まれな瘤。



※実際の展示では、模型を触って血管の硬さの違いを体験します。

腹部大動脈瘤

腫れあがっています。

正常な血管

柔軟性があります。

動脈硬化

硬くなっています。

血管Q&A【おとな編】

Q1

答え →

エコノミークラス症候群
(静脈血栓塞栓症)は、
どうして起きるのでしょうか？



A

Q1の答え

エコノミークラス症候群は、ロングフライト症候群とも呼ばれます。飛行機や電車、乗用車などの座席に長く座っていたために下肢の静脈に血栓ができ(深部静脈血栓症)、それが血流に乗って流れて、肺や脳の動脈に詰まってしまうと肺塞栓症や脳梗塞を起こすのです。手術後などで、からだをしばらく動かさない状態が続いたときにも起こることがあるので要注意です。

Q2

答え →

血管が新しく作られるのは、
どのようなときでしょうか？



A

Q2の答え

ケガや手術の痕などの傷が治るときには、新しい血管が形成されます。また、女性の月経周期において、排卵後に形成される黄体でも血管新生が観察されます。もちろん、胎児や新生児では成長に伴い、活発に血管が作られています。一方、病的な血管新生は、がんが増殖しているときや、増殖性網膜症や関節リウマチなどの病気で見られます。

血管Q&A【こども編】

Q1

答え →

血は赤いのに、
なぜ皮膚から透けて見える血管は
青いの？

- ① 酸素濃度の違い
- ② 栄養素の違い
- ③ 水分量の違い

A

Q1の答え

① 酸素濃度の違い

皮膚から透けて青く見える血管は、静脈です。体内では、酸素を多く含んだ赤い血液が動脈を流れ、からだの各器官に酸素を供給します。そして、酸素の代わりに二酸化炭素を取り込んで黒っぽくなり、静脈血として流れます。皮膚の表面では、黒っぽい血液が流れる静脈に、青の光だけが反射する散乱現象が起き、皮膚を通してみると、青っぽく見えるのです。

Q2

答え →

大動脈では血液は
どのくらいの速さで
流れていますか？

- ① 秒速1センチメートル
- ② 秒速10センチメートル
- ③ 秒速1メートル

A

Q2の答え

③ 秒速1メートル

大動脈では、心臓の収縮と弛緩(ゆるんでのびること)によって血液の流れる速度が変わります。心臓が血液を拍出したときの速度は、秒速1.2メートルにもなります。平均では秒速40センチメートル程度です。動脈に続く毛細血管では、秒速0.07センチメートルくらいと血液の流れは遅くなります。

血管Q&A【おとな編】

Q3

答え →

血圧の数値は、一日の中でどのように変化しますか？

- ① 朝から午前中は高く、夕方から夜は低め
- ② 朝から午前中は低く、夕方から夜は高め
- ③ 1日中ほとんど変わらない

A

Q3の答え

① 朝から午前中は高く、夕方から夜は低め

通常、血圧は、朝起きたときから午前中にかけて高くなり、夕方から夜にかけて低くなって、眠っている間が最も低くなります。自律神経の働きやホルモンの分泌などによってリズムが作られ、「日内変動」をしているのです。このため、朝から午前中にかけては、高血圧による脳卒中や心筋梗塞が起こりやすくなります。また、高齢になると、寝ている最中の夜中にも血圧が上がる傾向があることが知られています。

Q4

答え →

「足(脚)は第2の心臓」といわれるのはなぜでしょうか？

A

Q4の答え

私たちのからだは重力の影響を受けているために、身体の下に行くほど動脈や静脈の血液にかかる圧力は高くなります。そのため、肺や心臓から遠い手や腕、足や脚の静脈の血液を肺や心臓に戻すには強い力が必要になります。これらの部分の静脈には逆流を防ぐための弁は付いているものの、静脈自らは拍動していないため、血液を胸に向かって戻すには静脈の周囲を取り巻く骨格筋の収縮や動脈の拍動を利用しています。つまり、足や脚、手や腕を動かすことで収縮する骨格筋が血液のポンプの役割を果たしているのです。これが「足(脚)は第2の心臓」といわれる理由であり、逆にいえば、足や脚を動かさなければ血液ポンプの役割は弱いということになります。

血管Q&A【こども編】

Q3

答え →

血液が常に一方向に流れて、逆流しないのはなぜ？

- ① 地球に重力があるから
- ② 心臓や血管に弁があるから
- ③ 心臓が出す血液の勢いが強いから



A

Q3の答え

② 心臓や血管に弁があるから

心臓では、拍動に合わせて4つの弁(僧帽弁、大動脈弁、三尖弁、肺動脈弁)が開閉することで、一定方向に効率よく血液を送り出します。手や腕、足や脚の静脈には2〜5センチメートルおきに逆流を防止するための弁(静脈弁)がついていて、血液が一方向にしか流れないようになっています。また、手足を動かしたときには筋肉が静脈を圧迫し、その力によって血液が上に押し上げられます。

Q4

答え →

次のうち、血管をもたない生き物はどれでしょう？

- ① ミミズ
- ② エビ
- ③ クラゲ



A

Q4の答え

③ クラゲ

クラゲはアメーバよりは進化した動物ですが、血管をもっていません。口と肛門が同じで、栄養分や呼吸の酸素を運ぶ管も簡単なつくりになっており、心臓はありません。ミミズやヒルなどの環形動物やヒトのような脊椎動物では、動脈と静脈が毛細血管で連絡しています(閉鎖血管系)。これに対し、昆虫やエビなどの節足動物や軟体動物には毛細血管がなく、血液は心臓から動脈の末端を出て細胞の間を流れ、静脈や心臓に戻ります(開放血管系)。

血管の病気

Blood Vessel Diseases

脳出血

脳の血管が破たんして出血し、脳組織の圧迫・破壊をきたす疾患。発作的に起こり、頭痛、吐き気などのほか、出血部位により種々の神経症状があらわれる。

脳動脈瘤

脳動脈の一部が拡張したもので、頭部外傷をのぞくと、くも膜下出血をきたす原因疾患の中で最も多い。

もやもや病

脳底の内頸動脈末梢から前・中大脳動脈起始部にかけて閉塞を生じ、替わりにその周囲に異常な血管網が形成される疾患。異常血管網がもやもやして見えることによる名称。

動脈硬化

動脈壁にコレステロールが沈着して組織が壊され、壁が肥厚、硬化して弾力性を失い、もろくなる疾患。中年以降に多く、高血圧、肥満、糖尿病などにより促進され、血流障害、血栓形成を伴い心筋梗塞、脳出血、脳梗塞などを引き起こす。

大動脈解離

3層構造になっている大動脈壁の内膜の亀裂から中膜に血液が流入することにより、中膜が2層に解離し、本来の血管内腔とは別に新しい血流路（偽腔）ができた状態。

静脈血栓症

静脈に血栓が生じる疾患。腸管静脈や下肢深部静脈に頻繁にできやすい。静脈血流を止め、下肢の腫れ、強い痛みやチアノーゼを起こす。エコノミー症候群もこの一種。

先端紫藍症

先端チアノーゼ：末梢動脈の血管収縮と二次的な毛細血管、小動脈の拡張により持続的に手足の皮膚がまだらに青や赤に変色する。

くも膜下出血

頭蓋腔内でもくも膜下出血する疾患。くも膜下、または隣接する脳内の血管の破たんによるものが大部分で、外傷、脳動脈瘤、高血圧、動脈硬化などの原因となる。突然激しい頭痛、うなじの硬直、吐き気をきたし、しばしば意識を失う。

脳梗塞

脳血栓または脳塞栓の結果、脳血管の一部が閉塞し、その支配域の脳が壊死、軟化する疾患。

狭心症

心臓部に起こる激しい痛みと発作。痛みは左腕に放散することが多い。冠状動脈のけいれん、硬化、狭窄などにより心臓への血流が妨げられることによって起こる。

心筋梗塞

冠状動脈の閉塞、または急激な血流減少により心筋に変性、壊死を起こす疾患。壮年以後に多く、急に激しい胸痛を感じ、吐き気、顔面蒼白、血圧降下を起こし、ショック状態となる。

大動脈瘤

大動脈壁が弱くなり、部分的にのびて瘤状に拡張する病変。

閉塞性動脈硬化症

動脈の慢性的狭窄または閉塞により安静時に強い痛み、潰瘍、壊死を起こす。高齢者、喫煙歴がある人に多い。

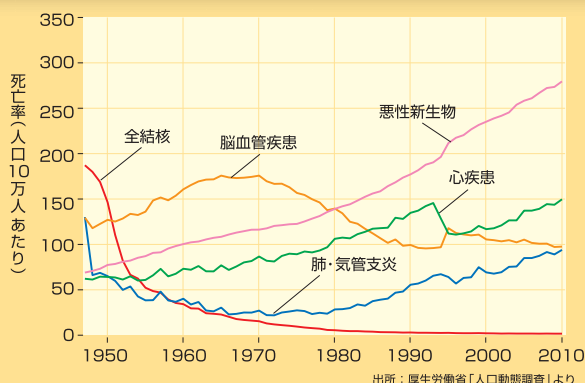
肢端紅痛症

四肢末端、ことに下肢の末端に疼痛、発赤、局所皮膚温の上昇などが繰り返起こる疾患。

「広辞苑」「大辞泉」「医学大辞典」より作成

近年の疾患別死亡率の推移

- 日本人の死因の第2位は心疾患、第3位は脳血管疾患。
- 2009年度には「急性心筋梗塞」で4万3,209人、その他の「虚血性心疾患」で3万2,272人が死亡している。脳血管疾患による死亡は12万2,350人。（人口動態統計）。



心筋梗塞

Myocardial Infarction

心臓は筋肉（心筋）でできており、心臓を包むように走っている冠動脈から酸素と栄養の供給を受けて、拍動しています。この冠動脈が動脈硬化などによってできる血栓で完全に詰まると、心筋に酸素と栄養が届かなくなり、心臓の動きが悪くなります。これが「心筋梗塞」の状態です。

心臓を取り巻く冠動脈の動脈硬化により血栓で詰まるのが原因

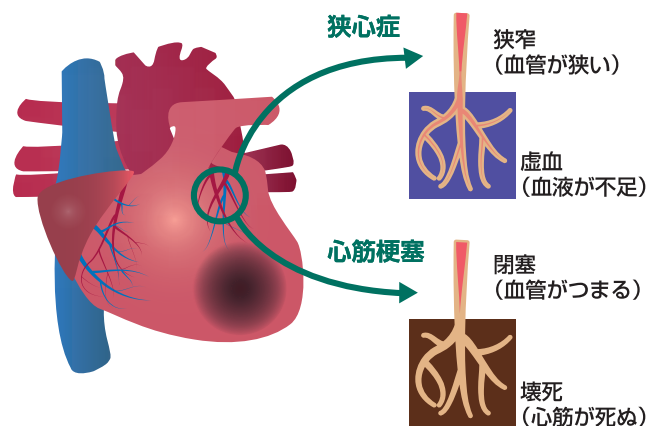
心筋梗塞の症状は、強い胸の痛みと違和感です。冷や汗、吐き気や嘔吐もあらわれ、さらに呼吸困難や意識の消失も伴います。そのままでは心筋が壊死してしまい、心室細動などの致死的な不整脈がおきて全身に血液が届かなくなり、死亡することがあります。

冠動脈が狭くなって、心筋が一時的な虚血に陥る狭心症でも胸の痛みや苦しさを自覚しますが、これは数分から15分ほどで自然に消えます。一方、心筋梗塞の胸の痛みや違和感は数時間から翌日まで続き、程度も激しいのが特徴です。狭心症を起こしたことのある人は心筋梗塞のリスクも高くなります。ただし、狭心症の経験がなくても心筋梗塞になることもあります。

心筋梗塞や狭心症の原因となる冠動脈の動脈硬化は、徐々に進んでいきます。動脈硬化の本態は、血管壁に沈着したコレステロール（脂質の一種）が酸化し、異物の掃除をするマクロファージ（貪食細胞。免疫細胞の一種）によって食べられた後、マクロファージが炎症を起こして、ほかの白血球などと呼び寄せてできた塊（プラーク、じゅうくしゅ粥腫）です。プラーク自体が血管を狭くするだけでなく、プラークの表面の薄い皮膜が破れて、中のコレステロールと血液とが接触すると血栓ができ、血管が詰まります。

朝の起床時、入浴、運動、階段の上り下り、トイレでいきんだとき、緊張したときには血圧が上がって、血管に大きな力がかかり、プラークが破裂しやすいので注意が必要です。また、大量の汗をかいて体内が水分不足になったとき、ケガをしたときにも血栓ができやすくなり、狭心症や心筋梗塞のリスクが上がります。

動脈硬化自体の自覚症状はなく、年齢を重ねるにつれて動脈硬化になりやすいので、脂肪や塩分を控えめにしたバランスのいい食事、禁煙、適度な運動、ストレス解消によって動脈硬化をできるだけ進行させないことが重要です。高血圧、脂質異常症、糖尿病、喫煙の予防や治療も大切です。



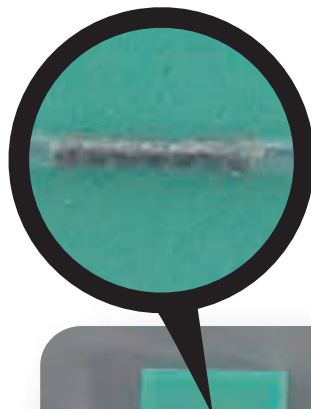
詰まった冠動脈を押し広げる治療法と別の血管でバイパスする治療法がある

心筋梗塞には、冠動脈の詰まった部位を拡げ、主にステントという金網を留置する内科的な治療・経皮的冠動脈形成術 (PCI: percutaneous coronary intervention) が主に行われますが、詰まった部分を避けて冠動脈をつなぎ直す外科的な治療・冠動脈バイパス術 (CABG: coronary artery bypass graft) が行われることもあります。いずれにしても、同じ部分の再狭窄や別の部分が詰まる可能性が高いため、高血圧、脂質異常症、糖尿病などの治療とともに、弱った心筋を守る薬や抗血小板薬なども飲み続けるのが普通です。



ガイドワイヤーと圧力計付き拡張装置

実物展示：アボットバスキュラージャパン株式会社 提供



ステント 実物大と拡大模型

実物展示：アボットバスキュラージャパン株式会社 提供



カテーテルシミュレータ

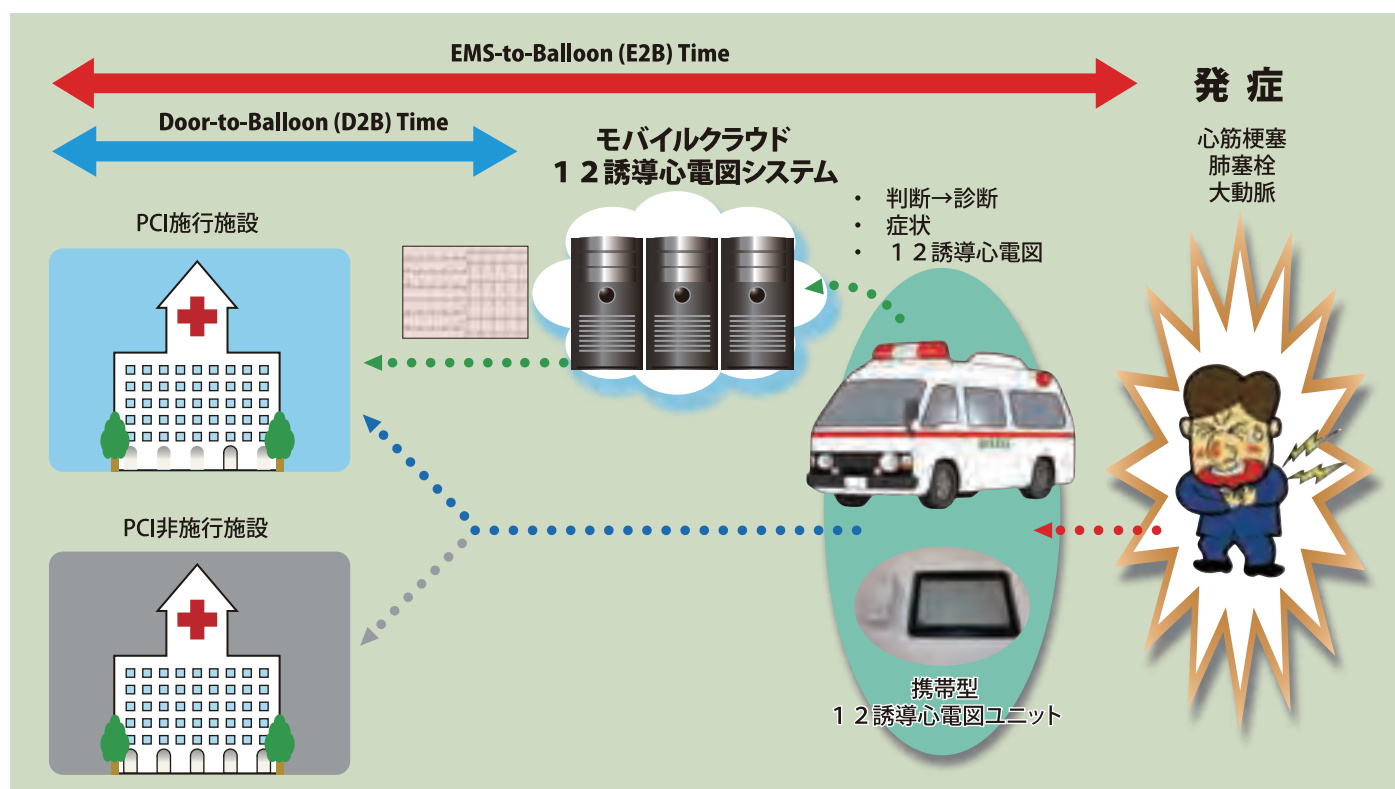
実物展示：ジョンソン・エンド・ジョンソン株式会社 提供

急性心筋梗塞の治療と医療システム

～ITによる新たな医療環境の構築～

急性心筋梗塞の治療は、主にバルーンやステントを使用したPCI(経皮的冠動脈インターベンション)など、再灌流療法の普及とD2B時間(病院到着(door)からPCI(balloon)までの時間)短縮の努力により院内死亡率は近年低減してきました。しかし、院外死亡率は依然として22%*程度と高い状況です。

地域の医療体制によりPCI可能施設への搬送判断が異なり、E2B時間(EMS-to-Balloon Time)への影響も考えられています。新たなITの仕組みで、E2B時間を縮小することにより、心筋梗塞の治療成績向上が期待されます。(*厚生労働省研究班による急性循環器疾患発症登録 2008)



迅速な治療を受けるのが救命と予後改善に必要ですが、実際には、救急医療システムに起因するさまざまな障害があります。まず覚知してから救急車を呼び、救急車は症状から心筋梗塞を予測し、PCIが可能な施設への搬送を試みます。症状が典型的でない場合もあり、PCI非施行施設を経由すると著しい遅延が発生します。4時間を経過すると死亡率低減効果は著しく低下しますが、実際には多くの患者が2次病院を経由しているという報告があります。さらに、遅延等により、結果的に14%が心肺停止に陥っています。12誘導心電図によるターゲッティングがPCI施行施設への直接搬送率を高め全体の予後改善につながる可能性があり、AHAガイドラインでもClass Iとされています。普及のためには費用対効果も重要で、これらの問題をモバイルITによって解決するシステムを東京大学とラブテック社(ハンガリー)で共同開発しました。Androidタブレットが12誘導心電図の送信機となりクラウドに転送されてどこでも閲覧することが出来るようになります。現在実証実験を行っています。



実物展示：東大病院 22 世紀医療センター 健康空間情報学 提供

動脈塞栓術

IVR (Interventional Radiology)

血管が傷ついて出血しているとき、
腫瘍のような病気の進行を血管が手助けしているとき、
X線画像を見ながらカテーテルを用いて動脈を塞ぐことで治療する動脈塞栓術が行われます。

動脈にカテーテルを通し、 塞栓物質を入れて動脈を塞ぐ

動脈塞栓術は動脈に細い針金（ガイドワイヤー）と細い管（カテーテル）を通し、患部の近くまで動脈を塞ぐ物質を運んで、動脈を塞いでしまう治療法です。

カテーテルを入れるのは、太ももの付け根や腕の動脈です。小さく切開してガイドワイヤーを通し、その後にカテーテルを入れて、X線装置で血管造影（アンギオグラフィー）をしながら、効果的な部位にカテーテルの先を持って行きます。そして、カテーテルからゼラチンの粒や金属のコイルなどを出して、血管を塞ぎます。ゼラチンの粒は数週間で吸収されてしまうため、一時的な血管の塞栓に使います。一方、金属コイルは半永久的に動脈に残ります。油性の造影剤（リピオドール）や液体の医療用接着剤（ヒストアクリル）が使われることもあります。

がんや子宮筋腫を 兵糧攻めして小さくする

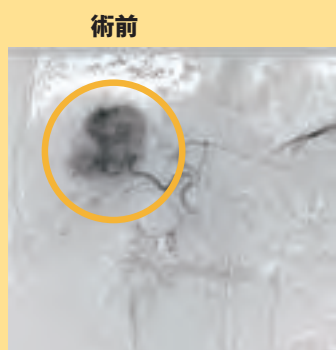
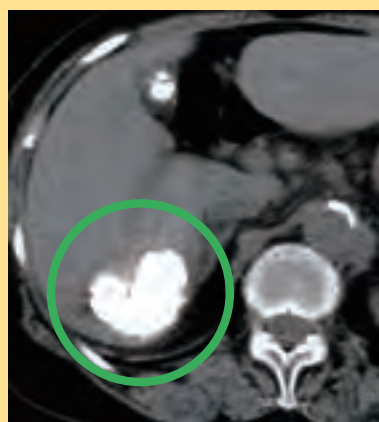
対象になるのは、主に腫瘍と出血です。悪性腫瘍（がん）の肝臓がん、腎臓がんでは動脈塞栓術によって、がん組織に栄養が行かないようにします。また、手術がしにくい頭頸部がん、子宮頸がん、膀胱がん、前立腺がん、肝臓に転移した大腸がんなどでは、カテーテルを通じて、動脈に抗がん剤を注入する場合があります。

大きな子宮筋腫では、動脈塞栓術によって筋腫を小さくすることで、月経時の痛みや大量の出血を緩和できます。

気管支や肺の病気によって何度も血を吐く場合（咯血）、気管支動脈を塞いで出血を止めます。また、事故などで肝臓や脾臓などが傷ついたとき、病気で消化管から、あるいは出産後に子宮から大量に出血しているときにも動脈塞栓術で止血することがあります。

動脈ではありませんが、胃や食道の静脈にできた瘤（こぶ、静脈瘤）から出血した場合には、動脈と同様に塞栓術で止血する場合があります。

抗がん剤と油性造影剤により塞栓され施術された肝臓がん



動脈塞栓術は、放射線科が担当します。大きな開胸手術や開腹手術に比べると切開部が小さく、局所麻酔で済むため、からだへの負担が少なく、入院期間が短くなるのが特徴です。一方で、施術後の痛みや発熱、放射線被ばくなどのデメリットがあります。

大動脈瘤

Aortic aneurysm

大動脈瘤は腹部や胸部の前面中心部を走る大動脈の一部が瘤（こぶ）のようになった状態です。その部分は動脈壁が弱くなっており、血液の圧力によって、紡錘状あるいは嚢状（袋状）に膨らんでいます。放置すると突然大出血を起こし、死亡する危険があります。

自覚症状はなく、 検診や触診で見つかることも

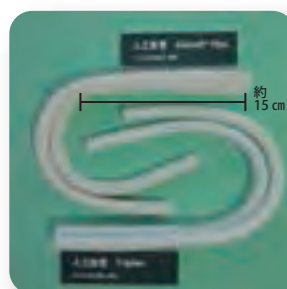
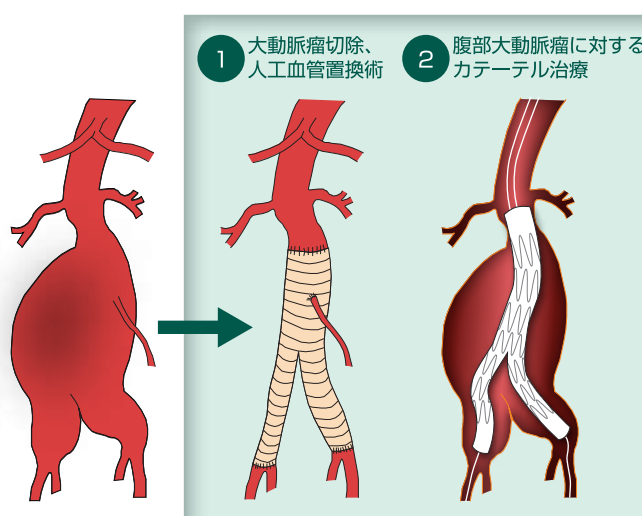
大動脈瘤の原因は主に動脈硬化で、高血圧や喫煙があればリスクが高くなります。また、大動脈の炎症、ケガ、感染症などが関係する場合もあります。

最初は自覚症状はなく、検診などの胸部X線検査や超音波検査で胸部大動脈瘤が見つかったり、お腹の触診で腹部大動脈瘤が発見されたりすることがあります。進行すると、胸部大動脈瘤では声が枯れる、息苦しい、食べ物が飲み込みにくいといった症状に気づきます。腹部大動脈瘤ではお腹の痛みが出る場合があります。いずれも破裂すると胸やお腹、腰が激しく痛み、大出血を起こします。血栓ができ、肺などで塞栓を起こすケースもあります。

血管を支える網の筒を入れる ステントグラフト治療

大動脈瘤の治療は、開胸手術や開腹手術によって瘤を切開して人工血管（グラフト）で置き換える手術（瘤切除、人工血管置換術）が主でした。しかし、近年はグラフト（人工血管）にステント（金属の網）をつけたものを折りたたみ、カテーテルを使って太ももの付け根（鼠径部）の動脈から入れ、動脈瘤の部位に内張りをする血管内治療（ステントグラフト手術）が拡がりをみせています。この治療法は1991年にアルゼンチンの医師Dr. Parodiが発表したもので、両側の鼠径部の小さな切開のみであるため、開胸・開腹手術にリスクがある、心臓や脳、その他の重要臓器に障害がある患者さん、高齢の患者さんにも施術でき、身体への負担が少ないことが最大の利点とされています。全身麻酔で行うことが多いのですが、呼吸状態や心臓の機能が悪い場合など、局所麻酔での手術も可能です（ただしステントグラフトを開く場所を決める造影剤を使った撮影時に、患者さんに息止めをしていただくことが必要となります）。新しい治療法のため10年以上の長期成績が出ていないこと、また動脈瘤を含む大動脈の形や大きさによってはステントグラフトがうまくはまらない「適応外」の場合もあることが欠点です。

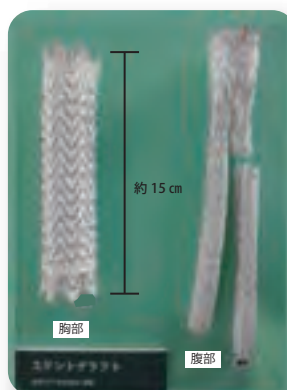
大動脈瘤の治療



人工血管

実物展示：テルモ株式会社 提供

ステントグラフト



実物展示：日本ゴア 株式会社 提供



実物展示：COOK JAPAN 株式会社 提供

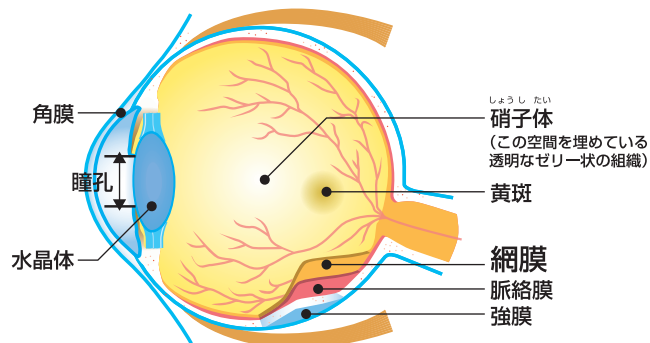
糖尿病網膜症

Diabetic Retinopathy

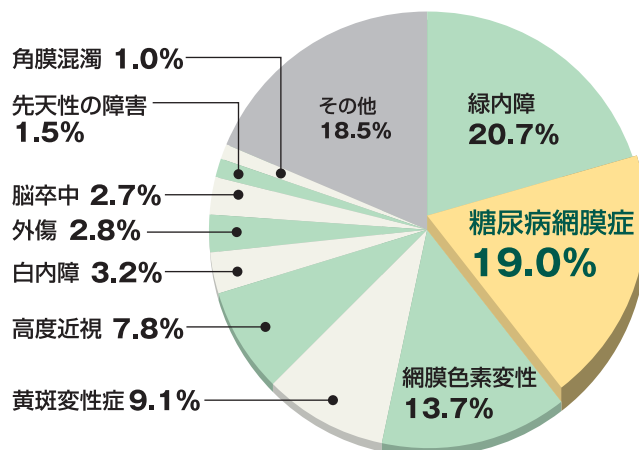
糖尿病網膜症は眼の網膜の細い血管が冒される病気で、腎症、神経障害とともに糖尿病の三大合併症の一つです。糖尿病の患者さんの約2割が網膜症になると推測されており、日本人の大人の失明の最大の原因になっています。

網膜の血流が悪くなり、新生血管からの出血で失明することも

眼の網膜は、角膜から入り、水晶体を通ってきた光の明暗や色を感知する部分で、カメラでいえばフィルムにあたります。網膜には細い血管が張り巡らされ、この働きを支えています。糖尿病になると、細い血管がもろくなり、むくみやすくなって血流が悪くなるため、網膜の血管も同様に冒され、網膜の細胞にも酸素や栄養が行き渡らなくなります。そして、弱くて破れやすい新生血管が出現します。やがて視力の低下、目の前を虫が飛ぶように見える飛蚊症などの症状が出て、硝子体出血や網膜剥離が起こりやすくなります。初期の段階では、糖尿病そのものの治療を行うことが重要です。しかし、進行すると、網膜の血流がない(虚血)部分にレーザー光を照射して凝固させ、ここに新生血管ができないようにします。すでに出てきた新生血管から硝子体出血や網膜剥離に至った場合には手術になりますが、有効な視力の回復が望めないこともあります。さらに進行すると、糖尿病網膜症は視神経が冒される緑内障の原因にもなります。糖尿病や糖尿病網膜症は全く自覚症状がないままに進行する病気です。健康診断や検診で血糖の状態を知ること、糖尿病と診断されたら早く治療を始め、継続することが重要なのです。

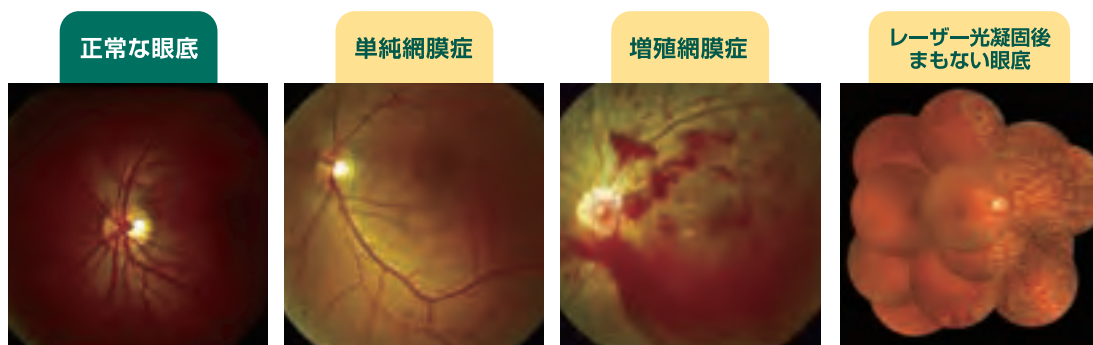


視覚障害の原因疾患



中江公裕・他：わが国における視覚障害の現状。網膜脈絡膜・視神経萎縮症に関する研究。平成17年度報告書(厚生労働省難治性疾患克服研究事業 網膜脈絡膜・視神経萎縮症に関する研究班)：263～267、2005

眼底写真で見る網膜症の推移



網膜症の初期の段階で、網膜内の血流が悪くなり始めています。

虚血(血流がない)部分に酸素や栄養を送り込もうと、新生血管が伸びてきます。この新生血管は、大変もろく出血しやすいため、破れて網膜の表面や硝子体内に出血が広がると、視力に大きな影響が出ます。

全体の3分の1に対してレーザー光による光凝固が施行されています。新生血管が伸びるのを防ぐための治療法です。

高血圧

Hypertension

高血圧症は、世界で最も頻度の高い疾患の一つで、とくに我が国など先進国では高齢化の影響で患者さんが増えています。心筋梗塞や脳卒中など心臓や脳の血管の疾患の原因となり、社会的、経済的にも影響が大きいのです。

原因が見つからない 本態性高血圧がほとんど

高血圧は、からだを循環している血液の動脈にかかる圧力が異常に高い状態が続いているもので、心臓が収縮したときの収縮期血圧と拡張したときの拡張期血圧が一定範囲を超えて上昇しています。心臓から押し出される血液の量が多い、体内の水分の量が多い、動脈が細くなっている、といった理由で起こります。

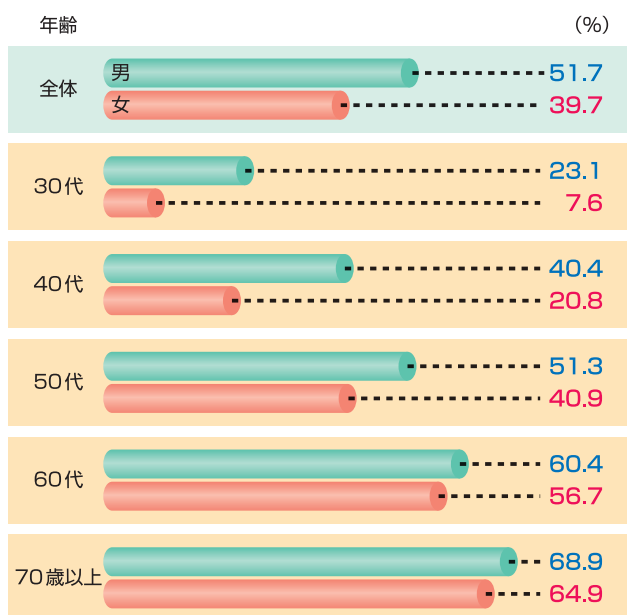
このような状態は、ホルモンの異常や腎臓病などによって起こることもあります。多くの高血圧は原因が不明の「本態性高血圧」です。本態性高血圧になりやすい危険因子としては、塩分の過剰摂取、肥満、ストレス、喫煙、飲酒などがあり、遺伝的な体質も影響します。これらの危険因子は、血圧を調整している交感神経を刺激したり、血圧に関わるホルモンの分泌に影響を与えたりして、腎臓からのナトリウムや水分の排出を落とすために、高血圧を引き起こすと考えられています。

朝起きたとき、運動したとき、緊張したとき、寒い場所に行ったときなどには一時的に血圧が上がりますが、このような一時的な高血圧は自然に戻ります。

ただ、飲酒が習慣になった場合、ストレスや塩分の摂りすぎが続く場合などでは、高血圧になってしまうことが知られています。

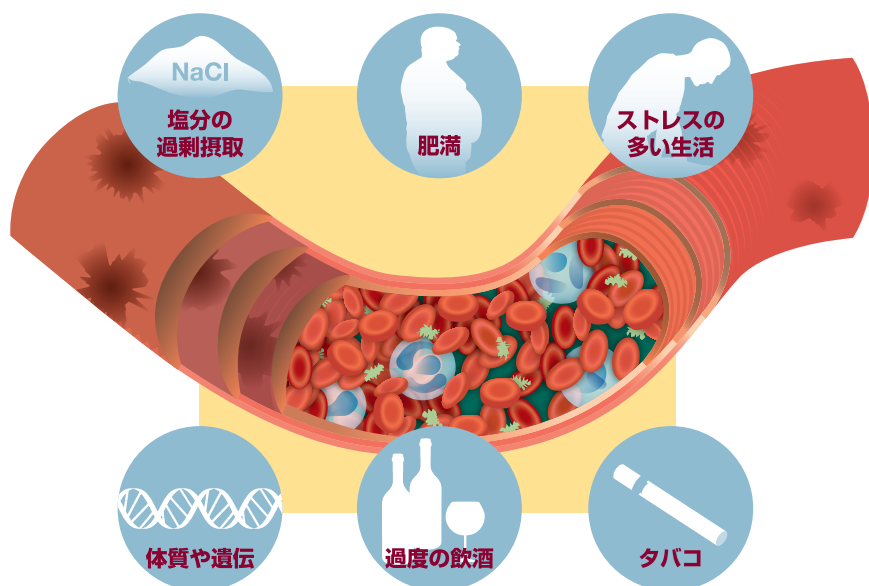


年齢別高血圧者の割合



厚生労働省「第5次循環器疾患基礎調査」平成12年

高血圧の危険因子



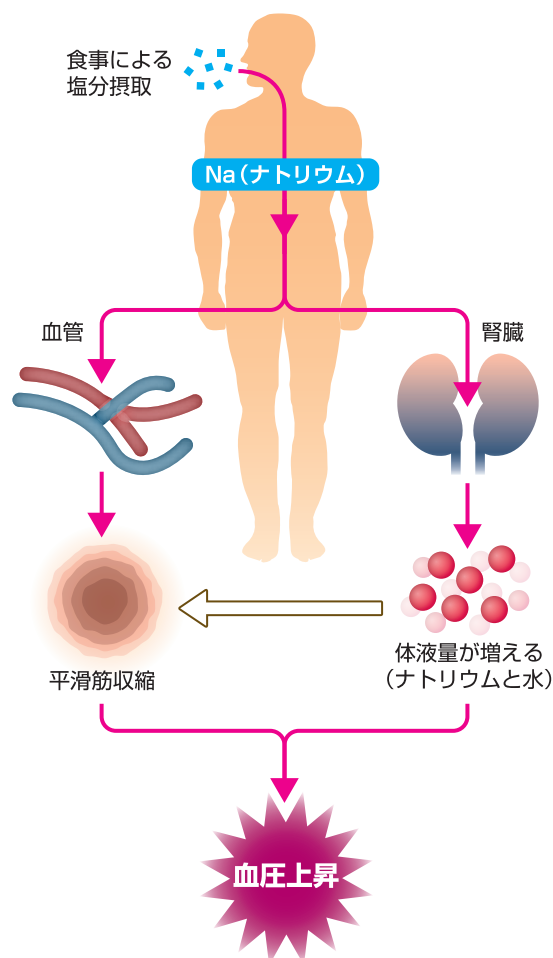
血管がもろくなり、 多くの病気が引き起こされる

高血圧症は様々な病気を引き起こします。動脈の内側に常に強い圧力がかかるために、血管壁が硬くもろくなり、狭くなったり、曲がったりします（動脈硬化）。とくに細い動脈が影響を受けやすく、腎臓や心臓、脳などの細い動脈の多い組織の機能が落ち、腎硬化症などになります。心筋梗塞や脳梗塞の危険も増大し、さらに動脈が破れて眼底出血、脳出血、くも膜下出血などが起こります。また、動脈が狭くなると血液がすみずみまで届きにくくなり、血圧が上がるため、心臓は血液を送り出す力を増やそうと心筋を肥大させます（心肥大）。心肥大が続くと心不全をきたし、動悸や頻脈、呼吸困難になることがあります。

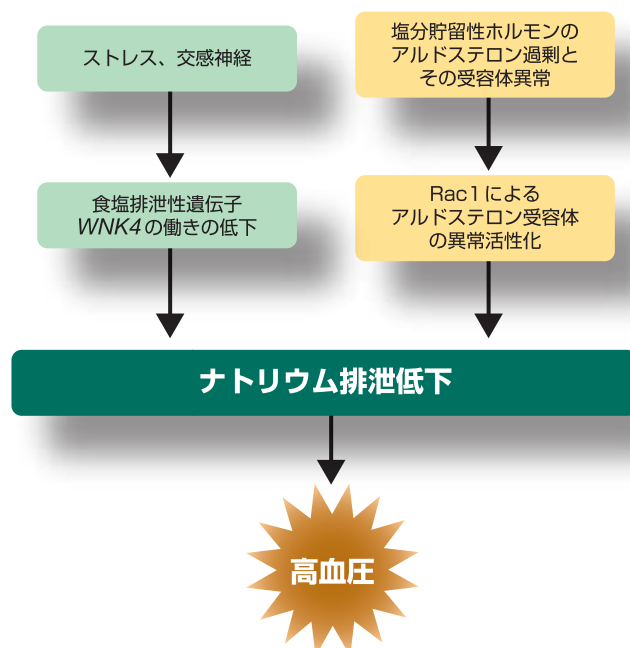
一方で、高血圧症には自覚症状がほとんどないために自分で気づくことが少なく（サイレントキラー）、また高血圧症と診断を受けたとしても、そのほんとうの怖さを実感しにくいのです。頭痛、頭が重い感じ、顔やからだのほてり、めまい、耳鳴り、不整脈、動悸、胸の圧迫感などを自覚するときには、高血圧症はかなり進行しています。

食塩感受性高血圧の メカニズムが明らかに

高血圧症の患者さんの中には、食塩感受性が高く、塩分を摂りすぎると高血圧になりやすい人がいることがわかっています（食塩感受性高血圧）。腎臓・内分泌内科の藤田らの研究グループでは、食塩感受性高血圧では、食塩を摂りすぎることによって交感神経が活発になり、それによって分泌されるホルモンの影響で、食塩排泄に関わる遺伝子（*WNK4* 遺伝子）の働きが抑えられてしまうことを明らかにしました。またこの他にも、食塩感受性高血圧の発症には、腎臓の細胞の形の維持などに必要なタンパク質 *Rac1* が、塩分貯留性ホルモンのアルドステロンの働きを増強させることも発見しています。



食塩と高血圧の関係



超微小外科手術

Supermicrosurgery

医師の手技と医療機器の発達によって、極細い血管や神経をつなぎ合わせる超微小外科手術（スーパーマイクロサージェリー）が行えるようになり、体や心の痛み、悩みから解放される患者さんたちが増えています。

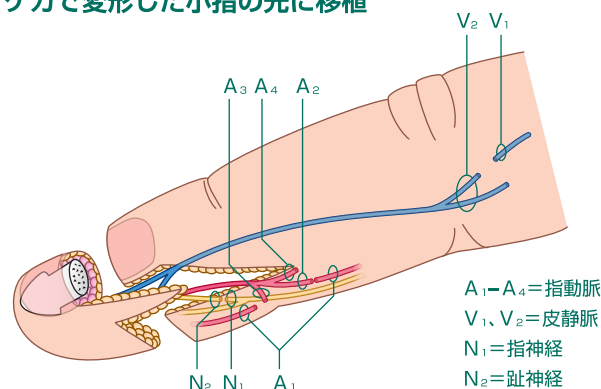
患者さんの体を整復し、心の痛みも取る「超微小外科手術」

手や顔の先天異常を整復する、やけどや傷跡、あざをきれいにする、手指や足などを事故で切断してしまったときに切れた部分をつなぐ、がんなどの手術の後、変形が残ったときに再建手術で元の姿に近づける、手術やケガの後遺症で残る痛みを取り除く……。形成外科では、体の様々な部位に手術が行われます。

血管の手術では、従来は直径1.5～3.0mm前後までの血管が対象でしたが、近年、形成外科医の持つ技術の向上、新しい術式の開発、手術を支える顕微鏡や手術器具などの発達によって、0.3～0.5mm前後の血管もつなぐことができるようになってきました。また、骨や神経をつなぐ技術も向上しています。このような「超微小外科手術」によって恩恵を受ける患者さんたちが増えています。

形成外科・美容外科の光嶋らは、超微小外科手術の技術を用いて、失われた部位の形の復元とともに動きや感覚も元通りにする方法を研究しています。

足の指の一部をケガで変形した小指の先に移植



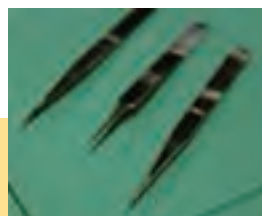
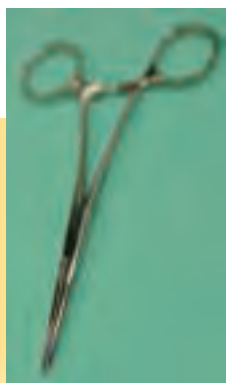
術前



術後
2年



ほぼオリジナルの爪がまっすぐに伸びています。



銅製小物

マイクロサージェリーのための、微細な特殊器具です。通常の器具に比べて全体的に細く鋭利な構造となっています。組織を損傷しないように、熟練した操作が必要となります。

実物展示：株式会社河野製作所 提供



スーパーマイクロ持針器

主に、リンパ管静脈吻合術に用いられる超微細針を操作するための持針器です。超微細針を柔らかく把持する柔軟性と、針に負けない剛性を同時に兼ね備えた非常に精密な持針器です。

血管と神経を生かして移植することで、壊死を防ぎ、機能を復元させる

形成外科・美容外科が行う超微小外科手術の例をご紹介します。

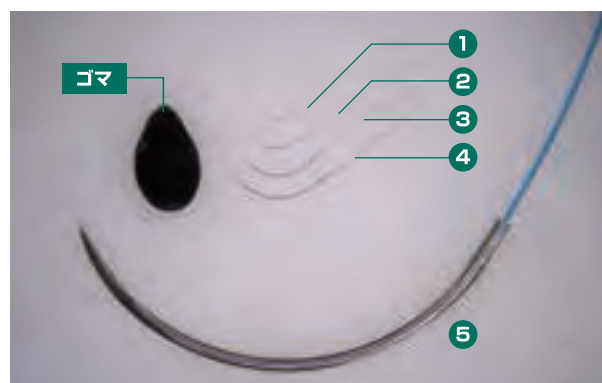
乳がんで乳房を切除した女性は、腹部の脂肪を血管も一緒に移植して、剥がしておいた胸の皮膚をかぶせて乳房を再建します。血管とともに移植して移植先の血管とつなぐことで、移植した脂肪の壊死を防ぎ、元のようにきれいな乳房を取り戻すことができます。また、がん手術後に起こるリンパ浮腫を、リンパ管と細い静脈をつなぐことで治すこともあります。陰茎がんなどで陰茎を失った男性には、腕の筋肉と血管、神経から陰茎を造り、その中に盲腸（虫垂）を移植して尿道にするとといった複雑な手術を行います。この方法では腕の筋肉や血管、神経が活かされているため、排尿や性交もできるのです。

このような手術で使われる手術針の太さ（直径）は2000年ごろには0.1mmが標準でしたが、現在では0.03mmのものも開発されています。また、そこに通す糸の直径も0.012mmまで細くなっています。熟練した形成外科医は、髪の毛よりも細い針と糸で、シャープペンシルの芯ほどの直径の血管やリンパ管、神経などを何本もつなぐ、細かい作業を手術中に行っているのです。できるだけ体への負担が少ない方法で、「形」と「機能」を修復する超微小外科手術には、これからの大きな期待がかかります。



針の比較写真

世界最小針糸とゴムの大きさと比較しています。



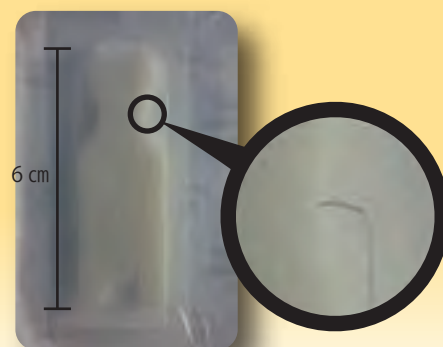
番号	針の種類	針の太さ	針の長さ	糸の太さ	備考
①	マイクロ針	30 μ	0.8mm	12 μ	世界最小針シリーズ
②		40 μ	1.5mm	16 μ	
③		50 μ	2.5mm	16 μ	
④		65 μ	3.0mm	20 μ	
⑤	一般外科用細針	500 μ	15mm	180 μ	外科用針

（株）河野製作所 第3回ものづくり日本大賞 内閣総理大臣賞受賞

『100 ミクロンの血管縫合を可能にし、外科手術に進化をもたらす世界最小針糸を開発』

河野製作所は、顕微鏡を用いた特殊な手術に利用されるナイロン糸付極小針の開発に成功しました。2004年に世界最小の針糸として実用化され、従来不可能であった100ミクロン程度の血管の縫合（吻合）が可能になりました。

その後、0.04～0.08mmのサイズも開発し、これらの微小針糸と周辺システムの充実により、様々な診療科目でマイクロサージャリーが取り入れられるようになりました。手術患部を小さくすることができる、乳幼児の細く柔らかい血管を縫合できる等、新たなミクロ領域での外科手術を切り拓き、心身への負担が軽く、機能を回復できる、真の「低侵襲医療」の実現に大きく寄与しています。



脂肪組織・血管の慢性炎症

In vivo imaging reveals inflammatory processes of adult common diseases

メタボリックシンドローム、がん、脂肪肝、アルツハイマー病、ぜんそく、リウマチなど慢性の炎症が関わっている病気はたくさんあります。

最近、慢性の炎症と血管の病気の関係が少しずつ明らかになっています。

外からの異物や 体内の分泌の異常に 対応するために炎症が起こる

炎症は、細菌などの異物が体内に入ったときに起こる反応で、体内で自らが分泌するホルモンや生理活性物質（サイトカイン）が炎症を引き起こします。例えば、インフルエンザにかかったときにあらわれる、のどの炎症や発熱、関節痛などの症状は、好酸球、肥満細胞（マスト細胞）、好塩基球などの免疫細胞が働く際に出す生理活性物質による急性の炎症です。

一方、ぜんそくやリウマチのような慢性の病気では、弱い炎症が持続しています（慢性炎症）。慢性炎症は急性炎症がきっかけになることもあります。弱いストレスがある組織にかかり続けるために慢性炎症が起こっている場合もあります。

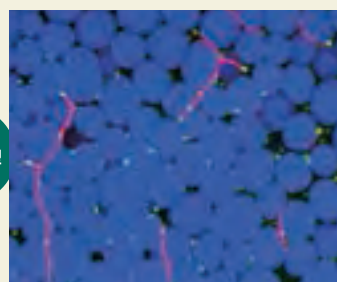
慢性炎症によって組織の 変性が起こることが多い

慢性炎症に対して、人体はその組織を変えることで対応するという特徴があります。それによって、組織を構成する細胞が入れ替わって硬くなったり、そこでの生理活性物質の分泌の異常が起こったりすることが多いのです。例えば、動脈硬化が起こっている動脈では、炎症と同様の反応が起こっており、そこに免疫細胞が集まって、健康な動脈とは異なる組織に変わっています。また、最近では、循環器内科の永井らのグループの研究から、肥満で増えている脂肪組織では、免疫細胞の一種であるTリンパ球（CD8陽性T細胞）によって慢性的に炎症が起こっており、これが動脈硬化の原因になっていることがわかってきました。肥満の人と肥満でない人では脂肪細胞の性質が異なる可能性があり、現在、さらに研究が進んでいます。

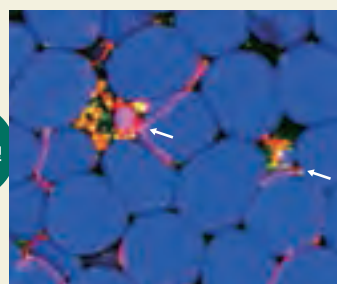
循環器内科の西村らは、生きたままの組織をそのまま染色して観察する「生組織イメージング手法」を開発しました。マウスの脂肪組織を蛍光色素の入った培養液中で培養しながら、レーザー共焦点顕微鏡で観ると、肥大した脂肪細胞のほかに、新たに分化・増殖した小型脂肪細胞や新生血管があり、死んだ細胞などを食べる“お掃除細胞”マクロファージが周囲に集まっている様子が見えました。通常の脂肪組織の切片標本を光学顕微鏡で観察する方法では、脂肪組織は白く抜けた脂質と、細胞質・核が集合体としていたことがぼんやりと見えるだけです。

マウスの体型の違いによる
脂肪細胞の大きさの違い

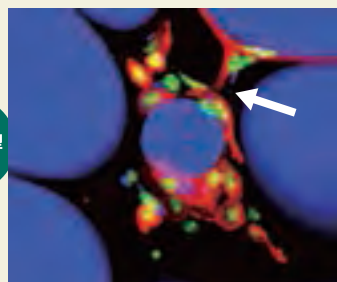
痩せ型



肥満型

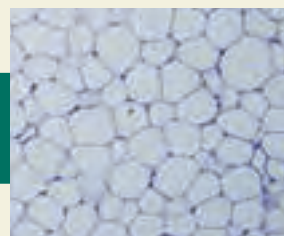


肥満型
(拡大)



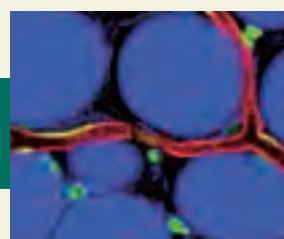
赤：CD8
青：脂肪細胞
緑：核染色

従来の
脂肪組織
イメージング



青：脂肪組織
赤：血管
緑：核

新たな
生体分子
イメージング



生体イメージングによる炎症や肥満の研究

Adipose tissue remodeling in obesity associated with chronic inflammation

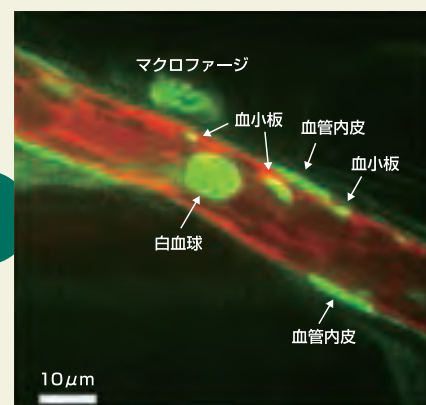
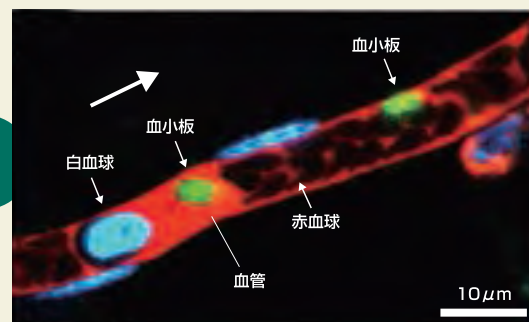
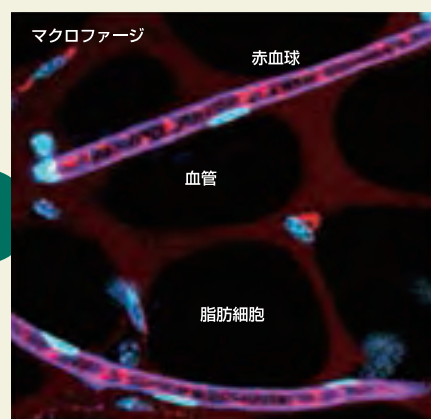
この研究をささえているのは、生き物の体内で起こる現象を観察する「イメージング」の手法です。動物や細胞を生きたまま観察できる、世界最新のイメージング技術を紹介します。

生きたマウスの血管を流れる、 様々な血液成分を可視化

循環器内科の西村らは生きたマウスの組織を観察する「生体内分子イメージング手法」も開発しました。マウスにさまざまな蛍光物質を静脈注射して、脂肪細胞、赤血球や白血球、血小板などを染め分け、皮膚を切開して、高速レーザー共焦点顕微鏡で観察します。マウスの体温は体の下に敷いたヒーティングプレートで37℃に保たれています。そうすると、脂肪細胞の間にあるマクロファージや血管、血管を流れる赤血球や白血球、血小板を観ることができました。「生きた動物の体内を手取るように可視化すること」に成功したのです。この手法を用いた西村らの研究によって、肥満したマウスの脂肪組織では、炎症が起こっていることが明らかになりました。

「生体イメージング」では手取るように脂肪組織微小循環における生体内の各種細胞の動きがわかります。実験手法詳細については本文中参照。白血球、赤血球、血小板、血管内皮、マクロファージを特異的に染色し、マルチカラーでそれぞれの細胞を特異的に可視化することが可能です。

「生体イメージング」でみる 体内の細胞動態



血管平滑筋の収縮

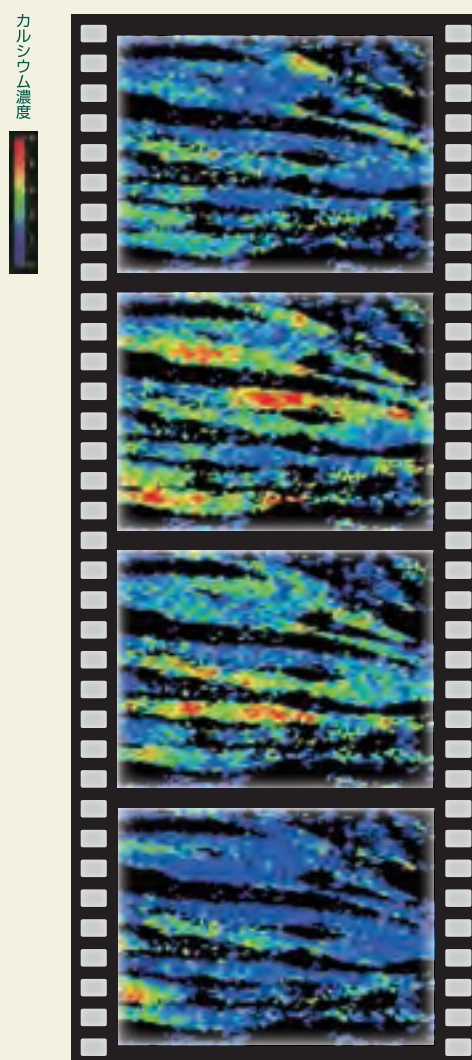
Contraction of vascular smooth muscle

私たちの体内にあるカルシウム (Ca^{2+}) は、骨の構成成分であるとともに、細胞機能のスイッチとして働き、筋肉の収縮などに関わります。血管では動脈を収縮させて血圧の調節に関わっています。

血管を収縮させる カルシウムの動きを可視化

動脈では、筋肉の一種である平滑筋細胞が層状にぐるりと血管を取り巻いています。この平滑筋細胞層のさらに外側には、交感神経が網目状に分布しています。交感神経に脳からの電気信号が伝わってくると、ノルアドレナリンという物質などが交感神経から出てきます。これが平滑筋を収縮させ、その結果、血液を通す動脈の内径が細くなり、血圧が上昇するのです。細胞分子薬理学教室の飯野らは、ラットの動脈を用いて、この平滑筋細胞層におけるカルシウムの動きを可視化することに成功しました。まず、カルシウムと結合すると蛍光の強さが変わる物質を細胞に取り込ませ、特殊な蛍光顕微鏡を使って、血管壁の中の平滑筋細胞を観察しました。そして、電気信号を与えて交感神経を刺激したところ、平滑筋細胞の中のカルシウム濃度が上昇しました。驚いたことに、その濃度上昇は細胞内を波のように伝わり、その波がある時間間隔で繰り返されていたのです。平滑筋細胞層では、このように個々の平滑筋細胞が交感神経の刺激を受け止め、収縮して、その総和が平滑筋組織全体の収縮する力となっていました。血圧を下げる薬には、平滑筋細胞内のカルシウム濃度上昇を抑える作用を持つものもたくさんあります。このようなダイナミックなカルシウム濃度変化は、肝細胞や分泌腺細胞、受精卵などでも見られ、そのリズムによって細胞や組織の機能が決められていることがわかってきました。

動脈組織における平滑筋細胞内 カルシウム濃度変化の可視化測定



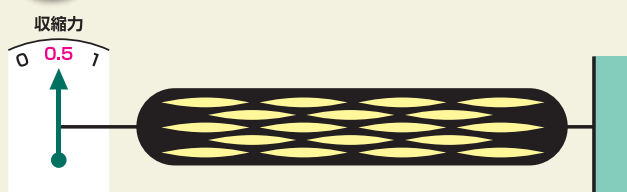
細胞内のカルシウム濃度変化は カルシウム そのものが調整している

このようなダイナミックなカルシウム濃度変化が起こるメカニズムも明らかになっています。細胞の中にはカルシウムの貯蔵庫があり、細胞が刺激を受けると貯蔵されていたカルシウムが細胞の中に放出されてカルシウム濃度が上昇します。また、このカルシウム放出自体が、カルシウムで調節されています。そのため、細胞の中の一部分でカルシウムの放出が始まると、その周りでも放出が起こりやすくなる性質があることがわかりました。つまり、ちょうど「将棋倒し」が起きるように、細胞内を波のように伝わったりするダイナミックなカルシウム濃度変化が起きているのです。

平滑筋組織の動的カルシウム応答

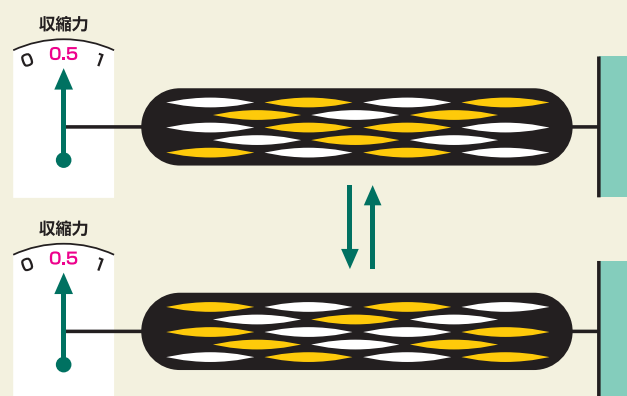
A

従来の考え：組織全体として例えば50%の収縮を起こしているときは、各細胞も50%の応答をされると考えられていました。



B

カルシウム濃度変化の可視化測定により、各細胞は周期的に応答しており、時間および空間で平均して例えば50%の収縮をすることが明らかになりました。



血管新生

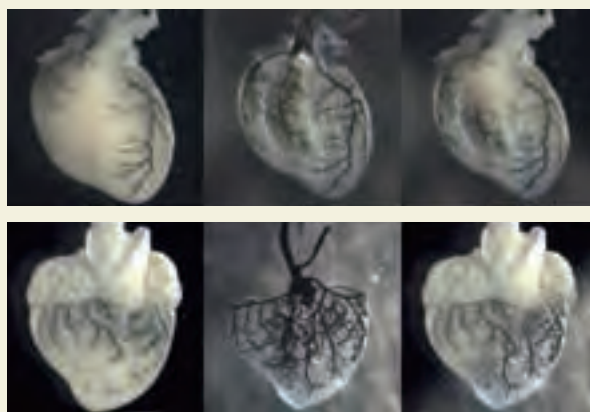
Angiogenesis

血液から酸素や栄養を受けとるすべての生物は、血液の通り道である血管を必要とします。“血管を新しくつくる”という広い意味での血管新生は、脈管発生と狭義の血管新生という2つのしくみによって、個体ができる過程から厳密に制御されています。

どのように血管新生の過程を調べるのか？

全身に血液を送る心臓も、動き続けるために血液を必要とします。心臓へ血液を供給する血管は冠動脈と呼ばれ、マウスやニワトリなどにもヒトと同じように存在します。心臓を透明にして血管だけを見ようと、冠動脈は心臓の表面だけでなく、組織の奥深くまで達していることがわかります。このような手法を用いて、血管ができる過程を調べ、心筋梗塞などの再生治療の研究に役立てることができます。

上段はマウス、下段はニワトリの胎生期心臓



冠動脈に選択的にインクを打ち込み(左)、その後心臓の組織だけを透明化して冠動脈全体を可視化した(中央)。右は両図を合成したもの。

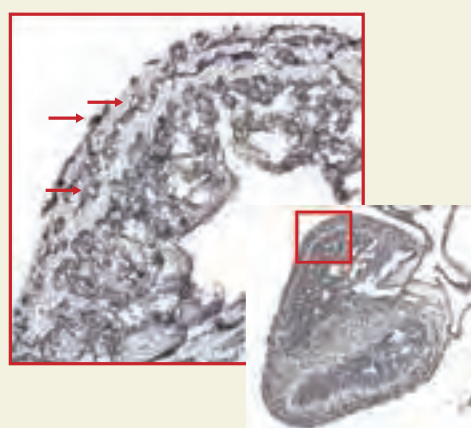
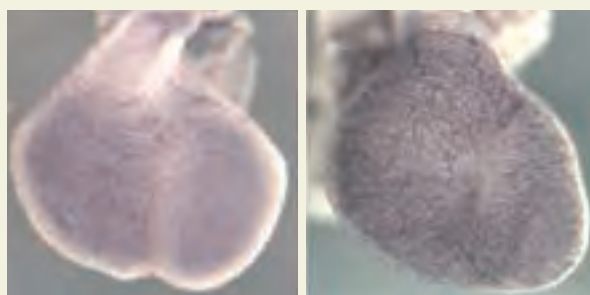
血管をつくる2つのしくみ “血管新生と脈管発生”

冠動脈の発生は胎児期から始まっており、最初は血管内皮細胞が網目状に心臓の表面を覆っていきます(上段)。心臓全体を覆った血管内皮細胞は、その後心臓の中に潜りこむようにして伸長し(下段;赤矢印)、さらに血液を供給する冠動脈と、使った血液を回収する冠静脈に分かれていきます。

発生中の心臓にみる血管内皮細胞の発生様式

胎生 12.5 日胚

胎生 14.5 日胚

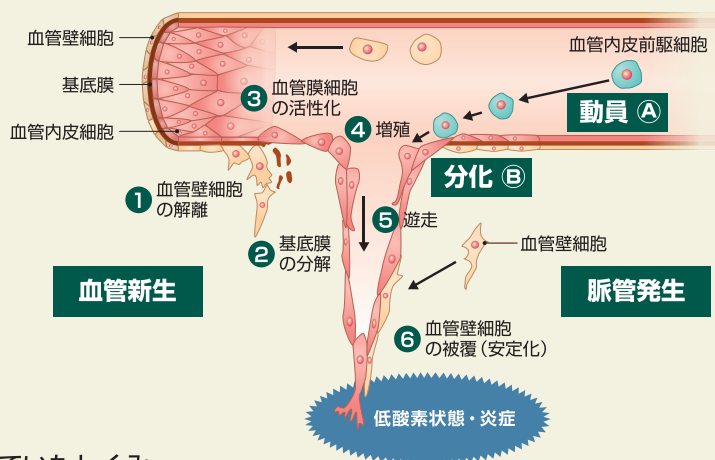


また、がん細胞が増殖する際には、異常な血管新生ががんの増大に重要な働きを示していることが知られており、血管新生のメカニズムを解明することは、個体の成長のしくみとともに、疾患の理解や治療の開発にもつながります。

どのようにして血管の形はつくられるのか？

血管が新しくつくられるには、大きく2通りの“しくみ”があることが知られています。1つは、血管新生とよばれるものです。もともと存在する血管が一度壊され(①、②)、引き続き血管内皮細胞が活性化されます(③)。活性化された血管内皮細胞は増殖・遊走し血管のかたちをつくり(④、⑤)、つづいて血管壁細胞がそれを取り巻くことで、血管内皮細胞でつくった未熟な血管を安定化させます(⑥)。

近年、個体が発生する時のみに使われると考えられていたしくみを、個体ができた後も同様に使っていることがわかってきました。それが、脈管発生です(図右)。骨髄や循環血液中そして血管の周りには、将来、血管内皮細胞になりうる前駆細胞とよばれる細胞が存在しますが、血管を新しくつくる場所に動員(A)され血管内皮細胞になり(B)、血管新生のしくみに参加します。



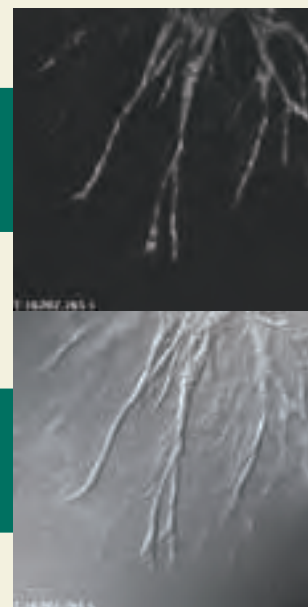
個体ができる過程での血管新生

血管を新生する際に必要な分子や遺伝子などは、これまでにつぎつぎと明らかにされてきました。しかし、それらの分子や遺伝子に反応し、“どのように細胞がふるまって、複雑な血管の形をつくっているのか”はよくわかっていません。

代謝生理化学教室では、組織培養において血管内皮細胞と血管壁細胞が血管様の構造物をつくる様子を詳細に観察し解析する方法を開発しました。それを用いて、血管新生のしくみの解明に取り組んでいます。これまでの研究から、血管内皮細胞と血管壁細胞は、予想以上に複雑に動き回りながら血管の形をつくっていくことがわかってきています。また、このような研究を通じて、よりよい治療が実現できると考えています。

核染色
(血管内皮細胞)

微分干渉像



画像取得協力：オリンパス株式会社

人工心臓

Artificial heart

重症の心筋梗塞で心筋が機能を失ってしまった場合、拡張型心筋症で心臓の収縮が十分でない場合など、重症の心不全になったときには、脳死心臓移植とともに、人工心臓が大きな役割を果たします。日本で世界で人工心臓の開発が進んでいます。

完全置換型人工心臓と 補助人工心臓の2タイプがある

人工心臓には2つのタイプがあります。自身の心臓を完全にとり除いて入れ換える「完全置換型人工心臓」と、うまく動かない心臓に取り付けて自分の心臓の働きを助ける「補助人工心臓」です。補助人工心臓は、人工心臓本体を体内に埋め込む体内設置型と、本体を体の外に出す体外設置型があります。体内設置型では人工心臓をバッテリーで動かすことが可能で、退院して外出することもできます。一方、体外設置型は体格が小さい患者さんに使えるのがメリットですが、体の外に血液ポンプや駆動装置、電源があるため、入院で生活することになります。

開発当初は、ヒトの心臓をそっくりまね、拍動させることを重視して、完全置換型人工心臓の開発が進められました。その後、心臓移植を待つ間の一時的な使用を目的とした補助人工心臓の開発に移りました。そして現在は、一生使える完全置換型人工心臓や補助人工心臓の研究へと発展しつつあります。

最近では、ポンプのように拍動するものではなく、小さな羽根を回して血液を流すスクリュー型の人工心臓も開発され、実用化されています。スクリュー型人工心臓では拍動（脈拍）がありません。心臓の拍動は人間に必要なかどうか、必要とすればどのくらいのリズムや強さが必要なのかはまだはっきりしておらず、研究が続いています。また、重い心臓病の子供も使えるような、小型の人工心臓も開発中です。

人工心臓を装着するときには、患者さんの心臓のサイズと合った人工心臓を選ぶことや、活動や体調に応じて変化する心臓からの血液の拍出量を調整することが必要になります。また、血栓や出血、感染などの副作用を薬などでいかに抑えるかも鍵となります。

全置換型人工心臓



生体機能制御学教室が開発した波動型完全人工心臓は、モーター駆動による世界で最も小型かつ高性能な体内埋込式全置換型人工心臓です。これは日本人の体重に近いヤギに埋め込める世界で唯一の全置換型人工心臓です。

補助人工心臓



補助人工心臓
「エバハート」

提供：サンメディカル技術研究所

Heart Mate II®
(治験中)

提供：ニプロ

補助人工心臓
(体外型)

提供：ニプロ



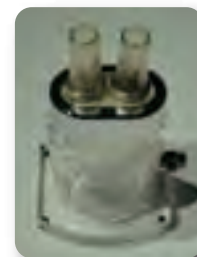
日本最初の人工心臓

1960年に東京大学で開発されました。天然ゴム製のサックを流体で駆動する方式。犬で5.5時間の生存を達成しました。



最近の人工心臓

心臓を置換するタイプの体内埋込式完全人工心臓。高性能ポンプとモーター駆動により、体重40kgのヤギに埋め込めるサイズにまで小型化を実現。現在までに、抗凝固療法無しで、ヤギで153日の生存を達成しました。



心臨床用補助人工心臓（東大型）

薬事承認された人工心臓としては世界初。空気圧駆動型。血液ポンプは日本ゼオン（株）が、駆動装置は（株）アイシンヒューマンシステムズが、製造販売しました。

人工弁

Artificial valve

心臓の弁の異常を治療する人工弁など、
心臓や血液循環を保つための医療機器がどんどん進歩しています。

動きが悪い心臓の弁を 人工弁に替える弁置換術

心臓には2つの心室と2つの心房があり、それぞれの出口には血液の逆流を防ぐための弁が付いています。からだを巡ってもどってくる静脈血は、右心房の出口の三尖弁、右心室の出口の肺動脈弁を通過して肺へ入り、酸素を十分に含んだ動脈血となります。そして、左心房の出口の僧帽弁を通過し、左心室の出口の大動脈弁を経て全身に回ります。

これら4つの弁が生まれつき、あるいは感染や動脈硬化、リウマチ熱などで変形したり、動きが異常になったりすると、心臓の機能が落ち、動悸や息切れ、疲労、全身のむくみなどが出てきます。これが心臓弁膜症で、弁がうまく開かない弁狭窄症と、弁がきちんと閉じない弁閉鎖不全症(弁逆流症)があります。心臓弁膜症になると、弁や心臓内膜の感染も起こりやすくなります。心臓弁膜症は、僧帽弁と大動脈弁に多く見られます。心臓弁膜症が進行し、弁の機能障害が重くなると薬物療法だけでは対応できなくなり、弁を人工弁に取り替える手術(弁置換術)が必要となることがあります。人工弁には、カーボンやチタンのような人工材料で作られている「機械弁」とブタやウシなどの弁を利用する「生体弁」があります。生体弁は機械弁に比べると、血栓ができにくいものの、10～15年で変性して硬くなる傾向があります。機械弁の場合には20～30年以上もつものも多いのですが、血液が固まるのを抑えるワーファリンを一生飲み続けなければなりません。感染や逆流によって人工弁を取り換えざるを得なくなることもあります。弁置換術には、自分の肺動脈弁を大動脈弁に移植する方法もあります。また海外や、日本では東京大学で、ヒトの死体(あるいは脳死体)から摘出した弁(ホモグラフト)が使用されています。

歴史的人工弁

一世代前の各種人工弁。現在主流となっている人工弁(機械弁)の基となった、歴史的人工弁の貴重なコレクションです。

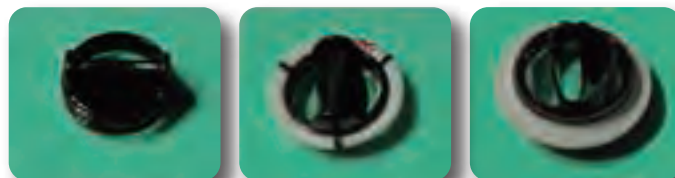
昔のタイプ



大動脈弁用(金属ボール) スターエドワーズ人工弁
僧帽弁用(樹脂ディスク) ワダ弁
(ワダカッター)

提供: エドワーズライフサイエンス 株式会社

今のタイプ



スタンダードカフ フレックスカフ エドワーズテクナ
SJM® リーゼント人工心臓弁 人工心臓弁

提供: セント・ジュード・メディカル 株式会社

提供: エドワーズライフサイエンス 株式会社

生体弁



大動脈弁用 僧帽弁用
カーペンターエドワーズ牛心のう膜生体弁

人工弁輪



エドワーズ MC² カーペンターエドワーズ
人工弁輪 三尖弁用 フィジオIIリング 僧帽弁用

提供: エドワーズライフサイエンス 株式会社

人工心肺

Heart-lung machine

心臓を止めて手術を行うための人工心肺装置など、心臓や血液循環を保つための医療機器がどんどん進歩しています。

心臓の手術に欠かせない人工心肺装置

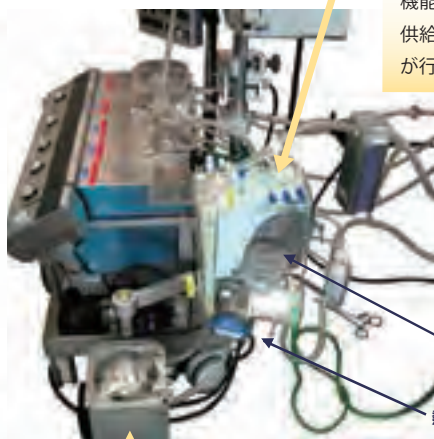
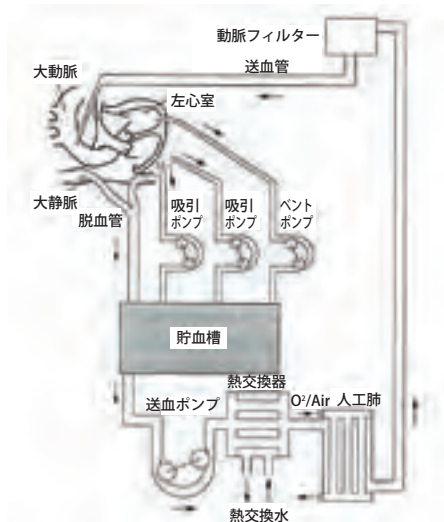
心臓の弁置換術や心奇形の修復手術、胸部大動脈瘤のような心臓と大動脈の手術では、心臓を止める必要があります。心臓を止めると全身に血液を送り肺に替わって酸素を取り込まなければなりません。手術中にはその間に血液の循環とガス交換を保つ人工心肺装置（体外循環装置）が使われます。

人工心肺装置を使う際には、まず右心房に入る上大静脈、下大静脈を切開して静脈血を管に通して人工心肺装置へ送ります。そして、二酸化炭素を取り去り、酸素を加えて、大動脈にもどします。止まっている心臓には心筋保護液が注入され、手術中に血液が流れない心筋が傷むのを防ぎます。また、患者さんの全身状態を見るモニター機器、体温を保つために血液の温度を調整する装置なども同時に使われます。人工心肺装置は、手術だけではなく、救命救急医療などでも使用されています。

人工心肺装置



人工心肺装置では、血液の循環を行う装置として血液ポンプがあり、ローラーポンプと遠心ポンプがあります。最近では、ローラーポンプより小型で高流量がだせ、何より血液へのダメージが少なく、赤血球の損傷が少ないとの理由で遠心ポンプを使用する施設が増えてきています。



人工肺

体外に誘導されてきた血液（静脈血）に酸素を付加し、血液中の二酸化炭素（炭酸ガス）を行う、肺のガス交換機能を人工的に代行する役割を持っています。血液側と供給ガスが直接接触することなく、膜を介してガス交換が行われる膜型人工肺が、現在では多く使用されています。

血液ポンプ

ローラーポンプ

体外循環回路の一部を構成する弾性のあるチューブを、複数のローラーでしごき出すことで血液を駆出するポンプ。

遠心ポンプ

円錐型のポンプヘッドへ流入した血液が、血液の粘性を利用して遠心力が与えられ、血液が駆出するポンプ。

おわりに

本企画展では、まず最初に病気から離れて、血管について歴史を含めてご紹介しました。もし、個々人が血管について、もっとよく知っていれば、血管の病気の一つ一つを局所の現象として捉えるのではなく、全身に起きている変化であると考え、身体をいたわり、予防に努めることができるかもしれません。また、ある程度、病気を不可逆的な現象として受け止めるかもしれません。このように既存の学術的な知を、実生活の知へ再構成することで、われわれの認識や生活は大いに変わりうる可能性があります。また、素描や動画による血管の表現自体に、美しさや不思議さを感じていただけたのではないのでしょうか。表現とその背後にある認識を追求することによっても、われわれの理解は広がります。本企画展の血管の展示を通じて、生活、生物、医療などへの関心を惹起できたのであれば幸いです。

本企画展の協力者

アボット バスキュラー ジャパン株式会社
エドワーズライフサイエンス株式会社
オリンパス株式会社
株式会社河野製作所
株式会社サンメディカル技術研究所
株式会社メタ・コーポレーション・ジャパン
COOK JAPAN株式会社
ジョンソン・エンド・ジョンソン株式会社
泉工医科工業株式会社
セント・ジュード・メディカル株式会社
テルモ株式会社
ニプロ株式会社
日本ゴア株式会社
ファイザー株式会社
マイクロライフ・メディカルホームソリューション・ジャパン株式会社

杉浦清了(東京大学大学院新領域創成科学研究科)
久田俊明(東京大学大学院新領域創成科学研究科)
医学図書館
医学系研究科・医学部附属病院 以下の各教室・科・部
眼科学
形成外科学
血管外科学
健康空間情報学
検査部
細胞分子生物学
循環器内科学
心臓外科学
腎臓内科学・内分泌病態学
人体病理学・病理診断学
生体機能制御学
代謝生理化学
放射線診断学

(以上50音順)

血管の太さ

Size of blood vessel

25mm

動脈
Artery

4mm

細動脈
Arteriole

0.02mm
(20μm)

毛細血管
Capillary

0.005mm
(5μm)

細静脈
Venulae

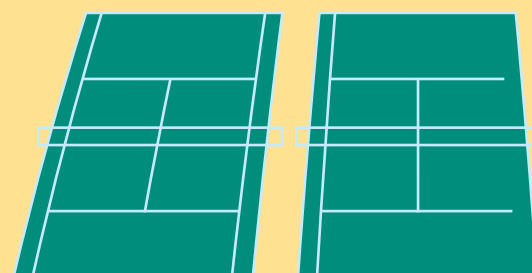
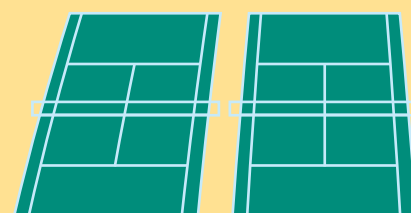
0.02mm
(20μm)

5mm

静脈
Vein

30mm

数字は各血管内腔の直径(平均値)を示す



血管の面積

Area of blood vessel

