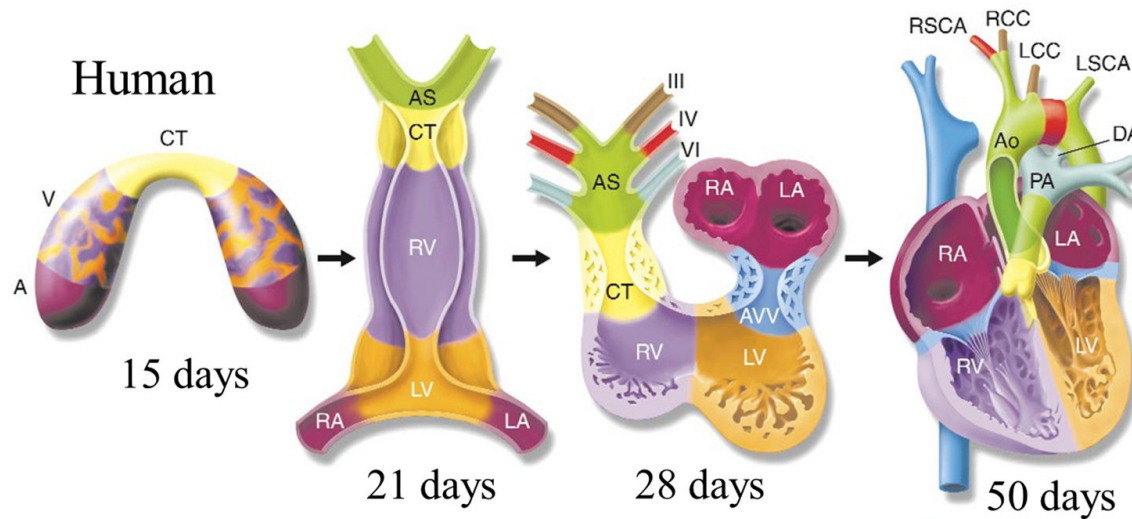


# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU



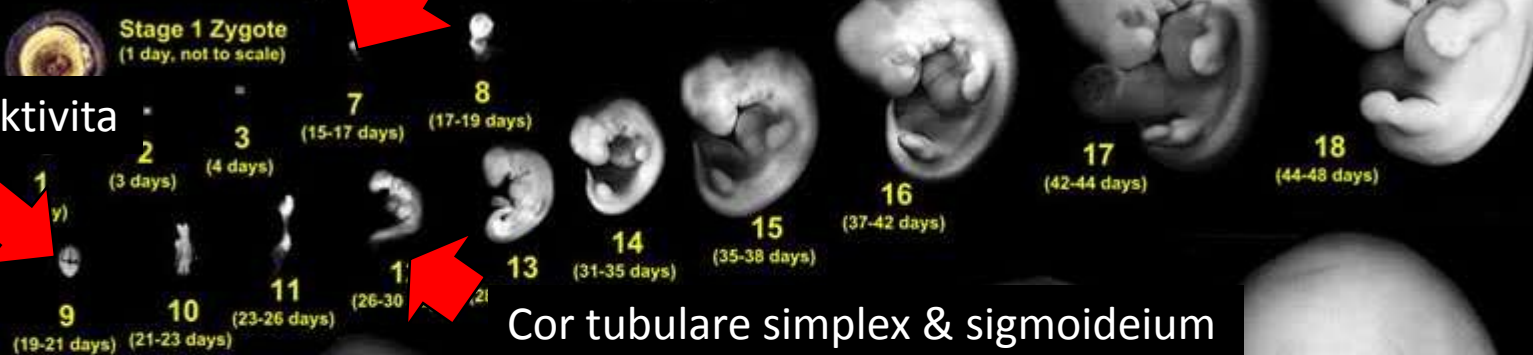
Petr Vaňhara, PhD  
Ústav histologie a embryologie  
LF MU

# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

První morfologické známky vývoje budoucího srdce

## Carnegie Stages of Human Development

Dr Mark Hill, Cell Biology & Anatomy of Medical Sciences (Anatomy), UNSW

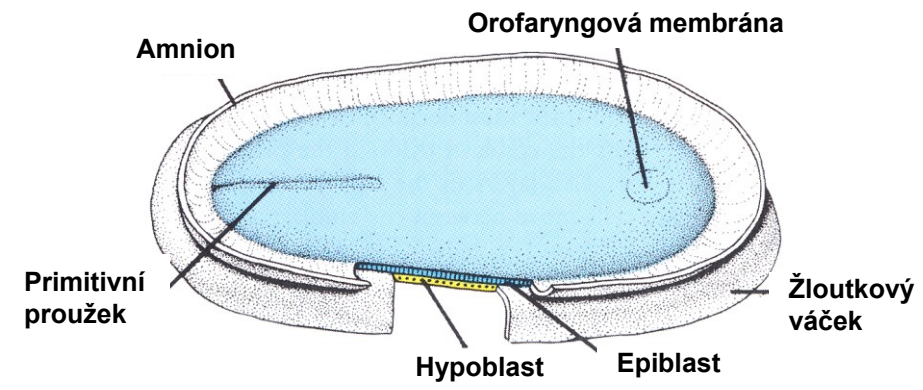
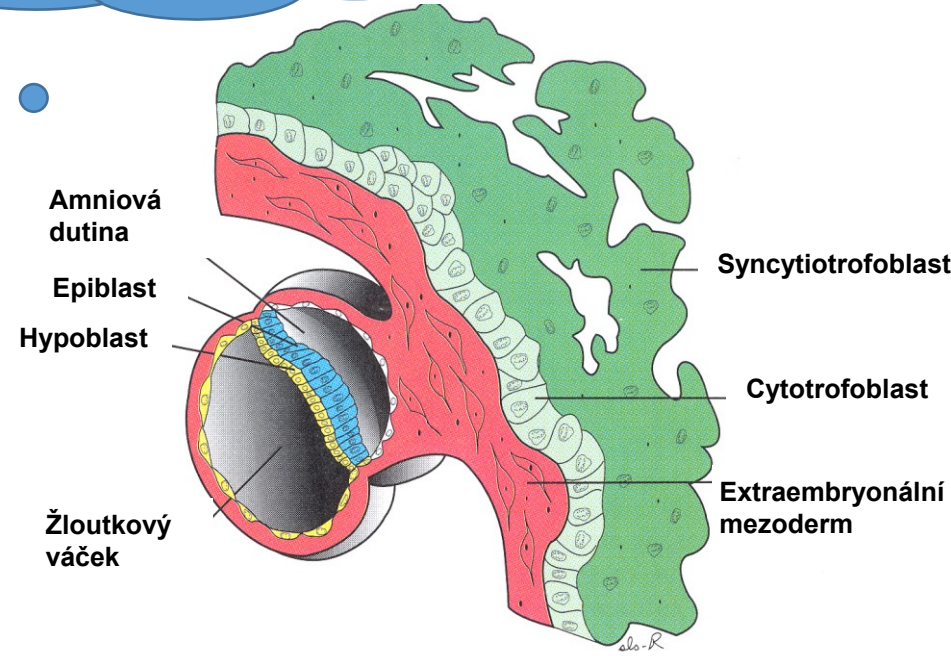
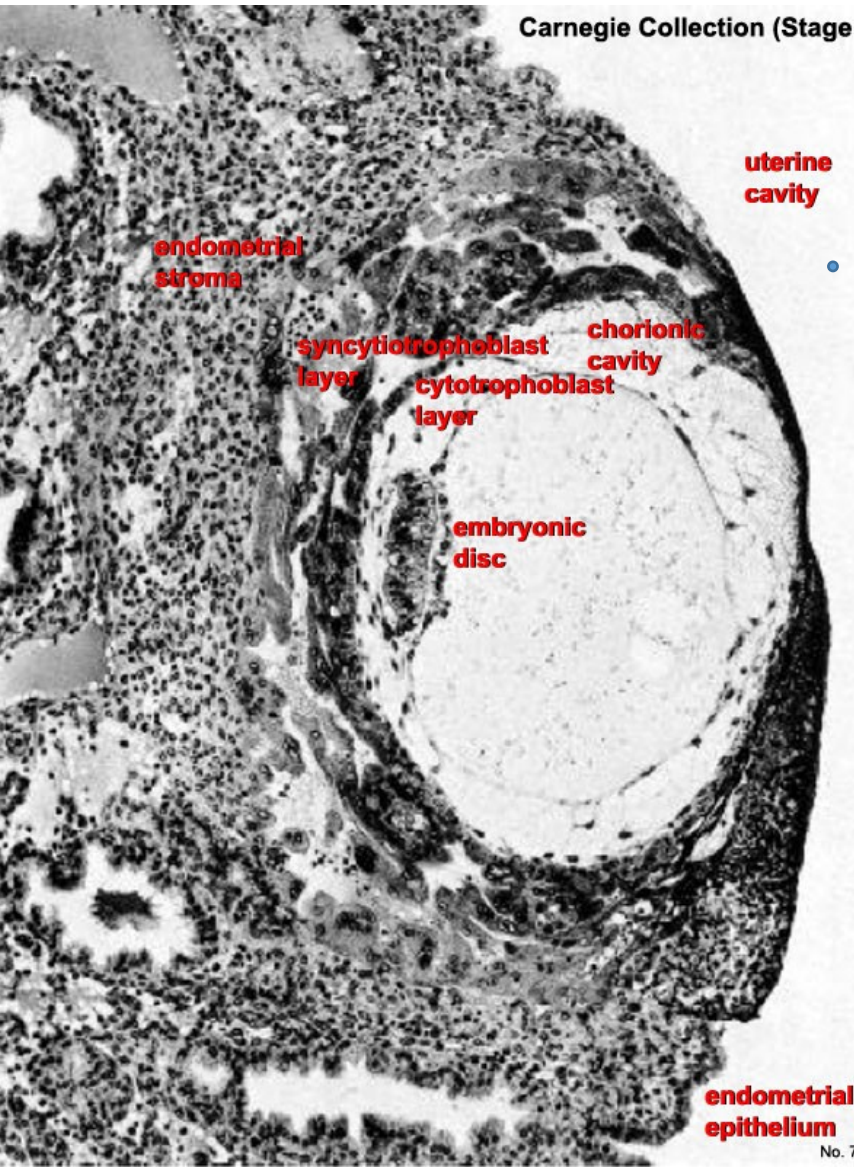


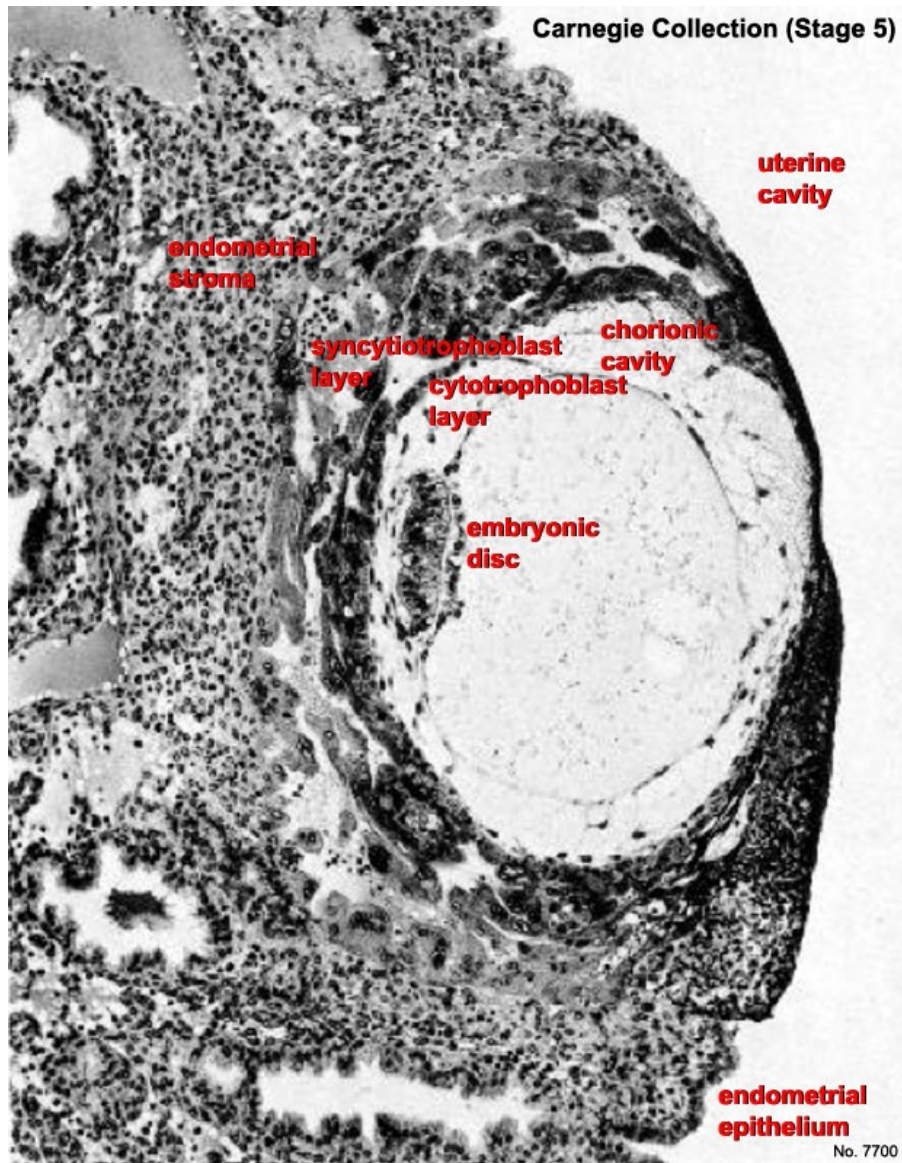
Special thanks to Dr S. J. DiMarzo and Prof. Kohel Shiota for allowing reproduction of their research images and material from the Kyoto Collection and Ms B. Hill for image preparation.  
© M.A. Hill, 2004

Plně funkční srdce se čtyřmi oddíly

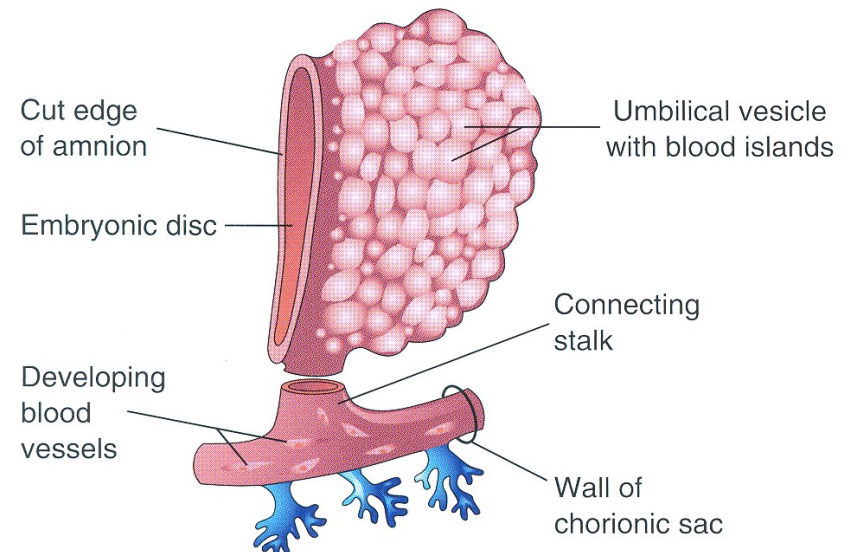
2.-3. týden

Uvědomte si vývojový kontext





- rychlý růst embrya
- difúze limitovaná
- první vaskularizace **extra-embryonálně** – žloutkový vak, chorion zárodečný stvol
- bipotentní (hem)angioblasty
- krevní ostrůvky
- vasculogeneze a angiogeneze, hematopoeze



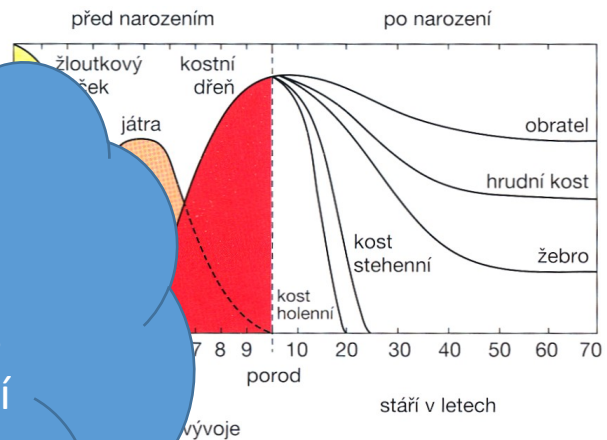
# EMBRYONÁLNÍ KRVETVORBA

- **extraembryonální mezoblastická perioda (16-20. den – 8. týden)**

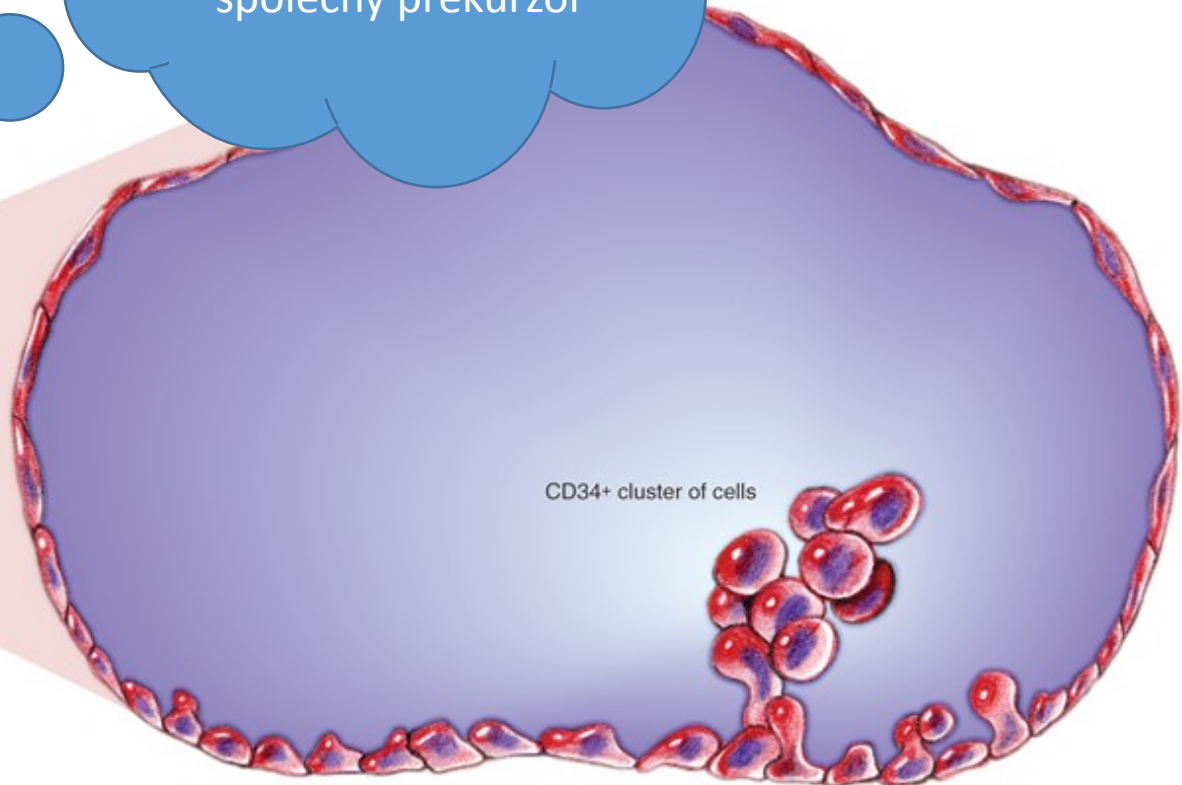
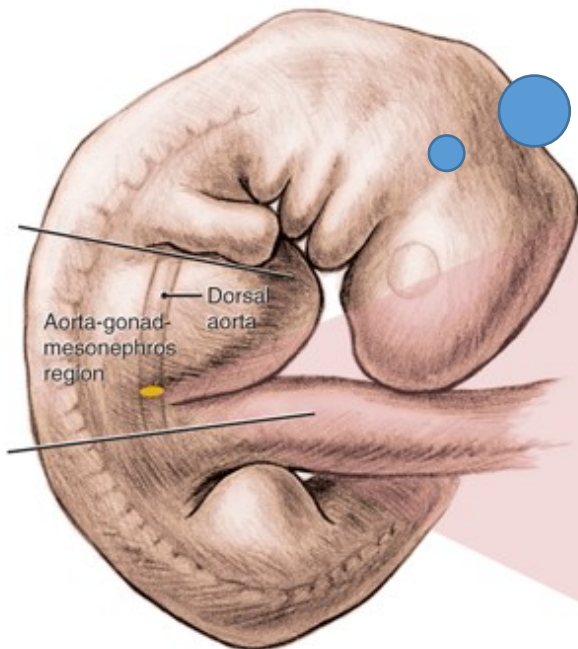
- žloutkový váček
- klasický model – hemangioblasty (bipotentní)
- velké jaderné erytroidní buňky

- **aorta-gonad-mesonephros (28. den – 4. týden)**

- para-aortické clustery v mezodermu
- zdroj embryonálních krvinek

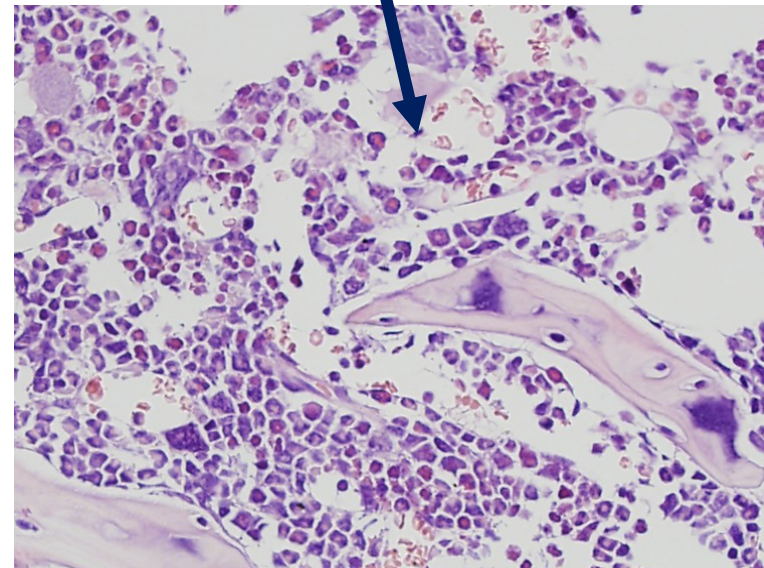
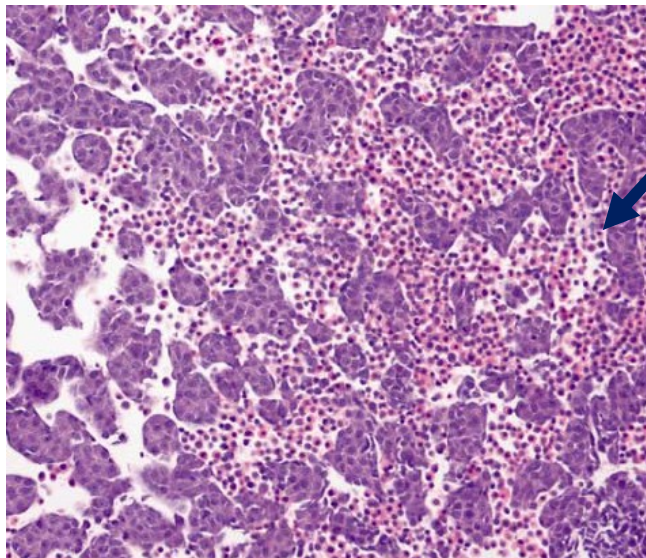
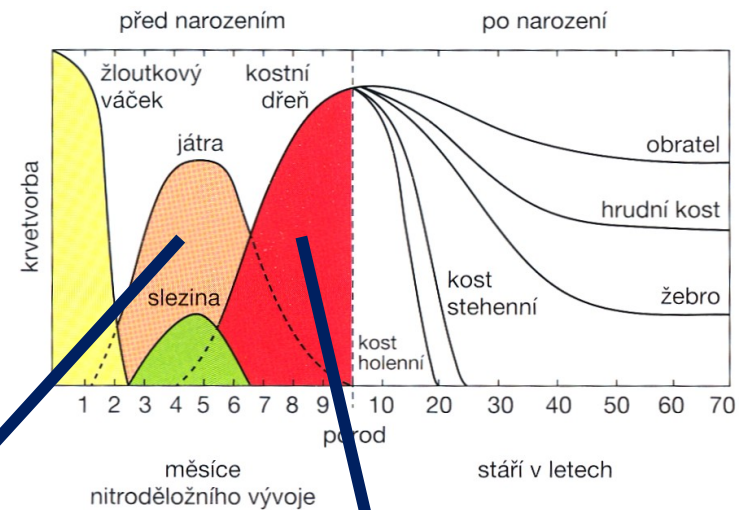


Vývoj kardiovaskulárního systému úzce souvisí s krevotvorbou. Primitivní cévy i krvinky mají společný prekurzor



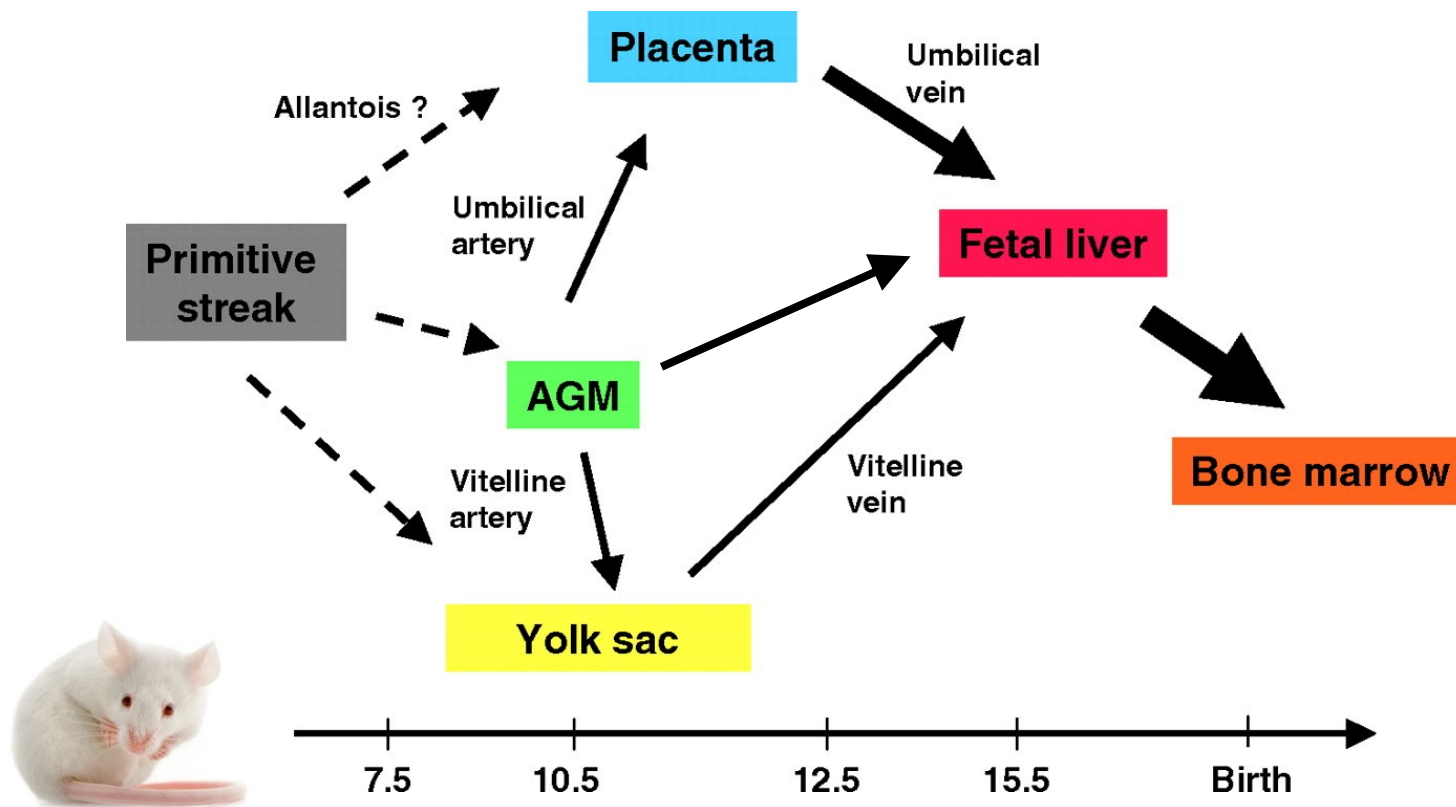
# EMBRYONÁLNÍ KRVETVORBA

- **extraembryonální mezoblastická perioda (16-20. den – 8. týden)**
  - žlutkový váček
  - klasický model – hemangioblasty (bipotentní buňky)
  - velké jaderné erytroidní buňky
- **aorta-gonad-mesonephros (28. den – 4. týden)**
  - para-aortické clustery v mezodermu splanchnopleury
  - zdroj embryonálních krvetvorných kmenových buněk
- **hepatolienální perioda (1. měsíc – krátce po porodu)**
  - kolonizace fetálních jater a sleziny
- **medulární perioda (4-6. měsíc – celý život)**
  - kostní dřeň



## Embryonální

- žloutkový váček
- AGM
- játra a slezina
- kostní dřeň



## Adultní

- kostní dřeň
- červená/žlutá
- extramedulární hematopoéza výjimečně (patologicky)

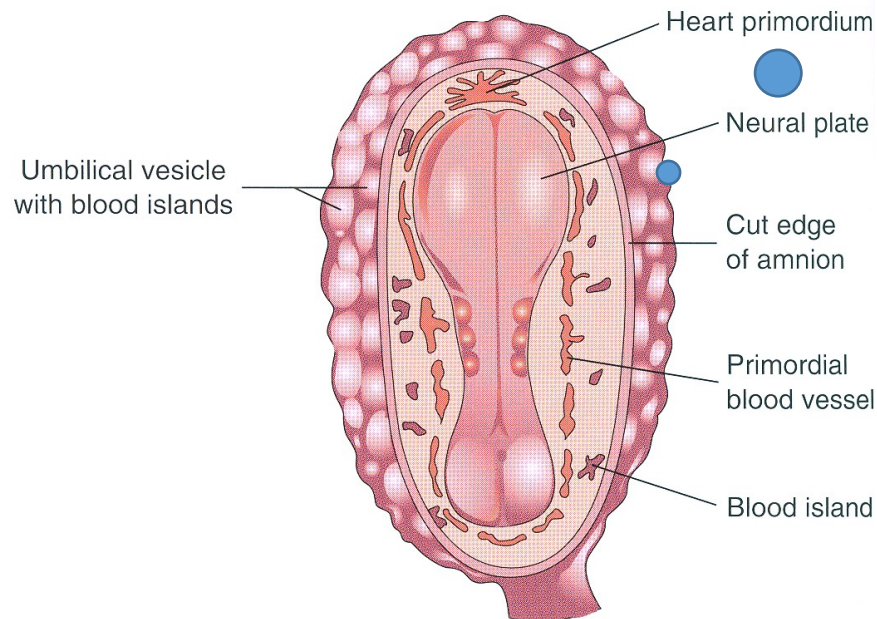
# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

- **embryonální vaskulogeneze** cca 2 dny po založení extraembryonální vaskularizace
- primordiální krevní cévy
- srdeční primordium v kardiogenní oblasti
- embryonální hematopoeze z para-aortálních klastrů v AGM

## Konec třetího týdne

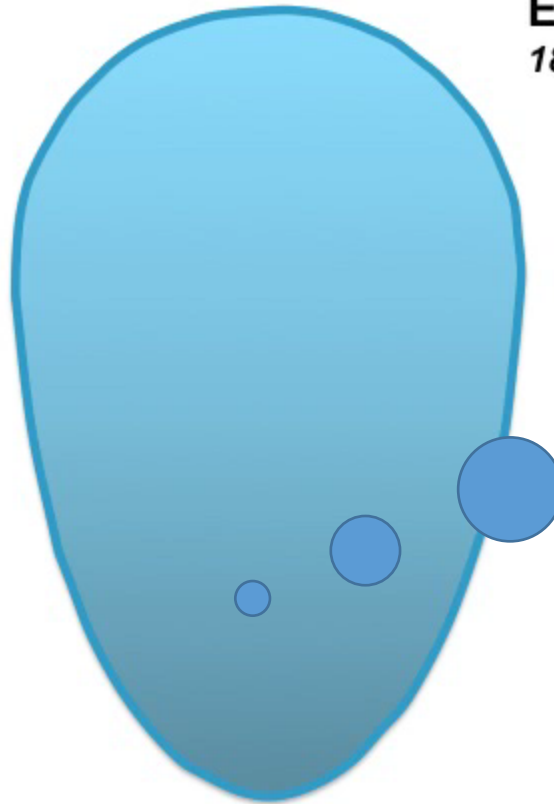
Trilaminární terčík je už příliš velký pro výživu prostou difuzí.

Stimulace vývoje cév a srdce





## 3. týden

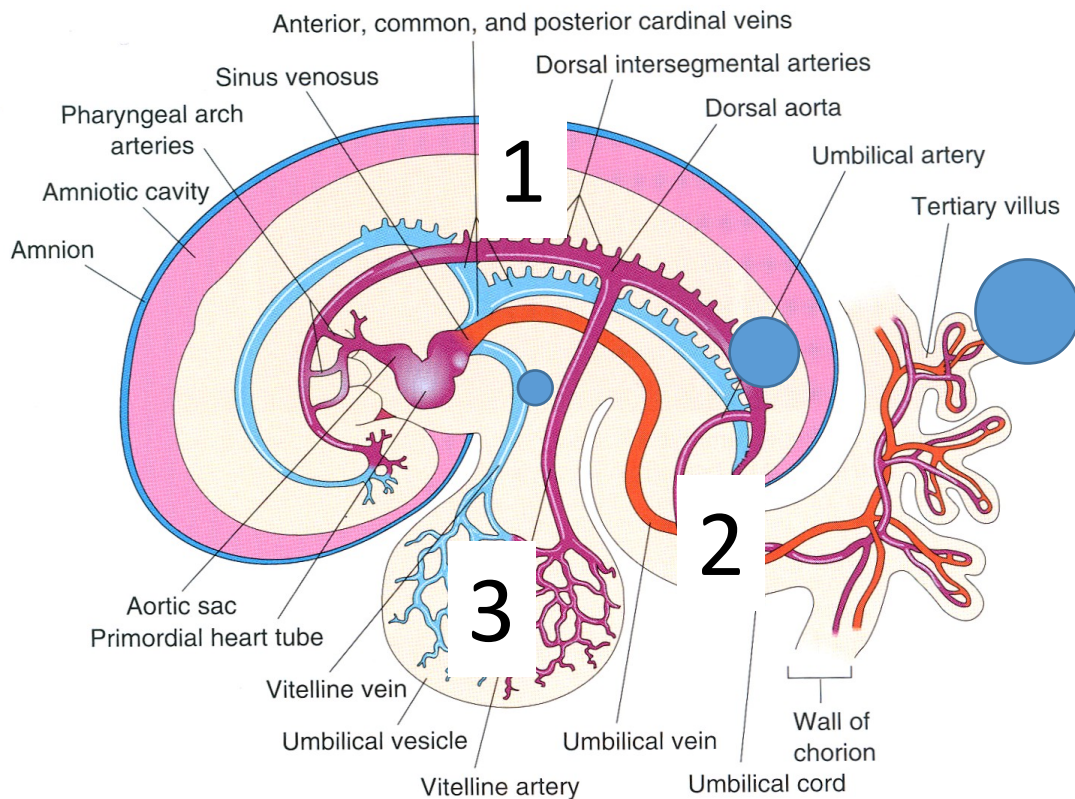


**Epiblast**  
*18 days,*

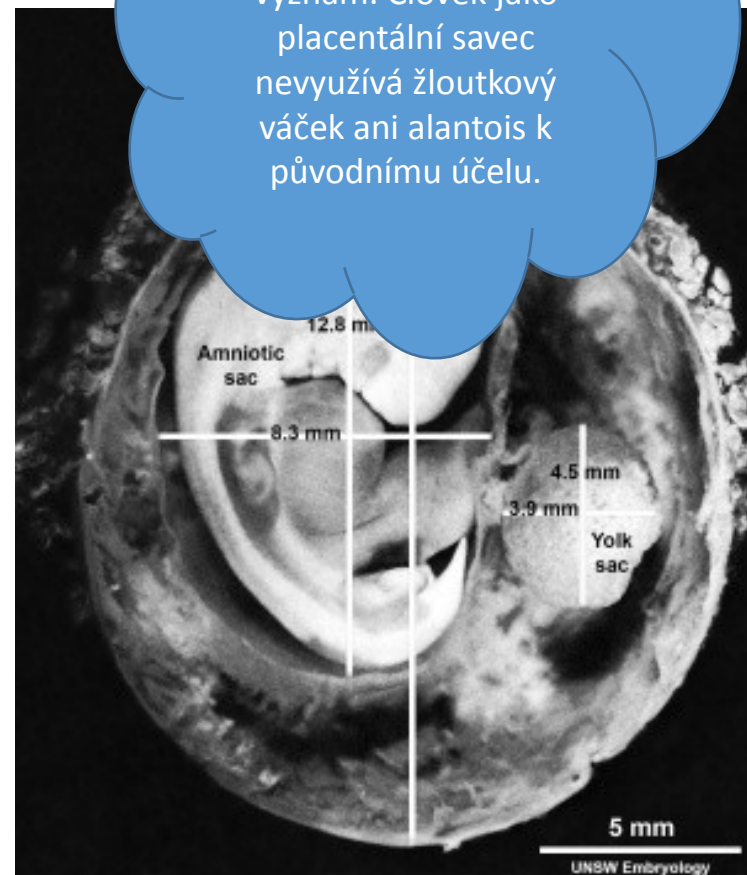
Srdce vzniká z mezodermy. V současné době umíme vystopovat jeho buněčné prekurzory až k primitivnímu proužku. Buňky jsou pravděpodobně determinovány už zde.

# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

## 4. týden



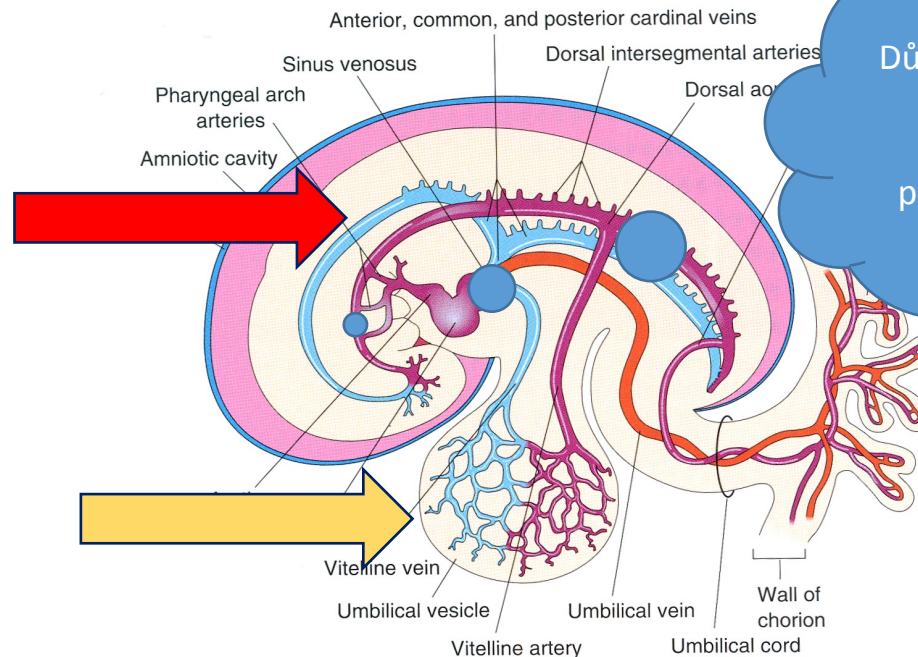
Tři základní okruhy embryonální cirkulace – mají svůj evoluční význam. Člověk jako placentální savec nevyužívá žloutkový váček ani alantois k původnímu účelu.



# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

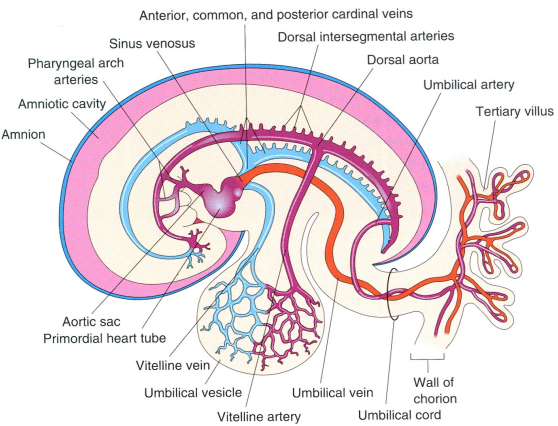
## 4. týden

- embryonální oběh:** srdeční trubice → *truncus arteriosus* → aortální oblouky → dvě dorsální aorty → splývají v jednu aortu dorsalis → kapiláry → párové kardinální vény (do kterých ústí pre- a postkardinální vény) → *ductus Cuvieri* → *sinus venosus*
- vitelinní oběh:** dorsální aorty → *aa. omphalomesentericae* → splývají v jednu *a. omphalomesenterica* → *vv. omphalomesentericae* + *vv. umbilicales* → párový *truncus vitelloumbilicalis* → *sinus venosus*
- umbilikální oběh:** dorsální aorty → *aa. umbilicales* → chorion → *vv. umbilicales* + *vv. omphalomesentericae* → párový *truncus vitelloumbilicalis* → *sinus venosus*



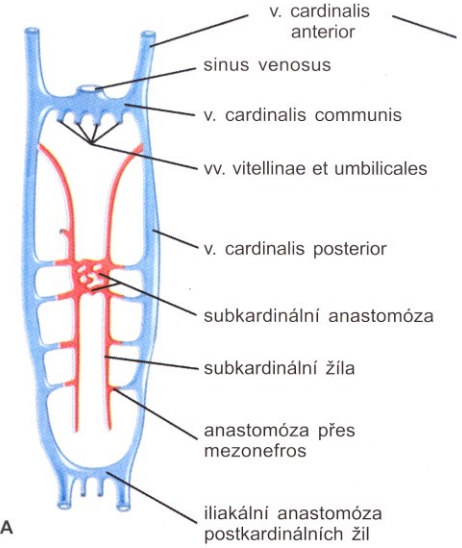
Důležité pro pochopení  
uspořádání  
definitivního  
postnatálního oběhu

# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU



4. týden

6. týden

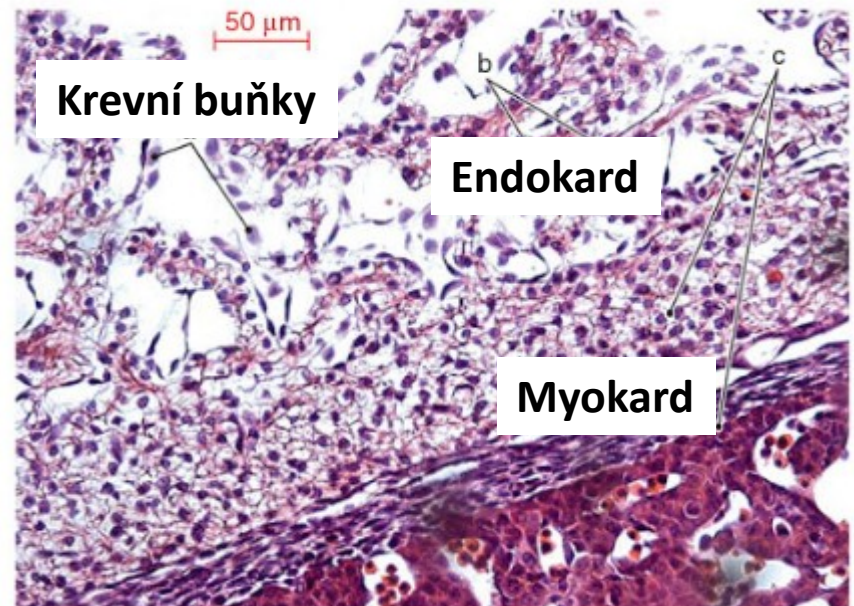
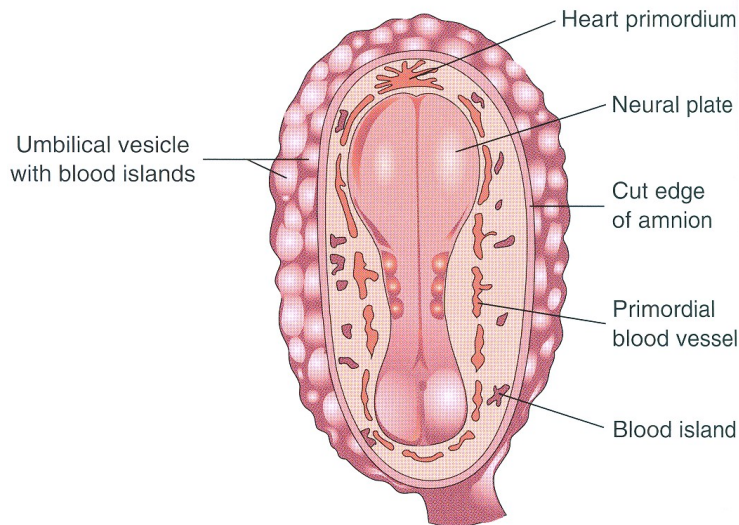


Vývoj vén dobře ilustruje změnu symetrického embryonálního systému na definitivní (fetální, postnatální-adultní) - srovnajte anatomii. Details of this slide are not necessary to memorize.

- kardinální, umbilikální a vitelinní vény
- subkardinální vény
- suprakardinální vény
- hepatický segment
- v. - véna  
w. - vény

### Vývoj primitivního srdce

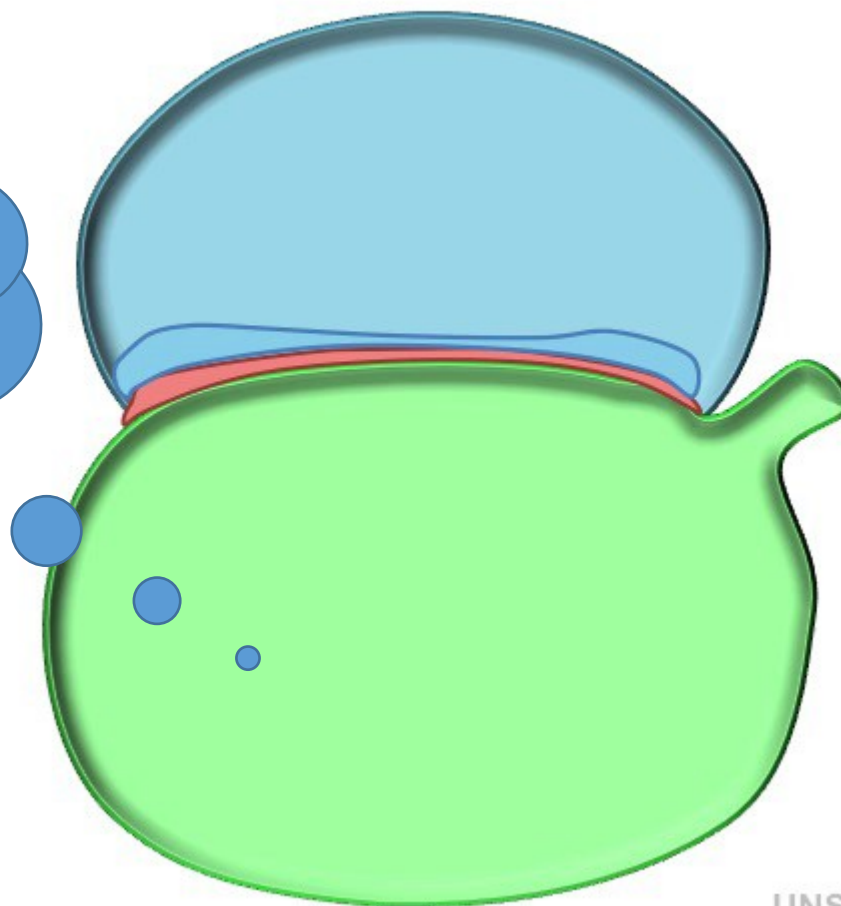
- párové **endoteliální trubice** (cor tubulare duplex) z embryonální splanchnopleury v kardiogenní oblasti
- flexe → mediálně fúzí: **jednoduché trubicovité srdce** (cor tubulare simplex)
- viscerální mezoderm: **myoepikardový plášť: myokard a epikard**
- **srdeční rosol** (cardiac jelly) → subendokardové vazivo
- srdeční kontrakce 21-22. den (5.týden podle LMP)
- uzavřená cirkulace ~ 4.týden (gestační)



3-4. týden

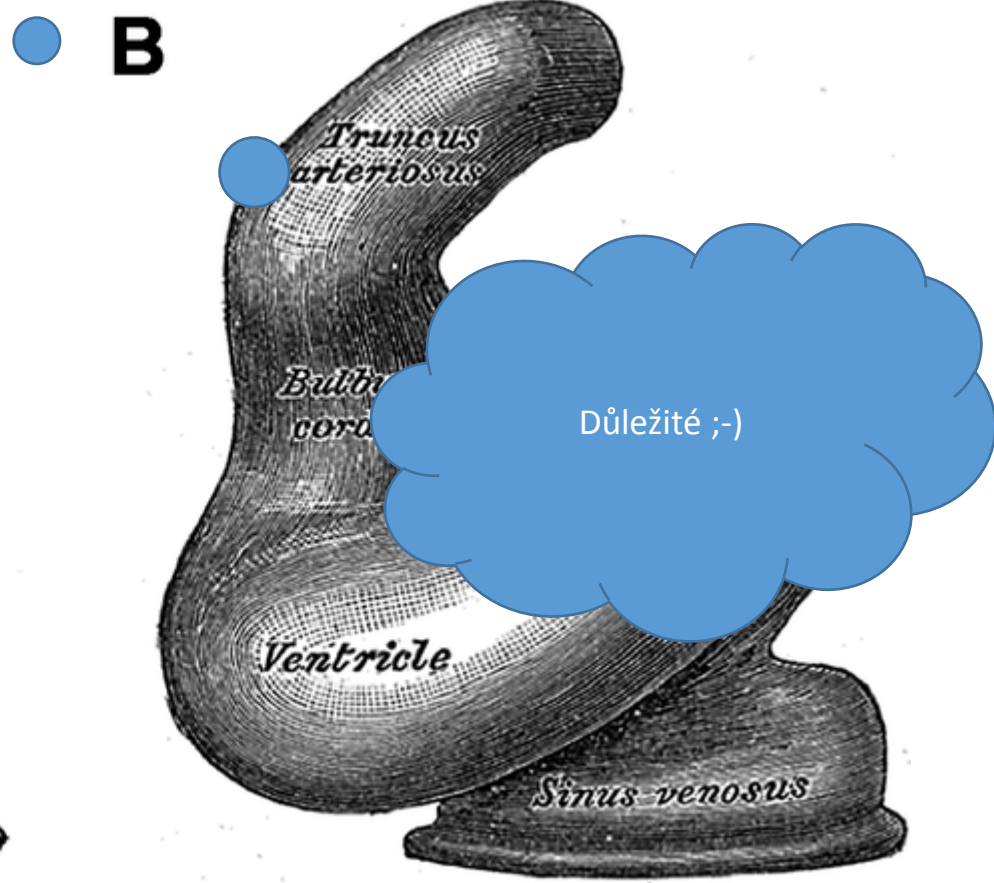
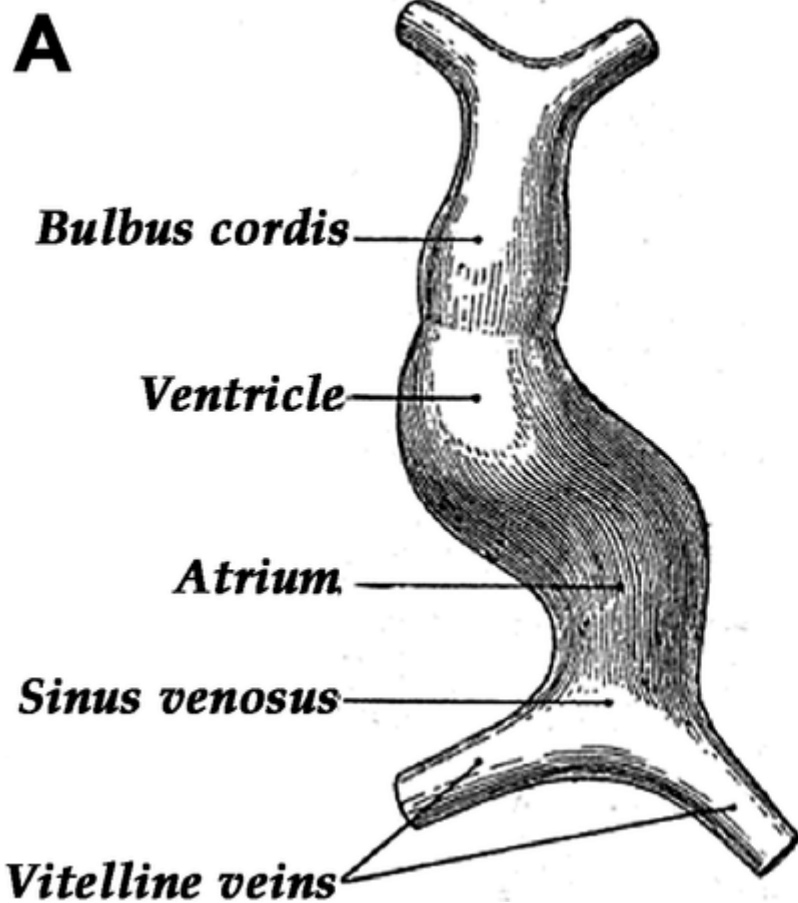
## Folding and Fusion of the Heart Tubes

Srdce se vyvíjí z jednoduché trubice, která se skládá, formuje a vytváří základ srdce se 4 oddíly.



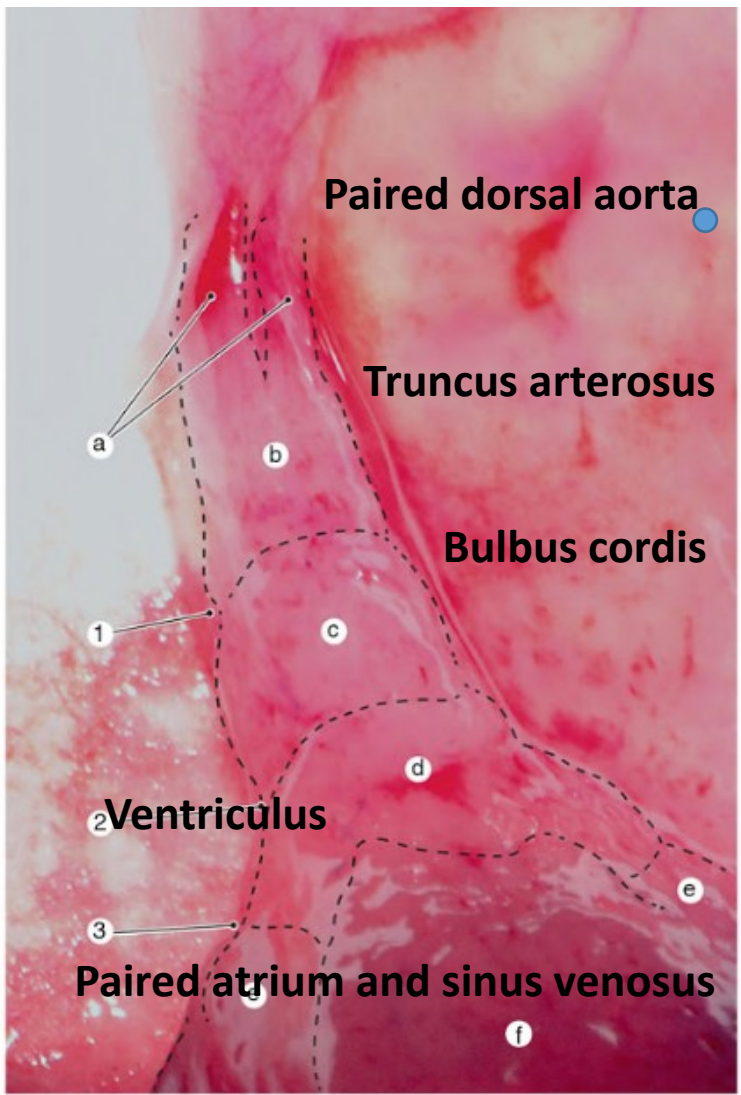
## 4. týden

- jednoduché tubulární srdce (cor tubulare simplex a cor tubulare sigmoideum)
- **sinus venosus → atrium → ventriculus → bulbus cordis → truncus arteriosus**



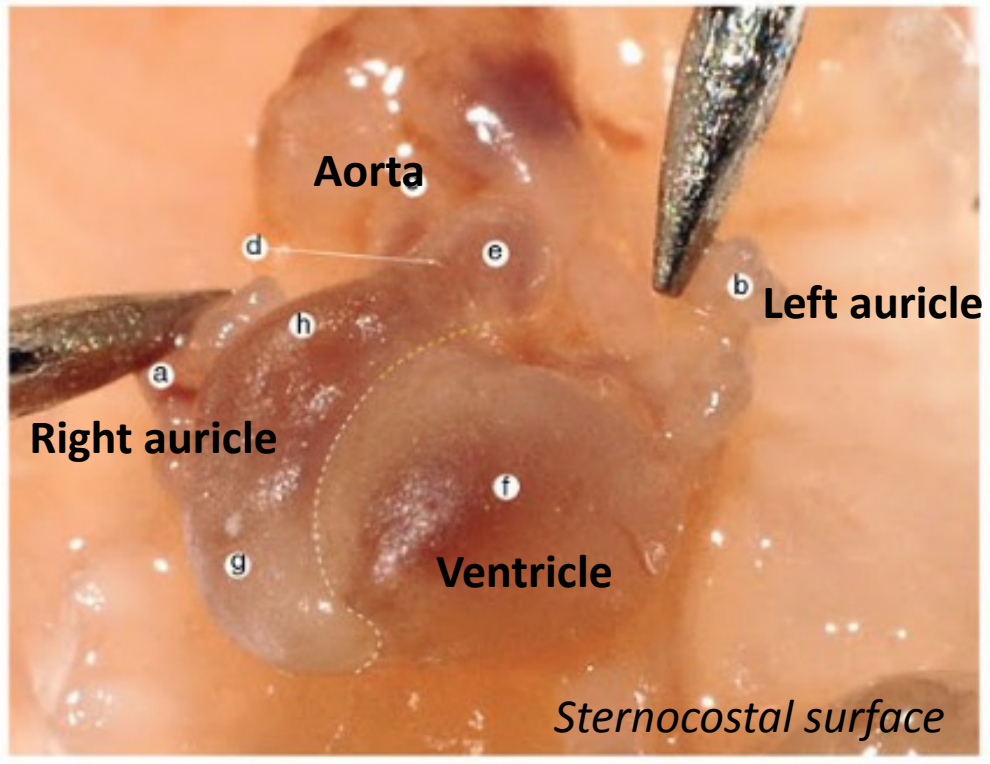
## 4. týden

### Cor tubulare simplex



Cor tubulare simplex/sigmoideum není teoretická struktura.

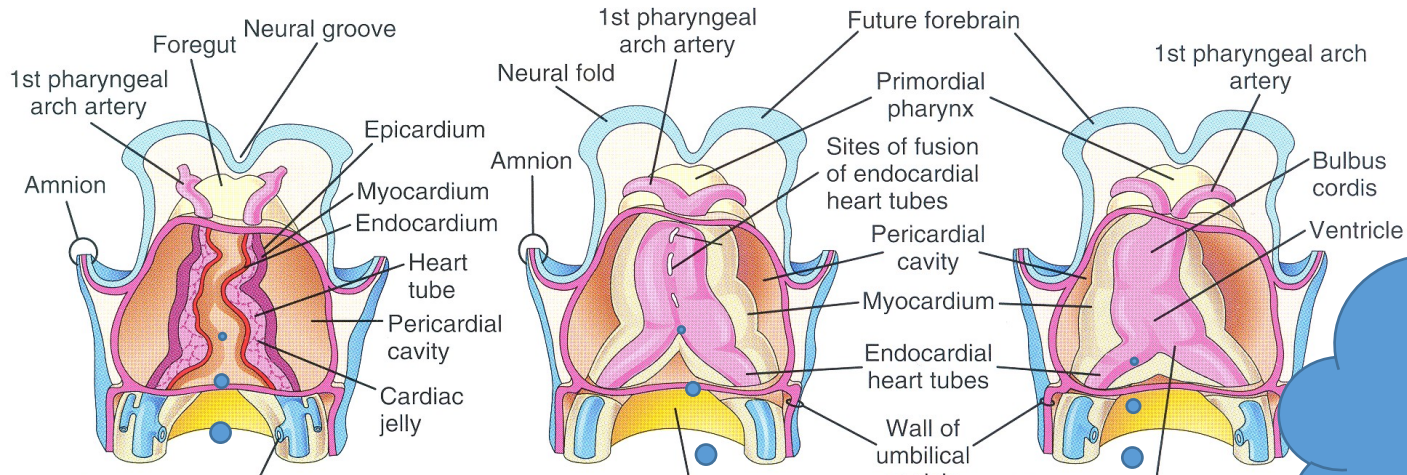
### Cor tubulare sigmoideum



*Sternocostal surface*



# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

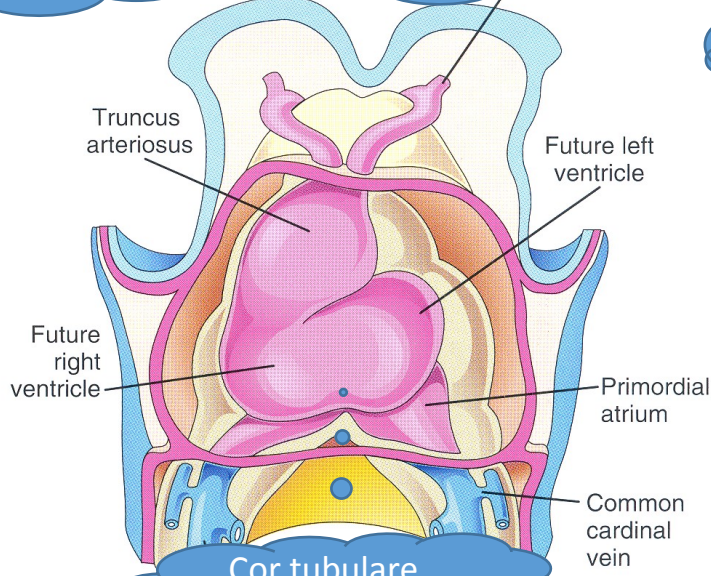
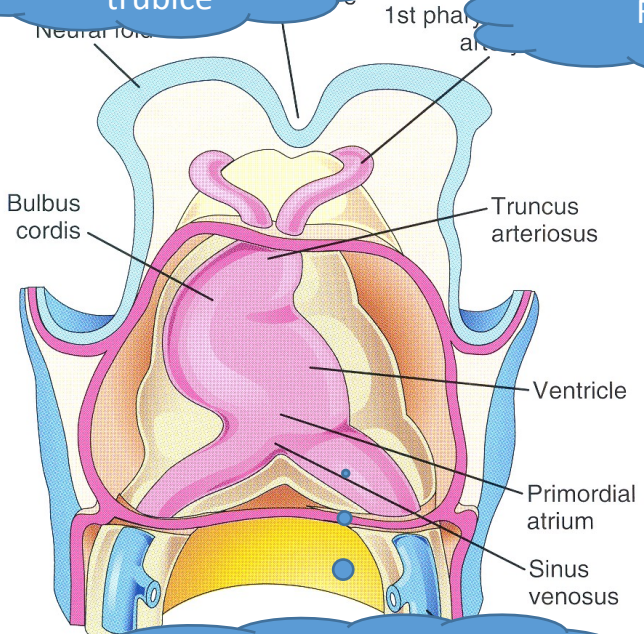


Složité jen na první pohled.

2 endoteliální trubice

B Fúze

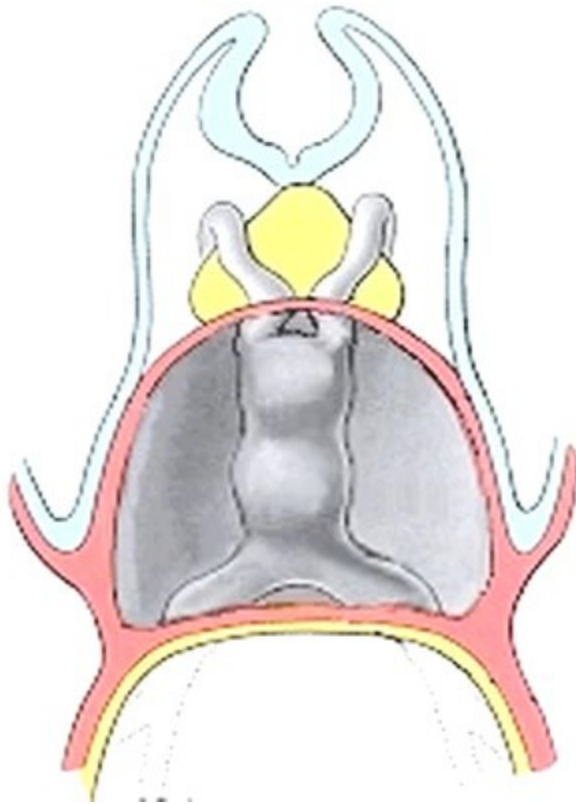
C Cor tubulare simplex



D Skládání cor tubulare simplex

E Cor tubulare sigmoideum

## 4. týden



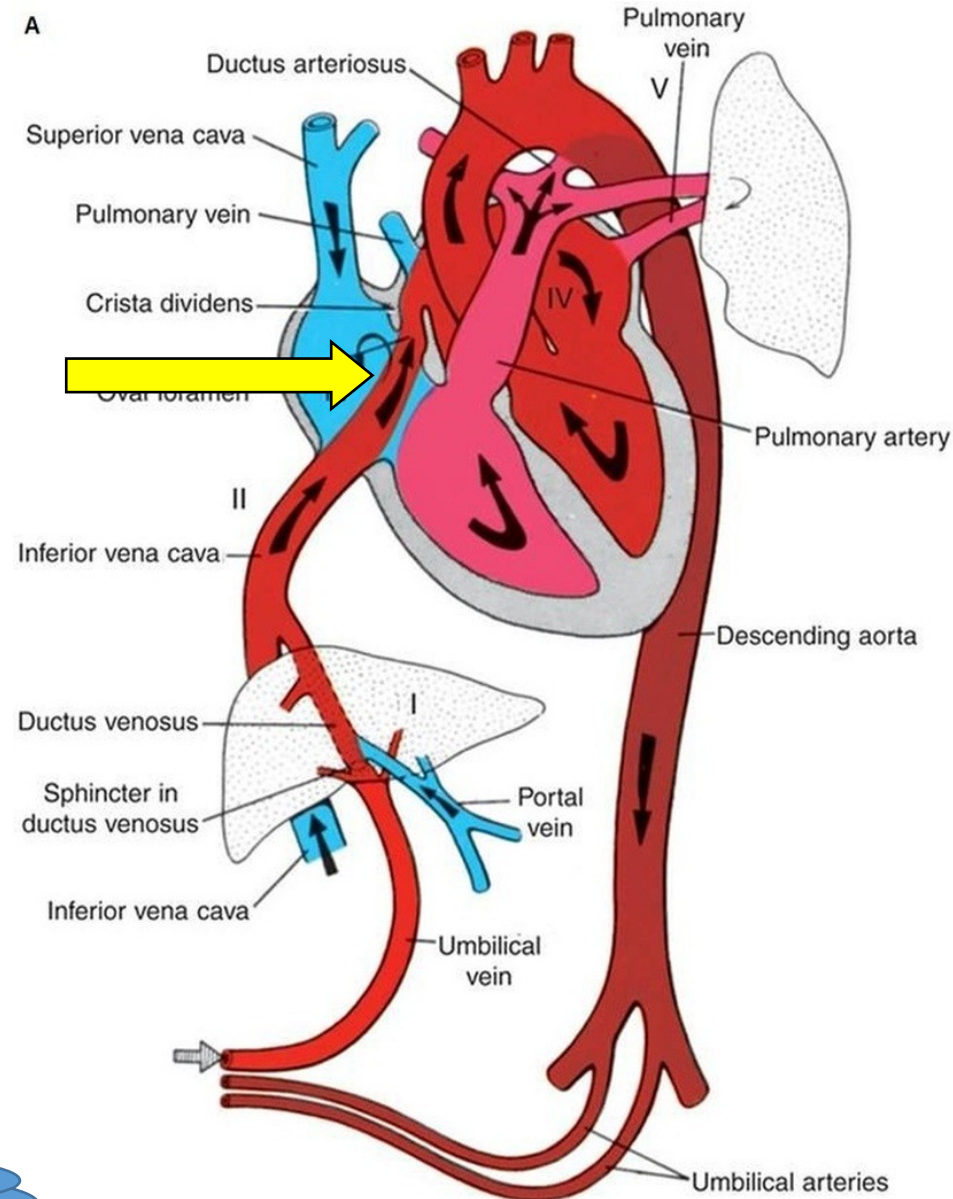
# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

## Rozdělení společného atria (atrium communis)

- septum primum z dorso-kraniální stěny směrem k endokardovým polštářům (endocardial cushions)
- neúplné uzavření → **foramen (ostium) primum**
- apoptóza → **foramen secundum**
- **septum secundum** → **foramen ovale**
- valvula foraminis ovalis z septum primum
- foramen ovale: kritická embryonální spojka
- foramen ovale patens

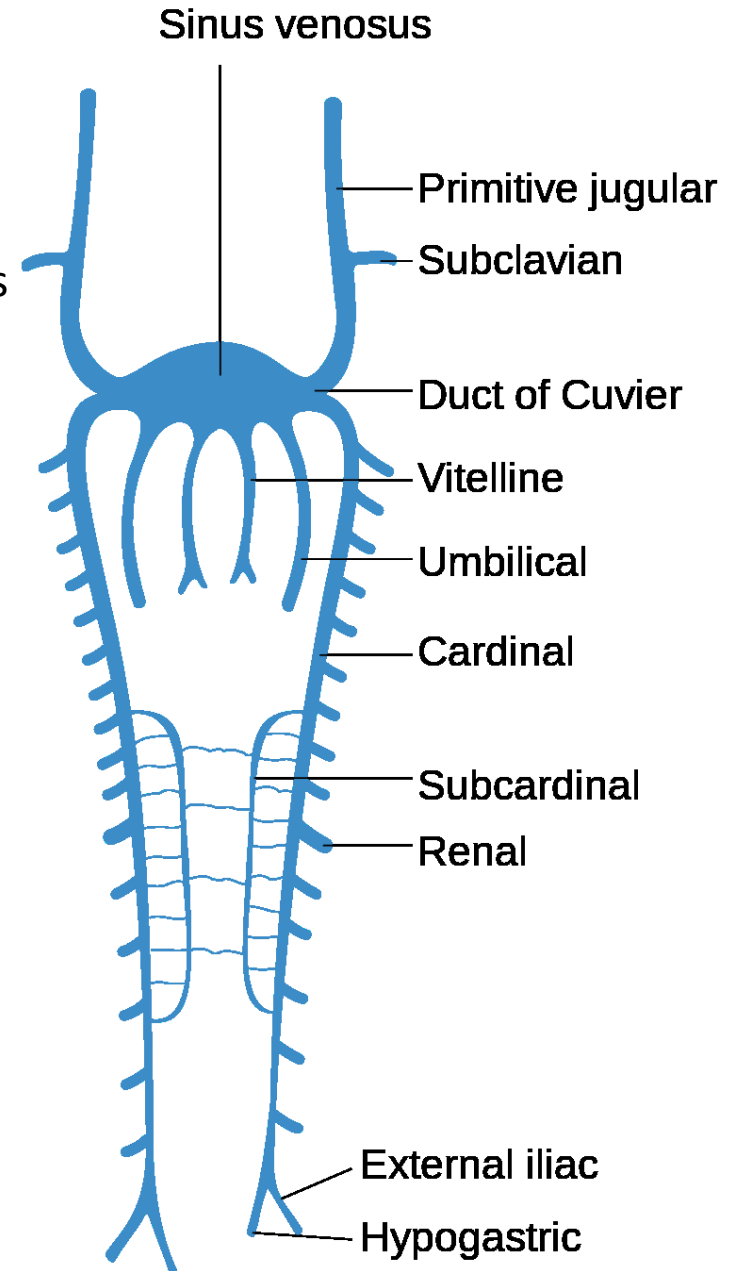
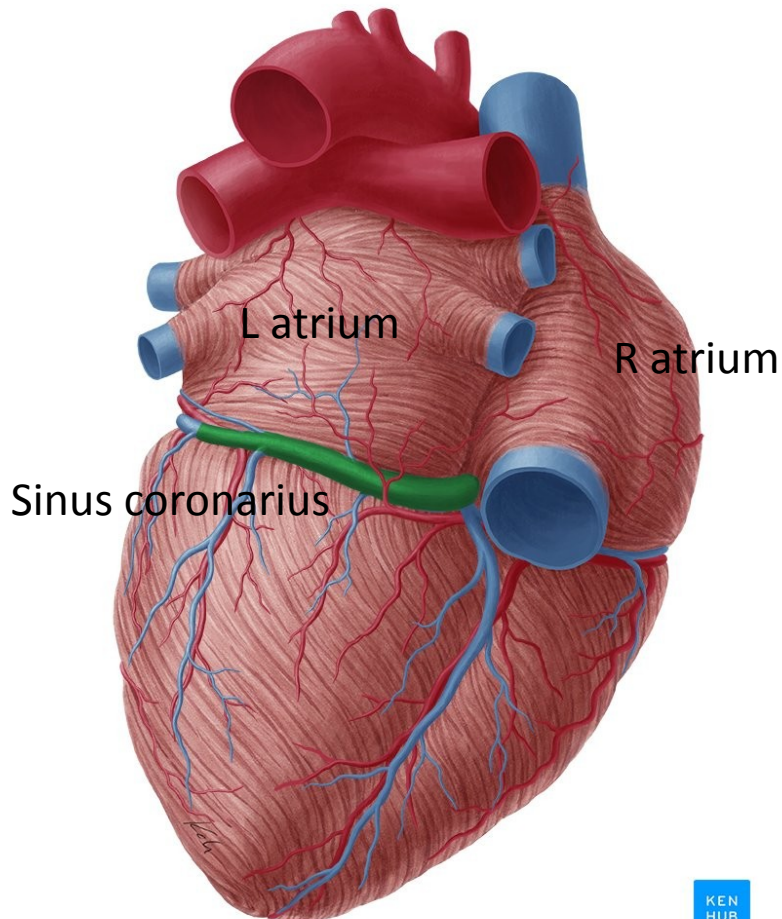


Primitivní srdeční trubice se rozdělí na příslušné oddíly

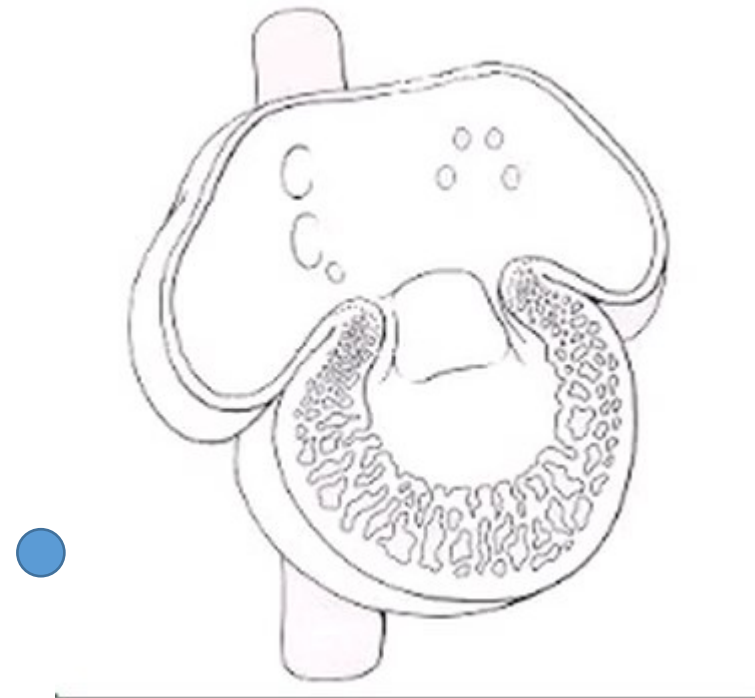
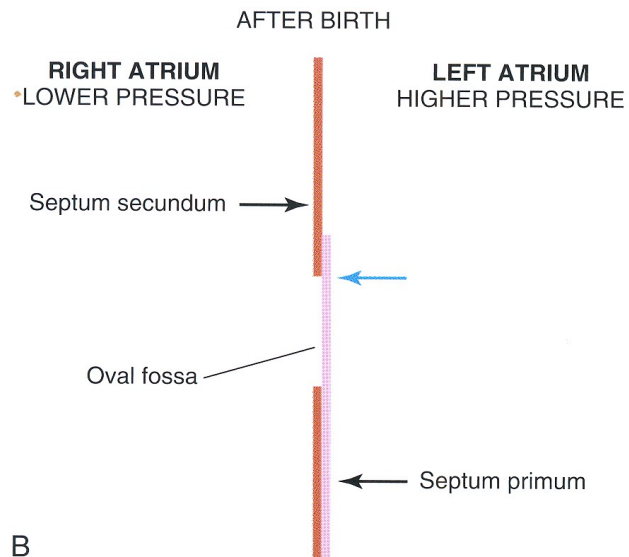
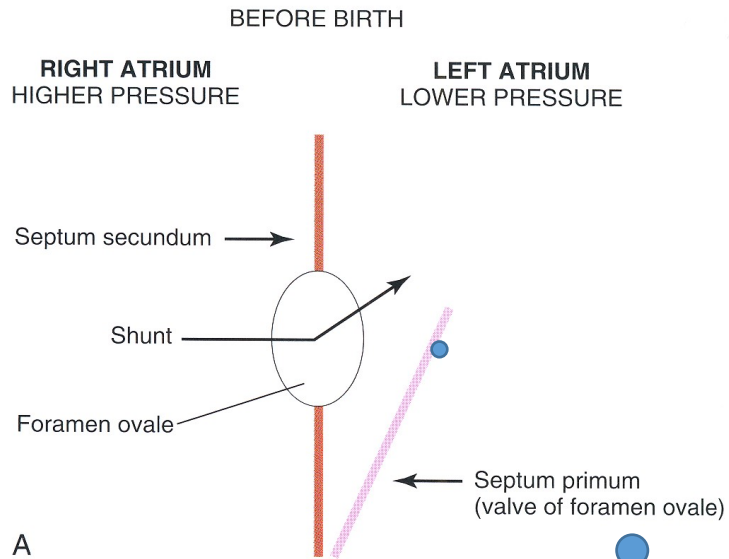


# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

- sinus venosus během atriální septace:
  - posun ústí sinus venosus doprava → pravé atrium
  - levá část sinus venosus se odděluje → sinus coronarius



# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

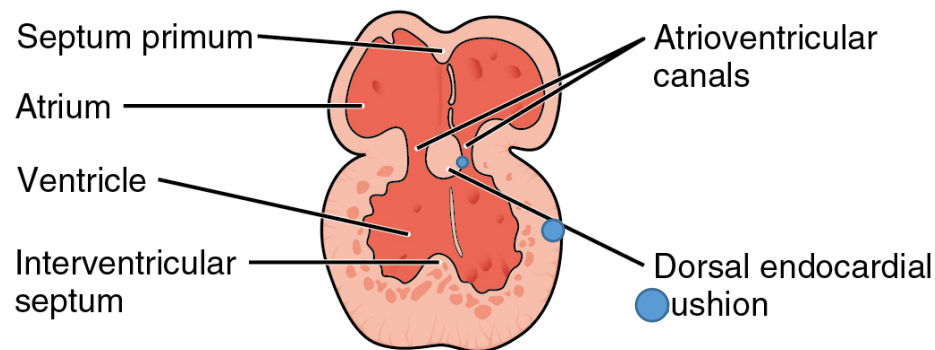


Velmi důležité – septae atria a vznik foramen ovale. Životně důležitý fetální zkrat.

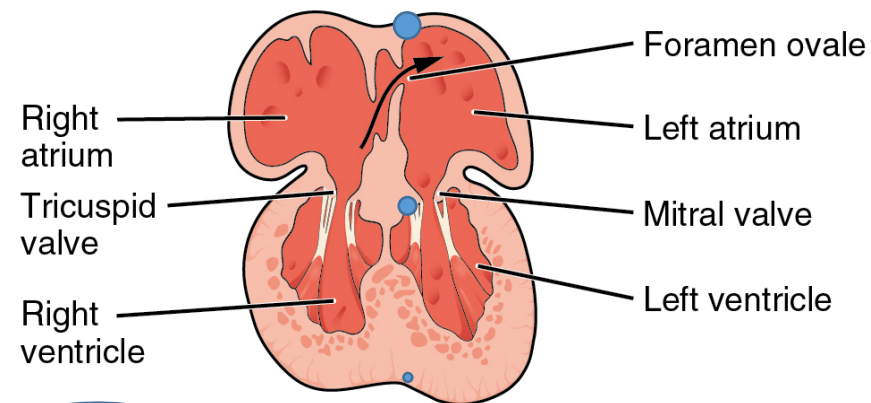
## Rozdělení společné komory (ventriculus communis)

- septum interventriculorum primitivum – dočasné
- septum interventriculare na konci 4. týdne – kraniálně, sagitálně směrem k foramen atrioventriculare
- foramen interventriculare – uzavírá se během tvorby aorto-pulmonálního septa
- pars membranacea septi interventricularis

Mějte přehled o vývojovém čase



28 days



8 weeks

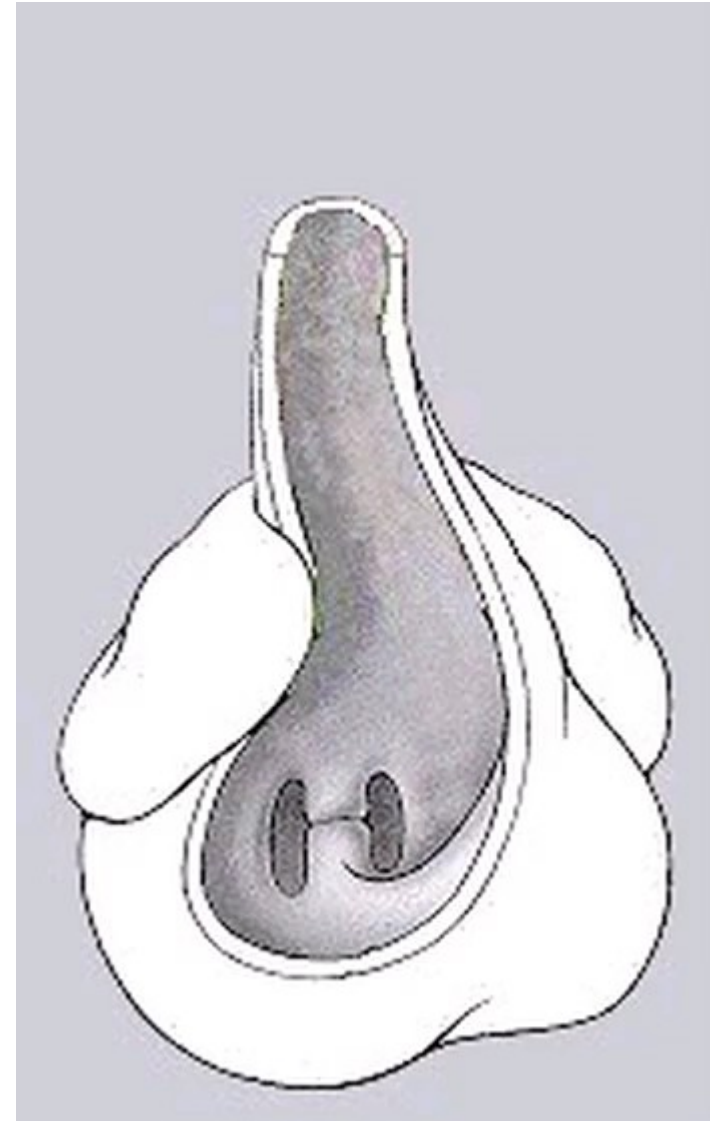
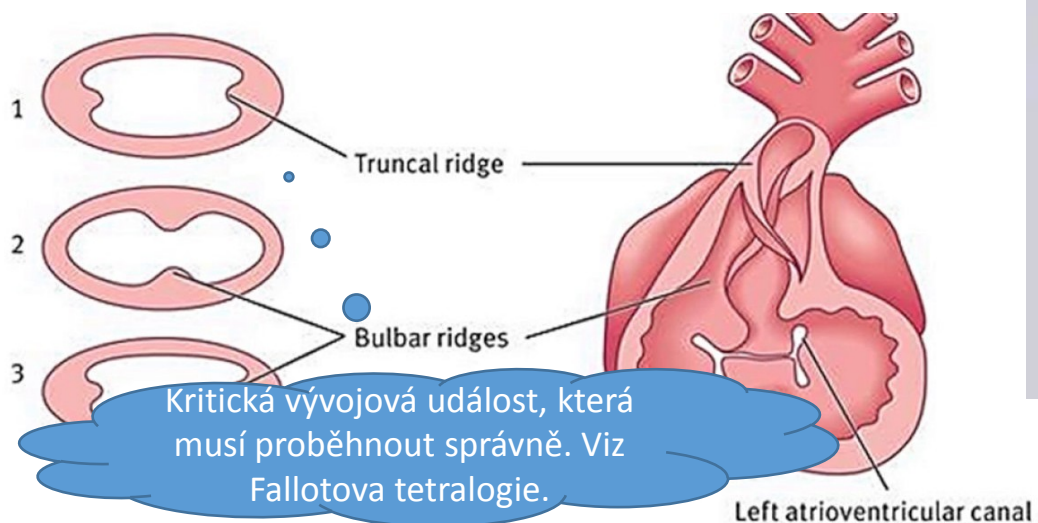
Chybná septace atrii i komor  
může být podkladem závažných  
VVV KVS

# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

- Rozdělení **bulbus cordis** a **truncus arteriosus**
- 5. týden – bulbární a trunkální valy
- vazivo původem z neurální lišty
- 180° otočení – spirálovité aorto-pulmonární septum
- plicní kmen a aorta se otáčí kolem sebe
- bulbus cordis je součástí definitivních komor:

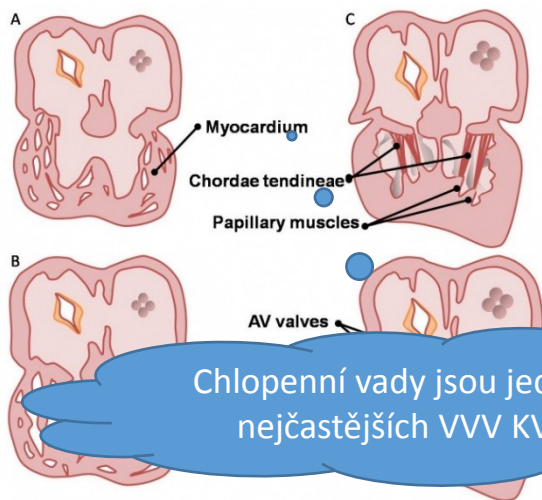
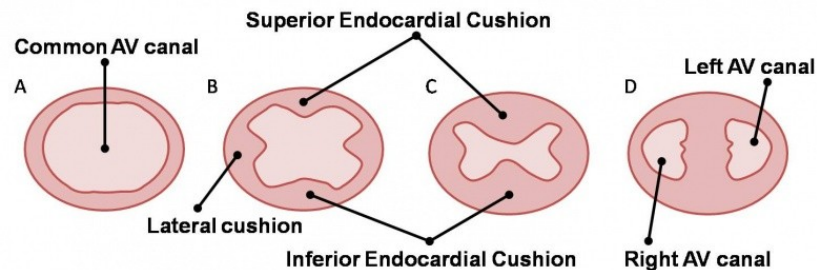
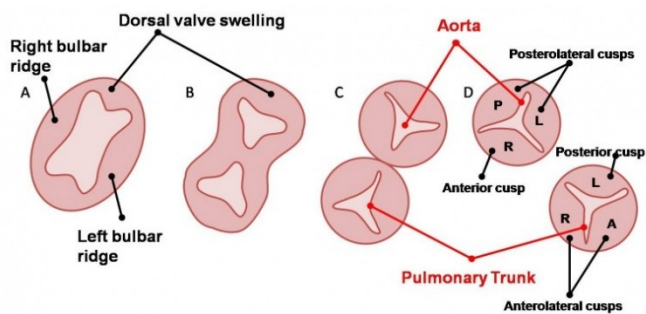
pravá komora: conus arteriosus (infundibulum) → plicní kmen

levá komora: vestibulum aortae



# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

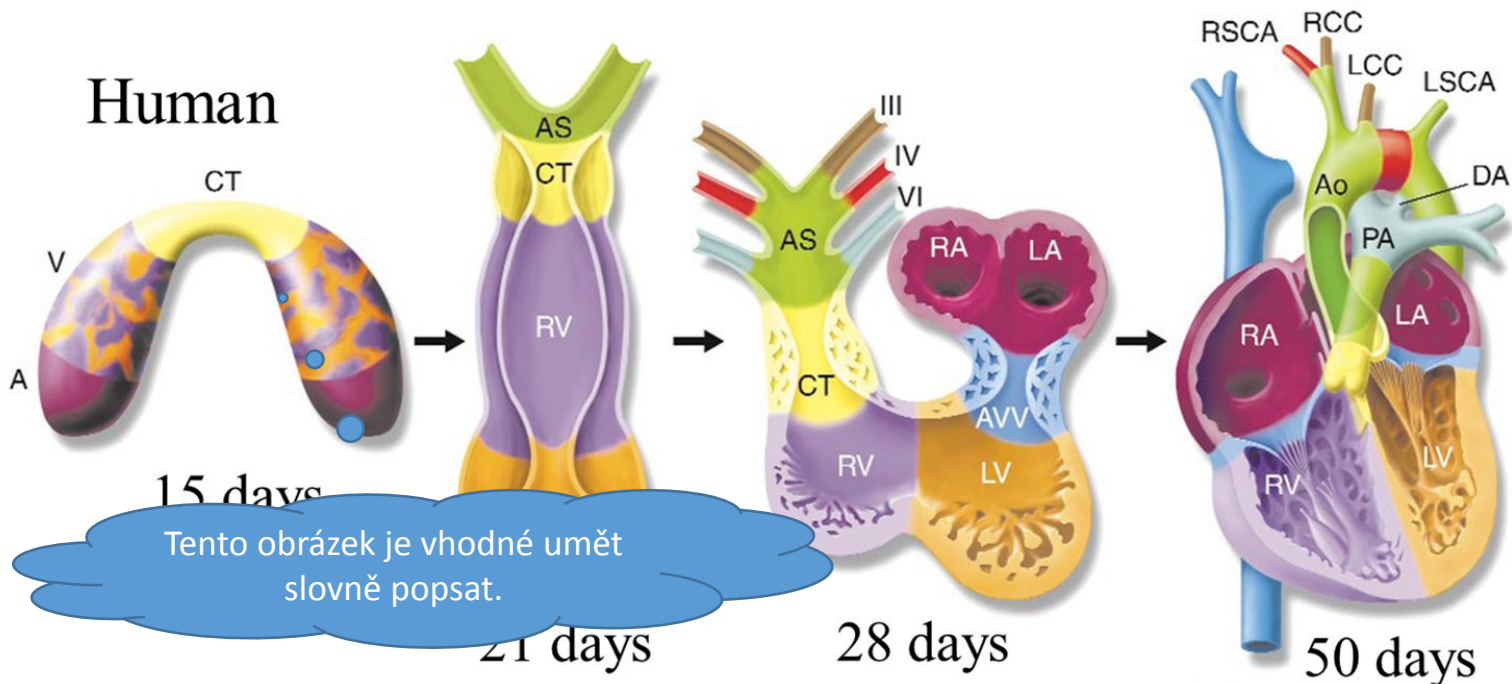
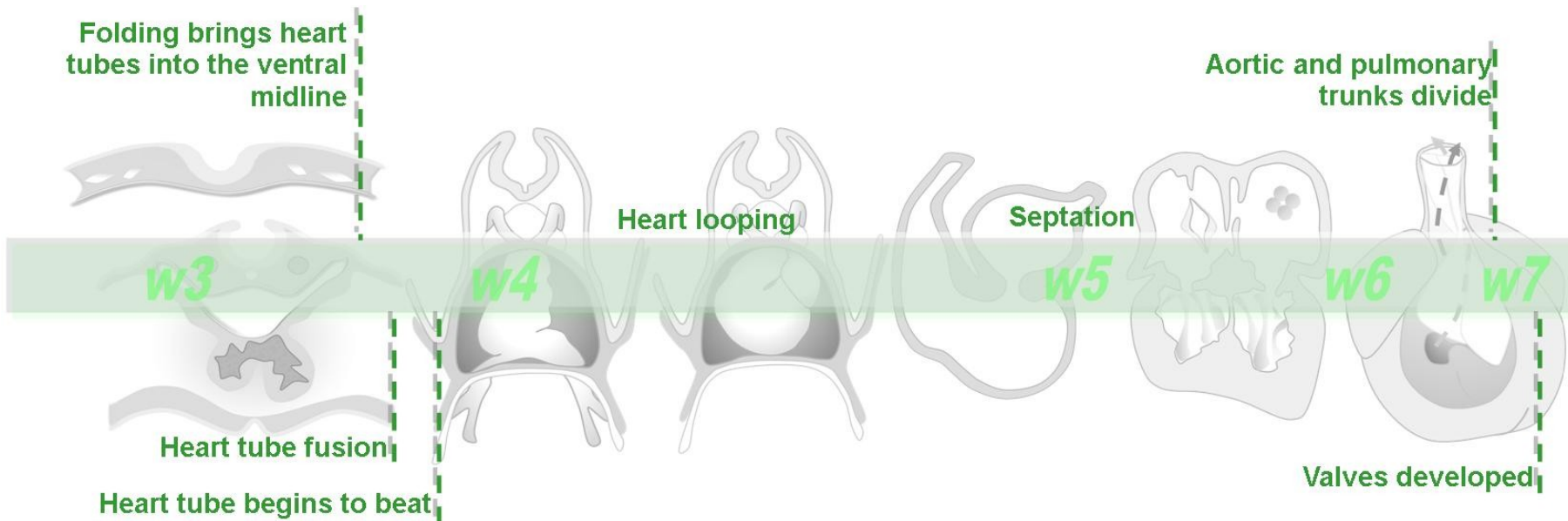
- Vývoj srdečních chlopní
- **semilunární chlopně** během septace truncus arteriosus z endokardových polštářů atriopulmonárního septa
- **atrioventrikulární chlopně** z endokardových polštářů a myokardu ve foramen atrioventriculare commune



Chlopenní vady jsou jedny z nejčastějších VVV KVS

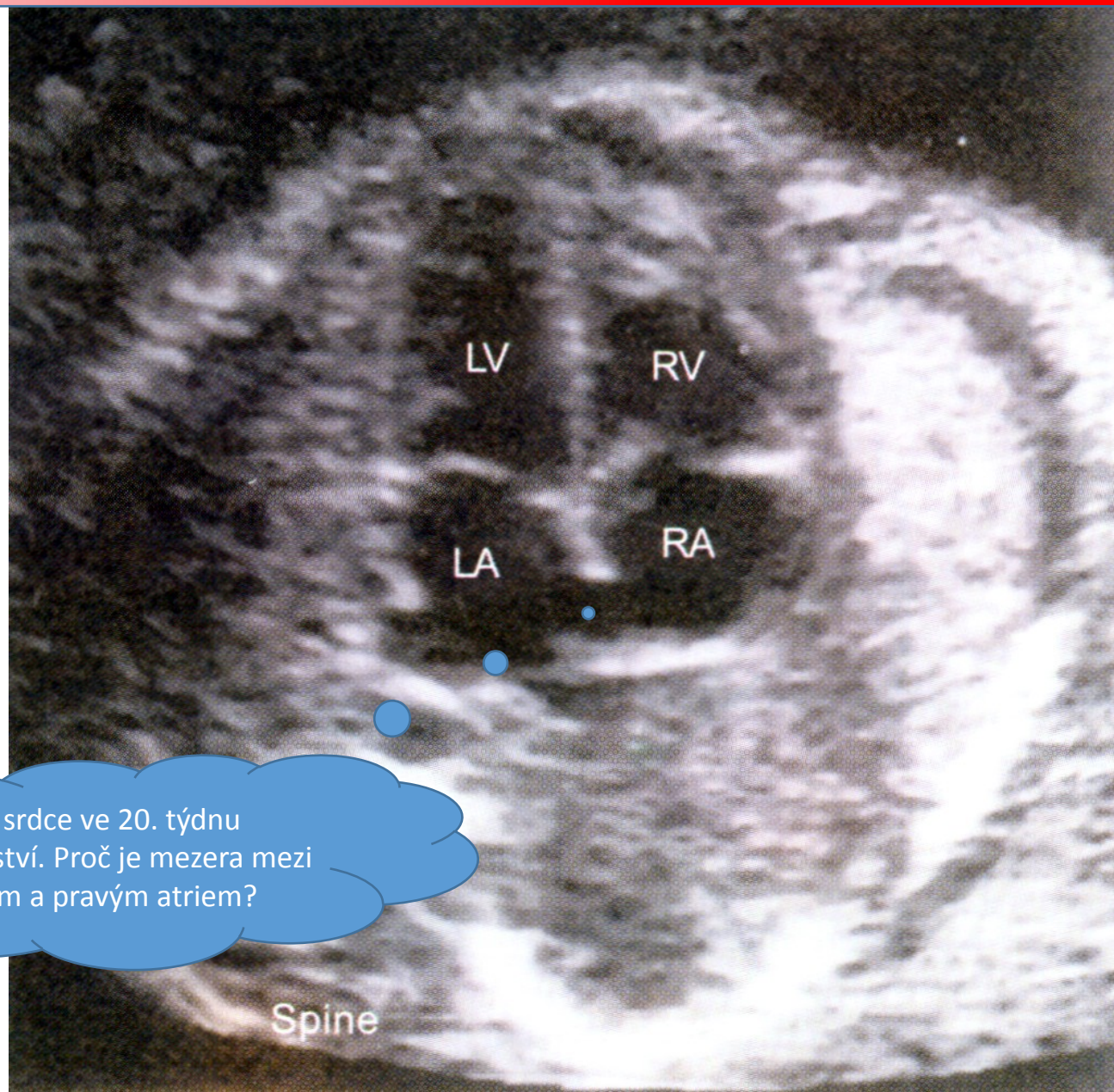


# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU



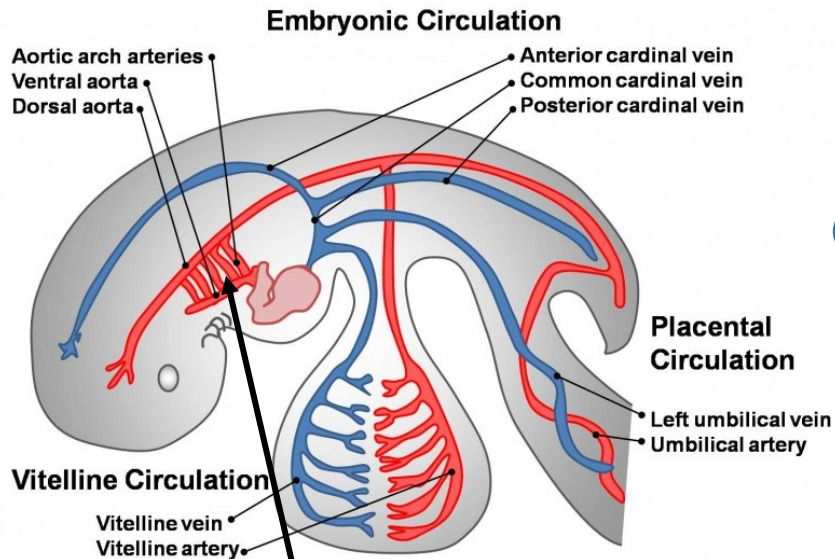
Tento obrázek je vhodné umět slovně popsat.

20. týden

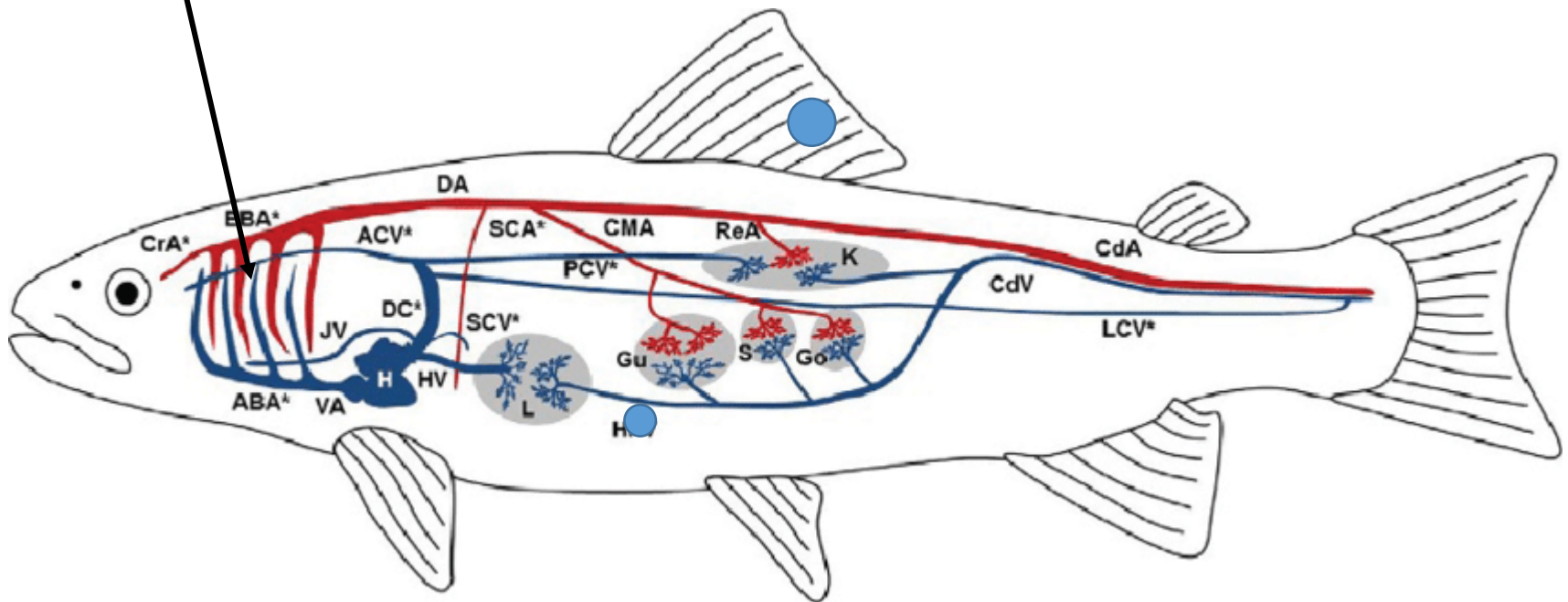


UZ srdce ve 20. týdnu  
těhotenství. Proč je mezera mezi  
levým a pravým atriem?

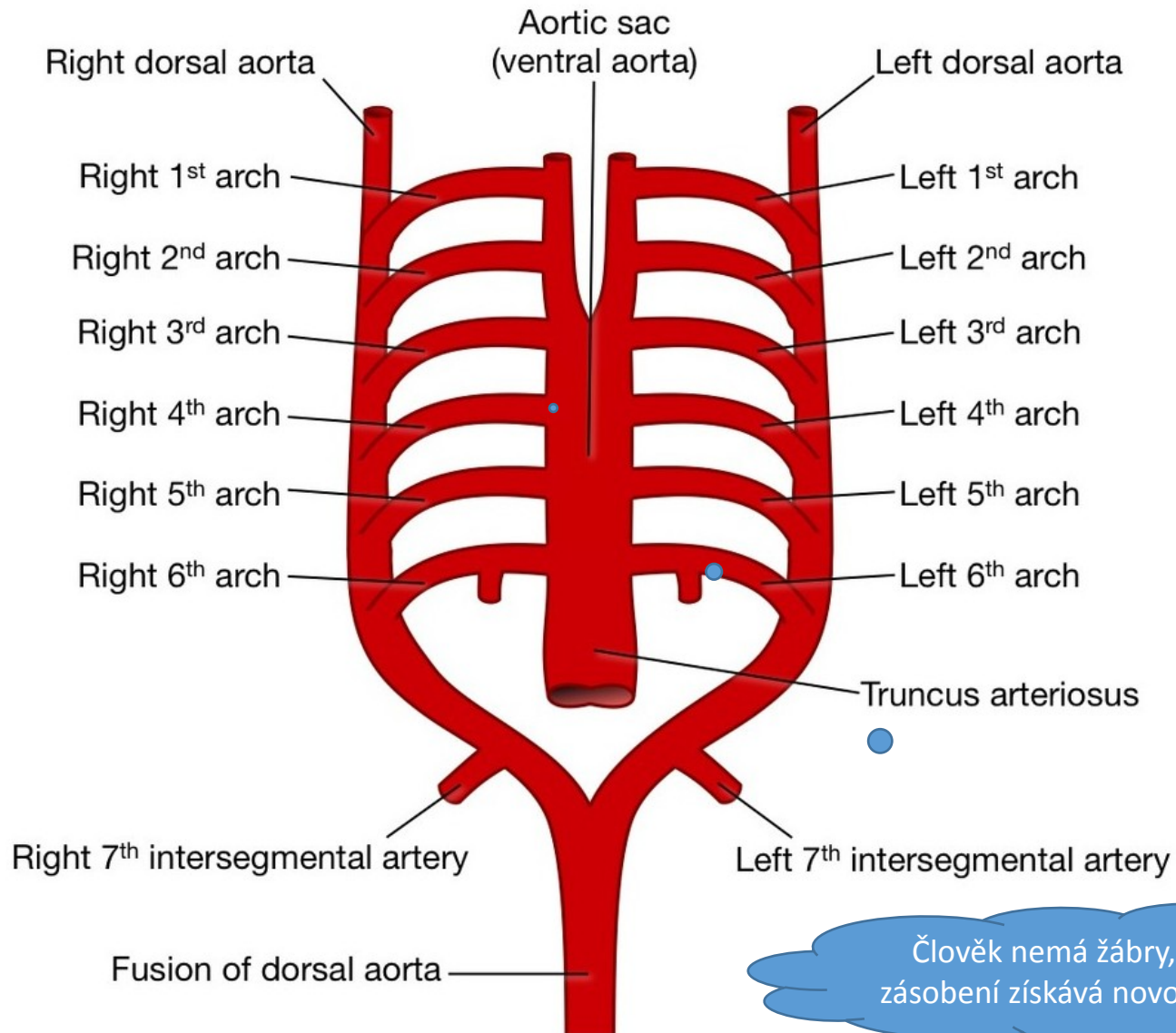
# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU



Vývoj KVS lidských emrbyí připomíná v určité etapě vývoj KVS nižších obratlovců

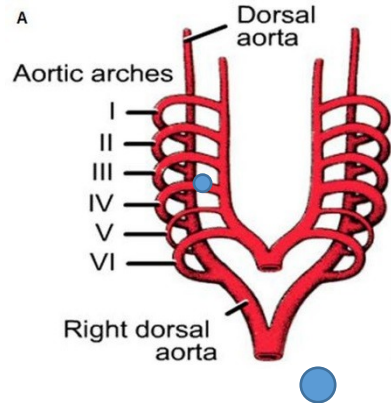


## Aortální oblouky



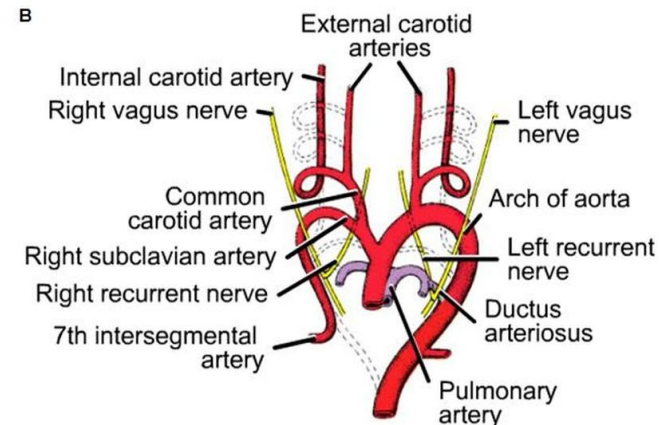
Člověk nemá žábry, cévní zásobení získává novou funkci

## Aortální oblouky



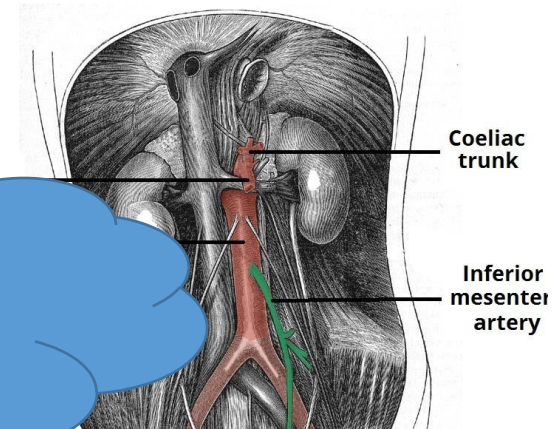
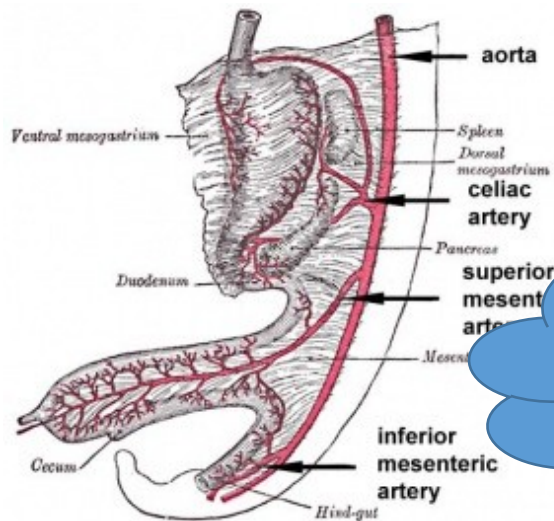
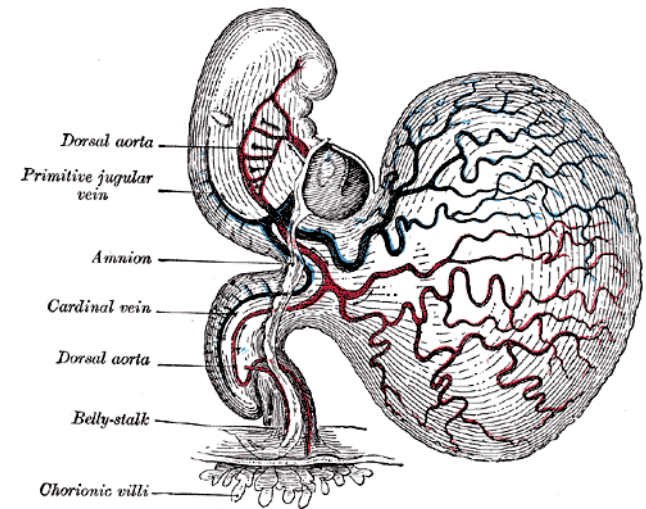
- 1 zaniká, z části **a. maxillaris**
- 2 zaniká, z části **a. stapedia** a **a. hyoidea**
- 3 proximální úseky **aa. carotides communes**, distální **aa. carotides internae**
- 4 pravý dává vznik proximální části **a. subclavia dextra** (distální část pochází z dorsální aorty a ze 7. intersegmentální arterie);  
z levého vzniká část **arcus aortae** (aorta samotná vzniká z aortálního vaku a levé dorzální aorty)
- 5 - (buď se nezaloží nebo rychle degeneruje aniž z něj vznikají jakékoli cévy)
- 6 vpravo z proximální části vzniká **a. pulmonalis dextra**, distální část zaniká;  
vlevo z proximální části vzniká **a. pulmonalis sinistra**, z distální části vzniká **ductus arteriosus**.

Oblouky jsou párové, podobně jako dorzální aorty.



## Žloutkové tepny

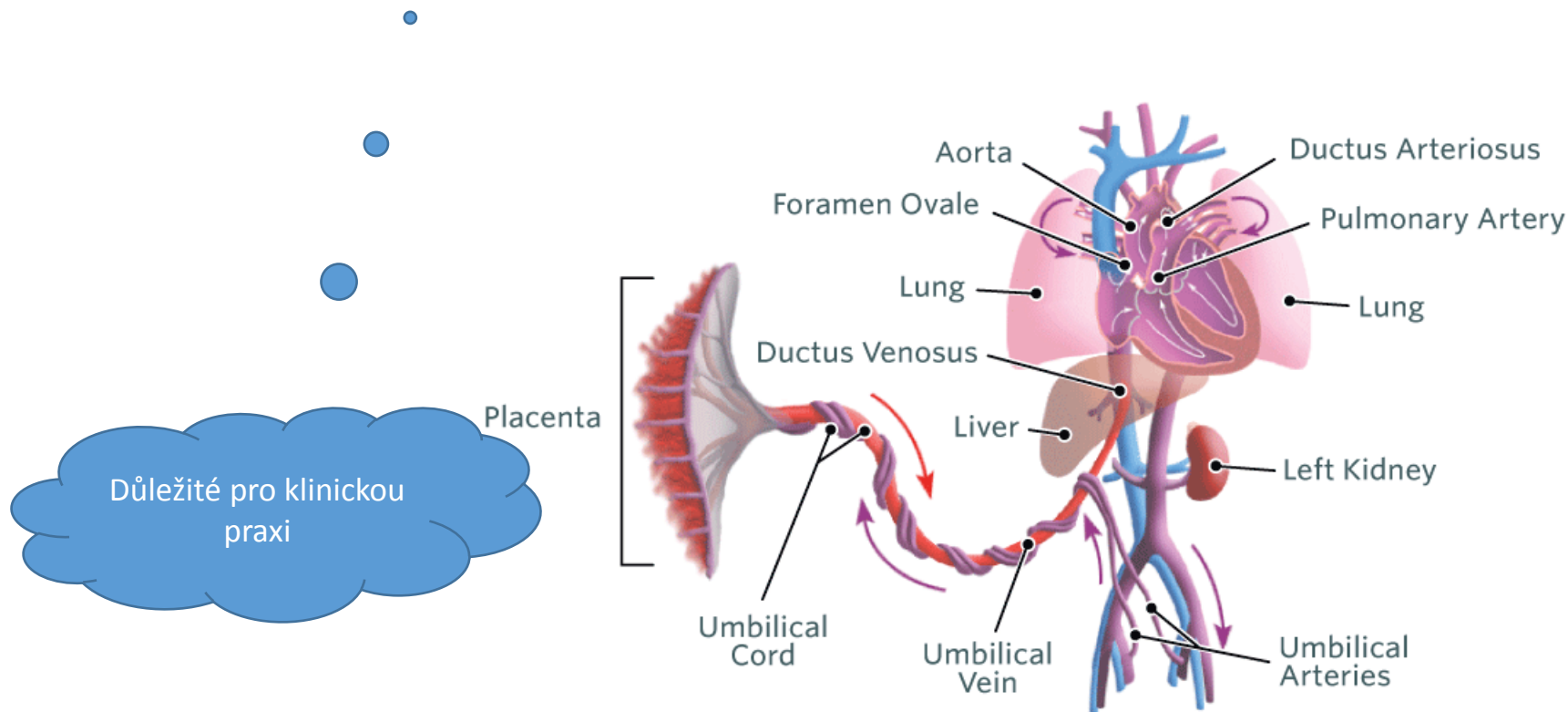
- aa. vitellinae (aa. omphalomesentericae)
- ventrální větve dorsálních aort
- redukce během vývoje na tři hlavní cévy:
  - 1 **truncus coeliacus**
  - 2 **a. mesenterica superior**
  - 3 **a. mesenterica inferior**



Nutritivní funkce žloutkového vřetku není významná

## Pupečnickové tepny

- aa. umbilicales
- ventrální větve dorsálních aort, později napojeny na aa. iliacae communes.
- po narození: proximální části a. umbilicales tvoří aa. iliacae internae a aa. vesicales superiores.  
distální části obliterují.



# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

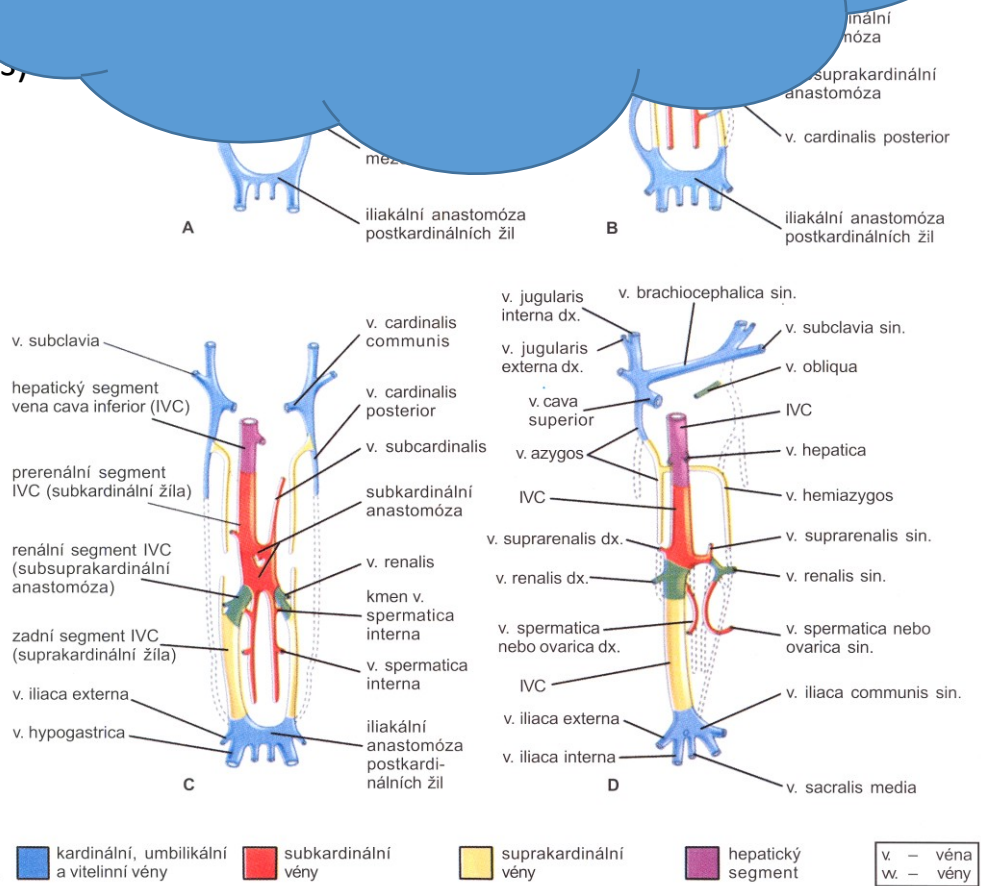
## Kardinální vény a vývoj vena cava inferior

- čtyři základní segmenty
- 1 hepatický segment (proximální část v. omphalomesenterica = v. hepatica)
- 2 prerenální segment (pravá v. subcardinalis)
- 3 renální segment (anastomóza mezi v. subcardinalis a v. supracardinalis)
- 4 postrenální segment (pravá v. supracardinalis)

Venózní systém je komplikovaný s celou řadou spojek (viz anatomie a kavo-kavální spojení).  
Tento slide není nutné memorovat.



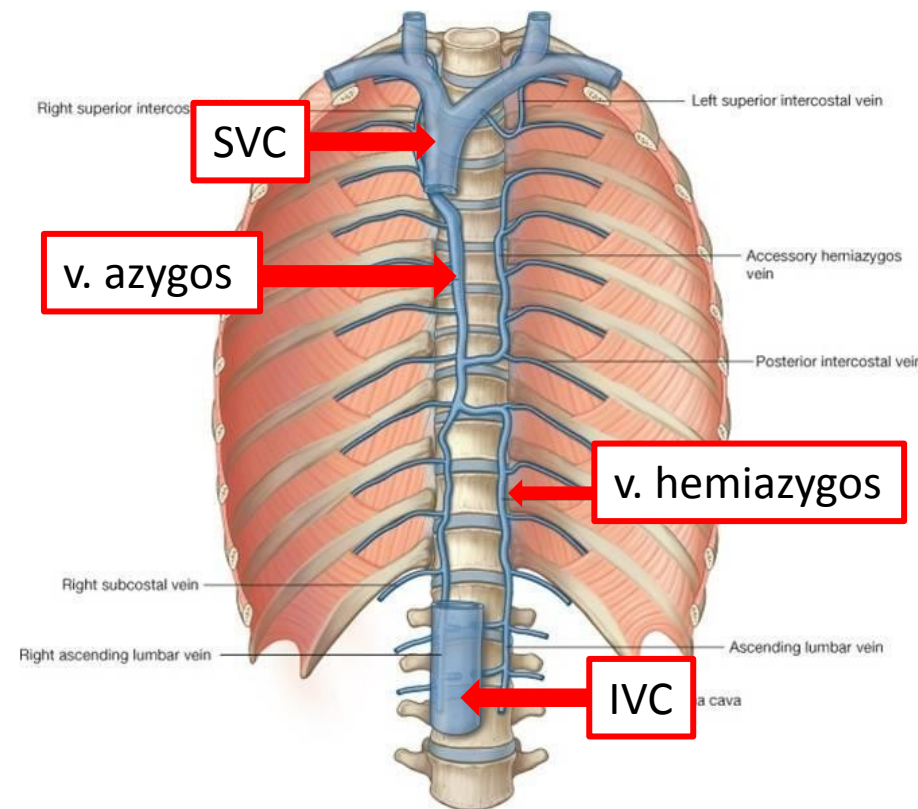
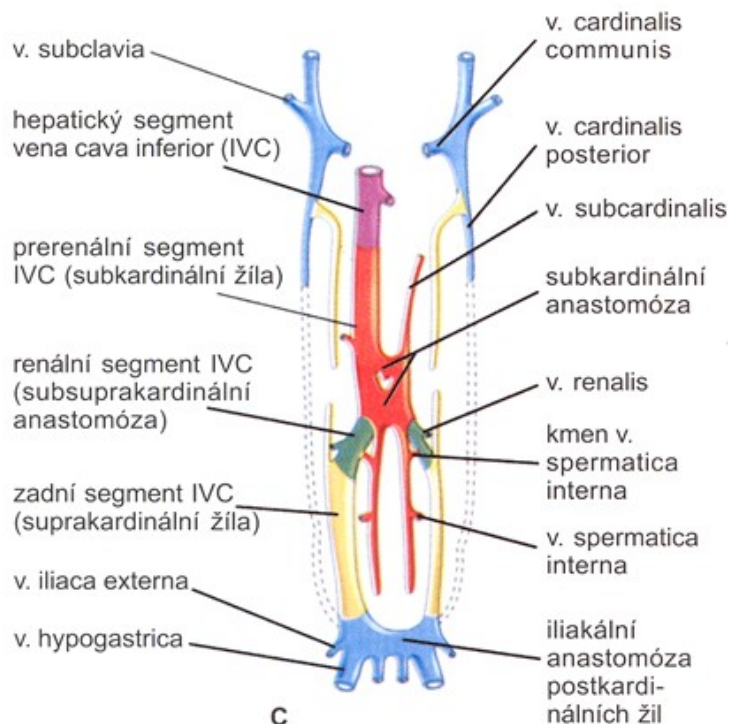
**Vena cava superior: pravá v. cardinalis communis a v. cardinalis anterior**





## Anomálie velkých dutých žil

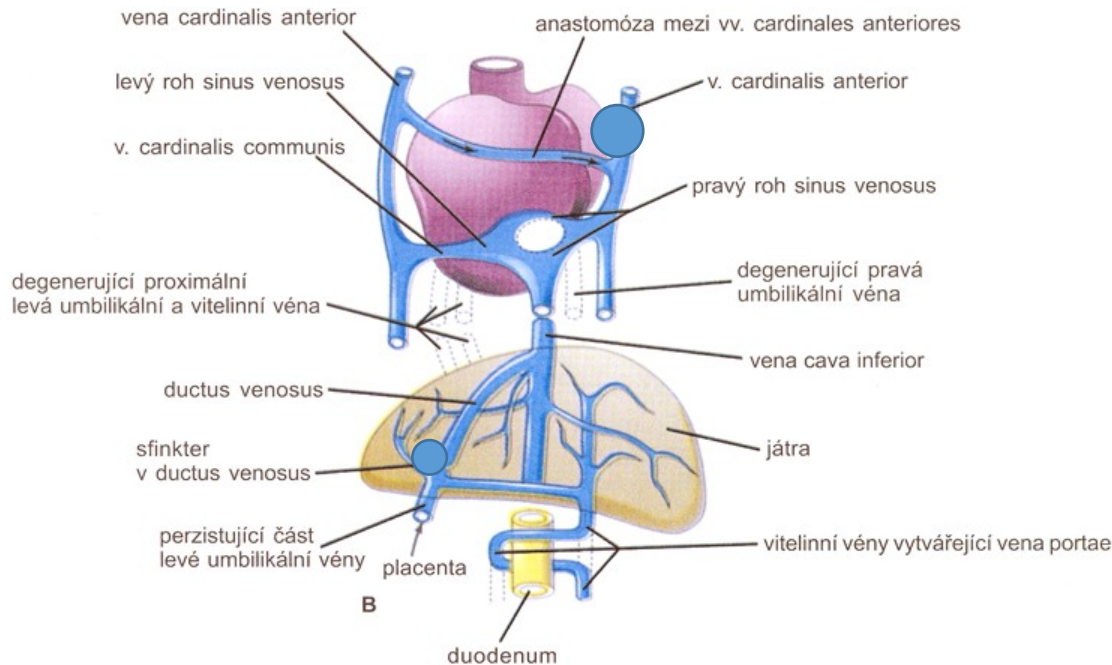
- **Dvojitá SVC:** levá přední kardinální žíla perzistuje → levá SVC
- **Levá SVC:** pravá v. cardinalis anterior a v. cardinalis communis degenerují, zůstávají levostranné vény
- **Absence hepatického segmentu IVC:** krev odchází cestou v. azygos a hemiazygos do pravého atria.
- **Dvojitá IVC:** perzistence základů obou IVC v důsledku absence anastomóz mezi kaudálními vénami



## Žloutkové vény

- párové vv. omphalomesentericae, vedou krev ze žloutkového vaku
- septum transversum
- ústí do sinus venosus (spolu s pupečnickovými vénami)
- růst jater – rozdělení vv. omphalomesentericae a distální část (játra-srdce)
- proximální úsek levé v. omphalomesenterica mizí
- proximální úsek pravé v. omphalomesenterica posthepatický segment IVC
- distální úseky vytvoří dvě anastomózy a následně v. portae

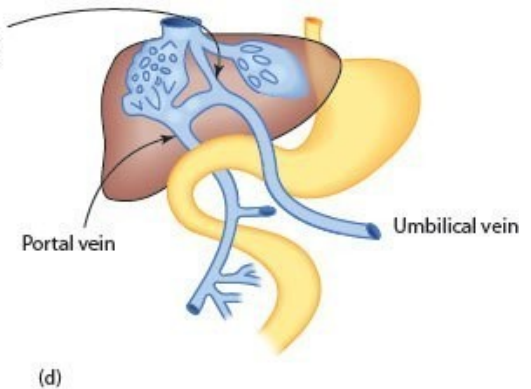
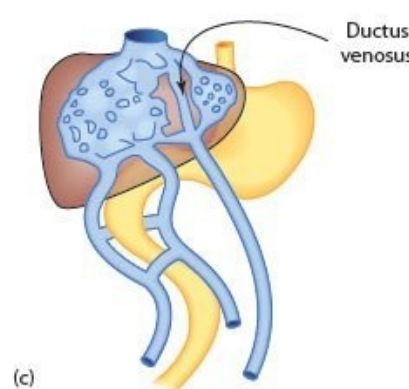
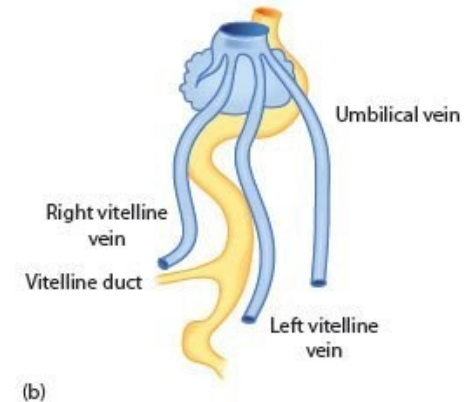
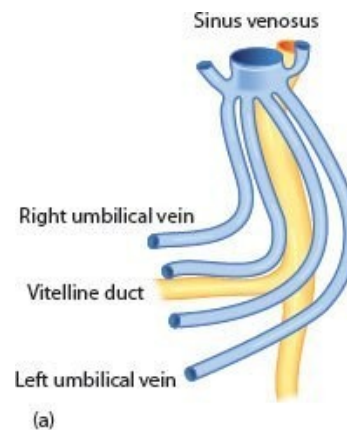
Důležité pro vývoj definitivních struktur



## Pupečníkové vény

- párové (na začátku) vv. umbilicales, vedou krev z choriových klků
- v důsledku růstu jater zanikají proximální úseky obou vén
- distální část pravé umbilikální vény mizí
- distální část levé umbilikální vény tvoří ductus venosus

Důležité pro pochopení  
vzniku ductus venosus

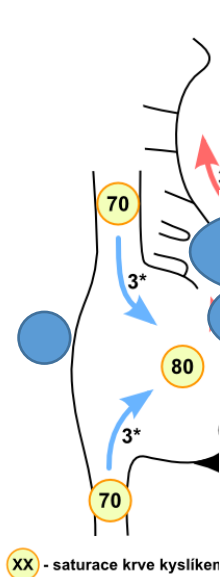


# VÝVOJ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

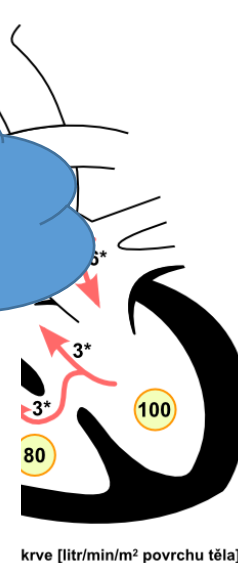
## Teratologie

- Acardia
- Ectopia cordis
- Dextrokardie
- Atriální septální defekty
- Ventrikulární septální defekty
- Stenóza truncus pulmonalis
- Fallotova tetralogie (pentalogie)
- Koarktace aorty
- Ductus arteriosus apertus

Defekt síňového septa



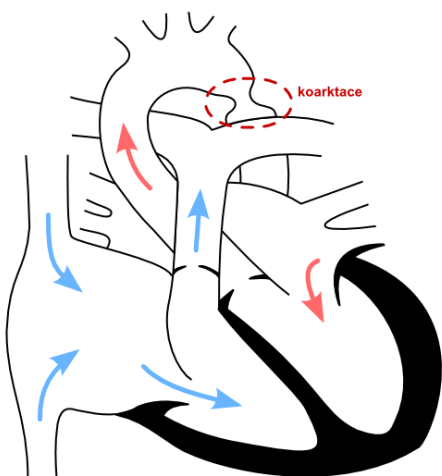
Defekt komorového septa



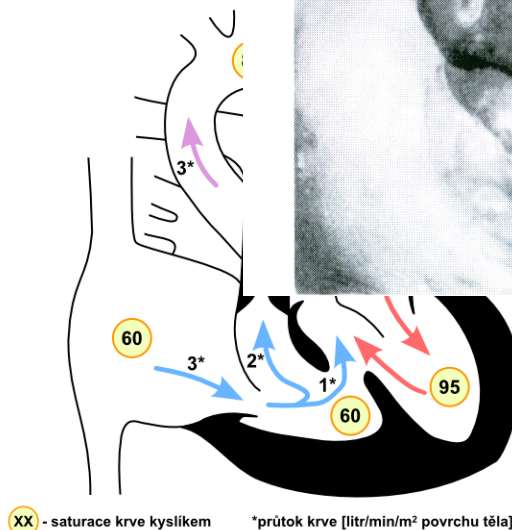
Každý morfogenetický krok může proběhnout abnormálně.



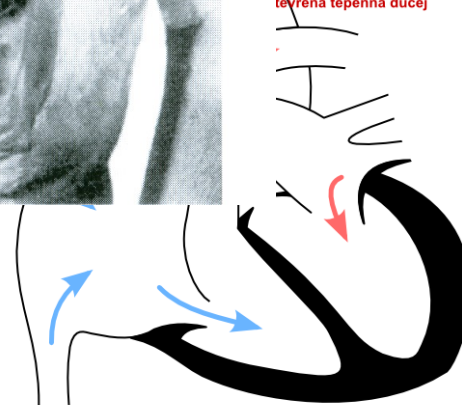
Koarktace aorty



Fallotova tetralogie

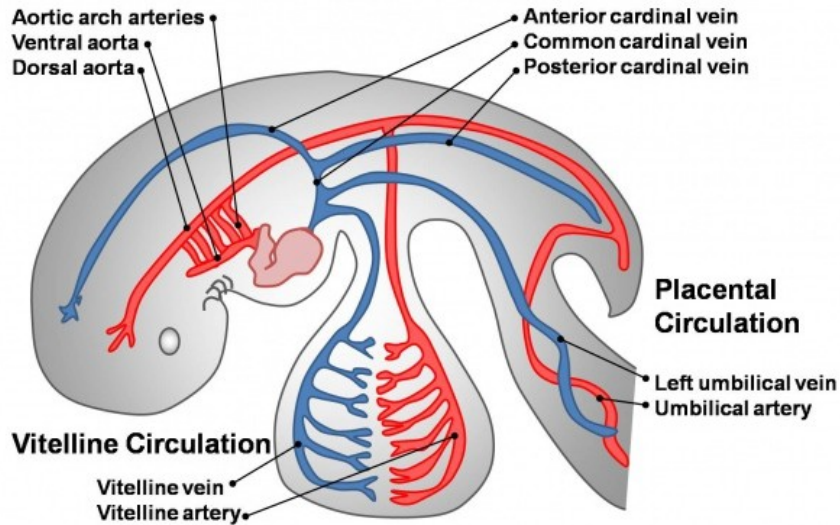


teplěná tepenná duče



XX - saturace krve kyslíkem

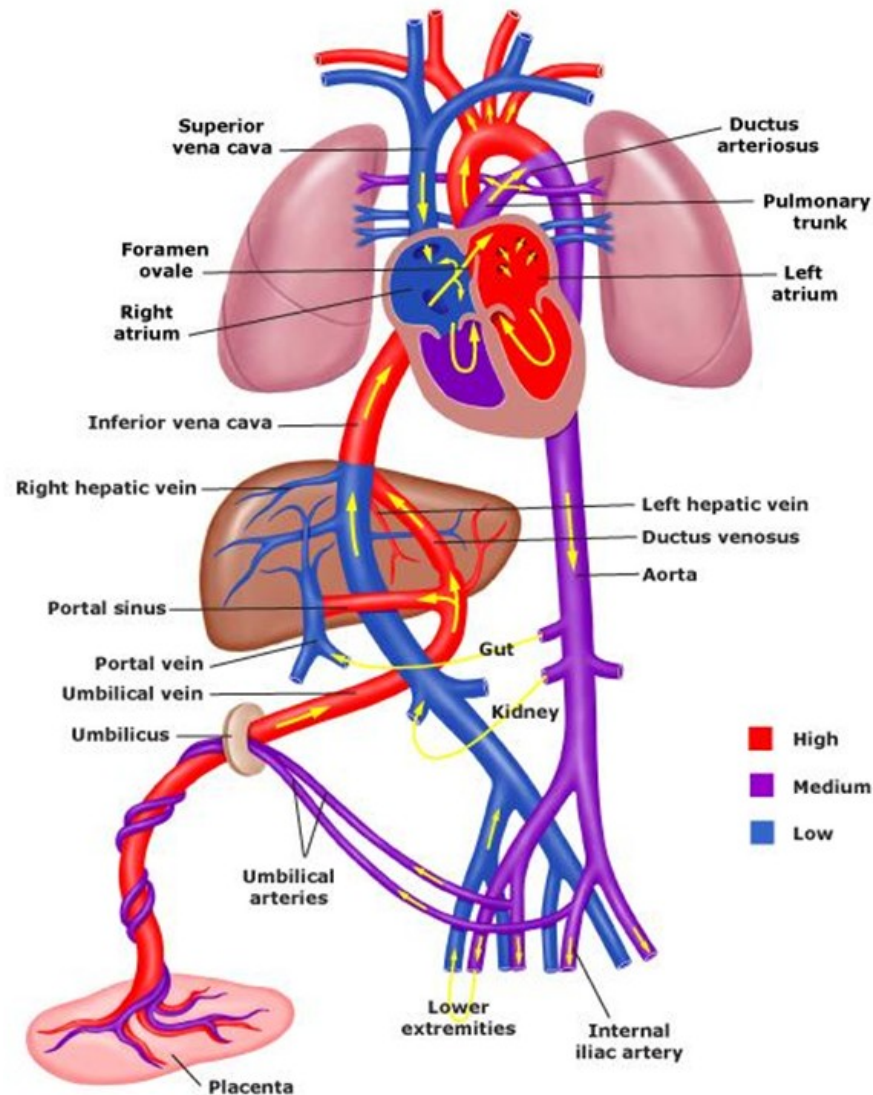
\*průtok krve [litr/min/m<sup>2</sup> povrchu těla]



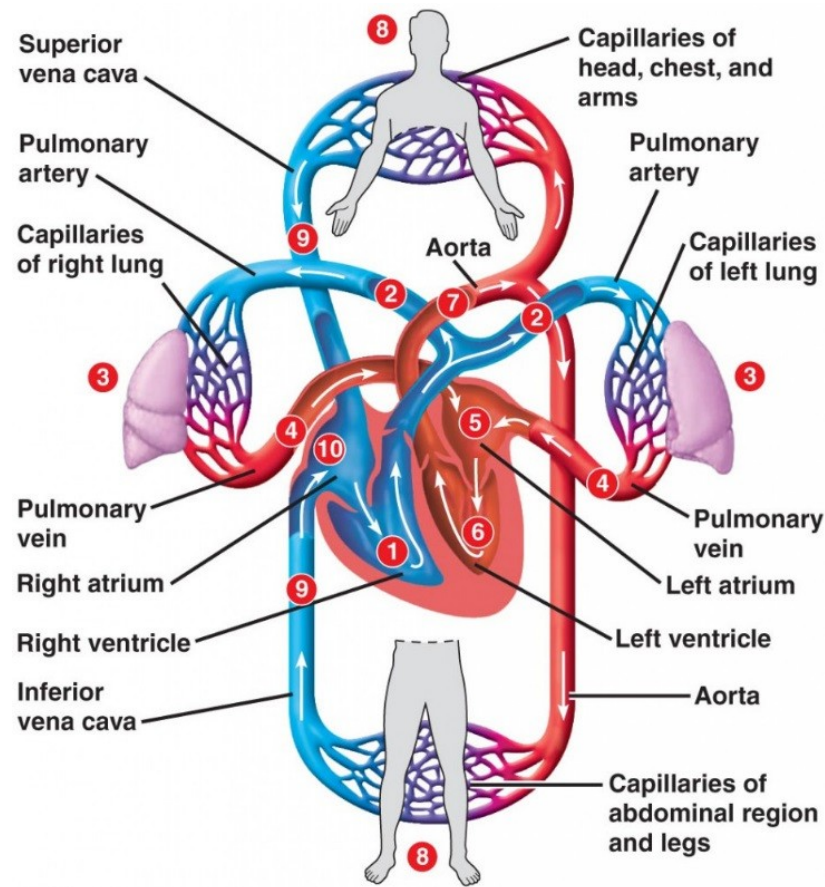
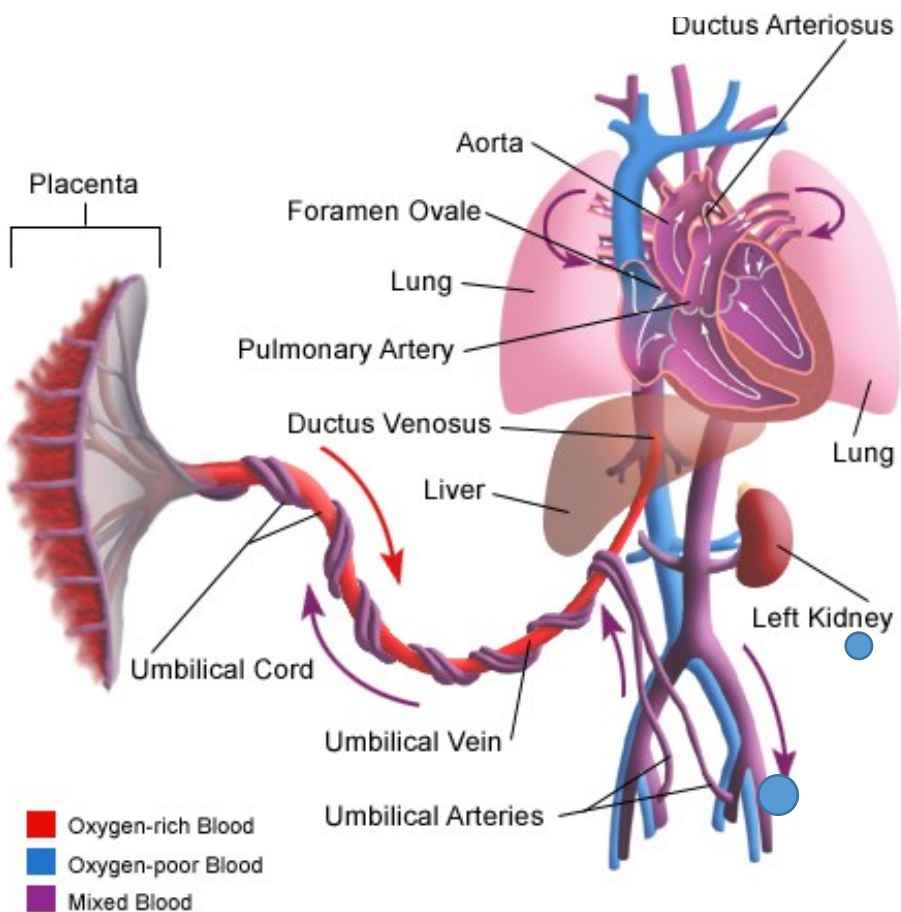
## Embryonální oběh

Velmi důležitý slide I

## Fetální oběh



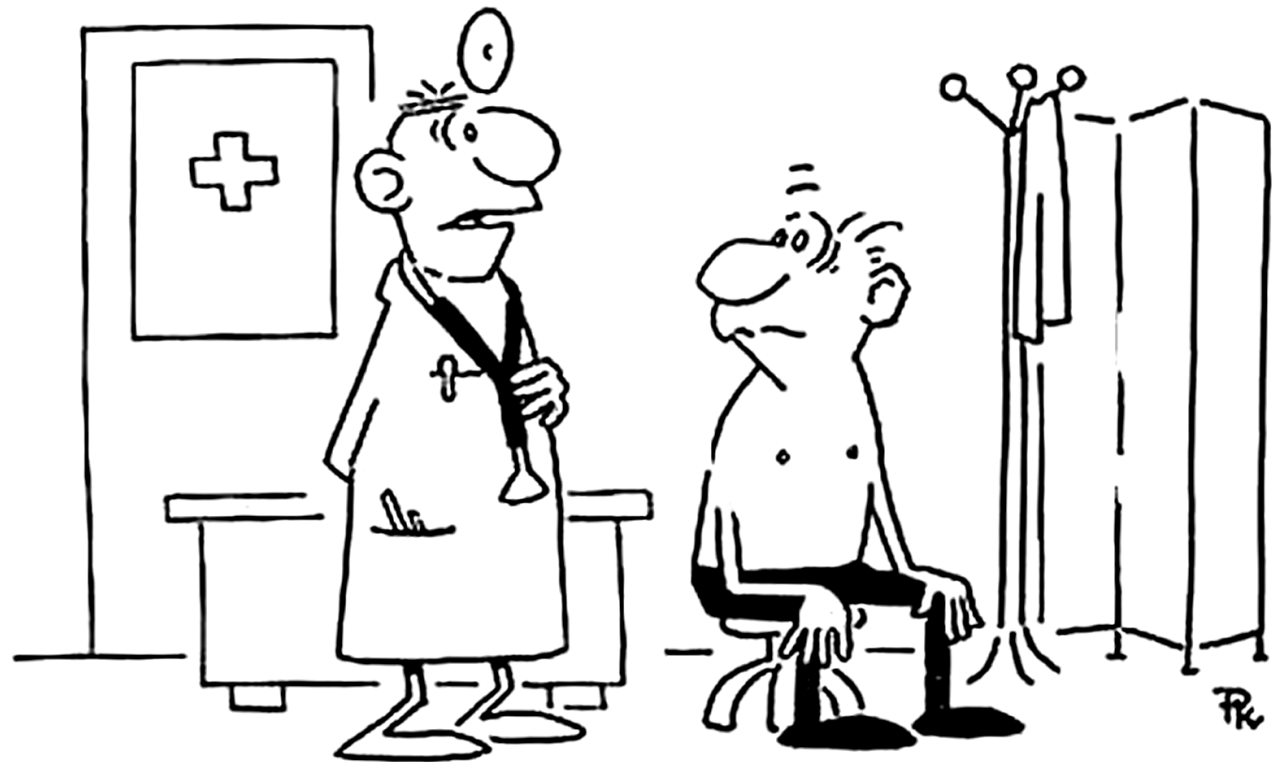
# Fetální oběh



Velmi důležitý slide II

# Postnatální oběh

# Děkuji za pozornost



"No, já bych začal tou dobrou zprávou. Bude se o vás psát v lékařských sbornících."