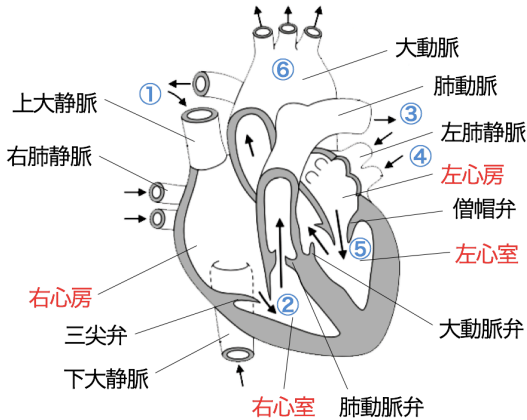


## S6 循環器系

### 心臓

#### 心臓の構造

心臓は、全身に血液を送るポンプとしての機能を有する握りこぶし程度の大きさの器官であり、その重量は、体重の約0.5%である。解剖学的には**右心房**、**右心室**、**左心房**、**左心室**の4つの部屋に分かれており、**隔壁中隔により左右に分かれ、弁により心房と心室に分かれる。**

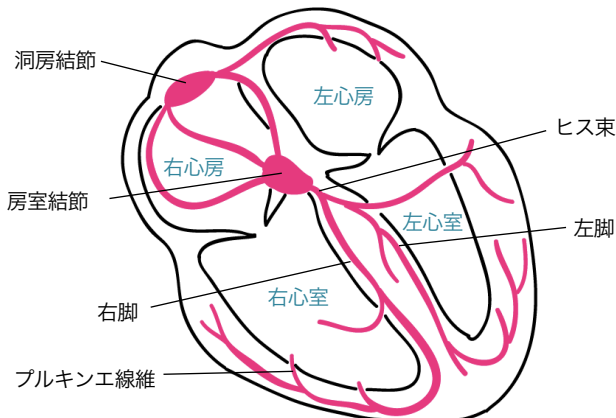


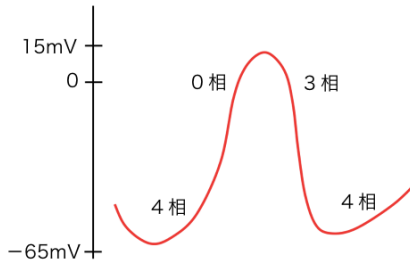
- ①：全組織から集まってきた血液が大静脈を介して右心房に送られる
- ②：三尖弁が開き、右心房から右心室に血液が送られる
- ③：肺動脈弁が開き、右心室から肺動脈を介して肺に血液が送られる
- ④：肺から肺静脈を介して左心房に血液が送られる
- ⑤：僧帽弁が開き、左心房から左心室に血液が送られる
- ⑥：大動脈を介して全身に血液が送られる

心臓には、**冠状血管が存在し、心臓全体に酸素、栄養を供給している。**多くの心疾患がこの冠血管に起因するものである。心臓を構成する筋肉は**横紋筋**であり、収縮・弛緩により血液を拍出する固有心筋と心臓のリズムの形成に関わる**特殊心筋**に分類される。特殊心筋は、**洞房結節**、**房室結節**、**ヒス束**、**プルキンエ線維**から構成されており、これらを総称して**刺激伝達系**という。

#### 心臓の興奮の発生と伝達

心臓は1分間に60~70回拍動しており、全身に血液を送り出している。通常、右心房に存在する**洞房結節**で発生した興奮が心房に伝わり、左右の心房が収縮する。その後、**房室結節**→**ヒス束**→**右脚**・**左脚**→**プルキンエ線維**の順に興奮が伝えられ、心室が収縮することで血液が送り出される。

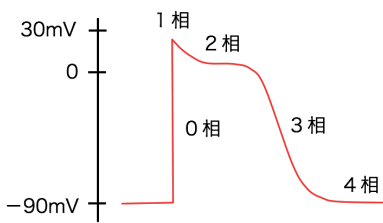




●洞房結節の活動電位

- 4相：ペースメーカー電流が緩徐な脱分極を起こす
- 0相：膜電位が閾値近くになると **Ca<sup>2+</sup>チャネルが順次開口**し、細胞内に Ca<sup>2+</sup>が流入することにより脱分極が認められる。
- 3相：脱分極後、**K<sup>+</sup>チャネルが活性化**されることにより再分極が認められる。
- 洞房結節では、**Na<sup>+</sup>チャネルが少なく**、活性化されないため、脱分極の立ち上がりは心室筋に比べ穏やかである

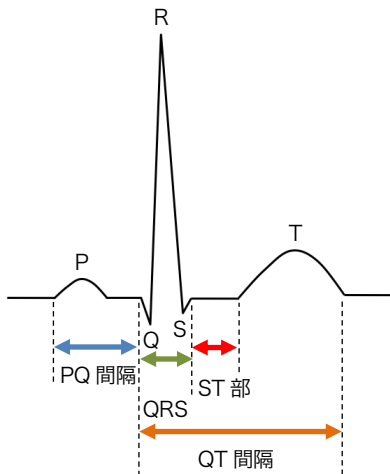
●心室筋の活動電位



- 0相（急速脱分極）  
**Na<sup>+</sup>チャネルが開口**し、細胞内に Na<sup>+</sup>が流入することにより脱分極が認められる
- 1相（早期急速再分極）  
Na<sup>+</sup>チャネルが閉鎖すると共に K<sup>+</sup>が細胞外に流出することによりわずかな再分極が認められる
- 2相（プラトー相）  
わずかな再分極の後、**Ca<sup>2+</sup>チャネルが開口**することで、電位が一定となる
- 3相：最終急速再分極  
Ca<sup>2+</sup>チャネルが閉鎖すると共に K<sup>+</sup>チャネルが開口し、細胞外に **K<sup>+</sup>が流出**することで再分極が認められる
- 4相：静止期  
再分極後、**Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase** や Na<sup>+</sup>-Ca<sup>2+</sup>交換系などにより細胞内外のイオン環境が元に戻る

活動電位の発生中には新たな刺激が加えられても活動電位を発生させることはできない。この期間を**不応期**という。それに対して、活動電位の終了する直前では、強い刺激により反応して活動電位が発生する時間（**相対的不応期**）が認められる。

●心電図



- P波**：心房が脱分極することで現れる  
(**心房の興奮**を表す)
- QRS波**：心室が脱分極することで現れる  
(**心室の興奮**を表す)
- T波**：心室の膜電位が再分極することで現れる  
(**心室の興奮からの回復**を表す)
- PQ間隔**：洞結節から房室結節へ興奮が伝わる過程を表す
- QT間隔**：心室の興奮の始まりから回復するまでを表す

## 心拍の調節

### 心周期、心拍出量

心周期とは、心臓の収縮から弛緩までの1回の活動のことであり、5つの段階に分かれる。

- ① 等容性収縮期：心室は収縮しているが、弁が開いていない時期
- ② 駆出期：動脈弁が開いて閉じるまでの時期
- ③ 等容性弛緩期：心室筋は弛緩しているが、房室弁が開いていない時期
- ④ 充満期：房室弁が開き、心房から心室に血液が流れ込む時期
- ⑤ 心房収縮期-心房拡張期：心房が収縮した後、穏やかに弛緩する時期

安静時において、左心室の拡張末期では約120mL、収縮期では約50mLであり、その差は約70mLであることから、心臓が1回拍動すると約70mLの血液が拍出される。心臓から拍出される血液量は、1分あたり約3~5Lであり、運動時には5倍程度まで増加することが可能である。

### 自律神経による調節

心臓は、交感神経、副交感神経により支配されている（拮抗的二重支配）

交感神経優位→心拍数、伝導速度、心収縮力：増加

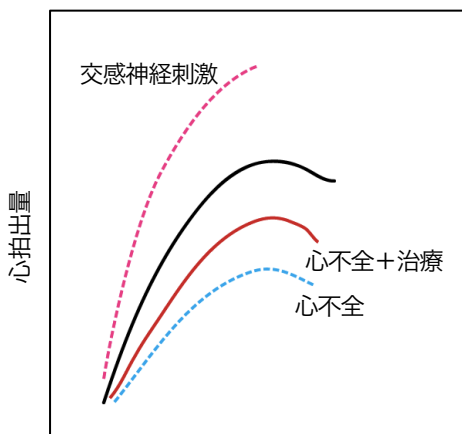
副交感神経優位→心拍数、伝導速度、心収縮力：低下

### 反射による調節

ベインブリッジ反射	流入した血液により心房に存在する伸展受容器が興奮することで反射的に心拍数や心収縮力が増加する反射 心房内の血液を速く送り出される
頸動脈洞反射 大動脈弓反射	頸動脈、大動脈の血圧上昇により頸動脈洞、大動脈弓の圧受容器が刺激される→求心性の舌咽神経、迷走神経を介して延髄の心臓中枢にインパルスが伝達される→遠心性迷走神経興奮することで心拍数、心収縮力が減少する
頸動脈小体反射 大動脈小体反射	血液中の酸素不足、二酸化炭素過剰により頸動脈小体、大動脈小体の化学受容器が刺激される→求心性の舌咽神経、迷走神経を介して延髄の心臓中枢が刺激（心拍数増大）、呼吸中枢が刺激（呼吸促進）される

### 心拍出量の調節（スターリングの法則）

心臓は、ある程度までは伸展するほど心収縮力が増大する傾向にある。これにより心臓は、静脈から血液の流入量に応じて血液を拍出することが可能である。ある程度までは心臓の容積の増大に伴って心拍出量は増大するが、ある一定量よりも心臓の容積が増大すると心拍出量は減少する。

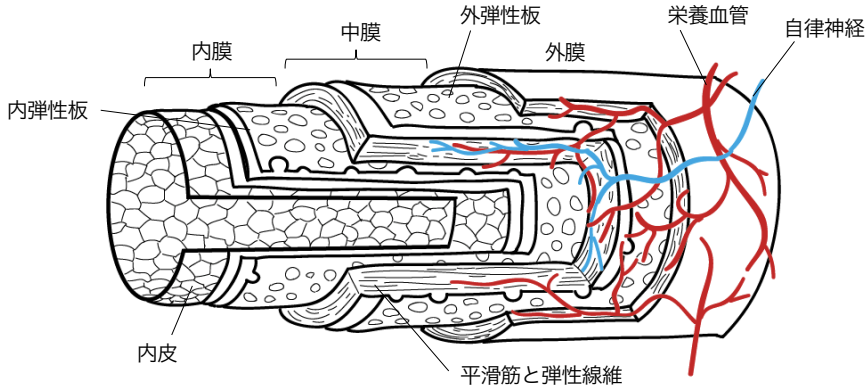


拡張末期容積

## 血管

### 血管壁の基本構造

血管壁は、基本的に**内膜**、**中膜**、**外膜**の3層から構成される



血管を支配する自律神経線維は外膜側から分布し、平滑筋層に終末部を形成する。また、太い血管では、栄養血管が組織中に分布している。

### 血管の種類

#### ●大動脈

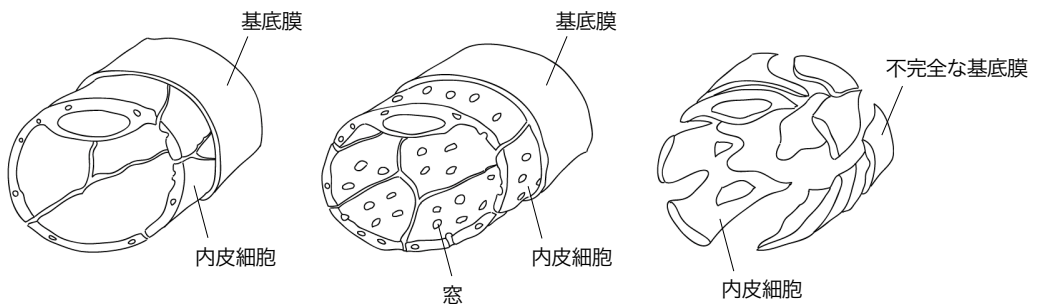
大動脈やその直接の分岐動脈は、中膜に存在する弾性組織が発達し、ゴムのような弾性を有するため、スムーズに末梢に血液を送り出すことが可能である。大動脈は枝分かれし、各組織に血液を供給している。

#### ●細動脈

末梢側の動脈を細動脈という。細動脈は中膜の平滑筋の比率が高く、自律神経（特に交感神経）が発達しているため、血圧や末梢組織へ送り出す血液量の調節を行っている。

#### ●毛細血管

細動脈から流れてきた血液は組織中に網目状に発達した毛細血管を流れる。毛細血管壁は血管の中で最も薄く、**基底膜と一層の内皮細胞のみ**で構成されている。毛細血管網における内腔表面積は広いいため、毛細血管では効率よく栄養分や老廃物、二酸化炭素や酸素などの交換が行われる。毛細血管は分布する組織により異なり、**連続性毛細血管**、**有窓毛細血管**、**洞様毛細血管**の3つに分類される。



部位	特徴
連続性毛細血管	外側は完全に基底膜により取り巻かれており、また、細胞間隙も少ないことから物質の透過性が低い 存在部位：骨格筋、心筋、肺胞、腸間膜、外分泌腺、皮膚、結合組織、脳、精巣
有窓毛細血管	内皮細胞は薄く、直径 100nm 以下の小さい孔が存在している 存在部位：腎臓の糸球体、内分泌腺、一部の外分泌腺、消化管粘膜、脳脈絡叢
洞様毛細血管	内皮細胞には直径 50nm~1 μm の孔があり、細胞間の結合が弱く細胞間隙が 1 μm を越える場所が存在する 透過性が高く、 <b>血漿タンパク質も透過することが可能</b> である 存在部位：骨髄、脾臓、肝臓

●静脈

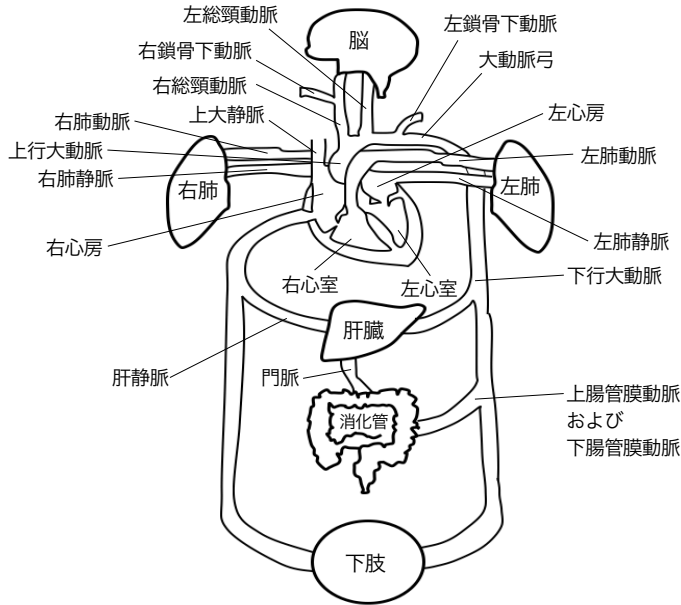
静脈の血管壁は、動脈に比べて薄く平滑筋も少ない。静脈は大量の血液を溜め込むことができるため、容量血管とも呼ばれ、全体の血液の約 75%が静脈を流れている。静脈には血液の逆流を防止する目的で内膜から成る弁が形成されている。また、静脈では弁の周囲の骨格筋収縮による静脈内圧の上昇により重力に逆らって血液を心臓に送達している。

血管の構成細胞と機能

	機能
血管内皮細胞	血液と血管組織を隔てる障壁として働く 毛細血管において、物質効果に関与する 情報伝達物質の産生・放出に関わり、血球細胞や平滑筋細胞の機能を調節している <b>【血管内皮細胞から放出される物質】</b> プロスタグランジン <sub>2</sub> 、NO、エンドセリン など
平滑筋	平滑筋は自律神経系によりコントロールされている 平滑筋は横紋筋に比べて収縮するのに時間を要するが、エネルギー効率が良く長時間収縮することが可能である
交感神経	動脈や細動脈は交感神経の支配を強く受けるが、静脈系は神経支配をほとんど受けない <b>アドレナリンα<sub>1</sub>受容体の刺激により持続的に興奮し、血管の緊張度を維持している</b> 交感神経による血管の制御は血圧の調節に寄与するとともに皮膚血管の収縮、拡張による体温調節にも関与している

## 循環

### ●体循環



**左心室からの動脈血（酸素と栄養に富む血液）が流れる動脈、細動脈と右心房に向かう静脈血（二酸化炭素や老廃物を含む血液）が流れる細静脈、静脈からなる循環路のことである。**

大動脈は上行大動脈、大動脈弓、下行大動脈に分かれ、上行大動脈基部からは**冠状動脈が分岐して心臓に栄養を供給**する。大動脈弓からは右総頸動脈と右鎖骨下動脈に分岐する腕頭動脈と左総頸動脈、左鎖骨下動脈が分岐しており、それらは脳、腕に血液を供給する。下行大動脈は横隔膜より上部の胸大動脈、下部の腹大動脈に分岐する。腹大動脈は、総腸骨動脈に分岐し下肢へ血液を供給する。胸大動脈、腹大動脈も分岐して、心臓、肺を除く胸腹部にある器官に血液を供給している。

**各組織より流れ出る静脈血は、最終的には下大静脈、上大静脈に流れ込み右心房に戻る。**

消化器系器官（胃・腸・膵臓など）や脾臓を通り抜けた血液は、上腸間膜静脈、下腸間膜静脈、脾静脈を通り門脈に集まった後、**肝臓に入り、肝臓の毛細血管内を流れる。**

肝臓の毛細血管内を流れた血液は、集まり肝静脈を流れ、その後下大静脈を通じて心臓に戻る。

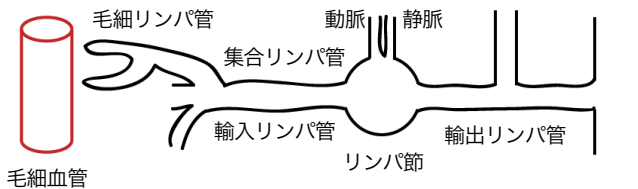
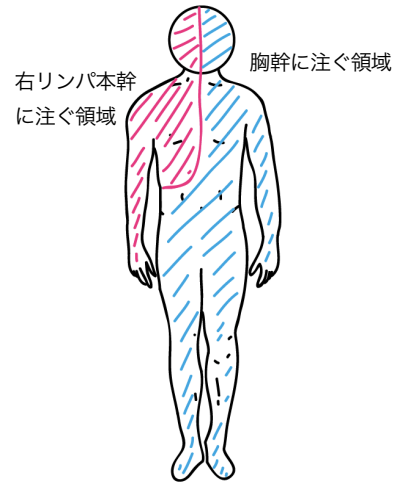
### ●肺循環

全身を循環して右心房に戻った血液（静脈血）は、右心室より肺動脈を経て肺に到達後ガス交換を行い、酸素を多く含んだ血液（動脈血）となり、肺静脈を経て、左心房に戻る。

## リンパ系

### 基本構造と循環

リンパ管は、毛細リンパ管からはじまりそれらが網目構造を形成しながら集合し、集合リンパ管となりリンパ節を経て静脈と合流する。毛細リンパ管は、毛細血管と同様に基底膜と一層の内皮構造からなり、その内皮間隙は血管よりも広い。リンパ管には弁が存在しリンパの逆流を防ぐのに役立っている。下半身からのリンパ管と左上半身からのリンパ管は胸管に集まり、左静脈角に合流する（胸管は、下半身と左上半身のリンパを集めるため、胸管には全リンパの約4分の3が流れる）。また、右上半身からのリンパ管は合流し右リンパ本幹となり、右静脈角に合流する。



血漿は血液の細胞以外の成分であり、毛細血管網で濾過されて組織中に移行し細胞間隙を満たす。細胞間隙に流出する流量は1日約20Lであり、毛細血管に再吸収される量が約16~18Lであることから、その差し引きした2~4Lはリンパ管に移行することにより、細胞間隙から除かれリンパとなる。組織液がリンパ管にうまく移行せず滞留・蓄積すると、最終的には浮腫を誘発する。

リンパ管の内皮細胞の間隙は広く、タンパク質やがん細胞、病原微生物なども流入するため、リンパ管は組織液の排水管としての役割を担っている。

リンパ液の輸送には、動脈の拍動、呼吸運動、骨格筋の運動、消化管運動などによる圧迫、反発力により行われる（受動的輸送）。また、管壁が収縮してリンパを目的の方向に駆動する（能動的輸送）。

### リンパの機能

リンパ節はダイズ大の器官で、リンパ管の途中に存在し、リンパにリンパ球（B細胞、T細胞、NK細胞）を供給するとともに流入してきた病原微生物や異物をマクロファージにより処理することで免疫機能に関わる。

リンパ球の大部分は、胸腺、脾臓、リンパ節において骨髄由来の前駆細胞から作られる。体内のリンパ球のほとんどはリンパ管系に存在し、B細胞やT細胞はリンパ節の皮質部周辺に存在しており、免疫機能の中核的な役割を果たす。

