

心臓は袋状の心膜に覆われ、その中を滑らかに動く

心膜と心膜腔

心臓は中隔縫にあり、心叢 pericardial sac という袋に包まれている。心叢は内2層の心膜 pericardium からなり、外層を線維性心膜、内層を漿膜性心膜と呼ぶ。漿膜性心膜の厚壁側には基底筋（大動脈と肺動脈の基部から約1cmのこと）、および上・下大静脈と肺静脈が（心臓に入るところ）で内方に折れ曲がって、心臓の表面を覆う腹膜板となる。結果、脛側板と腹膜板は連続していることになり、心膜のまわりに漿膜性心膜による袋を形成している。この袋の中の腔を心腔 pericardial cavity という。心腔は少量のぬるぬるとした漿液を含めているので、心臓は滑らかに動いて拡張し、収縮することができる。

大動脈と肺動脈幹の後方、上大静脈の前に指1本を通すことのできる心臓横窓 transverse pericardial sinus というトンネルがある。心臓手術の際、心臓を開放して、指と結紮糸をここに通すことができる。また、下大静脈と肺靜脈が心臓に入るとともに心臓が反転するため、心筋後部に指が數本入る行き止まりのくぼみができる。これを心臓斜窓 oblique pericardial sinus といふ。

■ oblique pericardial sinus という。

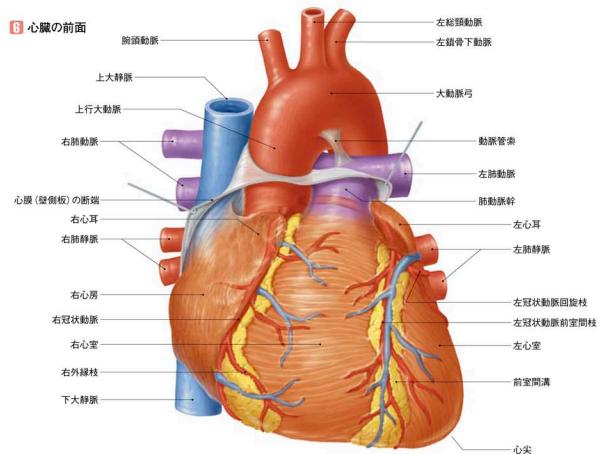
心臓は内胸筋膜の細い枝と冠状動脈(膜側板のみ)で養われる。心臓からの静脈は、心臓横隔静脈(内胸静脈の支流)や奇靜脈の支流などである。心臓は横隔神経(第3～第5頭神経)、迷走神経、および交感神経幹からの神経で支配される。

心臓の外観 67

心臓の正面の大部分は右心室である。右心室の右側には三角形で前面がこぼれる右心耳right auricleがある。これは外側では分界溝、内面では分界線を経て、右心房の内面の平滑な部分すなわち大脈静脈窦venarum cavarumに連なる。発生学的には右心耳が本来の右心房であり、大脈静脈は静脈が取り込まれたものである(図)。大脈静脈洞は上方から上大脈静脈superior vena cavaが、下方から下大脈静脈inferior vena cavaが入る。

右心室の左に左心室の一部が見えるが、左心室の大部分は右心室の後方、横隔膜の上に位置している。したがって、

6 心臓の前面



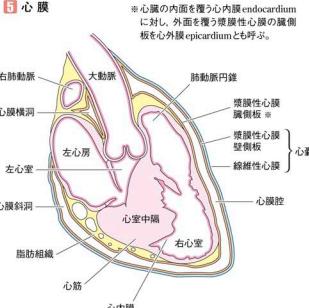
心室中隔は左前方から右後方に向かう。右心室と左心室の境界付近の左側に、三角形の左心耳 left auricle がある。

右心室を上方にたどると**肺動脈幹**pulmonary trunkに移行する。肺動脈幹の右後方に**大動脈弓**ascending aortaが出ていている。肺動脈幹はすぐに左右の肺動脈に分かれる。その前壁と**大動脈弓**archとは、**動脈管**ligamentum arteriosumという紐状の構造でつながっている。これは、胎生時に血液が肺動脈幹から大動脈へ直接流れるための**動脈管**ductus arteriosusが、生後閉じて索状になったものである。

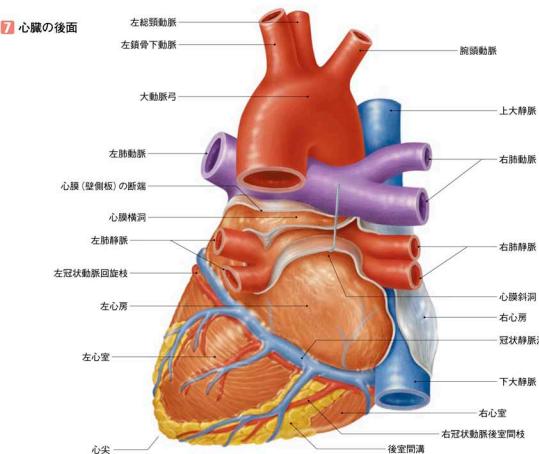
## ●心膜炎と心タンポナーデー

心臓炎・心膜の炎症は、かなりの痛みと心臓への滲出液をもたらす。また、膜張り心臓の表面がごこちにしり、正常では聞こえない細ずれのような心臓摩擦音を生じるようになる。心臓腔に漏った過剰の滲出液は、心臓の動きを弱めし、心包ターピン(心臓の圧迫)を起こす。心包ターピンされると心臓腔に沈んでしまってもターピンオーダーで起きる。血液が心臓腔に溜まつてから、心臓は圧迫され、循環不全が発生する。また、上大静脈が彈力性のない心臓に入ることで圧迫されるために、頭と頸部の血管はうっ滞する。

5 心臟



## 7 心臓の後面

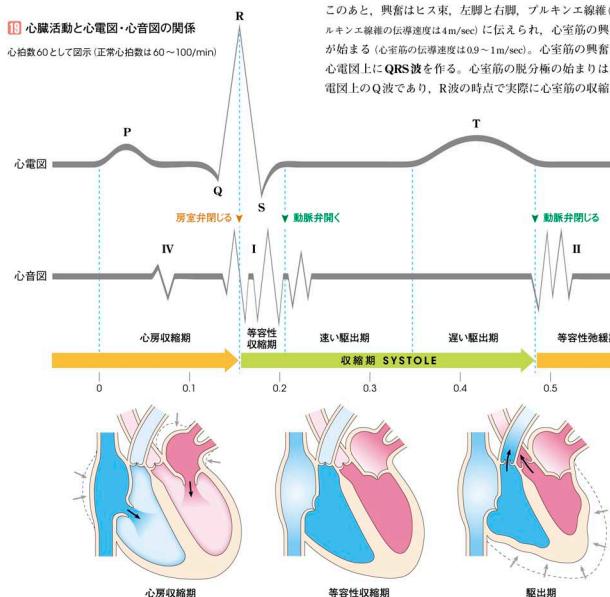


## 心臓活動の5つのステージを心電図と心音図でモニターする

心臓の活動は、心筋の電位の変化を作り。その変化を体表面から記録したもののが心電図である（心電図の原理は前項で解説する）。心電図には通常P, Q, R, S, T, Uという6つの波が記録される。一方、心臓の活動に伴って心音（heart sound）が発生する。心音はI, II, III, IV音という4つの音が心音計に記録されるが、聽診でよく聞こえるのはI音とII音である。心電図・心音図との関係をみながら、心臓の活動の5つのステージを理解しよう。

### 心臓活動と心電図・心音図の関係

心拍数60として図示（正常心拍数は60~100/min）



### 1) 心房収縮期 atrial systole

洞房結節の興奮から心房に伝わり、心房筋の興奮（脱分極）が起きる（心房筋の興奮伝導速度は約0.8~1m/sec）。これが心電図上のP波である。脱分極の結果、心房の収縮が始まり、左右の心房内の血液は房室弁（三尖弁と僧帽弁）を通って心室へ入り込む。心房収縮に伴う心房壁や房室弁の振動は、心音図上のIV音として記録される。IV音は心房内圧が高い場合や心室肥大時に大きくなることがある。

### 2) 等容性収縮期 isovolumetric systole

心房の興奮は房室結節に伝わり、ゆっくりとした房室結節の脱分極が起きる（房室結節の伝導速度は約0.05m/secと遅い）。このあと、興奮はヒス束、左脚と右脚、ブルキンゼ線維（ブルキンゼ線維の伝導速度は4m/sec）に伝えられ、心室筋の興奮が始まる（心室筋の伝導速度は0.3~1m/sec）。心室筋の興奮は心電図上にQRS波を作る。心室筋の脱分極の始まりは心電図上のQ波であり、R波の時点では実際に心室前の収縮が始まっている。

始まる。心室内圧が上昇し、心房と心室の間にある2つの房室弁がほぼ同時に閉鎖して血液が心房に逆流するのを防ぐ。この房室弁の閉鎖音がI音である。I音は約0.15秒間に25~45Hzの低い音である。大動脈弁と肺動脈弁はともにまだ閉じたままで、心室内圧が変化しないまま心室の収縮が起きることから、この期間を等容性収縮期と呼ぶ。

### 3) 駆出期 ventricular ejection

心室筋がさらに収縮し、心室内圧が動脈内圧より高くなると、大動脈弁と肺動脈弁がほぼ同時に開き、血液は動脈に噴出される。この時期を駆出期と呼ぶ。脱分極していた心室筋は再分極状態に移行し、心電図にT波が出現する。やがて心筋の収縮が弱まり、心室内圧が動脈内圧より低下する結果、2つの動脈弁が閉じる。この動脈弁閉鎖に伴う音がII音である。II音は0.12秒ほど持続し、約50HzでI音よりも強く高い音である。動脈弁が開いてから閉じるまでの間が駆出期である。心電図ではS波の終わりからT波

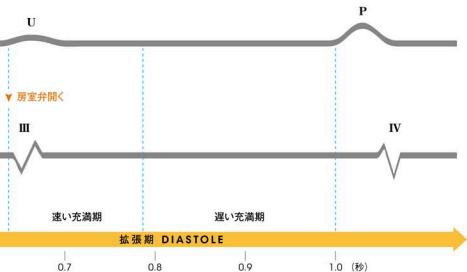
の終わりまでの間に相当する。

### 4) 等容性弛緩期 isovolumetric ventricular relaxation

心室筋の弛緩が始まり、心室内圧が低下していく。初期には心室内圧が心房内圧よりもまだ高く、房室弁は閉じたままである。この時期は心室内圧が一定のまま弛緩が進むため、等容性弛緩期と呼ばれる。心電図ではT波の終わりからU波の始まりまでの時間である。

### 5) 充満期 ventricular filling

心室内圧がさらに低下して心房内圧よりも低くなると、房室弁が開き、心房に貯まっていた血液が心室に流れ込む。このとき心室壁が振動するためIII音が出現する（速い充満期）。若い人は心音でIII音が聞かれることがある。次の刺激によって心房が収縮するまでの間、血液はゆっくりと心室内を満たす（遅い充満期）。心電図ではU波から次のP波までの間に相当する。



#### ● 房室結節遅延 AV nodal delay

房室結節での興奮伝導速度は非常に遅い。この伝導の遅れを房室結節遅延といいます。これは交感神経の興奮によってよって短縮され、一方、副交感神経が興奮するとさらに関くなる。

#### ● 心音 murmur

心筋の収縮率や閉鎖不全があると血流速度が変化したり、血栓が溶けたりするなど血流を起こさない。心音は変化し、雜音が聞こえる。雜音は、原因となる心臓の近いところを聴診すると最も大きくなる。先天性心疾患（心房・心室中隔欠損や動脈弁閉鎖）でも心音が出現する。また、貧血や発熱のため血流の粘度が低下し乱流が起き、収縮期雜音が出現することもある。

## 内頸動脈は椎骨動脈とともに頭蓋内(脳)を養う

### 内頸動脈の枝と椎骨動脈・脳底動脈

内頸動脈は頭蓋底に達すると頭頸動脈に入って上行し、鼓膜の下で直角に前方に曲がり、破裂孔を通って蝶形骨体側面に達する。そこから海綿静脈洞（p.42参照）の中を斜め前に進み、大きく屈曲して頸動脈サイフォンを作り、前床突起の内側へ硬膜を貫き、前方に眼動脈・ophthalmic arteryを出し、さらに後方に走りながら後交通動脈、次いで前脈絡叢動脈を出した後、前大脳動脈 anterior cerebral artery と中大脳動脈 middle cerebral artery に分かれる。

前大脳動脈は視神経をまたいで前内側に向かい、大脳縦裂内に入り、正中面上で脳葉に接しながら後方に進み、その過程で枝分かれしつつ細くなって終わる。左右の前大脳動脈は視交叉の上で前交通動脈によって連結される。前交通動脈は動脈瘤の発生部位である。

中大脳動脈は側方に3cmほど走った後、外側溝（Sylvius 裂）の奥で数本の枝に分かれる。これらの枝は Sylvius 裂

群ともいわれ、三角形の島表面を走る。頸動脈造影側面像で Sylvius 動脈群の正常な三叉形からの変形があれば、脳腫瘍の位置を知るための参考になる。

なお、内頸動脈起始部にある頸動脈洞 carotid sium (図) は圧迫器、内外頸動脈分歧部にあるゴマ粒大の頸動脈小体 carotid body は血中O<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>分圧の受容器である。

椎骨動脈は頭の付け根で鎖骨下動脈から分かれ、第6～第1頸椎横突孔を通って上行し、環状後弓の椎骨動脈溝を通過して大動脈から頭蓋内へ。後で頭頸動脈 posterior inferior cerebellar artery を出した後、橋の下縁で左右合して脳底動脈 basilar artery となる。脳底動脈は前下小脳動脈 anterior inferior cerebellar artery、上小脳動脈 superior cerebellar arteryなどを出した後、橋の上縁で左右の大脳動脈 posterior cerebral artery に分かれる。後大脳動脈は、後交通動脈により内頸動脈と連絡した後、テント切痕部に沿って小脳テント上を走り、大脳脚の周りを外側から後方

に進み、側頭葉の内側下面を通って後頭葉に達する。

### Willis動脈輪

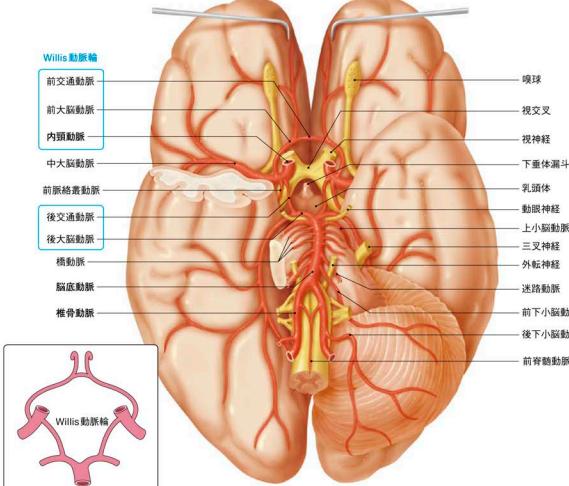
左右の前大脳動脈が前交通動脈により連結され、内頸動脈と後大脳動脈が後交通動脈により連結されているので、脳底部に視神経下で重体漏斗を取り巻く動脈輪ができる。これを Willis 動脈輪 circle of Willis (大脳動脈輪)といい、脳における前～後、左～右を結ぶ側面血流路として重要なである。しかし、視神経路は十分に大くはないので、血流量の多い内頸動脈が閉塞すると、脳への血流は不十分とする。高齢者では、脳の太い動脈が突然閉塞した場合、Willis 動脈輪による側面路は不十分なことが多く、脳血管癡 cerebrovascular stroke を起こす。脳血管癡の原因で多いのは脳梗塞、脳卒中、脳塞栓。クモ膜下出血などの脳血管障害である。クモ膜下出血の出血源となる動脈瘤の大多数は、この動脈輪に発生する。

### 脳循環の特徴

脳の組織はほぼグルコースだけをエネルギー源とし、その貯蔵もごくわずかなので、安定した血液による供給が脳機能を維持する上で不可欠である。脳血流量の不足はたちまち脳機能に影響を及ぼす。脳血流量は50～55mL/100g/minで、脳重量を1,500gとすれば750mL/minとなる。これは心拍出量の15%、O<sub>2</sub>消費で全体の20%を占める。CO<sub>2</sub>の上昇は脳血管の拡張を、低下は収縮をもたらす。pHの下落で脳血管は拡張し、上昇で収縮する。

脳の毛細血管は、内皮細胞が窓 fenestration を持たずタイト結合で結合している上、周囲が星状膠原細胞 astrocyte の終足で覆われているため、血管とニューロンの間に閂門 (blood-brain barrier blood-brain barrier) が形成されている。水、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>は自由に通過し、グルコースは殆どに通過するが、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>などの通過は他の組織の3～30倍遅い。

## 45 脳の動脈：脳底面



## 消化管、胆・脾・脾の血液は門脈に集められ、肝臓に入る

胃、腸、脾臍、脾臓からの静脈血は、門脈 portal vein に集められて肝臓に入り、肝臓の洞様毛細血管（類洞 sinusoid）を流された後、下大静脈に注ぐ。

門脈は、上腸間膜靜脈 superior mesenteric vein、下腸間膜靜脈 inferior mesenteric vein、脾靜脈 splenic vein、左胃靜脈 left gastric vein、右胃靜脈 right gastric veinなどを合流して形成され、脾臍の後ろを通り、小網の肝十二指腸間膜の中を走り、固有肝動脈・肝管とともに肝門から肝臓に入る。①

### 門脈の機能

門脈は、胃腸や脾臍・脾臍の毛細血管と肝臓の毛細血管とをつなぎ、以下の物質を運ぶ。

①胃腸で吸収された物質（肝臓で有毒物質は解毒され、

栄養分はグリコーゲンとして貯蔵される）。

②肝臓から分泌されるインスリンやグルカゴン（肝臓でのグリコーゲン貯蔵と糖の動員を調節する）。

③脾臍で赤血球が破壊されて生じたヘモグロビンの分解産物（肝臓で水溶性に変換され、胆汁中に排泄される）。

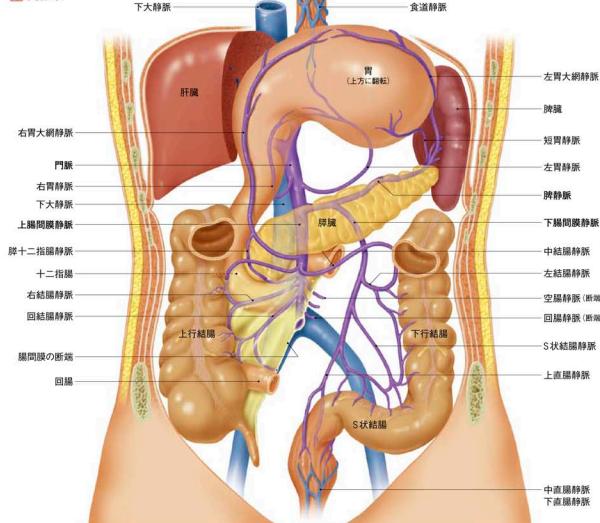
### 門脈系と体循環系の吻合 ②

①左・右胃静脈と、奇静脉に注ぐ食道靜脈 esophageal vein が吻合し、食道靜脈瘤を形成する。

②下腸間膜靜脈に注ぐ上直腸靜脈 superior rectal vein と、内腸間膜靜脈 internal iliac vein に注ぐ中・下直腸靜脈 middle/inferior rectal vein が吻合し、直腸靜脈瘤を形成する。

③肝円索の中を通る細い数本の脾肺靜脈 paraumbilical

### ④門脈系



vein が、前腹壁の静脈（下腹壁靜脈、浅腹壁靜脈など）と吻合する。

④結腸靜脈の小枝（門脈系）が後腹壁靜脈（体循環系）と吻合する。

⑤胃底部の小靜脈（門脈系）が左下横隔靜脈（体循環系）と吻合する。左下横隔靜脈は多くの場合、左側副靜脈に合流して左胃靜脈に注ぐが、下大靜脈に注くこともある（第4巻：副腎の頸參照）。

門脈・体循環吻合は臨床的に重要である。肝硬変症では、肝炎質細胞の破壊と再生、および結合組織の増生の結果、肝小葉構造と血管系が破壊され、再生結節が形成される。そのため門脈とその支流の血圧が上昇し、門脈圧亢進症 portal hypertension になる。すると、門脈系から体循環系に血液が流れようとして、門脈と体循環の吻合部で靜脈瘤 varicose vein が生じる。静脈の拡張がひどくなれば、静脈瘤が破裂して出血する。

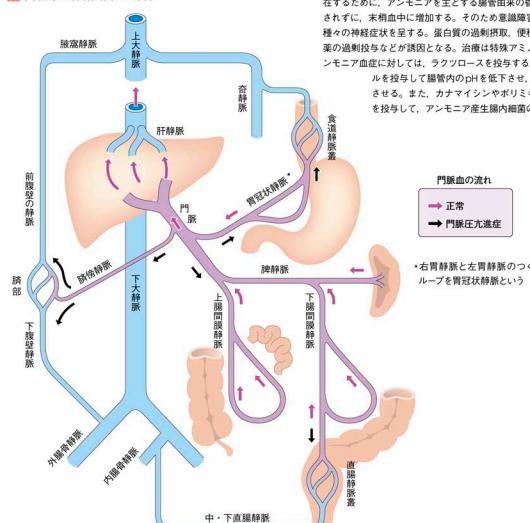
食道の下端にできた食道靜脈瘤 esophageal varices はしばしば大出血を起こし、死に至ることがある。同様に、直腸靜脈瘤の静脈の拡張は痔核 hemorrhoid を指す。前腹壁では、拡張して屈曲・蛇行した腹壁靜脈が筋膜を放射状に出現する。この前腹壁の様子はギリシャ神话に登場するメデューサの頭のヘビに似ているため、メデューサの頭と呼ばれる。

直腸下部の血液は中・下直腸靜脈を介して内腸間膜靜脈、さらに下大靜脈へ注ぐ。このことは、直腸下部の腫瘍が血行性に肺に転移しやすくなることを物語っている。一方、直腸上部までの腸管の腫瘍は、門脈を介して血行性に肝臓に転移しやすい。

### ⑤肝性脳症

肝硬変では、高濃度の肝細胞障害に伴う代謝異常と門脈・体循環吻合が存在するために、アノミアを主とする尿管由来の有害物質が肝臓で代謝されずに、末梢血中に増加する。そのため意識障害と羽ばたく眼球など種々の神経症状を呈する。蛋白質の過剰摂取、利尿薬の過剰投与などが原因となる。治療には特殊アミノ酸輸液を行なう。高アノミア血症に対しては、ラクロースを投与する。あるいはラクチタールを投与して腸管内のpHを低下させ、食物の輸送を亢進させる。また、カナマイシンやポリミキシンBなどの抗生物質を投与して、アノミア産生菌内細菌の増殖を抑制する。

### ⑤門脈系と体循環系の吻合



## 血管平滑筋収縮の分子機構——受容体刺激により $\text{Ca}^{2+}$ が動員される

### 血管の収縮・弛緩と受容体

交感神経の興奮により放出されるノルアドレナリンとアドレナリンは、血管平滑筋細胞にある  $\alpha_1$  受容体に結合すると、 $\text{G}_q$  と呼ばれる G 蛋白質を介してホスホリバーゼ C を活性化して細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  を増加させ、平滑筋を収縮させる。一方、骨格筋・肝臓の血管、冠状動脈など  $\beta_2$  受容体を持つ血管では、 $\text{G}_s$  と呼ばれる G 蛋白質を通して細胞内 cAMP を増加させ、平滑筋を弛緩させる。この弛緩作用はアドレナリンのほうがアドレナリンよりも強。

アンジオテンシン II やアロキサン A<sub>2a</sub>、バブレシンなどはそれぞれの受容体に結合し、 $\text{G}_q$  を介して血管を収縮させる。

血管の弛緩は血管内皮細胞が放出する NO が重要である。内皮細胞はアセチルコリニンやアドレナリン、ブラジキニンなどの受容体を持っており、これらの刺激により NO 合成酵素 (NOS) が活性化され、アルギニンから NO が作られる。NO は細胞膜を透過して平滑筋細胞に入り、アガニル酸シクラーゼに結合してこれを活性化し、GTP から cGMP を作らせる。cGMP は G キナーゼを活性化し、平滑筋は弛緩する。ナトリウム利尿ペチド受容体はそれ自身

がアガニル酸シクラーゼ活性を持ち、ANP や BNP が受容体に結合すると cGMP が产生される。

### 平滑筋収縮の分子機構は横紋筋とは異なる

平滑筋は筋肉細胞の单核細胞からなっており横紋がない。平滑筋ではドロボニン系なく、その収縮機構は横紋筋とかなり異なるが、最終的に  $\text{Ca}^{2+}$  が収縮を起こす点では同じである。ただし、横紋筋に比べ筋小胞体が発達しておらず、その収縮細胞内  $\text{Ca}^{2+}$  の流入に依存する割合が大きい。

$\text{Ca}^{2+}$  は胞外分によって電位依存性  $\text{Ca}^{2+}$  チャネルから流入する以外に、 $\text{G}_q$  と共にした受容体刺激によっても動員される。これらの受容体刺激によってホスホリバーゼ C が活性化され、その働きで細胞膜から IP<sub>3</sub> (イソトール三リン酸) とジアルキルグリセロール (DAG) が作られる。IP<sub>3</sub> は筋小胞体にある  $\text{Ca}^{2+}$  チャネルである IP<sub>3</sub> 受容体に結合して開口させ、小胞体に貯蔵されていた  $\text{Ca}^{2+}$  が放出される。

## 心内膜管はS字状に弯曲し、将来の心室と心房を形づくる

### 心内膜管の形成

心臓は、ヒト胚子の中で最初に機能し始める器官である。胎生第3週の中頸、血管系が出現する。胚子の頭方の間葉細胞が、下方にある内胚葉の誘導により血管芽細胞となる。血管芽細胞は増殖して血管細胞という内皮細胞集団になる。この細胞集団に腔を生じ、それが合体して馬蹄形の小血管管を形成する。この血管叢のを中心部が心臓発生域cardiogenic areaで、そこに心内膜管cardiac tubeが形成される。心内膜管の上にある前内胚体が後に心臓腔pericardial cavityになる。また、正中線に平行かつ接続して、両側に別の造血管細胞集団が出現し、1対の縱走する背側大動脈dorsal aortaが形成され、やがて心内膜管と結合する。

この頃、中枢神経系が急速に成長して、胚子が頭尾方向に折りたたまれるために、心臓発生域と心臓腔は胸背部に位置するようになる。胚子は側面にも折りたたまれるために、2本の心内膜管の尾部が融合する。同時に馬蹄形をした血管管の頭部の部分が拡張し、ひとつながらの拡張した筒となる。

まだ胚子が屈曲していない段階で、壁側中胚葉から肺静脈が発生し、背側大動脈の背方に主静脈ができる。これらは静脈洞に連結し、心内膜管の流入路が形成される。一方、心内膜管の頭方は流出路となり、左右の第1大動脈弓を介して背側大動脈に統く。

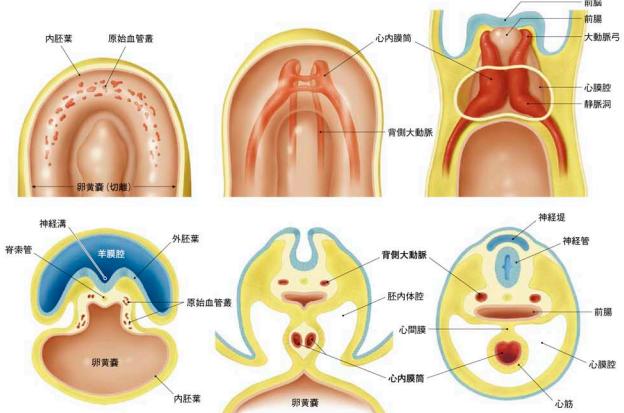
心内膜管は心臓腔内に突出するが、中胚葉組織からなる背側心間膜で心臓腔の背側に付着している。腹側には間膜が形成されることはない。発達が進むと、背側心間膜も消失し、その結果心臓腔の両側の背側部分を連絡する心臓横洞transverse pericardial sinus(図)ができる。

この間に心内膜管に隣接する中胚葉から心筋が形成され、静脈洞の中皮が心臓表面に遊走して心外膜を形成する。こうして心内膜管は、①内面を覆う心内膜endocardium、②筋の壁を形成する心筋層myocardium、および③外面を覆う心外膜epicardiumの3層になる。

### 心臓ループの形成

心内膜管は初めはまっすぐな管であるが、胎生第23日に

■■ 心内膜管の形成(胎生第3週) (胚子の頭部を腹側から見る。下段は横断面)



S字状に弯曲し始め、第28日には心臓ループcardiac loopが完成する。また、左右回転した、S字の鏡像面に相当する心臓ループが形成されることがあり、左肺心dextrocardiaといい。この場合、心臓以外の胸腹腔の臟器も鏡像側になっている場合が多く、心臓逆位visceral inversionと呼ばれる。なぜS字形状のループになるのかは長い間謎であったが、そのメカニズムは次第に解明されつつある。発生の初期、まだ2層性胚胎の頃、ある種の遺伝子の発現に左右差が生じる結果、心内膜管の壁を作る細胞の分裂・増殖仕方も左右差が生じるのである。

心臓ループは形成中に局所的に拡張し、第21日では心臓腔内に動脈幹、心球、心室を、心臓腔外に心筋外にそれに対する心臓外に對称的に静脈洞を区別できる。やがて、心臓腔外に対する心房部は心臓腔内に取り込まれ、共通心房を形成する。房室連結部は狭いまにこどまり、房室管となつて、共通心房と初期の心室とを連結する。心球bulbus cordisの近位1/3は狭窄で、後に心室中柱をなる。心門conus cordisは両心室の流出路を形成する。心球の遠

位部すなわち心門に続く部分は動脈幹truncus arteriosusと呼ばれ、大動脈と肺動脈の近位部となる。外から球室溝として見られる心室と心球の連結部は、内部は狭小のまま、一次室間孔と呼ばれる。

### 心臓ループ

#### 心臓ループ形成の早期

心臓ループ形成の早期に、一次室間孔の両側に原始肉柱の形成が始まり、将来の左心室と右心室になる原始左室と原始右室が形成される。両者の側の外側には室間溝が認められる。

要約すると、胎生第4週の初めには1本の筒であった心内膜管が、S字状のループになり、各部位の不均等な発達により、第4週の終わり頃には、胚子はまだ5mmほどであるが、随分と心臓らしくなっている。すなわち、原始右室と原始左室は房室管を通して原始左室に連絡するようになる。原始左室と原始右室を連絡する一次室間孔は、球室の内部でできる球室ヒダと、室間溝の内部で発達中の心室中隔で封められている。原始右室は心門絶を経て動脈幹に至る。

■■ 心臓ループの形成(胎生第4週)

