

循環器系の解剖生理学

©kokurenの自習室



目次

- はじめに：循環器系の概要
- 心臓の構造と位置
 - 全体像、位置、心膜
 - 心房と心室（構造、壁厚、位置関係）
 - 心臓弁（房室弁、半月弁）
- 冠状循環
 - 冠状動脈（起始、主要分枝、走行）
 - 冠状動脈の灌流域
 - 冠状静脈と冠静脈洞
 - 冠血流の生理学的特徴
- 刺激伝導系
 - 構成要素と位置
 - 興奮伝導の経路と速度
- 大血管と主要な血管
 - 大動脈（区分と主要分枝）
 - 肺動脈と肺静脈
 - 大静脈系（上大静脈、下大静脈、奇静脈など）
 - 頸部・腹部・骨盤・下肢の血管
 - 血管壁の構造
- 循環生理
 - 心周期と心機能（心拍出量、前負荷、後負荷）
 - 血圧（規定因子、生理的変動、加齢変化）
 - 心筋の代謝と酸素消費
 - 血管作動性物質
- 加齢に伴う変化
 - 心臓の形態・機能変化
 - 血管の変化
- 胎児循環と出生後の変化
 - 胎児循環の特徴（シャント経路）
 - 酸素飽和度の分布
 - 出生に伴う循環系の劇的変化
- まとめ



1. はじめに：循環器系の概要

- 循環器系とは？
 - 心臓、血管（動脈、静脈、毛細血管）、リンパ管から構成。
 - 血液循環により酸素、栄養素、ホルモン等を供給し、老廃物を回収。
- 主な構成要素：
 - 心臓: ポンプ機能。
 - 動脈: 心臓から血液を運び出す。
 - 静脈: 血液を心臓へ戻す。
 - 毛細血管: 物質交換の場。
- 学習のポイント：
 - 構造（解剖）と機能（生理）の関連付けが重要。
 - 心臓の部屋・弁の位置、主要血管の走行・分岐、血流特性の把握。



2.1 心臓の構造と位置 - 全体像、位置、心膜

- 位置:
 - 胸腔内、縦隔に位置し、やや左に偏位。
 - 心尖部は左下方（左乳頭方向）。
 - 前面（胸肋面）：主に右心室が胸骨後面と接する。
 - 後面（心底部）：主に左心房が食道と接する。
- 心膜:
 - 心臓を包む二重の膜（臓側・壁側）。
 - 心膜腔に少量の心膜液（生理的: <50mL）が存在し、拍動を円滑化。



2.2 心臓の構造と位置 - 心房と心室

- 構造: 4つの部屋（右房、右室、左房、左室）。
- 位置関係:
 - 右心系（右房・右室）：前方。
 - 左心系（左房・左室）：後方。
 - 右房: 左房の右前方。大静脈、冠静脈洞開口。
 - 右室: 左室の右前方。心臓前面の大部分。
 - 左房: 最も後方。肺静脈開口。
 - 左室: 左後下方。
- 心臓壁:
 - 心内膜、心筋層、心外膜の3層。
 - 心筋層の厚さ: 左室 >> 右室 > 心房。
- 中隔:
 - 心房中隔: 左右心房間。
 - 心室中隔: 左右心室間（厚い筋性部と薄い膜様部）。



2.3 心臓の構造と位置 - 心臓弁

- 役割: 血液逆流防止、一方向性の流れを維持。
- 房室弁 (AV弁):
 - 三尖弁: 右房-右室間 (3尖)。
 - 僧帽弁: 左房-左室間 (2尖)。
 - 弁尖に腱索が付着し、乳頭筋に連結。心室収縮時に弁の反転防止。
- 半月弁:
 - 肺動脈弁: 右室-肺動脈間。
 - 大動脈弁: 左室-大動脈間。
 - 3つの半月状弁尖。腱索・乳頭筋なし。
 - 大動脈弁基部にバルサルバ洞 (冠動脈起始部)。
- 位置関係:
 - 三尖弁は僧帽弁より前方・右側。
 - 肺動脈弁は大動脈弁より前方・左側。
 - 僧帽弁前尖と大動脈弁は線維性に連続 (心筋介在せず)。



3.1 冠状循環 - 冠状動脈 (起始、主要分枝、走行)

- 役割: 心筋への酸素・栄養供給。
- 起始: 上行大動脈基部、バルサルバ洞から左右1本ずつ。
 - 右冠状動脈 (RCA): 右 (前方) バルサルバ洞。
 - 左冠状動脈 (LCA): 左 (後方) バルサルバ洞。
- 左冠状動脈 (LCA):
 - 主幹部 (LMT): 短く、すぐ分岐。
 - 前下行枝 (LAD): 前室間溝を下行。
 - 回旋枝 (LCX): 左冠状溝 (房室間溝) を後方へ。
- 右冠状動脈 (RCA):
 - 右冠状溝を後方へ。多くは後室間溝を後下行枝 (PD) として下行。



3.2 冠状循環 - 冠状動脈の灌流域

- 左前下行枝 (LAD):
 - 左室前壁、心室中隔前部2/3、心尖部。
- 左回旋枝 (LCX):
 - 左室側壁、左室後壁、左房。
- 右冠状動脈 (RCA):
 - 右房、右室、左室下壁、心室中隔後部1/3。
 - 洞結節 (約60%)、房室結節 (約90%)。
- 優位性 (Dominance):
 - 後下行枝 (PD) の起始で判断。
 - 右優位 (RCAからPD): 約85%。
 - 左優位 (LCXからPD): 約15%。



3.3 冠状循環 - 冠状静脈と冠静脈洞

- 冠状静脈: 心筋の静脈血を集める。多くは冠動脈に伴走。
 - 大心臓静脈 (LADに伴走)。
 - 中心臓静脈 (PDに伴走)。
 - 小心臓静脈 (RCAに伴走)。
- 冠静脈洞 (Coronary Sinus):
 - 心臓後面、冠状溝にある太い静脈管。
 - 上記静脈等が合流。
 - 心臓静脈血の大部分を集め、右心房に開口。



3.4 冠状循環 - 冠血流の生理学的特徴

- 拡張期優位の血流 (特に左冠動脈):
 - 収縮期: 心筋圧迫で血流↓。
 - 拡張期: 心筋弛緩で血流↑。
- 高い酸素摂取率:
 - 安静時から多くの酸素を消費。
 - 動静脈酸素較差が大きい (60-70%)。
 - 酸素需要増は主に血流量増加で対応。
- 自己調節能 (Autoregulation): 血圧変動でも血流を一定に保つ。
- 安静時冠血流量: 心拍出量の約5%。
- 内膜側の虚血リスク: 心内圧の影響を受けやすく、虚血に陥りやすい。



4.1 刺激伝導系 - 構成要素と位置

- 役割: 心臓の規則的な収縮リズム生成と伝達。
- 構成要素と位置:
 - 洞房結節 (SA node): ペースメーカー。右房上部 (上大静脈開口部付近)。
 - 房室結節 (AV node): 心房-心室の中継点。伝導遅延。右房下部 (心房中隔)。
 - ヒス束 (Bundle of His): AV nodeから心室中隔へ。
 - 右脚 / 左脚: ヒス束が心室中隔内で分岐。
 - プルキンエ線維: 脚末端が心内膜下に広がり、心室筋へ。



4.2 刺激伝導系 - 興奮伝導の経路と速度

- 興奮伝導の順序:
 - 洞結節 → 心房筋 → 房室結節 (遅延) → ヒス束 → 左右脚 → プルキンエ線維 → 心室筋。
- 伝導速度:
 - 心房筋: 0.5-1.0 m/秒。
 - 房室結節: 最も遅い (約 0.05 m/秒)。
 - ヒス束: 1.5-2.0 m/秒。
 - 脚・プルキンエ線維: 最も速い (2.0-4.0 m/秒)。
 - 心室筋: 0.4-1.0 m/秒。
- 副伝導路 (例: Kent束): 房室結節をバイパスする異常経路。



5.1 大血管と主要な血管 - 大動脈

- 区分: 上行大動脈、大動脈弓、下行大動脈 (胸大動脈、腹大動脈)。
- 主要な分枝:
 - 上行大動脈: 左右冠状動脈。
 - 大動脈弓: (右から) 腕頭動脈、左総頸動脈、左鎖骨下動脈。
 - 胸大動脈: 気管支動脈、食道動脈、肋間動脈など。
 - 腹大動脈: 腹腔動脈、上腸間膜動脈、腎動脈、卵巣/精巣動脈、下腸間膜動脈など。
 - 最終分岐: 左右総腸骨動脈 → 内・外腸骨動脈。



5.2 大血管と主要な血管 - 肺動脈と肺静脈

- 肺動脈:
 - 右心室から起始し、静脈血を肺へ。
 - 肺動脈幹 → 左右肺動脈に分岐。
 - 大動脈弁の前方・左側に位置。
- 肺静脈:
 - 肺からの動脈血を左心房へ。
 - 通常、左右各2本、計4本が左房後壁に開口。



5.3 大血管と主要な血管 - 大静脈系

- 上大静脈 (SVC):
 - 上半身の静脈血を集める。
 - 左右腕頭静脈が合流。
 - 右心房上部に開口。
- 下大静脈 (IVC):
 - 下半身の静脈血を集める。
 - 左右総腸骨静脈が合流。
 - 右心房下部に開口。
- 腕頭静脈: 内頸静脈と鎖骨下静脈が合流。
- 奇静脈: 胸壁後部などの静脈血を集め、SVCに合流。



5.4 大血管と主要な血管 - 頸部・腹部・骨盤・下肢

- 頸部:
 - 総頸動脈 → 内頸動脈 (脳へ) & 外頸動脈 (顔面へ)。
 - 椎骨動脈 (鎖骨下動脈から分岐し脳へ)。
 - 内頸静脈 (脳から)。外頸静脈 (表層)。
- 腹部・骨盤:
 - 内腸骨動脈枝 (子宮動脈、膀胱動脈など)。
 - 卵巣/精巣動脈 (腹大動脈から)。
- 下肢:
 - 外腸骨動脈 → 大腿動脈 (鼠径部VAN) → 浅/深大腿動脈。
 - 浅大腿動脈 → 膝窩動脈 → 前/後脛骨動脈。
 - 伏在静脈 (皮下): 大伏在 (内側)、小伏在 (後面)。



5.5 大血管と主要な血管 - 血管壁の構造

- 基本構造 (動脈・静脈): 3層構造。
 - 内膜: 単層の内皮細胞 + 内弾性板(動脈)。
 - 中膜: 平滑筋 + 弾性線維。動脈で最も厚い。
 - 外膜: 結合組織。血管栄養血管あり。
- 毛細血管: 内皮細胞 + 基底膜のみ。物質交換に適す。
- 静脈の特徴:
 - 壁が薄く、内腔が大きい。
 - 中膜が薄い。
 - 静脈弁が存在 (四肢など)。



6.1 循環生理 - 心周期と心機能

- 心周期: 1拍の収縮期と拡張期。
- 心拍出量 (CO): 1分間の拍出量。
 - $CO = 1\text{回拍出量 (SV)} \times \text{心拍数 (HR)}$
- 1回拍出量 (SV) の規定因子:
 - 前負荷 (Preload): 収縮前の心筋伸展度 (拡張末期容積)。
 - Frank-Starling法則: 前負荷 $\uparrow \rightarrow SV \uparrow$ (限度あり)。
 - 後負荷 (Afterload): 駆出時の抵抗 (動脈圧、血管抵抗)。
 - 後負荷 $\uparrow \rightarrow SV \downarrow$ 。
 - 心筋収縮力: 心筋固有の収縮力。
 - 収縮力 $\uparrow \rightarrow SV \uparrow$ 。



6.2 循環生理 - 血压

- 血压: 血管壁にかかる圧力。
- 規定因子: 血压 $\propto$ 心拍出量 $\times$ 末梢血管抵抗。
- 収縮期血压 (最高血压) / 拡張期血压 (最低血压)。
- 脈压: 収縮期 - 拡張期。動脈硬化で増大。
- 生理的変動: 日内変動 (早朝高、夜間低)、体位、運動で変動。
- 部位差: 通常、下肢血压 $\geq$ 上肢血压。
- 加齢変化: 収縮期血压 $\uparrow$ 、脈压 $\uparrow$ 。



6.3 循環生理 - 心筋の代謝と酸素消費

- エネルギー源:
 - 好氣的代謝に依存。
 - 主: 遊離脂肪酸。他: グルコース、乳酸など。
- 心筋酸素消費量 (MVO₂) の規定因子:
 - 心室壁張力 (血圧、心室径)。
 - 心筋収縮力。
 - 心拍数。
- 臨床指標: 二重積 (収縮期血圧 × 心拍数) がMVO₂と相関。
- 酸素供給: ほぼ冠血流量に依存 (酸素摂取率が元々高いため) 。



6.4 循環生理 - 血管作動性物質

- 血管拡張 / 血圧低下:
 - ブラジキニン
 - プロスタサイクリン (PGI₂)
 - 一酸化窒素 (NO)
 - ヒスタミン (※血管透過性亢進作用も重要)
- 血管収縮 / 血圧上昇:
 - トロンボキサンA₂ (TXA₂)
 - アンジオテンシンII
 - エンドセリン
 - カテコールアミン
- その他:
 - ロイコトリエンD₄: 気管支収縮作用。



7.1 加齢に伴う変化 - 心臓の形態・機能変化

- 形態的变化:
 - 左室壁肥厚 (心筋肥大、線維化)。
 - 左房拡大。
 - 弁の硬化・石灰化。
- 機能的変化:
 - 左室拡張機能低下 (弛緩・伸展性↓)。
 - HFpEF (拡張不全型心不全) の主因。
 - 安静時収縮能は比較的維持。
 - 最大心拍数低下。
 - 運動時の心拍出量増加能力低下。
 - 圧受容反射感度低下 (起立性低血圧リスク)。

要約: 心臓が硬くなり、予備能が低下。



7.2 加齢に伴う変化 - 血管の変化

- 動脈硬化:
 - 弾性線維変性、膠原線維増加。
 - 血管壁硬化、伸展性低下。
 - 内膜肥厚、アテローム硬化進行。
- 血行動態への影響:
 - 収縮期血圧上昇。
 - 脈圧増大。
 - 左室後負荷増大。
- 結果: 心血管疾患リスク増大。



8.1 胎児循環と出生後の変化 - 胎児循環の特徴

- 酸素供給源: 胎盤 (肺は呼吸に関与せず)。
- 3つのシャント:
 - 静脈管 (Arantius管): 臍帯静脈血を肝臓バイパスし下大静脈へ。
 - 卵円孔: 右房 → 左房への血流路 (右→左シャント)。
 - 動脈管 (Botallo管): 肺動脈 → 大動脈への血流路 (右→左シャント)。
- 血流: 右室は下半身・胎盤へ、左室は上半身 (脳・心臓) へ。
- 臍帯血管: 臍帯静脈 (1本, 動脈血)、臍帯動脈 (2本, 静脈血)。



8.2 胎児循環と出生後の変化 - 酸素飽和度

- 胎児血酸素飽和度 (PO₂) の高い順:
 - 臍帯静脈、静脈管
 - 下大静脈 (混合あり)
 - 左房、左室、上行大動脈 (脳・上肢へ)
 - 右房、右室、肺動脈
 - 下行大動脈 (動脈管からの混合)
 - 臍帯動脈 (最も低い)
- ポイント: 脳や心臓へ酸素豊富な血液が優先供給される。



8.3 胎児循環と出生後の変化 - 出生に伴う循環変化

- 主なイベント:
 - 肺呼吸開始 → 肺血管抵抗 急低下 → 肺血流 急増。
 - 臍帯結紮 → 胎盤循環停止 → 体血管抵抗 上昇。
- シャント閉鎖:
 - 卵円孔: 左房圧上昇により機能的閉鎖 (生後すぐ)。
 - 動脈管: PaO_2 上昇により収縮し機能的閉鎖 (生後数時間～数日)。
 - 静脈管: 血流停止により閉鎖 (生後すぐ)。

• 結果: 肺循環と体循環が分離され、成人型循環確立。



9. まとめ

- 解剖と生理は表裏一体。構造理解が機能理解の鍵。
- 心臓: 部屋・弁・壁厚・伝導系を把握。
- 冠状循環: 走行・灌流域・血流特性（拡張期優位）を理解。
- 大血管: 走行・分岐・合流、血管壁構造。
- 循環生理: 心拍出量・血圧規定因子、心筋代謝。
- 加齢: 拡張機能↓、血管硬化、脈圧↑。
- 胎児循環: 胎盤・3つのシャント、出生後の変化。
- これらの知識は臨床診断・治療の基礎となる。

