



バイオメディカル情報工学

第2部 生体情報技術入門

第4章 治療技術

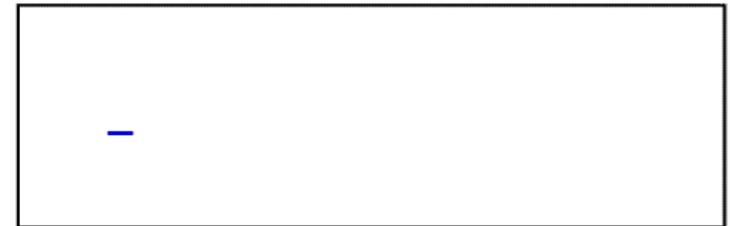
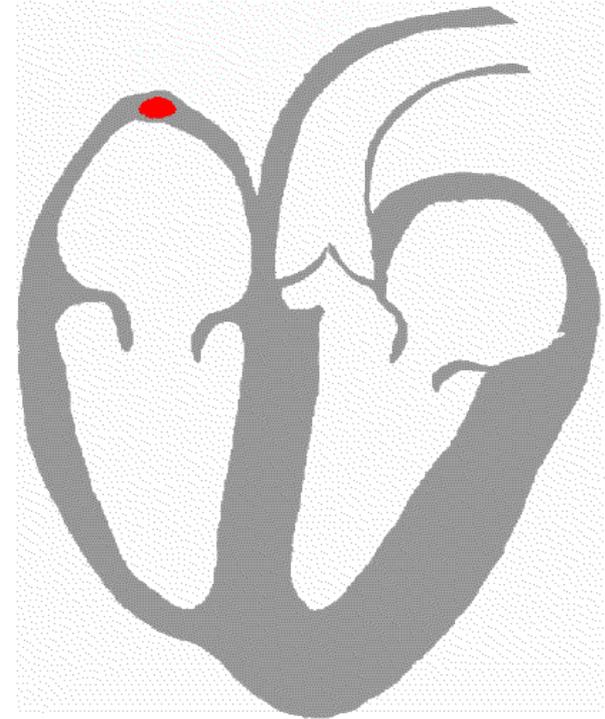
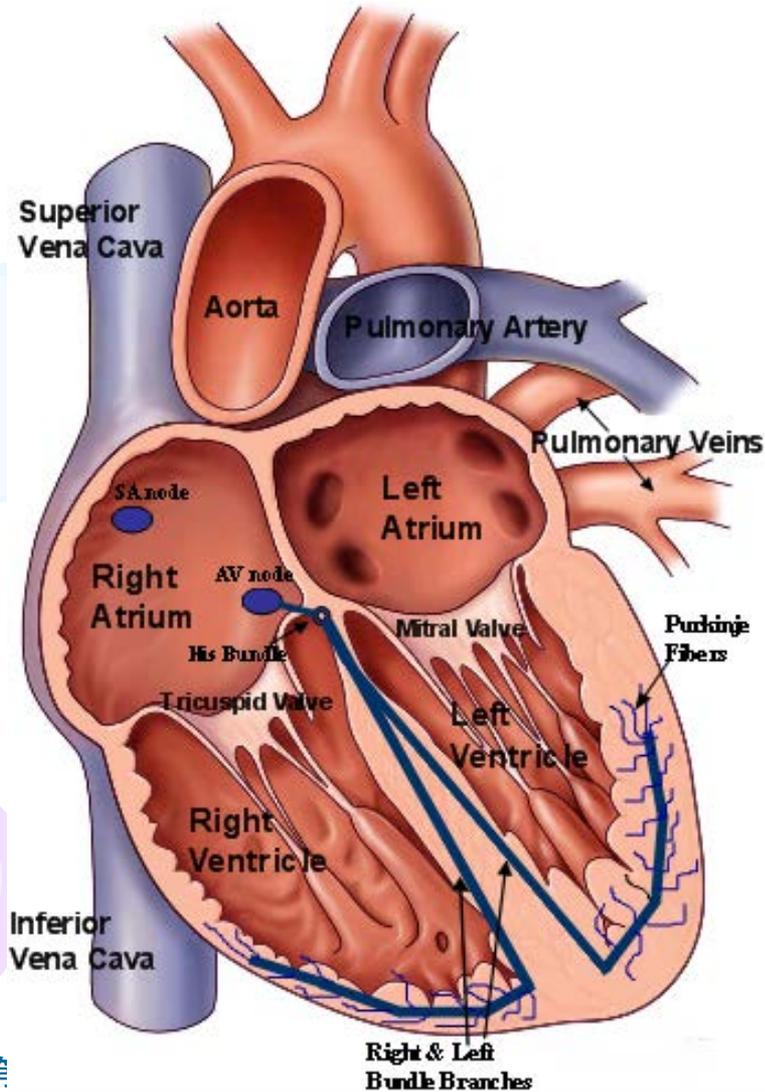
第1節 AED、ペースメーカー、人工臓器

生体情報学講座
陳 文西

主な手術・治療機器

分類	名称	主たる目的	関連する物理エネルギー
手術機器	電気メス レーザーメス 超音波メス マイクロ波メス アクアジェットメス (ウォータージェットメス) 冷凍メス 電動形ダーマトーム 麻酔機器 手術台 无影灯 吸引器 滅菌機器	切開・止血 切開・止血 切開 止血・凝固 切開 組織破壊 採皮 全身麻酔 体位保持 照明 血液などの吸引 滅菌	電気 (高周波) 光 (レーザー) 音響 (超音波) 電気 (マイクロ波) 力学 (水圧) 熱 (低温) — — — 光 — 熱, 圧力, 放射線
治療機器	心臓ペースメーカー 除細動装置 人工心臓 血液透析装置 結石破碎装置 マイクロ波治療器 ハイパサーミア機器 レーザー治療器 低周波治療器 人工呼吸器 低圧酸素療法機器 ネブライザー	心筋活動の誘発 心筋活動の同期 ガス交換・血液循環 血液浄化 結石破碎 加温 (温熱療法) 加温 (温熱治療) あご治療, 他 疼痛緩和, 他 呼吸・呼吸補助 動脈血酸素分圧低下の治療 加湿・薬剤吸入	電気 (低周波) 電気 (低周波) — — 各種 (最終的には力学エネルギー) 電気 (マイクロ波) 電気 (マイクロ波, ラジオ波) 光 (レーザー) 電気 (低周波) — — —

心臓の解剖構造と電気伝導



様々な不整脈－1

- 洞不全症候群
 - SA node機能障害、ペースメーカーとして働かなくなった状態
 - 洞房ブロック→興奮が心房に伝わらない→AV nodeと他の心筋がペースメーカーの役割を果たすが、そのリズムはSA nodeより遅いため、心臓全体の拍動は徐拍となる
 - SA nodeの興奮が逆行性に心房に伝わるのとほぼ同時に、ヒス束を通じて心筋にも伝わる。このため心房と心筋の有効な協調が行われない。心原性心不全となる
- 房室ブロック
 - AV nodeあるいはヒス束の上部(右脚と左脚に分岐する前)が機能不全状態
 - I度房室ブロック:単に房室間の伝導速度が遅れる
 - II度房室ブロック:SA nodeの興奮が心室に伝わらない状態が間欠的に発生
 - III度(完全)房室ブロック:心房と心室が完全に別個に収縮する

様々な不整脈－2

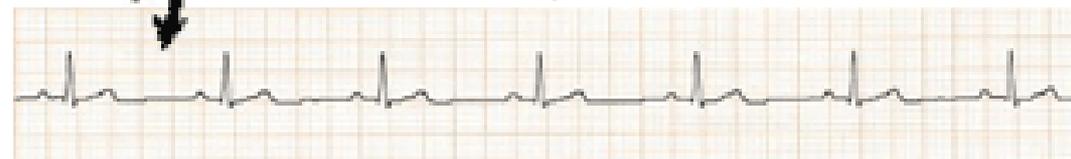
- 脚ブロックとヘミブロック
 - His束が右脚と左脚に分岐したよりも下部で起きる障害(右脚ブロックと左脚ブロック)
 - ヘミブロック:左脚が前枝と後枝に分岐したよりも下部で起きる障害
- WPW症候群
 - 房室間に、His束以外にも伝導速度の速い副伝導路(Kent束)が存在している疾患
 - A型:Kent束が左房－左室間にある、B型:Kent束が右房－右室間にある
 - Kent束を通る刺激は、His束を通った刺激よりも速く末梢心筋に到達するため、心室の収縮が部分的に正常よりも早く始まる。心電図上に δ (デルタ)波として表現される
 - Kent束を伝わった刺激が、プルキンエ線維を逆行して再び房室結節に戻ってしまう(リエントリー)と、そこから再びKent束へと刺激が伝わり、心室頻拍類似の頻拍となる
 - この頻拍はときに心室細動へと移行し、心臓性突然死(SCD)の原因となる

心室細動

- Ventricular Fibrillation (VF)
- 心臓の筋肉が痙攣(けいれん)したような状態になり、全身に血液を送るポンプ機能を失った状態
- 致死性不整脈
- 唯一の治療方法が、除細動器(AEDを含む)で電気ショックを与える



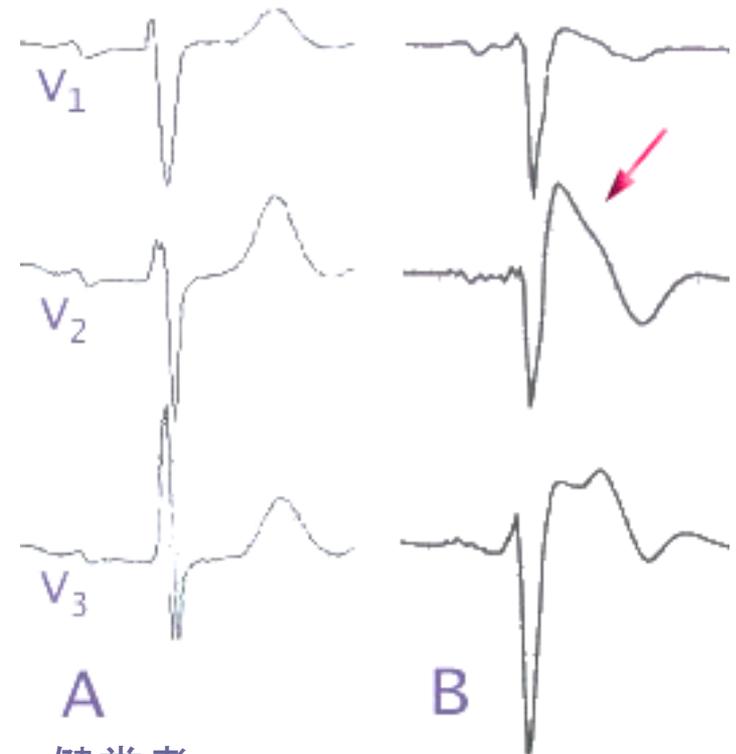
心室細動



正常なリズム

ブルガダ症候群

- Brugada Syndrome
- 心筋梗塞、狭心症、心不全等の所見がないのに心室細動を生じる
- 夜間に心室細動の発作を起こすことが多い
- 希に重篤な不整脈である心室細動により失神し、死に至る
- 一過性の心室細動を生じて、すぐ正常な脈拍に復帰、一時的な症状
- 何時起こるか不明のため、体内植込み型除細動器 (ICD) の利用が多い



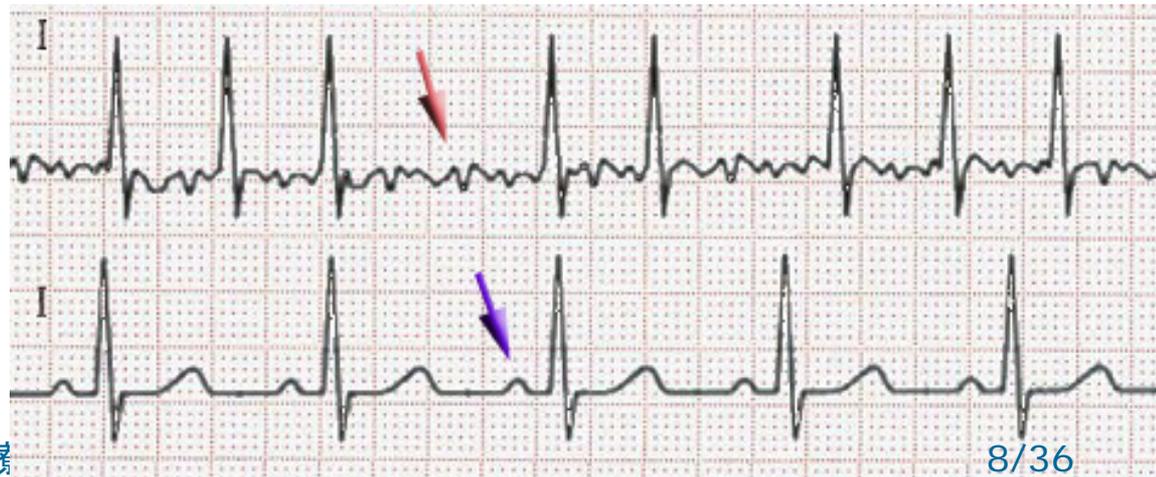
A
健常者

B
ブルガダ症候群患者、
V₂ではST上昇(赤矢印)
がはっきり現れている

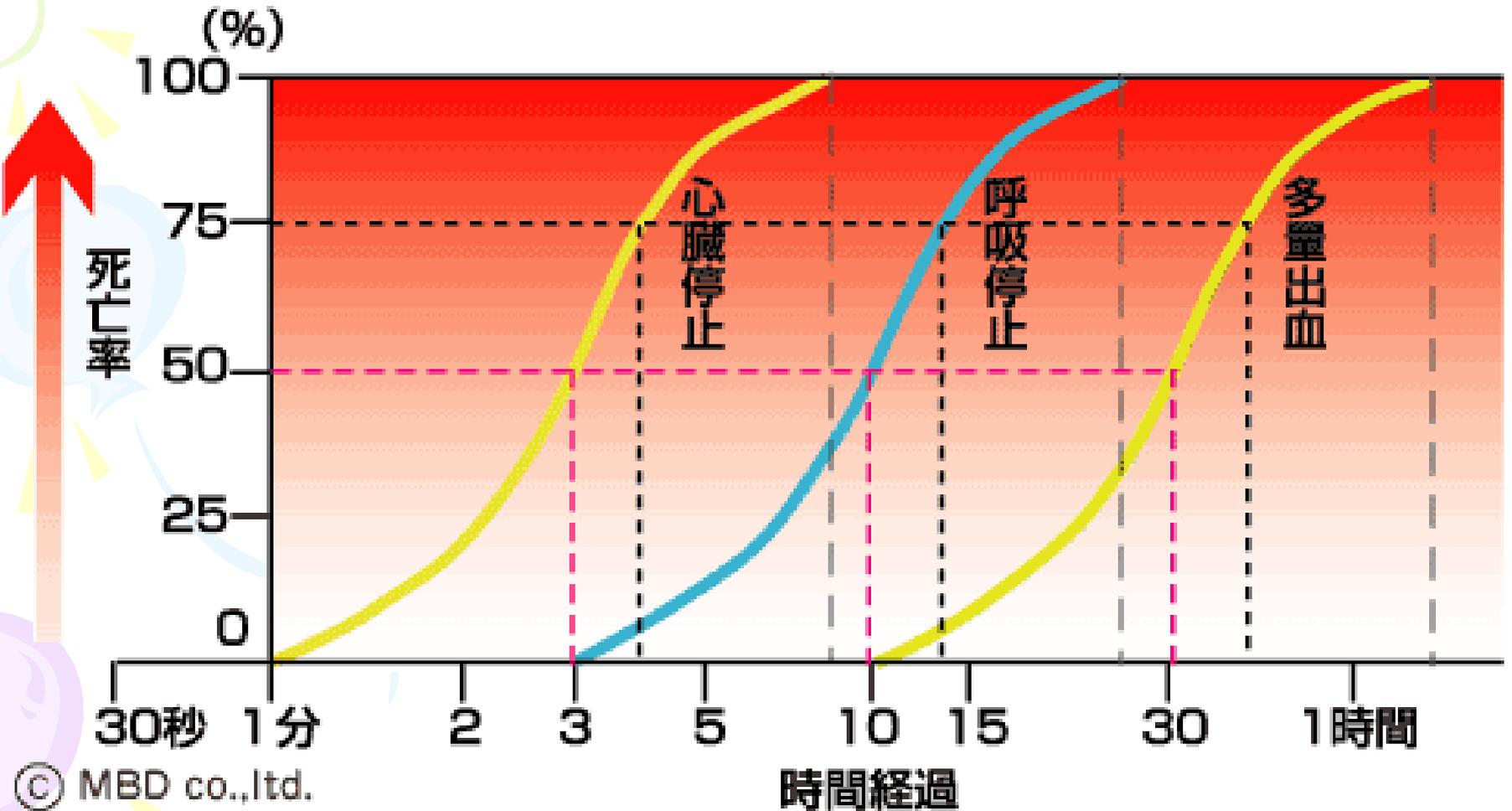
心房細動

- Atrial Fibrillation, AF—心房が細かく動く、不整脈の一種
- 病態—心房が洞房結節の刺激によらずに部分的に速く興奮・収縮し、規則的な洞房結節の活動が伝わらず、心房の収縮が不規則的に起きる
- 原因—心房筋の機能的、組織学的な変化により興奮伝導のばらつきが生じ、これが伝播方向の異なる複数の興奮波を形成し、それぞれの興奮波はリントリーとして興奮間隙を縫うように心房を連続的に興奮させ、心房細動を発生させる(スパイラルリントリー)
- 症状—①心房から送り出される血液の体積が減って心臓の効率が低下
②心房の血液がよどみ、血栓しやすい。めまいや動悸、疲れやすい、脳梗塞と心筋梗塞の原因

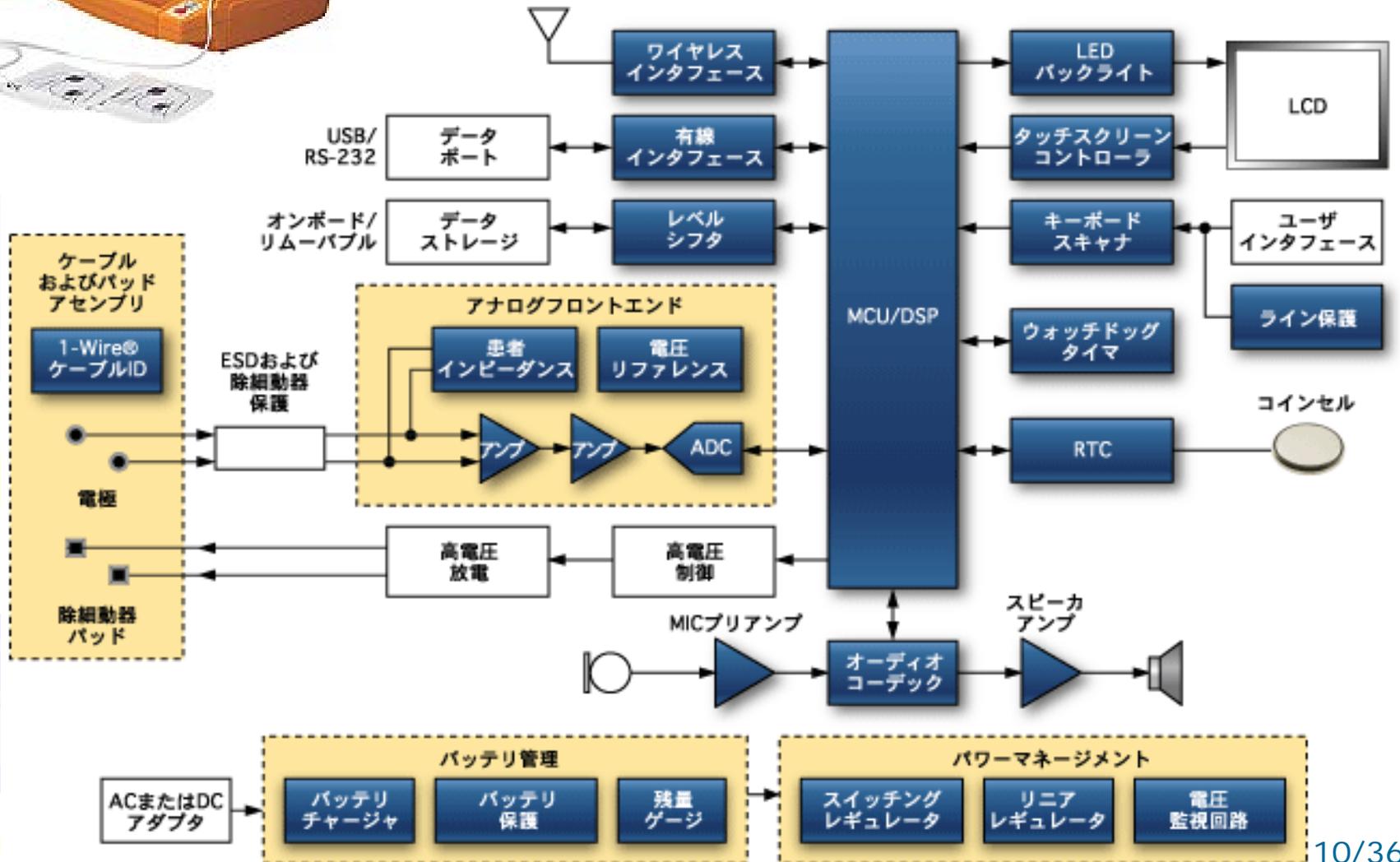
RR間隔の不整
P波消失
f波出現



カーラーの救命曲線



AEDの構成

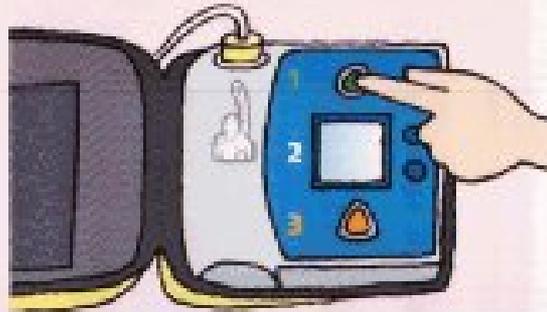


AEDによる救命手順

1 AEDを準備する



2 電源を入れる



3 傷病者にパッドを貼る



4 傷病者から離れる(心電図の解析中)



5 除細動の指示がでたらボタンを押す



6 循環のサインを確認する



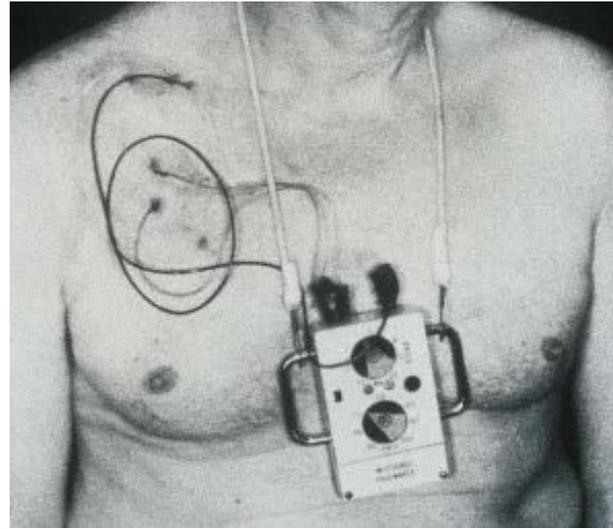
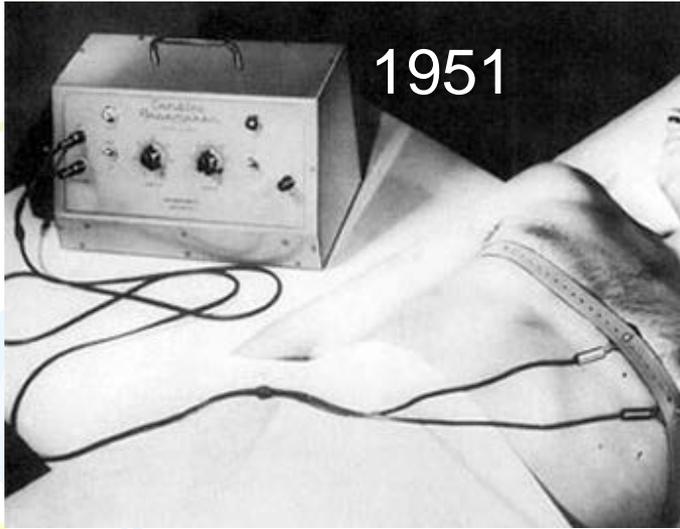
使用時の注意事項

- 電極パッドの貼り付け
 - 前胸部の汗を拭い、体毛を剃って、または胸毛の薄い部位に電極パッドを貼り付ける
 - ネックレス・貼り薬(経皮吸収型薬剤、湿布、膏薬等)などを取り除く
 - 心臓ペースメーカー装着部から3cm程度離れる
 - 一度貼った電極を剥がさない・位置を変えないことが肝要
- 使用する時に、心肺蘇生を合わせて行う必要
- 心室細動を起こしている心臓に対して自動診断・制御
- 正常な拍動をしている心臓・完全に停止しているおよび他の不整脈を起こしている心臓に対しては、AEDは作動しない
- 自動診断機能が「除細動の必要なし」の診断を下した場合、通常的心肺蘇生法等による救命処置を行う
- 心電図自動解析の誤診を防ぐ為に、また救助者等が感電しないよう通電時にも、患者に触れないように注意する

Pacemakerの役割

- 不整脈の中には、洞不全症候群や房室ブロック、心房細動などに代表される徐脈を起こす疾患群がある。これらの不整脈を放置すると心不全を合併したり、致命的な心停止に発展する可能性がある
- 心臓ペースメーカーは、適切な機能を喪失した本来の心臓の刺激伝導系に代わって、不整脈 (arrhythmia, or irregular rhythm; too fast=tachycardia頻脈, too slow=bradycardia徐脈) が発生時に、心筋に刺激を与え、必要な規則性で心臓収縮を発生させる治療機器

ペースメーカーの進化



1958
Weight: 73.4g
Size: 35cc



1981
Weight: 55g
Size: 25cc



1995
Weight: 14g
Size: 6cc

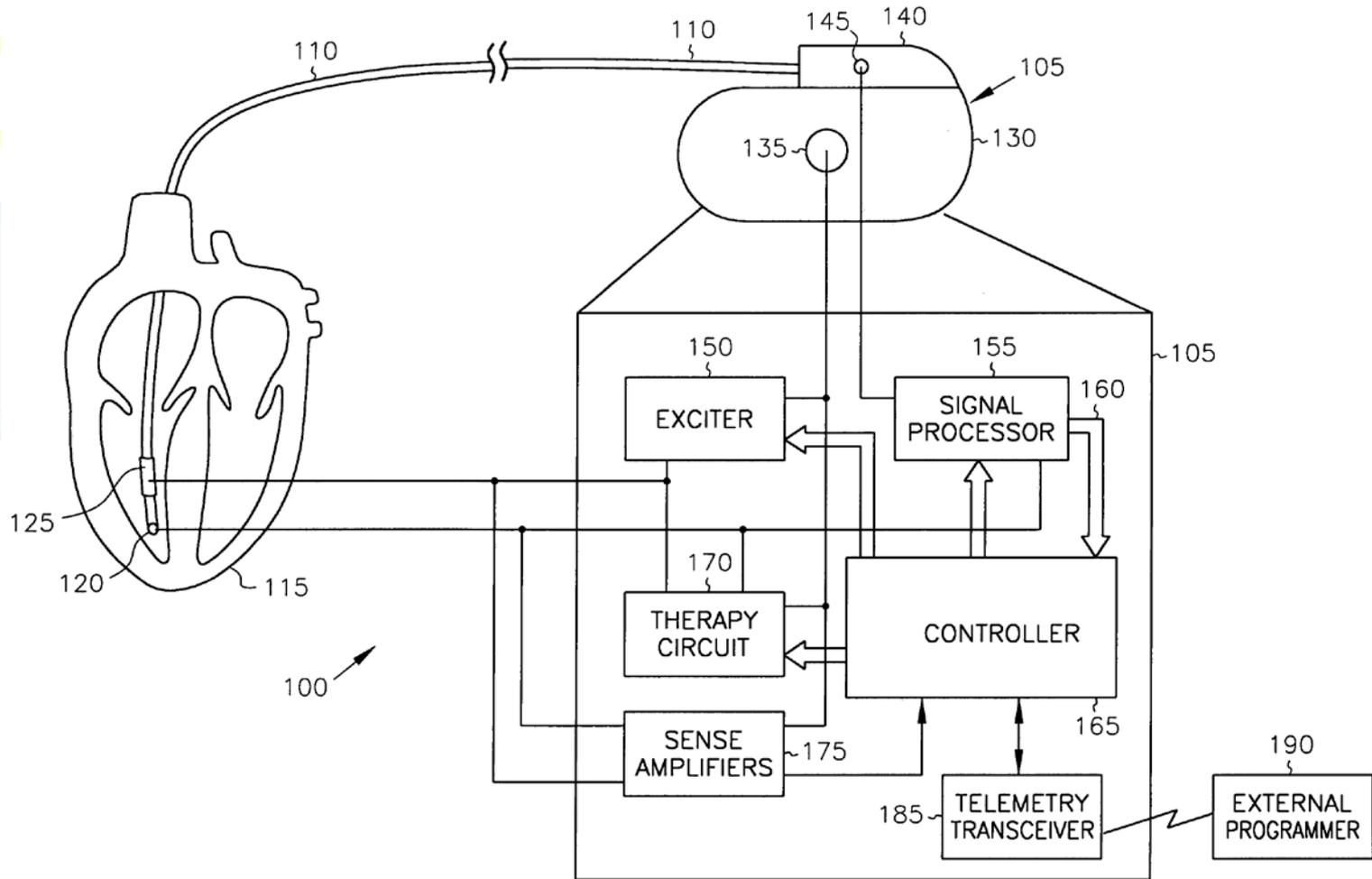


2009
Weight: 23g
Size: 12.8cc



2013
Weight: 2g
Size: 1cc

ペースメーカーの仕組み

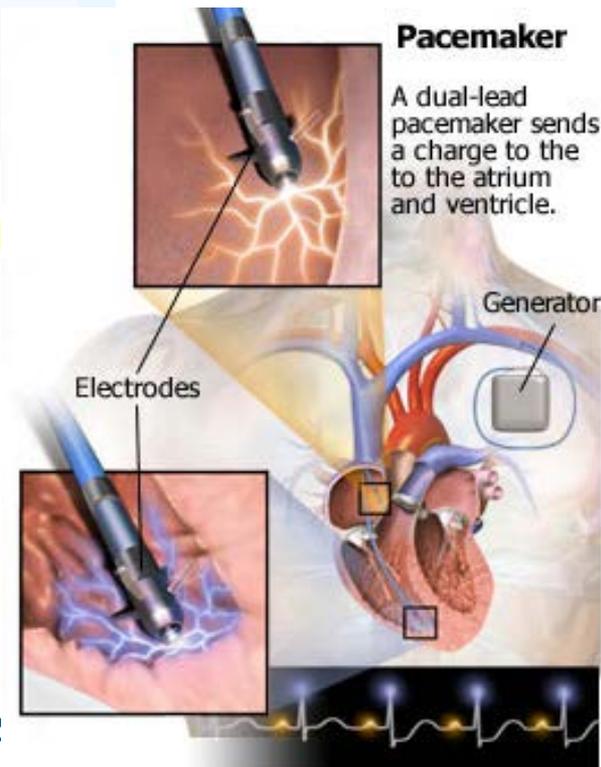
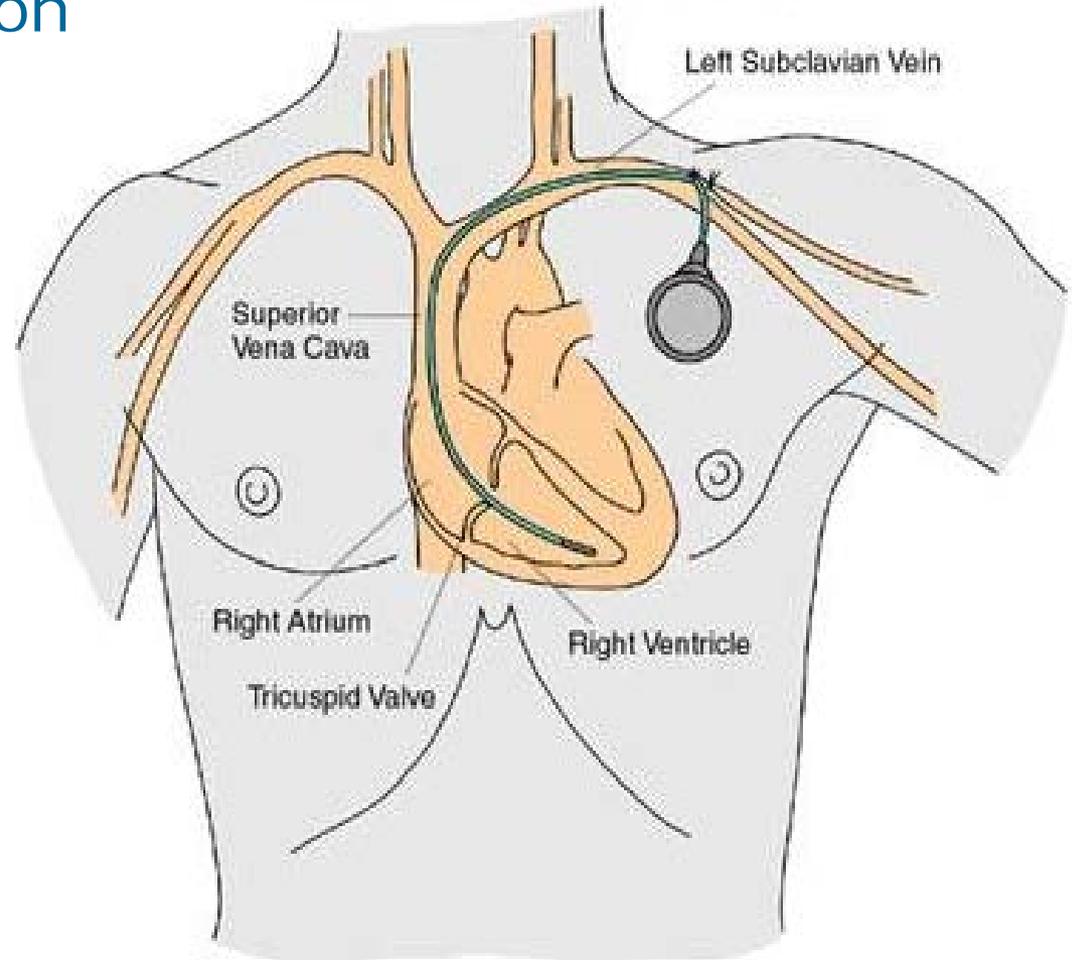


ペースメーカーの種類

- Rate Fixed
 - Work at a certain heart rate
 - If the heart's own intrinsic rate dropped below a pre-set number the pacemaker would begin to pace at a preset rate.
- Rate Responsive
 - Determines what the heart rate should be from moment to moment
 - The more the patient's body is moving the faster the heart rate should be.
 - 2 major mode to detect the optimal cardiac output
 - Activity sensor
 - Breathing sensor

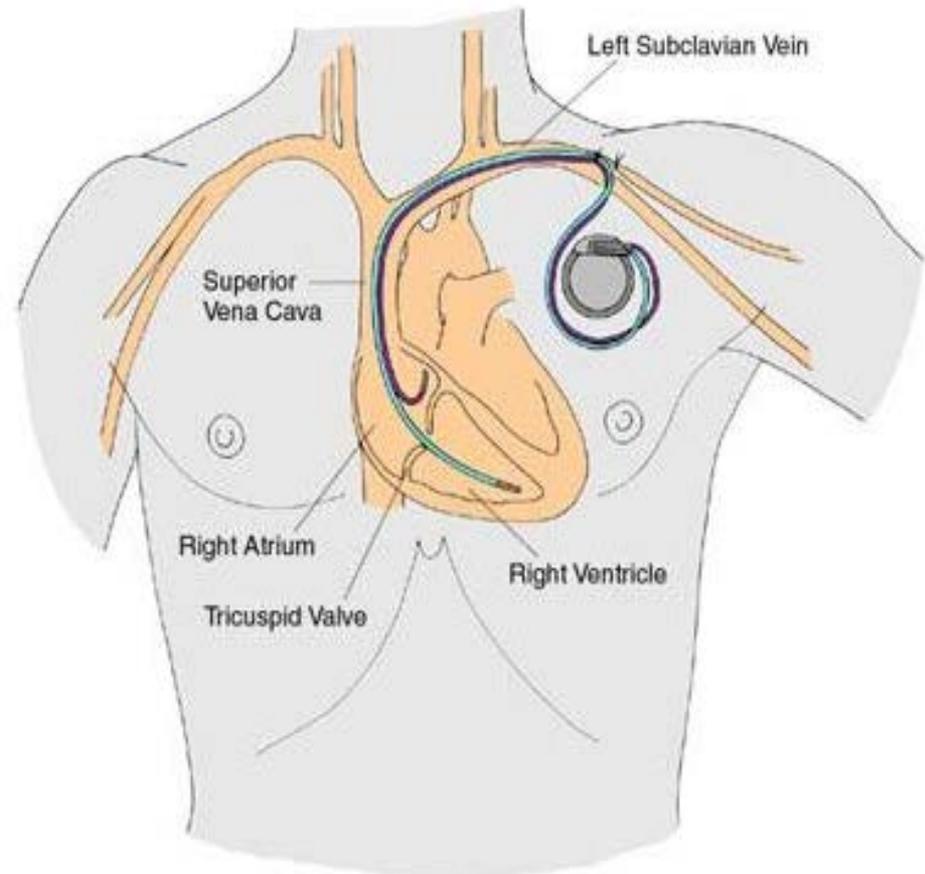
Single Chamber Pacemaker

- One wire is placed on the heart chamber either atrium or ventricle

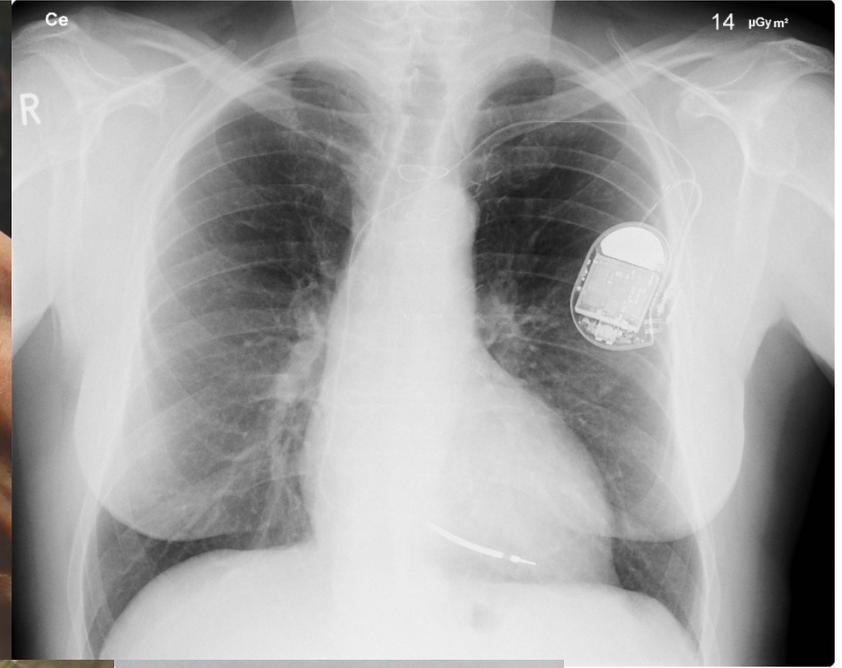


Dual Chamber Pacemaker

- Two leads are placed in two different chambers
- Generally one lead goes to a ventricle and the other goes into atrium. Atrioventricular Pacemaker
- This approach more closely matches the natural pacing of the heart
- 40% of the pacemakers in Canada.



ペースメーカーの埋め込み



埋め込み者の注意事項

- 携帯電話
 - 誤動作を引き起こした事故は世界中で一例も報告されていない
- 送信所
 - 広い範囲では超強力(100kw以上)な電磁波を放射されるためペースメーカー装着者は安易に近寄るべきではない
- MRIとXCTなど医療機器
 - MRI検査は禁忌である。一部機種でX線 CT検査で設定内容のリセットや、オーバーセンシングが起きる不具合事象が報告されている
- 一般の電子機器
 - 電波センサー式自動ドア、電波感知式電動シャッター、万引き防止装置、電磁調理器、IHコンロ・炊飯器、金属探知機、非接触ICカード機器、セキュリティシステム、無線LAN、磁気浮上式リニアモーターカー、無線機
 - 実生活において深刻な誤作動事故を引き起こした例は世界中でまだ確認されていない

人工臓器の概要

- 心臓、肺、肝臓、腎臓などの機能が損なわれると、種々の病気乃至生命の危機に晒される
- 人工臓器は、このように病んだ臓器の代行を目的としたもの
- 機能補助から機能置換を可能にする再生臓器や代用臓器
- 主な3種類
 - 医用工学技術を用いた人工臓器
 - 再生医学(Tissue Engineering)から生み出される再生臓器
 - あらゆる臓器を一つの細胞から構築する胚由来幹細胞(ES細胞)、人工多能性幹細胞(iPS細胞)による人工臓器

各種人工臓器

- 循環系
 - 人工心臓(弁)、人工心肺、人工血管
- 代謝系
 - 人工肝臓、人工膵臓
- 泌尿系
 - 人工腎臓、人工肛門、人工尿道
- 感覚系
 - 人工神経
- 構造系
 - 人工骨、人工皮膚

歴史的背景－1

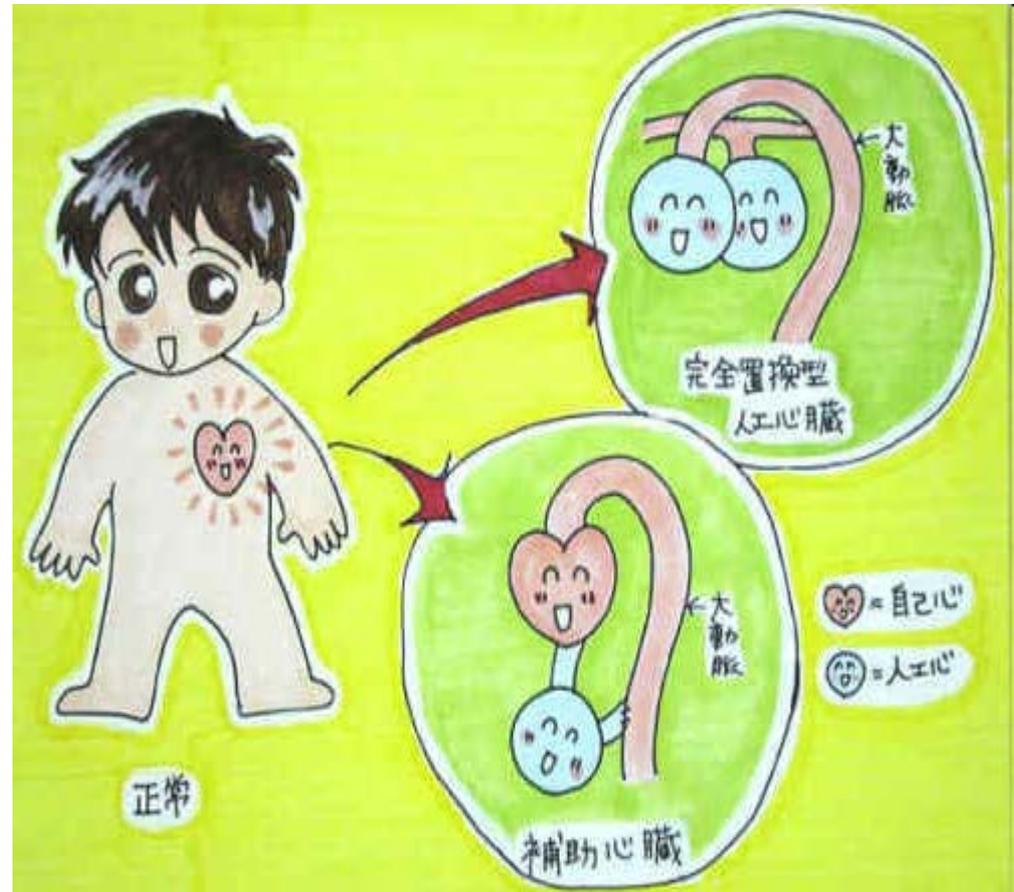
- 1940～1950年代、骨、腎臓、気管、尿道、血管、食道、腎臓、心臓など
 - － 生体や細胞に由来するものではなく、合成樹脂や金属など工業的アプローチで作りに出されたもの
 - － 生体の防御機能である免疫反応によって、人工臓器の機能が損なわれたり、人工血管では血栓が出来たり、腎臓などの内臓器官に関しては体外に設置するしかないなど、やむを得ず一時的な利用
 - － 材料工学の進展に伴い、生体との親和性に優れた材料が生まれ、体内への埋め込みのリスクが減少した

歴史的背景-2

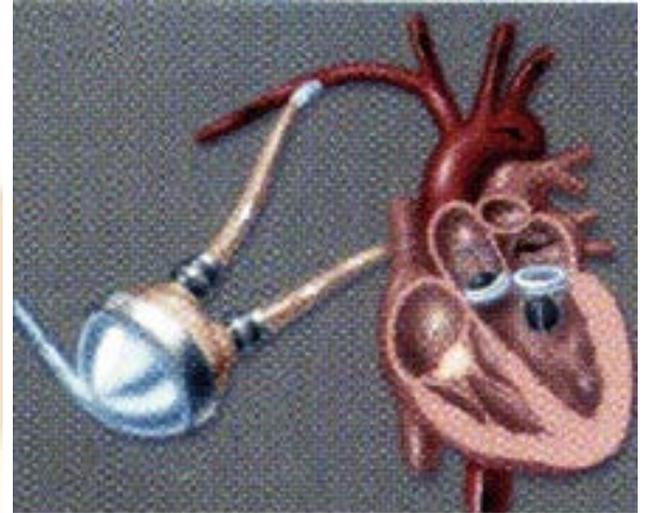
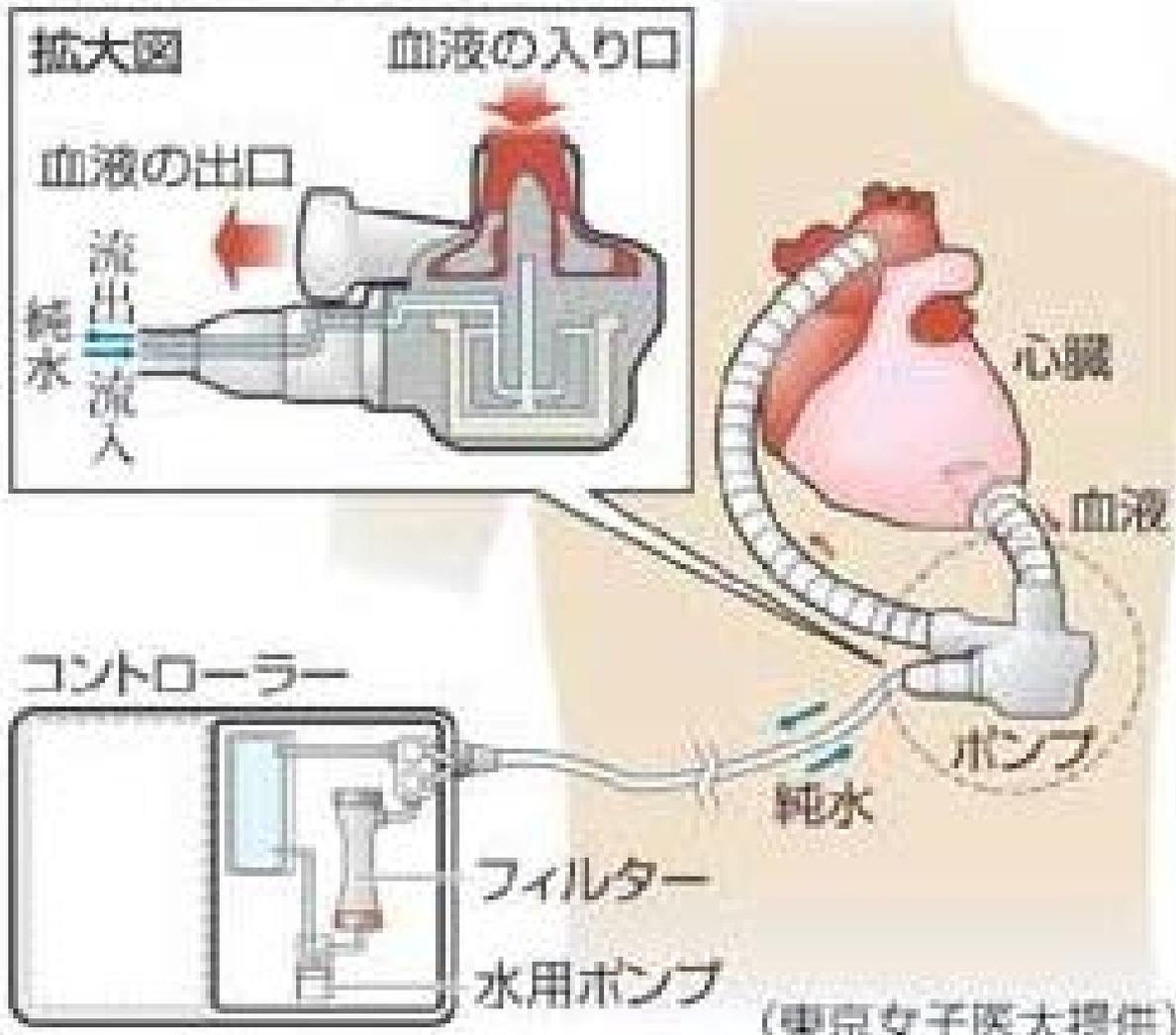
- 初期の埋め込み型人工骨はステンレスやアルミナ
 - 数年から10年に一度、外科的検査またはレントゲン検査によって、体内に埋め込まれた人工骨の状況を調べ取り替える等
- 1980年代にリン酸カルシウムという骨の材料に限りなく近い素材を用いて、また、人工骨の周りに生体組織が定着しやすいような工夫
- さらに、生体組織を直接用いる方法や生体組織を構成する細胞を直接用いることによって、臓器及び生体組織を再生する技術→組織生体工学
- 生物学上における発生学の知見から、細胞の機能分化を持つES細胞を用いた人工臓器の生成

人工心臓

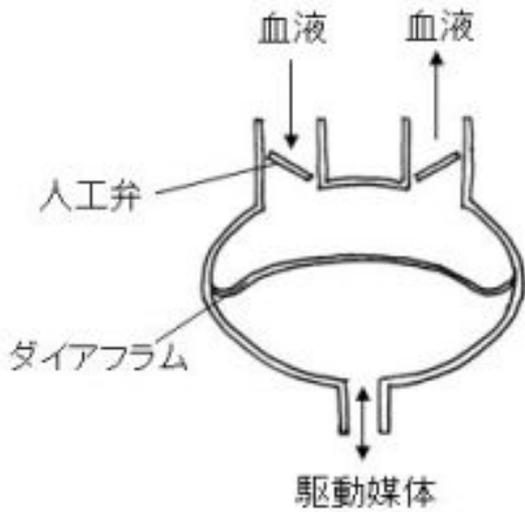
- 心臓のポンプ機能を機械的に代行させるもの
- 臨床応用に大きく2種類
 - 完全置換型人工心臓—自分の心臓(心室部分)を取り除いて、2つの血液ポンプに置換
 - 左心補助心臓—自分の心臓は残して、左心室から血液を脱血して大動脈へ返血する



人工心臓の仕組み

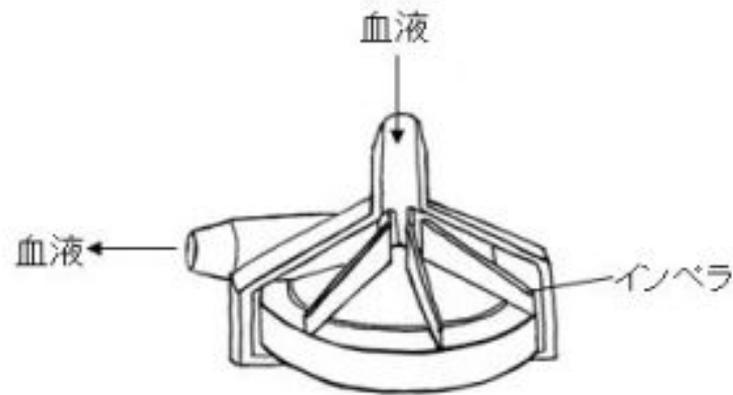


血液ポンプ

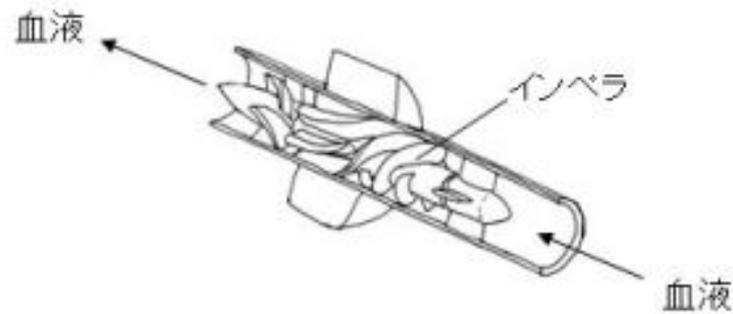
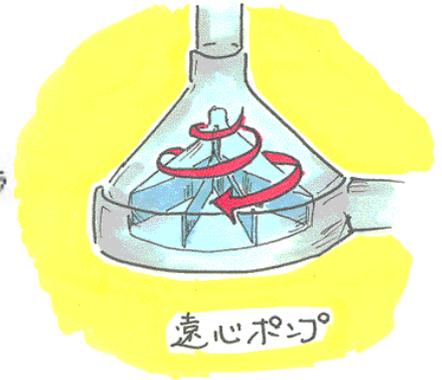


ダイアフラム型血液ポンプ

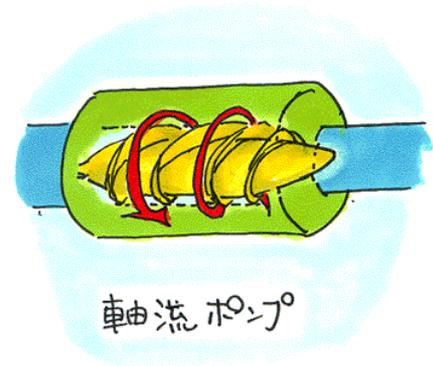
拍動流式



遠心ポンプ: 茨城大学磁気浮上ポンプ

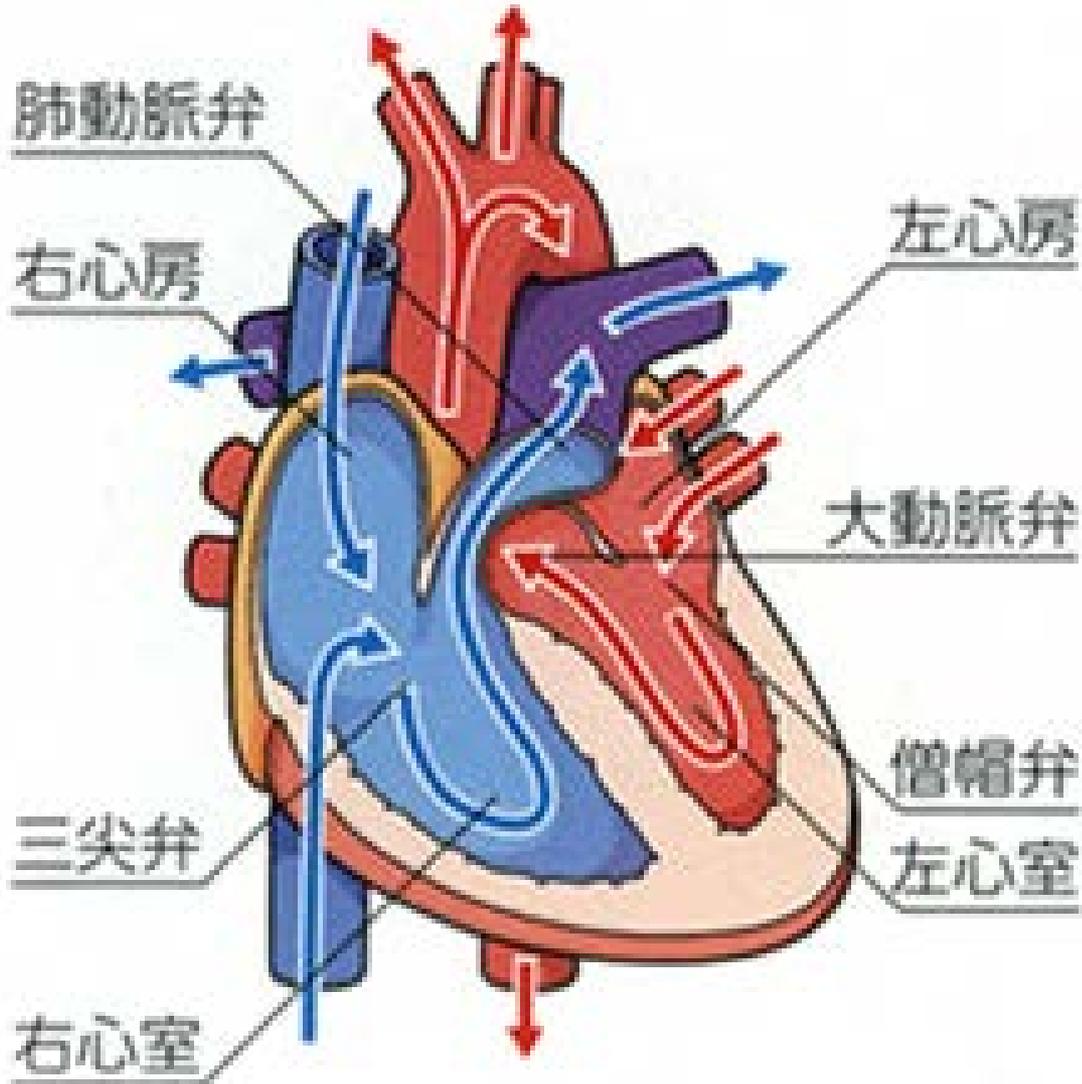


軸流ポンプ: MicroMed DeBakey VAD



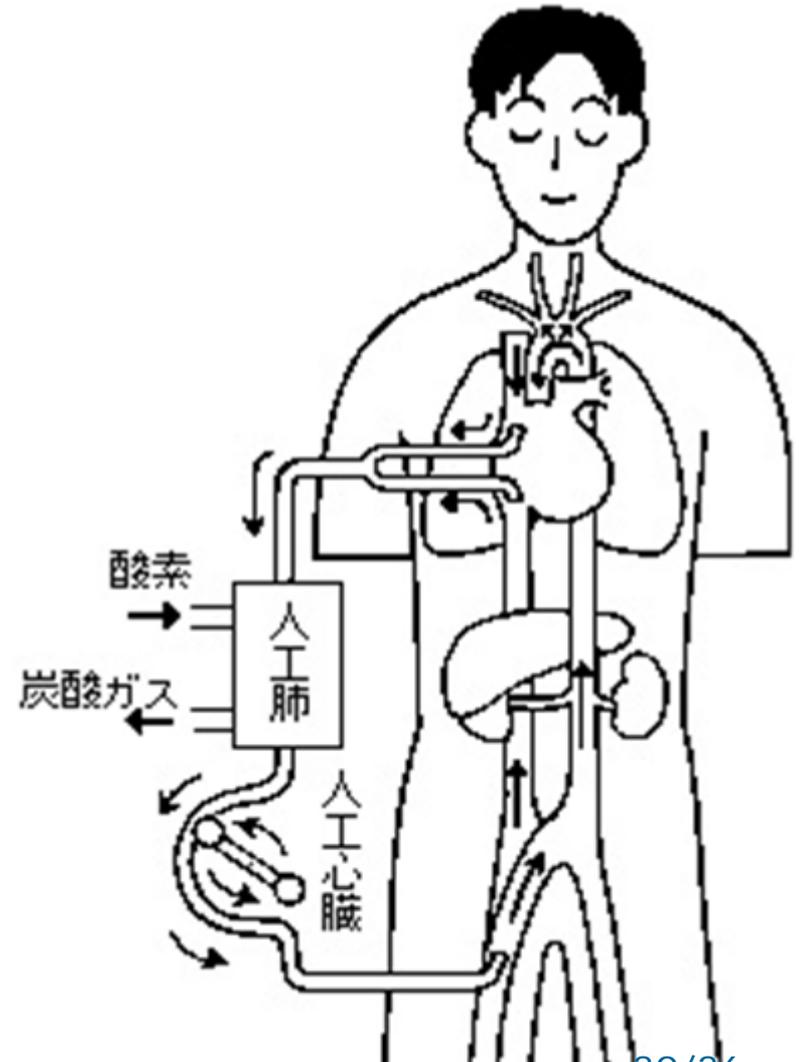
連続流式

人工心臟弁

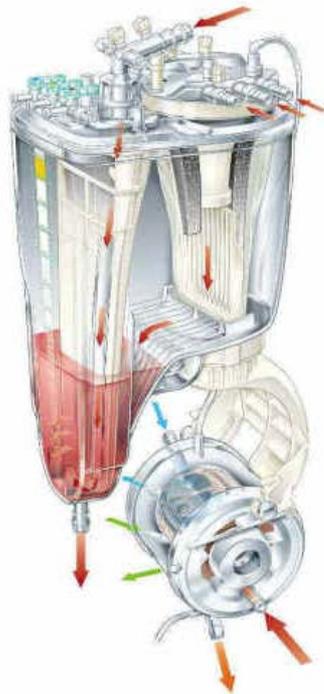
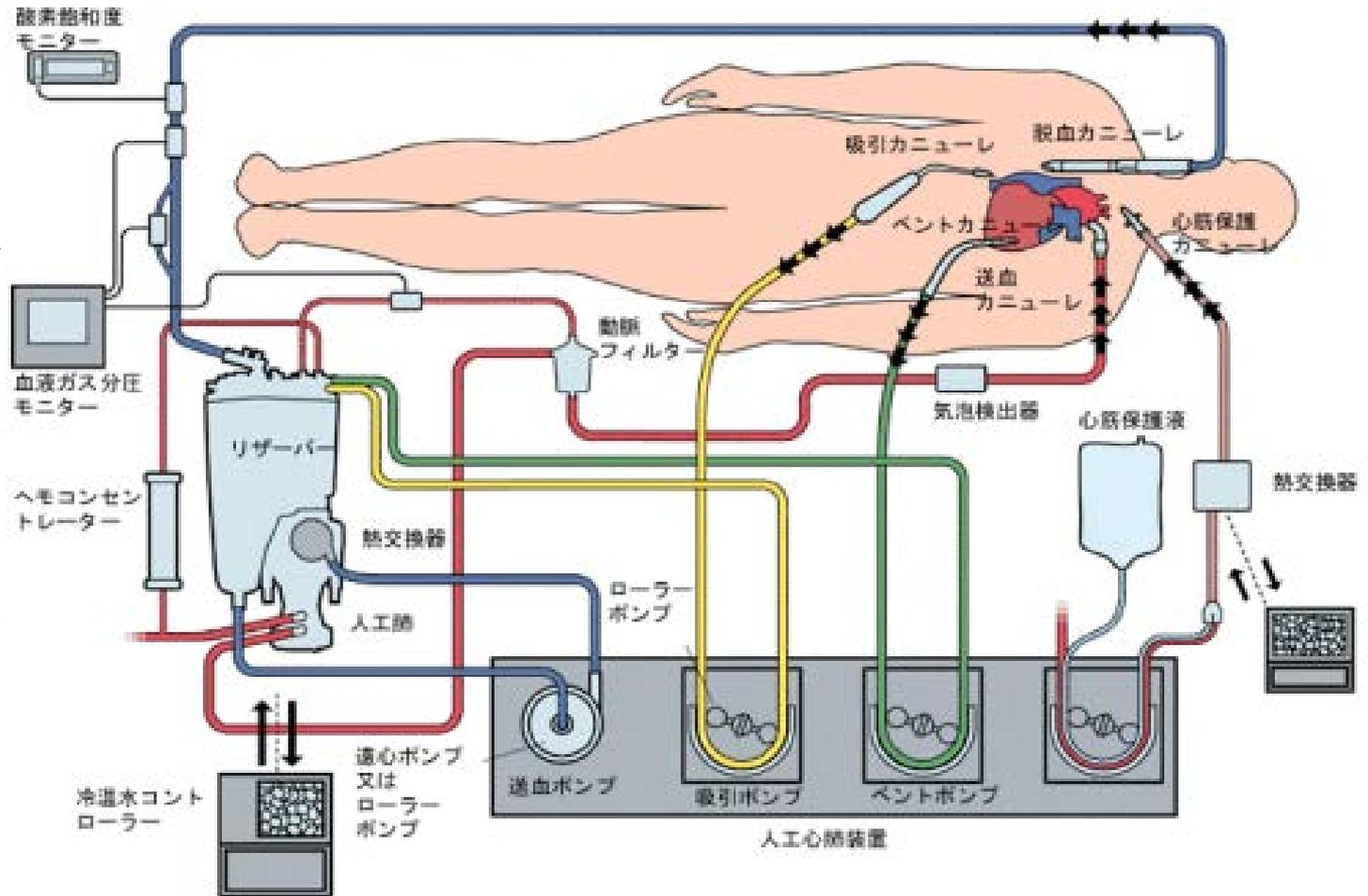


人工心肺

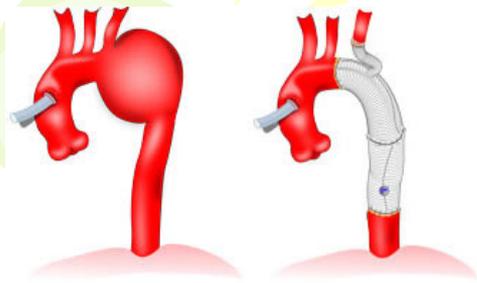
- 大静脈から静脈血を体外に導き、人工肺でガス交換を行い、動脈血にした後、人工心臓で大動脈の中へ送血する
- 手術中に心臓を止めて開いている時に、呼吸の必要もなくなる。人間の心臓と肺の代わり働く機械



人工心肺の仕組み

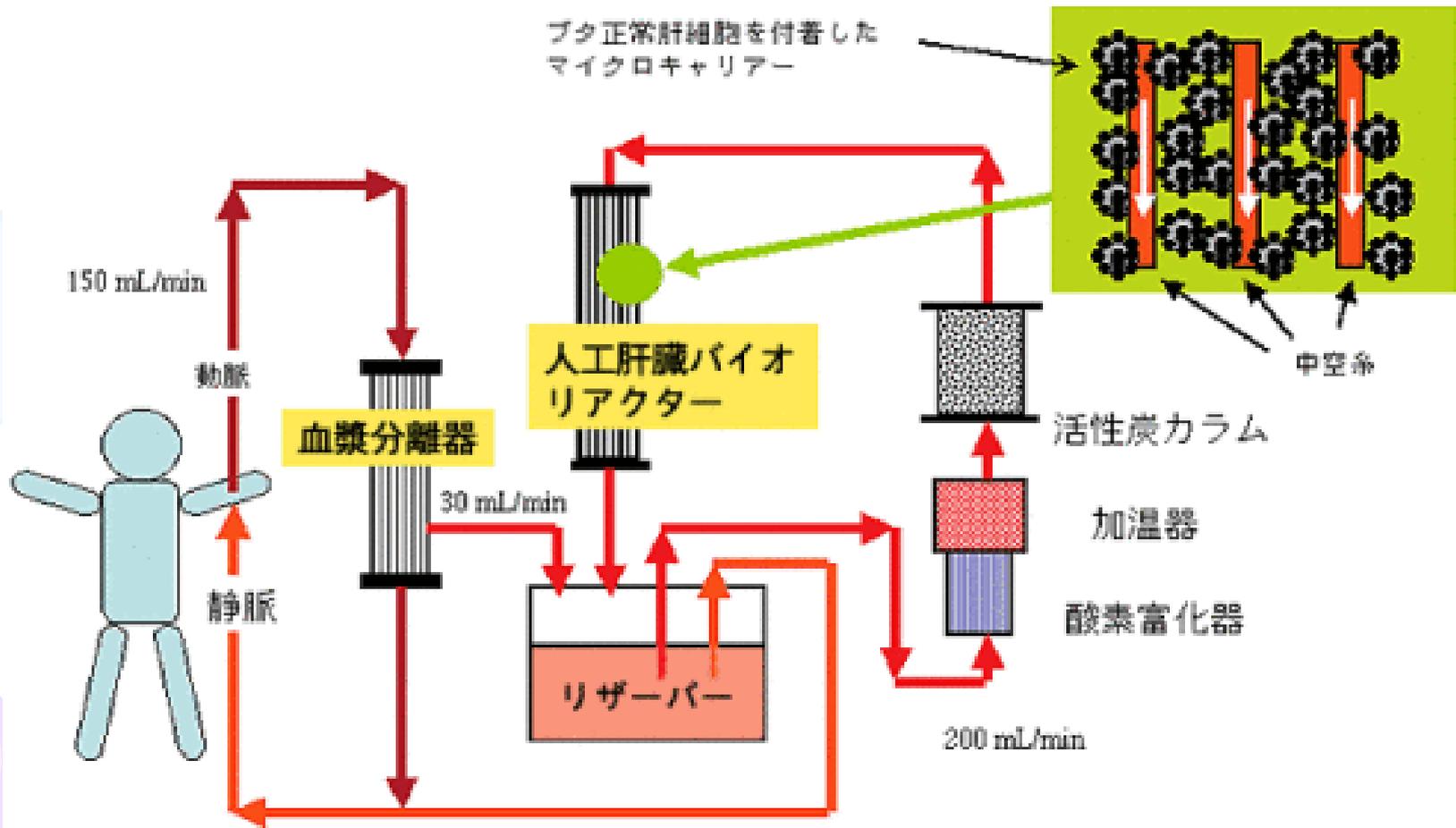


人工血管



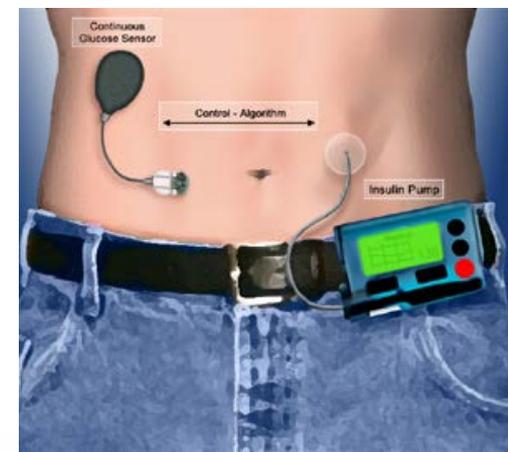
- 1952年世界初、Voorheesら人工物を縫いつけて、血管の代わりにする動物実験に成功
- 病的な生体血管を取り替え、バイパス(bypass)或いはシャント(shunt)するために、用いられる
- 内腔を血液が通り、形は管状で単純ですが、厳しい要求
 - 使いやすさ、血栓でつまらない、生体に適している、長く機能する、安全に使える
- 材質、構造と性質により分類
 - 布製(ポリエステル)、PTFE(ポリテトラフルオロエチレン)製、生体材料製、合成高分子材料製、人工素材と生体材料を組み合わせたハイブリッド
 - 組織工学を用いたもの、機能を持つもの、再生血管、培養人工血管、遺伝子導入した人工血管
 - スtentグラフトー人工血管に金属の支えのついたものを畳んで、カテーテルを使って動脈瘤の病変部に入れる

人工肝臓



Dr. Demetriouらの人工肝臓システム

人工膵臓

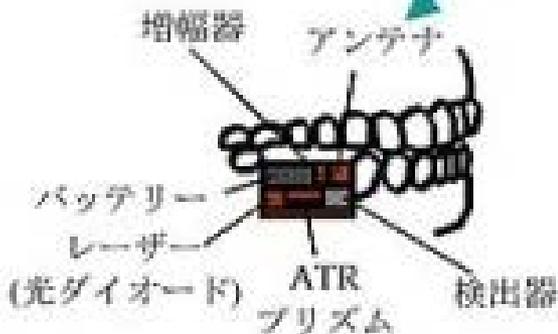


ブドウ糖センサ

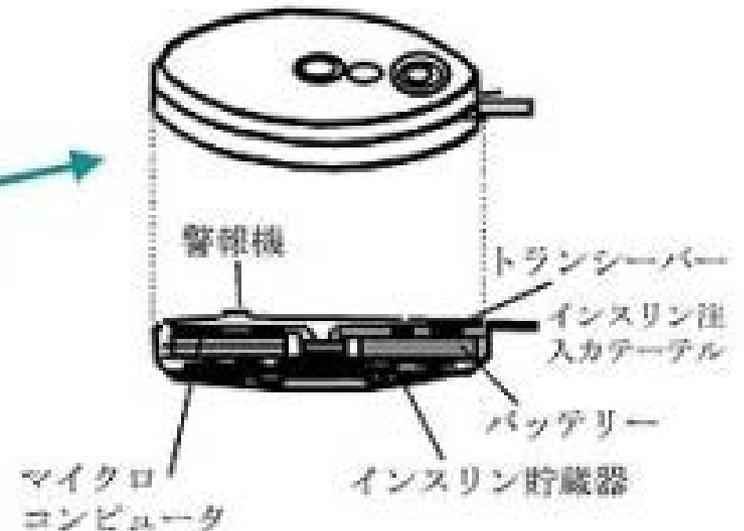
耳朧 (イヤリング)



口腔 (義歯)

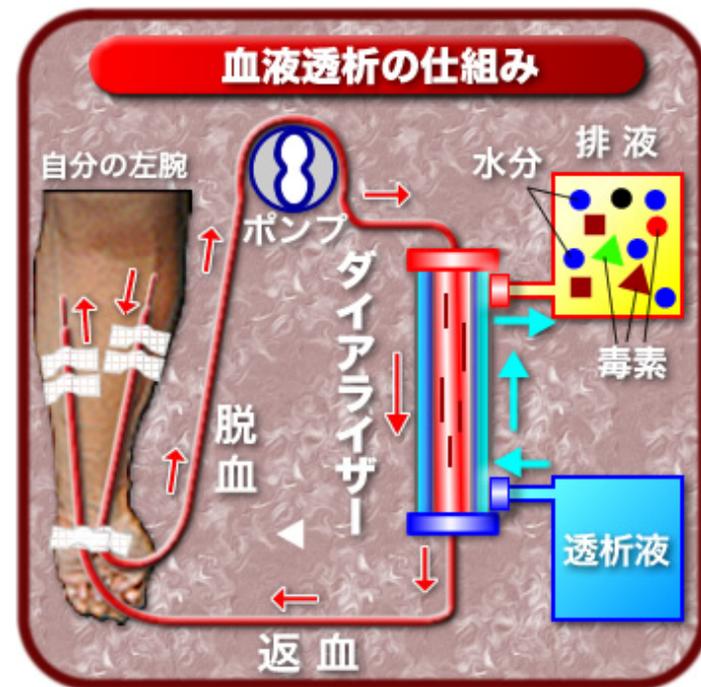


注入ポンプ

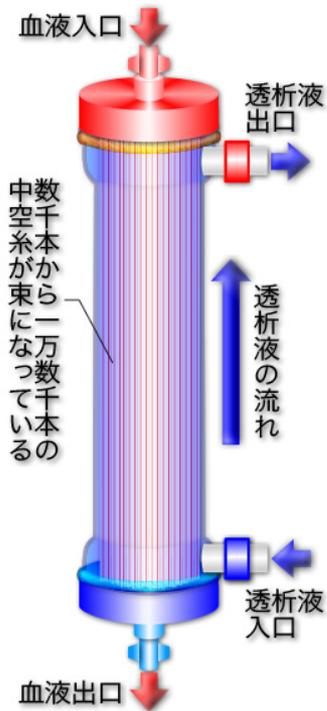


(Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory)

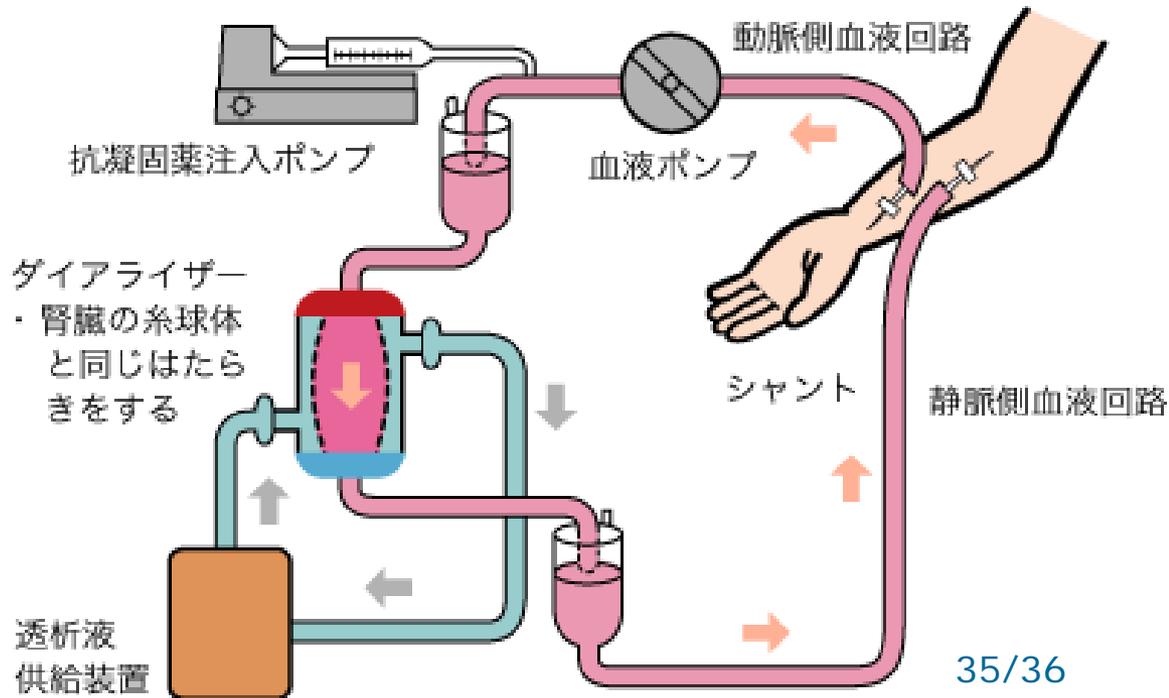
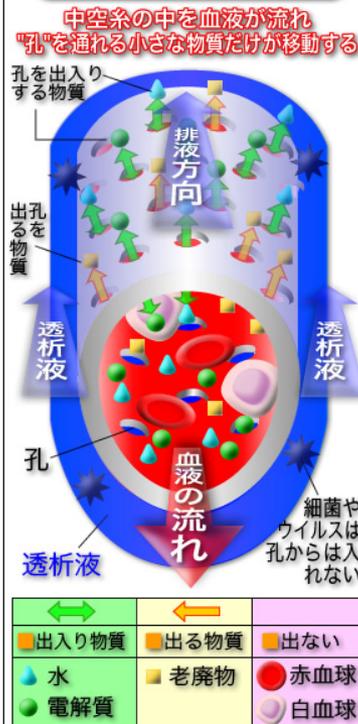
人工腎臓



ダイヤライザー(中空糸型)



透析膜(中空糸膜)



iPS細胞と「山中4因子」

