

心臓の構造と機能

ーハートマークの秘密と真実ー



心臓を表す記号として「ハートマーク」が一般的に用いられ、愛を表現するシンボルとされています。ハートマークは世界最古のモチーフと考えられており、その起源は諸説あります。古代エジプトの遺跡からハートマークをあしらった土器やミイラマスクが見つかっており、これらの模様はツタやブドウの葉をモチーフにしたものと考えられています。また、古代ギリシャで流通していた銅貨には現在では既に絶滅したシルフィウムという植物の果実の模様があしらわれていました。この果実の形がハートマークの形をしていたため、ハートマークの起源の一つと考えられています。

ハートマークが心臓や愛を意味するようになったのは、キリスト教の影響によります。キリストの愛の象徴である心臓「聖心（みこころ）」に対する信心「崇敬」、つまり聖心崇敬が11世紀前半のヨーロッパで広まりました。その頃の宗教画やステンドグラスにはハートマークが描かれたものが数多く残されており、イエス・キリストの聖心を表現したものと考えられています。こうしたことからハートマークが聖心のシンボルとなり、愛を伝える記号として広がっていききました。

15世紀後半のフランスで普及したトランプもまたハートマークが広められた要因となったと考えられています。トランプのハートは聖職者を表しています。もともとは聖杯の形をモチーフとしたものですが、聖杯が心臓を表すハートへと変化したと考えられています。

しかし、実際には心臓はハートマークとは似ても似つかない形です。また、心臓は人間の感情が宿る臓器であると考えられていたため、人は「心（ハート）から愛している。」とか「心（ハート）が引き裂かれそうだ。」と身もだえした

りしますが、心臓にはそんなことを言っている暇はありません。ただひたすら収縮と拡張を繰り返し、血液を全身に送り届けるポンプとしての役割をこなしているだけなのです。一つの仕事を文句も言わずに一生涯やり通すその姿はまさに頑固な職人で、甘っちょろい言葉や愚痴はこぼしません。その仕事量は驚異的で1日に約10万回、一生涯に約35億回もの拍動を繰り返し、血液を全身に送り続けるのです。

I. 心臓の働き

心臓は、胸部のほぼ中央に位置する器官で、成人ではその大きさは握りこぶし程度、その重さは250～350g程度です（図1）。心臓は全身の隅々まで血液

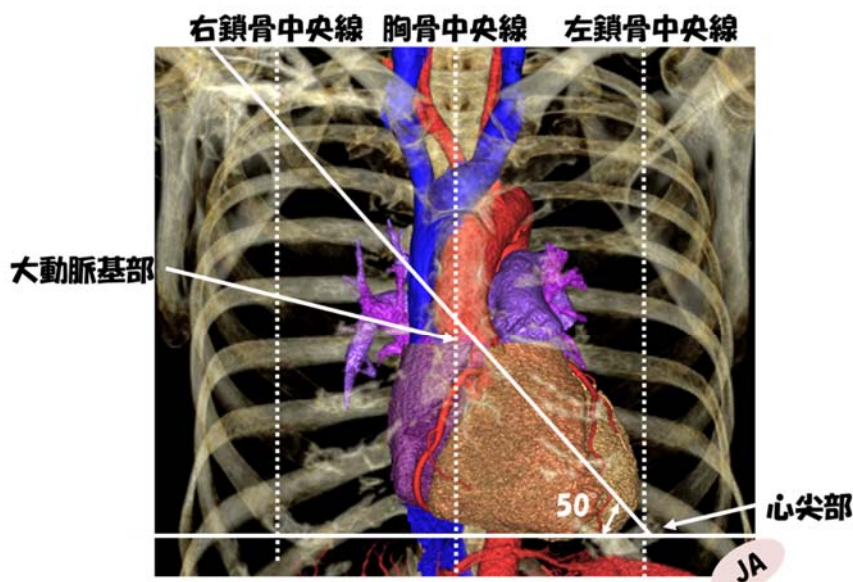


図1 心臓の位置

を送り届けるポンプの役割を担っており、その仕組みは石油ポンプを思い浮かべていただければ、理解しやすいと思います。石油ポンプは灯油缶やポリタンクから石油ストーブのタンクに灯油を移し替えるのに用いられるものです。ポンプの部分は心臓でいうと心室にあたり、ポンプの入り口と出口に一方向弁があるのも心臓と同様です。ポンプを手で圧迫するとポンプの入りの弁が閉じて出口の弁が開き、灯油がポンプ内から送り出されます。逆にポンプを圧迫する手を離すとポンプが膨らんで出口の弁が閉じて入り口の弁が開き、灯油がポンプ内に吸い込まれます（図2）。

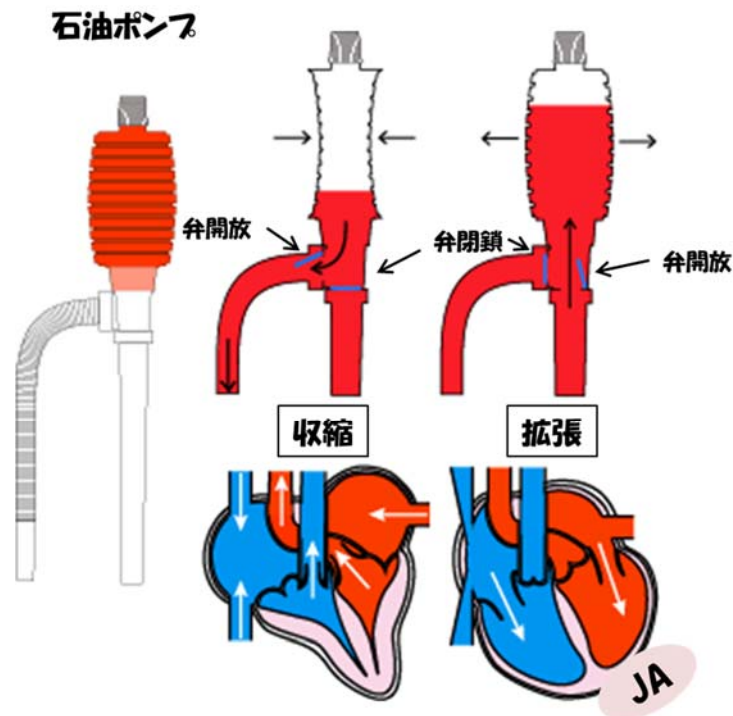


図2 心臓の仕組み

灯油ではなく血液を吸い込んで送り出す作業を繰り返しているのが心臓なのです。生きたポンプである心臓は、心筋という筋肉でできており、心筋が**収縮**して血液を送り出し、また、心筋が**拡張**して血液を心腔内に吸い込みます。血液が体を巡って戻ってくるのを**循環**といいます。心臓は収縮と拡張を繰り返して、血液を循環させる働きを担っています。血液は酸素や栄養を各臓器に送り届け、二酸化炭素や老廃物を回収する働きを担っています。

II. 肺循環と体循環

心臓は右心房、右心室（右心系）と左心房、左心室（左心系）の4つの部屋に分かれています。心房は心室が十分な血液を送り出すために一時的に血液を蓄えるタンクの役割と心室が血液を送り出す効率を良くするためのブースターの役割（実際に心房細動等の不整脈により心房の収縮が心室と同期しなくなると10～15%の心拍出の低下があると言われます。）を担っています。また、前述したようにそれぞれの心室の入り口と出口には一方向弁があり、血液が流れる方向が一方向となるように制御しています。全身から心臓に戻ってくる酸素の濃度（酸素飽和度）が低い血液を**静脈血**と言いますが、頭部および上肢から戻っ

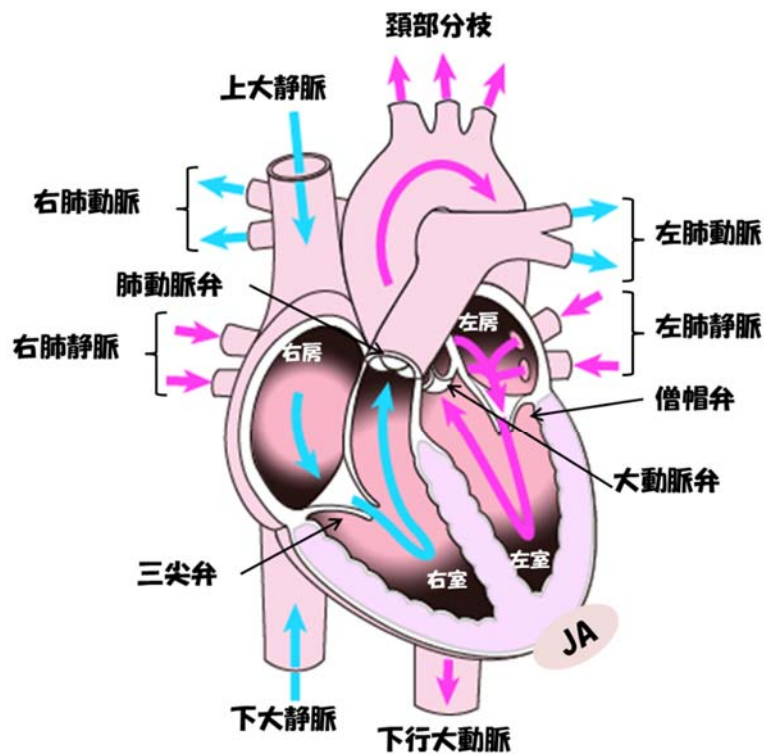


図3 心臓の構造と血流

てくる静脈血は上大静脈から、腹部および下肢から戻ってくる静脈血は下大静脈から右心房に流れ込みます。右心室が拡張すると静脈血は右心房から三尖弁を介して右心室に流れ込みます。右心室が拡張する後半（拡張末期）には右心房が収縮して、さらに静脈血が右心室に送り込まれます。続いて右心室が収縮すると、静脈血は肺動脈弁を介して主肺動脈に送り出されます。主肺動脈は左右に分かれて肺へと流れていきます。静脈血は肺で二酸化炭素を放出し、酸素を取り込んだ後（ガス交換）2本ずつある左右の肺静脈を介して左心房に流れ込みます。このように静脈血が肺動脈から肺に送られてガス交換が行われ、肺静脈から心臓にも戻ってくる流れを肺循環といい、右心系がポンプの役割を担っています。肺循環の循環時間は約3~4秒です。肺で酸素を受け取り、酸素飽和度が高くなった血液を動脈血と言います。左心室が拡張すると、左心房内の動脈血が僧帽弁を介して左心室に流れ込みます。左心室の拡張末期には、左心房が収縮して、動脈血がさらに左心室に送り込まれます。続いて左心室の収縮により、動脈血は大動脈弁を介して大動脈から全身に送り出されます（図3）。この動脈血を送り出す圧力が収縮期血圧です（高いほうの血圧のこと。ちなみに低いほうの血圧は拡張期血圧といいます）。大動脈から枝分かれした動脈は、さらに分枝を繰り返して毛細血管となり体の隅々まで動脈血が送り届けられます。

動脈血は酸素や栄養を各臓器に供給し、二酸化炭素や老廃物を受け取って右心房に戻ってきます。この流れを**体循環**といい、左心系がポンプの役割を行っています。体循環の循環時間は約 20 秒です。心臓は体循環と肺循環を担う 2 つのポンプ（ツインポンプ）で成り立っています。肺循環と体循環の血流量は正常な状態では等しく、心臓は両循環の調節を綿密に行っています（図 4）。

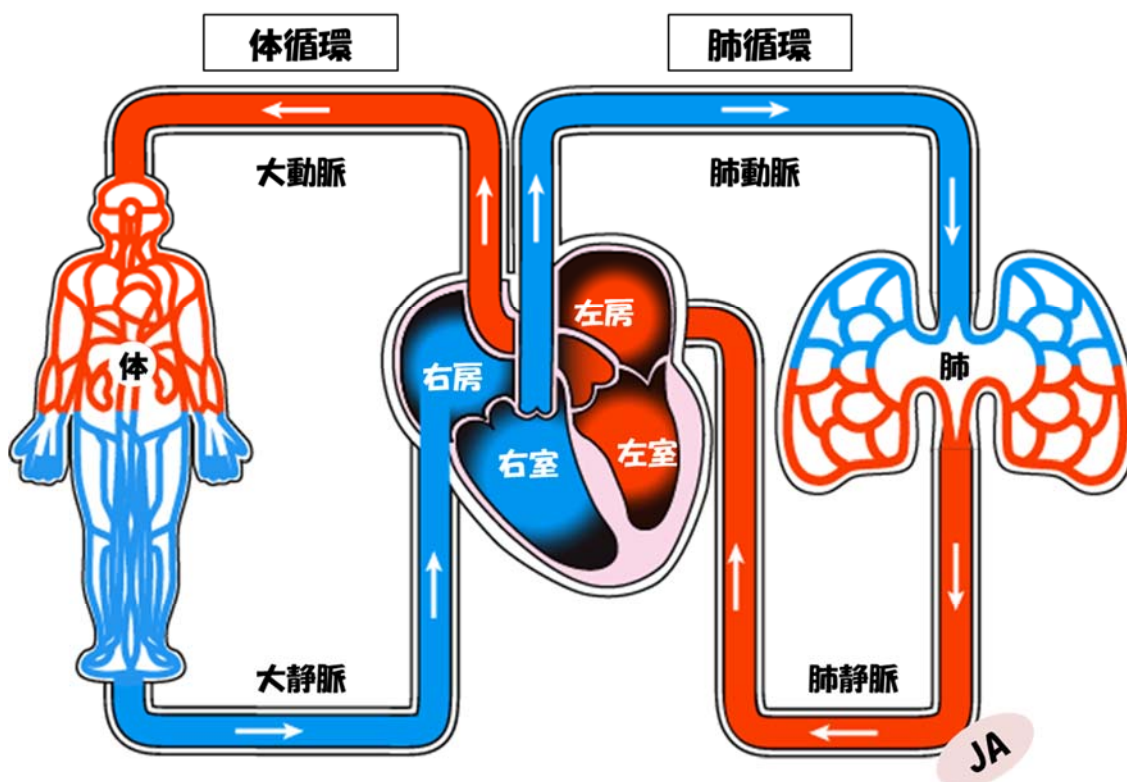


図 4 肺循環と体循環

Ⅲ. 心機能とは

心臓が、一定の時間内に送り出すことができる血液の量は心臓自体の持つポンプ能力を表します。心臓のポンプ能力は**心拍出量 (cardiac output: CO)** といい、「1 分間に心臓が送り出す血液量 (リットル)」で表されます。心臓のポンプ機能が低下して (つまり心拍出量が低下した場合)、各臓器が必要とする血液量が十分に供給できない状態を**心不全**と言います。

心臓が一回の収縮で送り出す血液量を**一回拍出量 (stroke volume: SV)** といい、また、心臓が一分間に拍動する回数を**心拍数 (heart rate: HR)** と言います。つまり、心臓のポンプ能力は、

$$\text{心拍出量 (リットル/分)} = \text{心拍数 (回/分)} \times \text{一回拍出量 (リットル)}$$

で算出されます。たとえば左心室が一回の収縮で80ミリリットルの血液を拍出し、心拍数が70回/分だったとすると、心拍出量は0.08リットル×70回/分で5.6リットル/分となり、つまり一分間に約6リットルの血液を送り出していることとなります。一日に心臓は(70回/分×60分×24時間)100800回、つまり約10万回の拍動を繰り返しているので、一日に約8000リットル(0.08リットル×10万回)もの血液を拍出している計算となります。

各臓器が必要とする血液の需要を十分に満たすために心拍出量は綿密に調整されています。心拍出量は心拍数、心収縮力、前負荷そして後負荷の4つの因子で決定されます。前負荷とは心臓の入り口の圧力のことで心室に戻ってくる血液の量を表します。前負荷が少なければ心室は空打ちになり、心拍出量は低下します。前負荷の増加で心拍出量は、ある程度まで増加します。次に、後負荷ですが、左心室の出口の抵抗のことをいい、簡単にいえば血圧のことです。ホースの先端をギュッと絞った状態では水が出にくくなりホース内の圧が上がりますね。これが後負荷の増加した状態、つまり高血圧の状態です。これらの4つの因子は中枢神経系を介する神経性調節および副腎等から分泌されるカテコラミンなどによるホルモン性調節により綿密に調節されています(図5)。

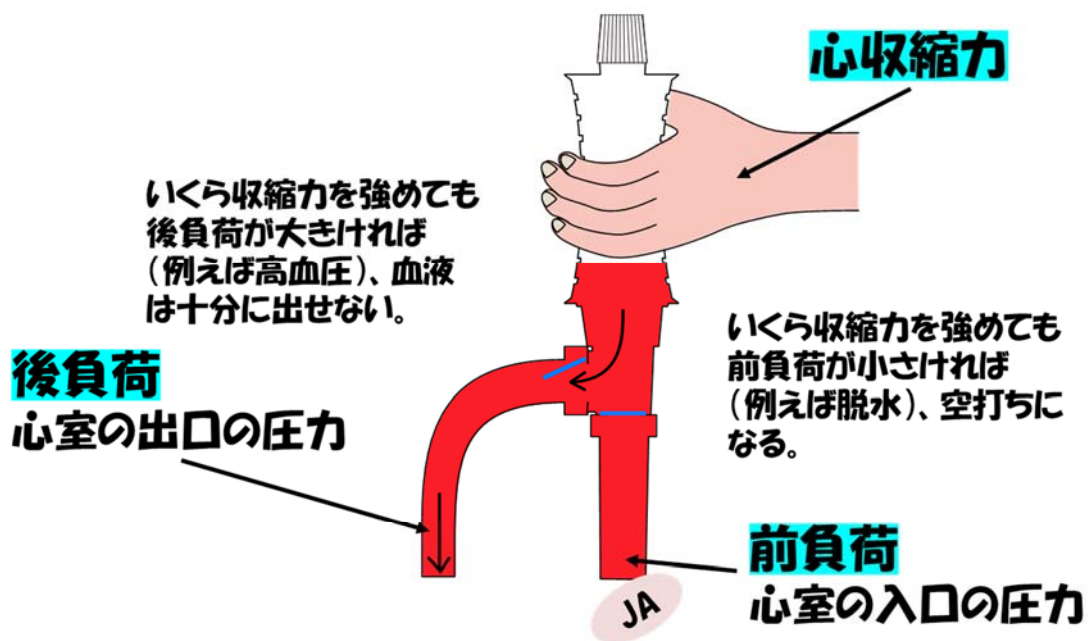


図5 1回拍出量を決定する3つの因子

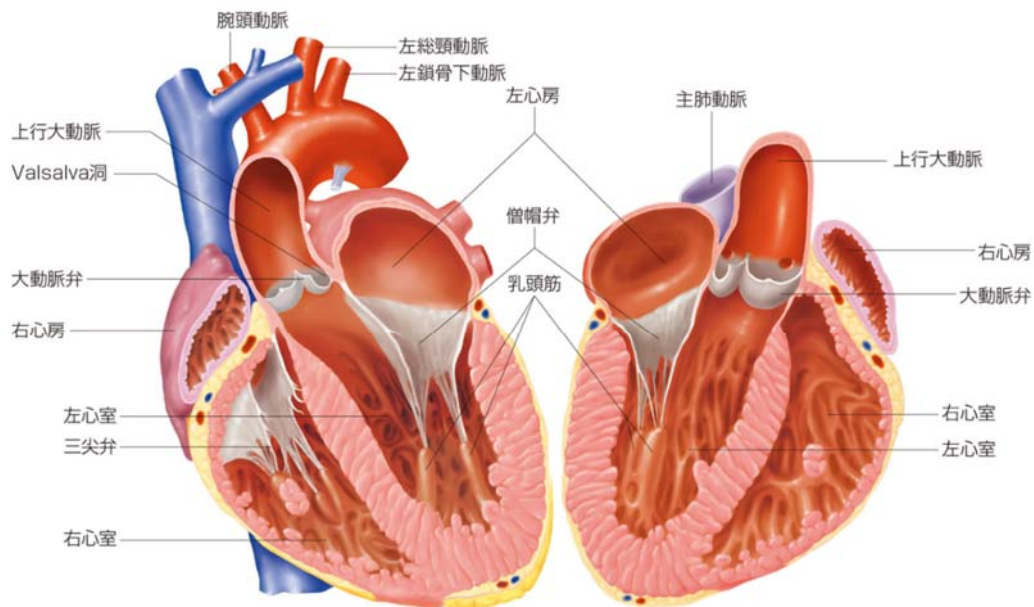
IV. 心臓を構成する5つの部分

前述したような機能を持つ心臓は5つの主要な部分から成り立っています。それは心筋、弁、冠状動脈、刺激伝導系、心膜です。

① 心筋

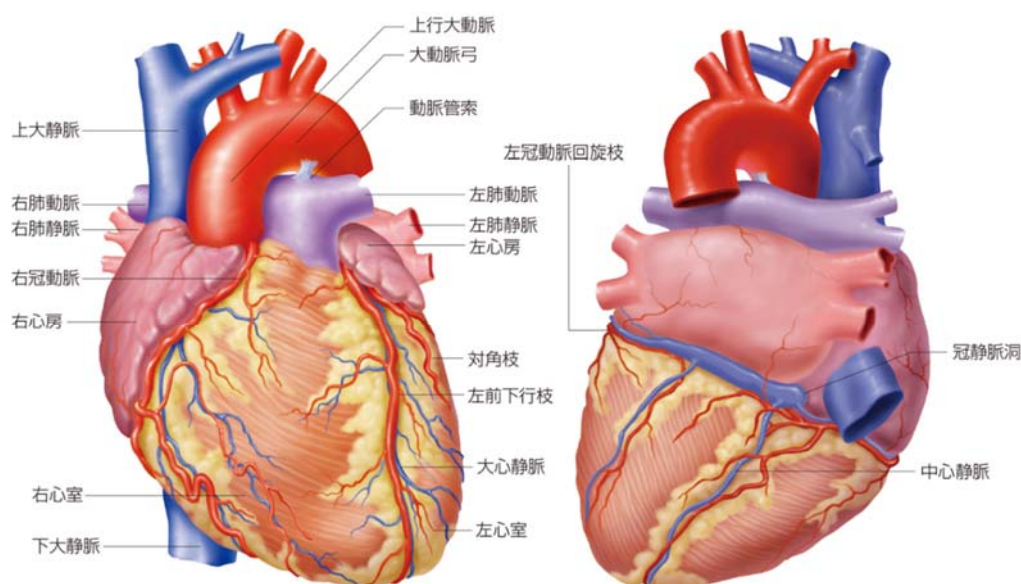
心臓は横紋筋の一種である心筋細胞でできています。横紋筋は骨格筋を構成する筋肉であり、自分の意志で動かすことができる筋肉（随意筋）であり運動神経により制御されています。しかし、心筋は自分の意志とは関係なく動く筋肉（不随意筋）である平滑筋に類似しています。つまり、横紋筋と平滑筋の中間の性質を持つ筋肉なのです。ちなみに平滑筋は自立神経により制御されています。心筋細胞は非常に電気抵抗の低い、境界板と呼ばれる細胞膜で連結されており、筋肉を収縮させる活動電位は瞬時に心臓全体に伝達され、あたかも一つの集合体として協調した動きをします。心臓のポンプ作用はこれら心筋が収縮したり、弛緩したりすることで行われているのです。

② 弁



心室の入り口と出口には薄い膜でできている4つの一方向弁があります。心室の入り口、つまり心房と心室の間にある弁を房室弁といい、左房と左室の間にある弁が僧帽弁、右房と右室の間にある弁が三尖弁です。また、心室の出口にある弁を動脈弁といい、左室の出口にある弁が大動脈弁、右室の出口にある弁が肺動脈弁です。これらの弁は血液が逆流せずの一方向に流れるように機能しています。つまり、心筋の収縮エネルギーを血液が流れるエネルギーに効率よく変換しているのです。

③ 冠（状）動脈



Copyright©2016 toaeiyo All Rights Reserved.

心臓は体のすべての器官と同様に酸素と栄養を必要とします。心（腔）内には大量の血液が流れていますが、心臓はこの心内を流れる血液から酸素や栄養を直接受け取ることはできません。心臓は、大動脈基部のバルサルバ洞から枝分かれする右冠（状）動脈と左冠（状）動脈に流れ込む動脈血から酸素と栄養が供給されています。左冠動脈は前下行枝や回旋枝に、右冠動脈は後下行枝や房室結節枝に枝分かれし、心臓全体に血液が供給されます。酸素と栄養を供給した後の血液は冠状静脈に流れ出し、心臓の後面にある冠静脈洞という太い静脈内に注がれ、右心房に流れ出します。この仕組みは冠循環と呼ばれます。冠動脈への血流は心臓が弛緩している拡張期に流れ込みます（図6）。

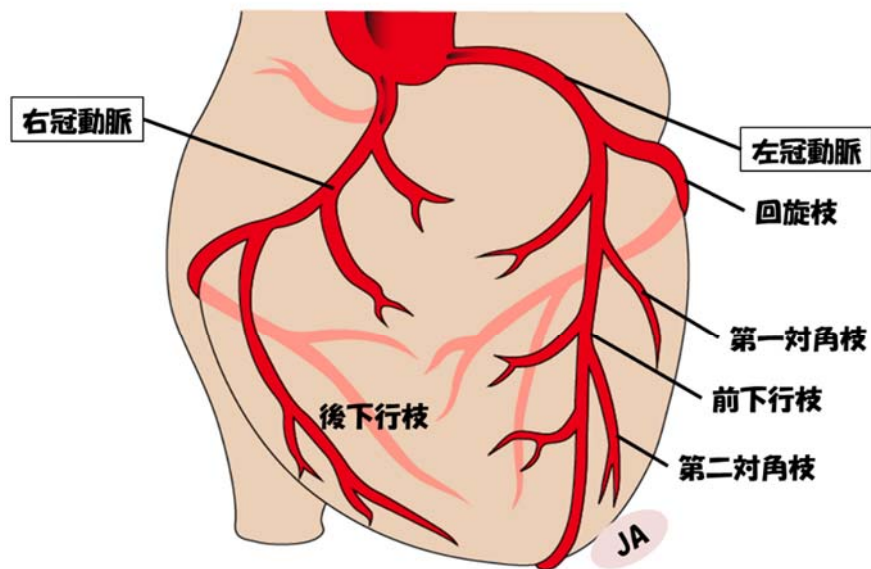


図6 冠動脈

④ 刺激伝導系

心臓の効率的なポンプ機能を高度に調整する指揮系統を刺激伝導系といい、周期的な電気刺激が、心臓内の電気回路（特殊心筋）に沿って伝達されます。この電気刺激は、心臓の指令部といえる洞(房)結節（上大静脈が右心房とつながる壁の内部にある組織）で発生し、房室結節、ヒス束、左右脚枝、プルキニエ繊維と伝えられ、心臓の規則正しい収縮と弛緩のリズムを作り出します。

電気刺激の速度、つまり心拍数は、自立神経系の交感神経系（心拍数を増加させる）と副交感神経系（心拍数を遅くする）により制御されます。交感神経系は、交感神経叢と呼ばれる神経のネットワークを形成し、エピネフリン（アドレナリン）とノルエピネフリン（ノルアドレナリン）というホルモンを神経伝達物質としています。副交感神経系は、アセチルコリンを神経伝達物質としています（図7）。

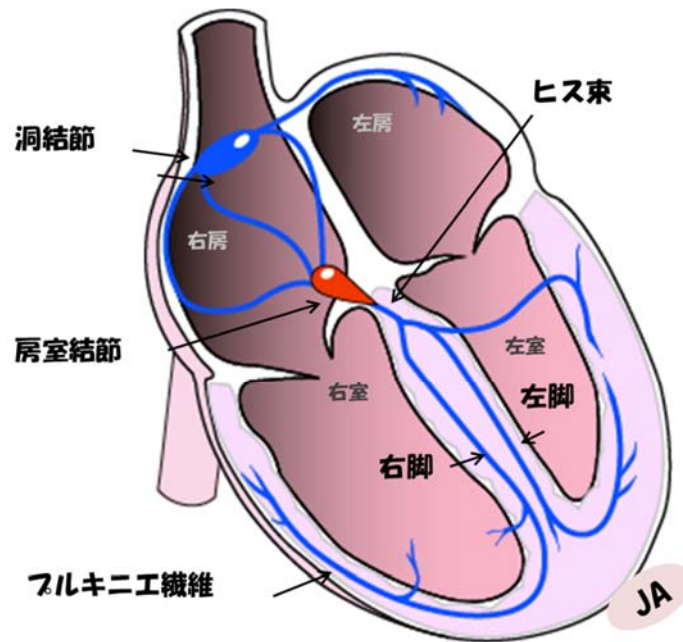


図 7 刺激伝導系

⑤ 心膜

心臓は強靱な結合組織でできた心膜と呼ばれる組織で包まれています。心膜により心臓は他の臓器と隔てられおり、縦隔や肺で細菌感染が生じた時に感染が心臓まで波及しないように防御し、また、心臓が過拡張しないように支えたりしています。心膜の壁側板と臓側板の間には数ミリリットルの心のお液が存在し、心臓の摩擦を軽減する、潤滑液の働きをしています。

東京医科大学八王子医療センター心臓血管外科
赤坂 純逸