

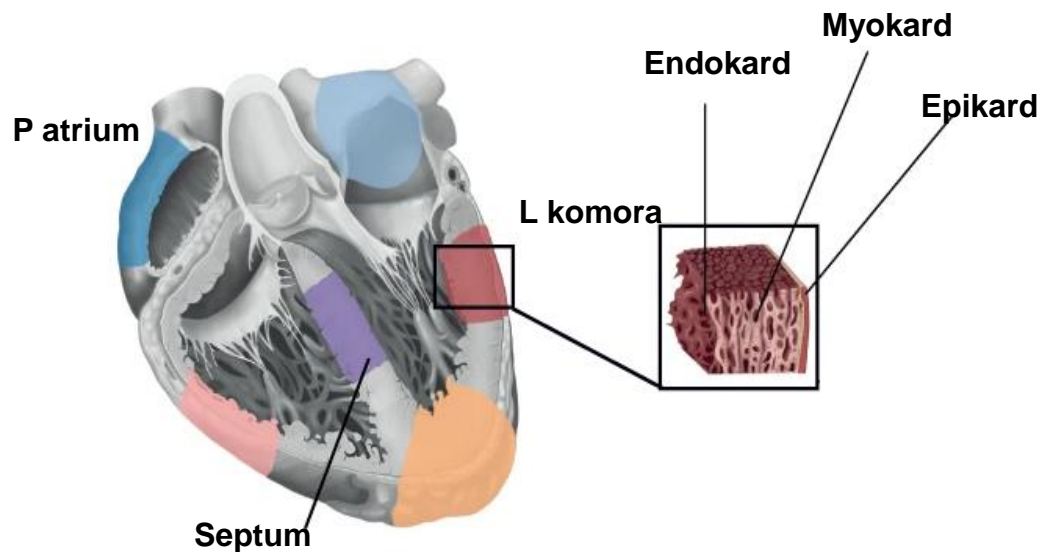
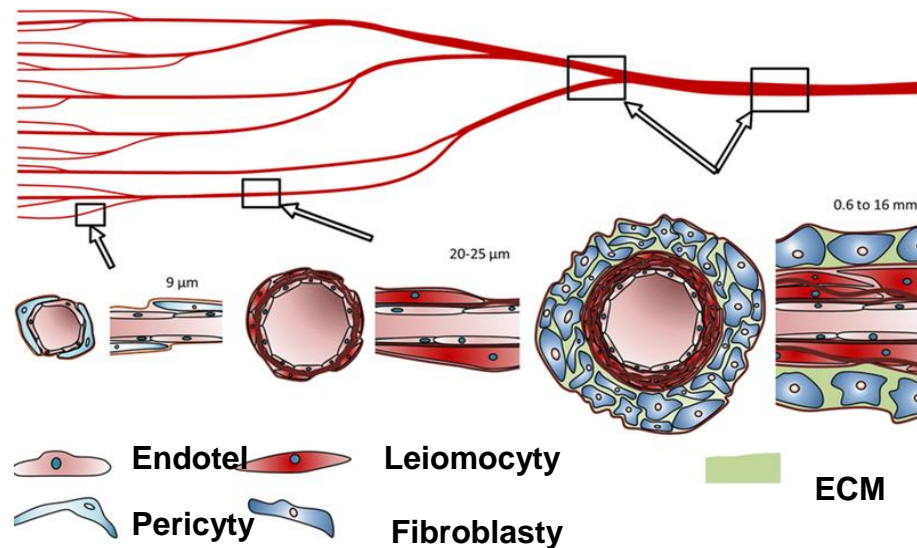
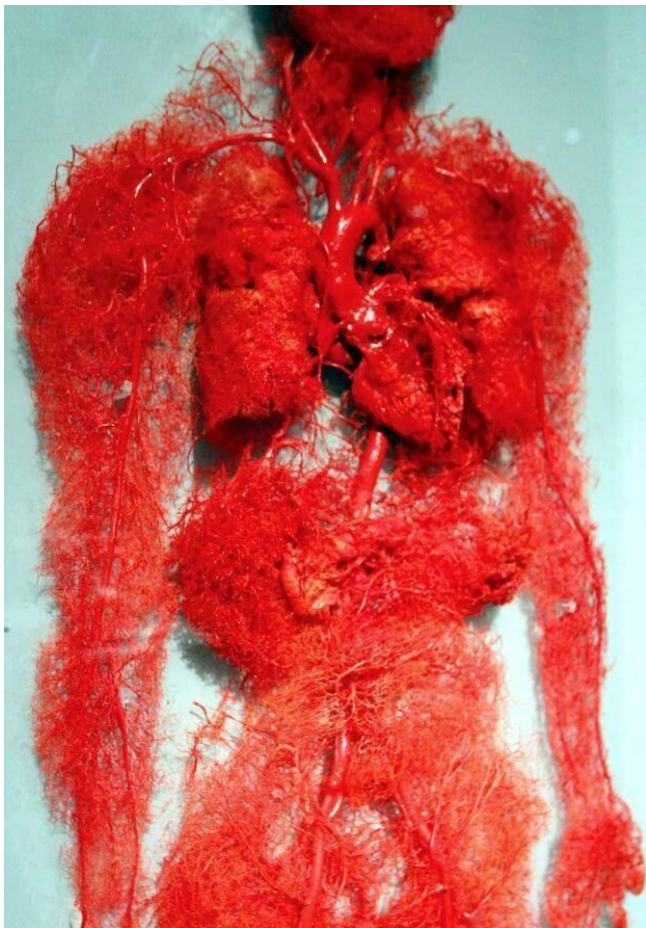
VÝVOJ A VYBRANÉ VVV KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU 2024

Petr Vaňhara

OBĚHOVÁ SOUSTAVA

je složitá i histologicky

je složitá anatomicky



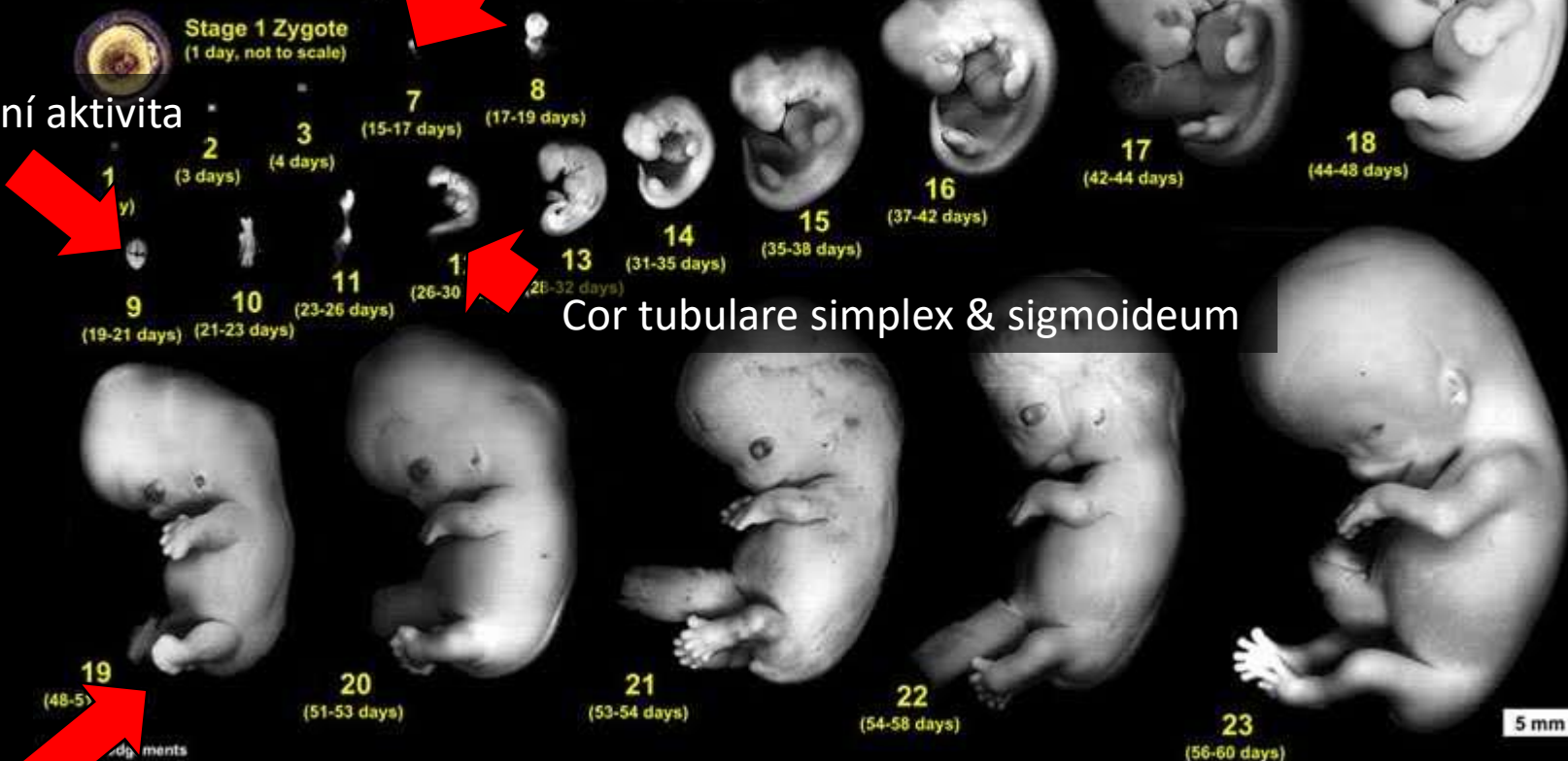
SRDCE A CÉVNÍ SOUSTAVA SE VYVÍJÍ JAKO JEDNY Z PRVNÍCH SYSTÉMŮ

První morfologické známky vývoje budoucího srdce

Carnegie Stages of Human Development

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

Stage 1 Zygote
(1 day, not to scale)



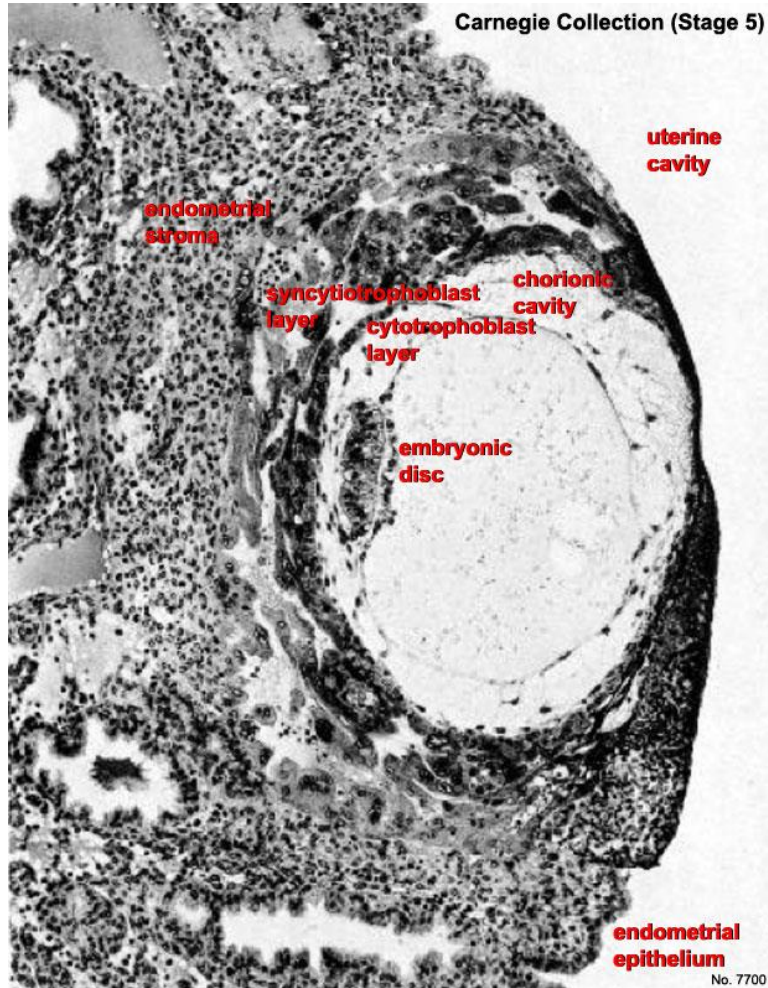
První srdeční aktivita

Cor tubulare simplex & sigmoideum

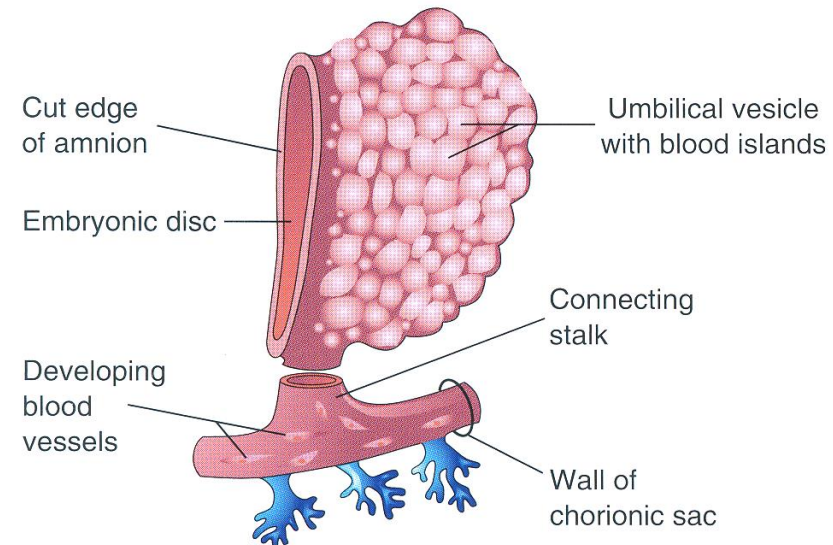
Plně funkční srdce se čtyřmi oddíly

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

SRDCE A CÉVNÍ SOUSTAVA SE VYVÍJÍ JAKO JEDNY Z PRVNÍCH SYSTÉMŮ



- KVS: první funkční orgánový systém
- vývoj ze splachnického, paraxiálního a laterálního mezodermu, a neurální lišty
- rychlý růst embrya ve **2. a 3. týdnu**: limitovaná difúze
- první vaskularizace se objevuje **extraembryonálně**: žloutkový vak, chorion, zárodečný stvol
- bipotentní **hemangioblasty**: krevní ostrůvky
- vaskulogeneze a angiogeneze, hematopoeze



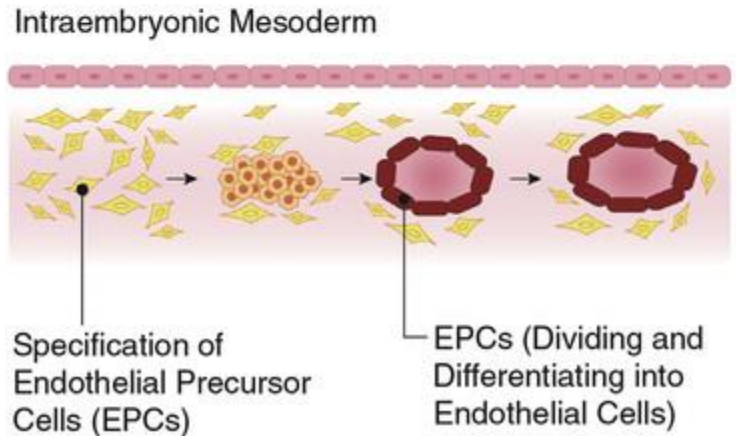
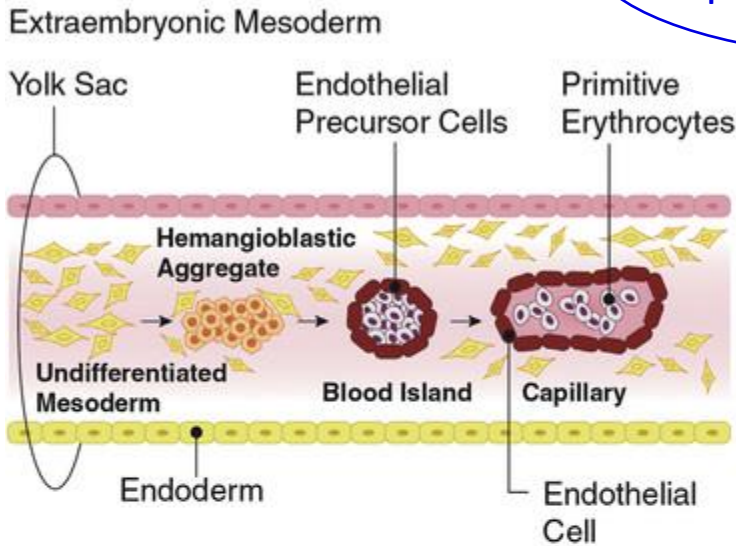
VASKULOGENEZE A ANGIOGENEZE

Vasculogenesis

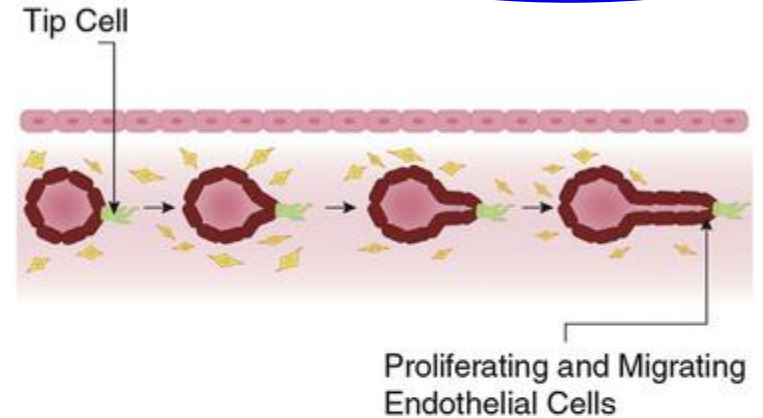
Vznik z nediferencovaných mezodermálních bipotentních prekursorů (hemangioblastů)

Angiogenesis

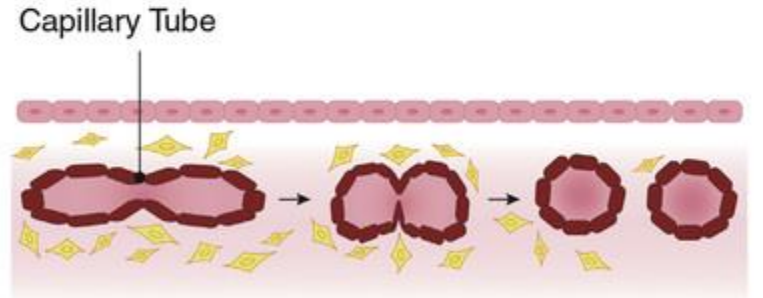
Růst z existujících cév



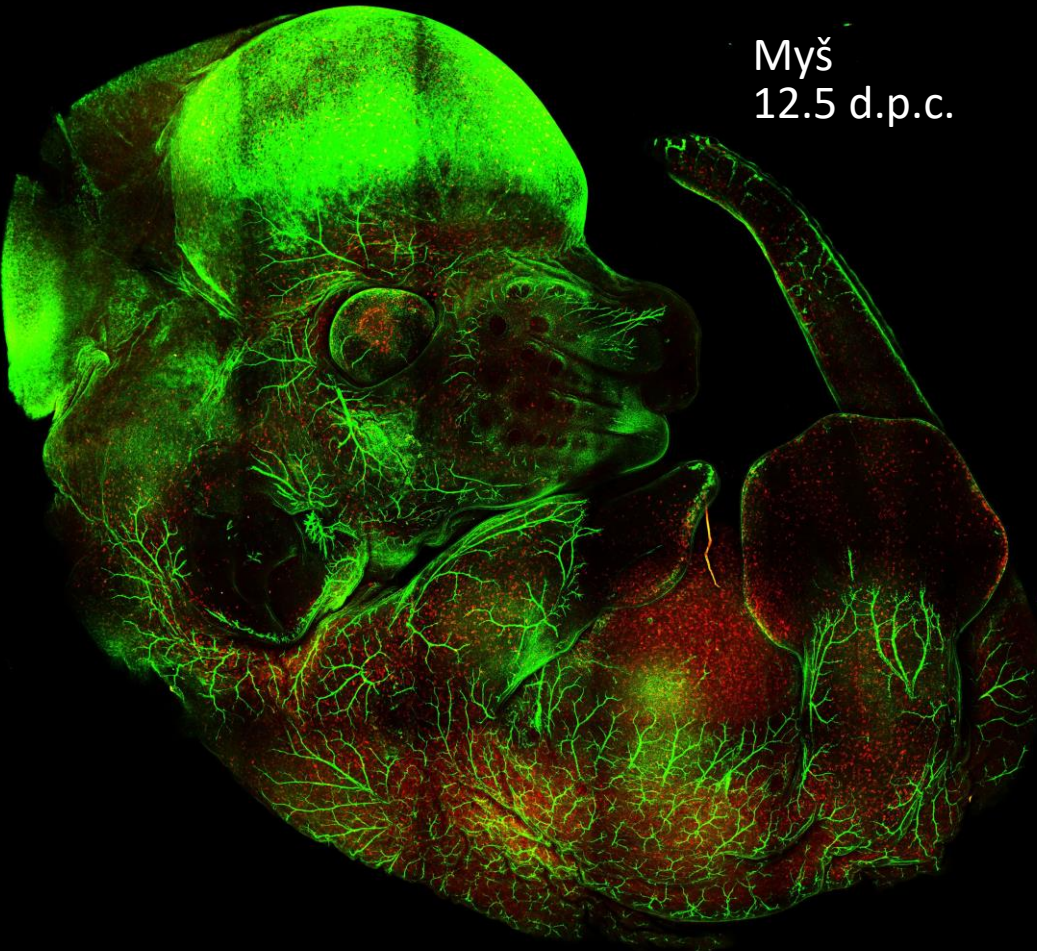
Sprouting



Intussusception



PRVNÍ ZÁKLADY KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU



Myš
12.5 d.p.c.

© Dr. Jan Křivánek

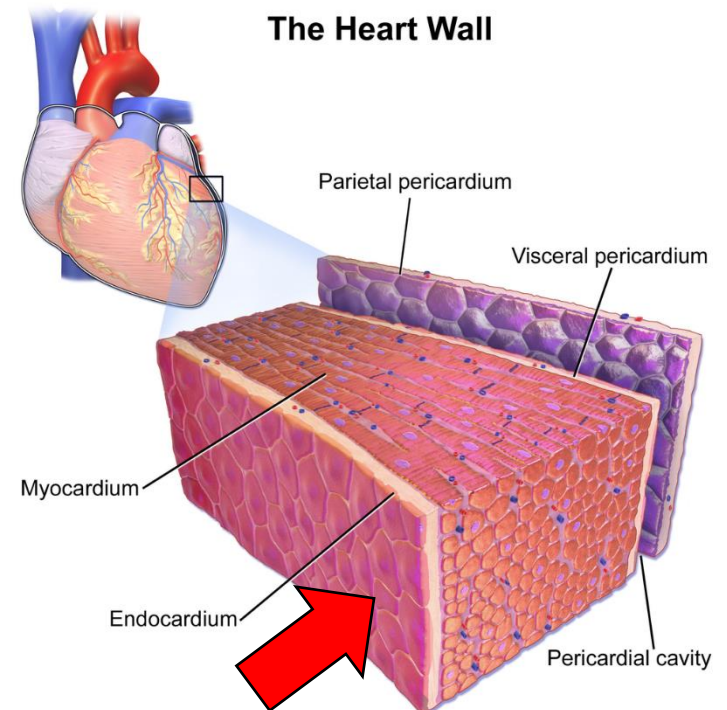
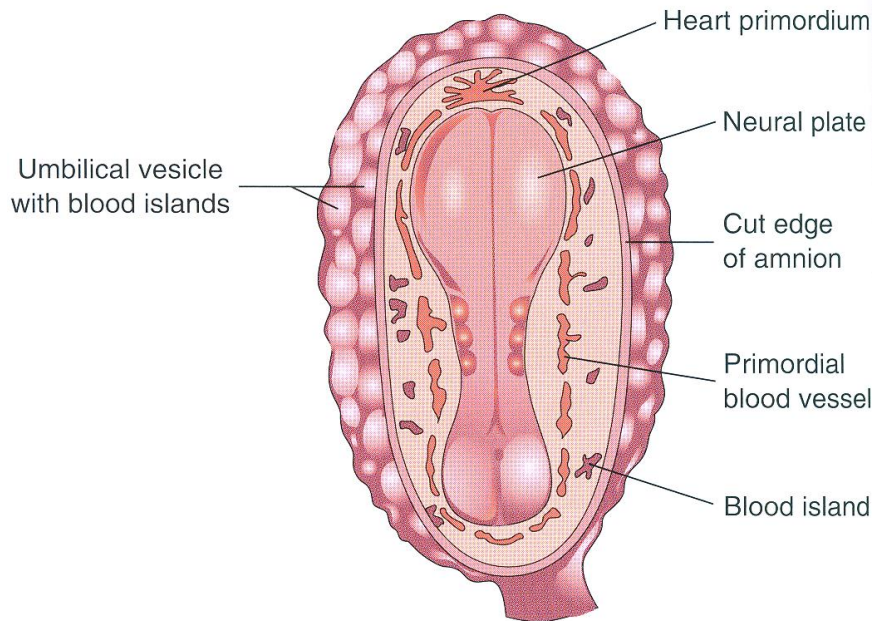
Carnegie Stages of Human Development



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

PRVNÍ ZÁKLADY KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

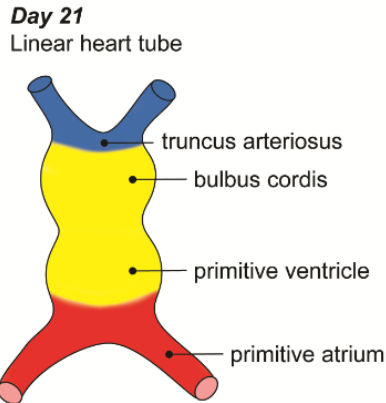
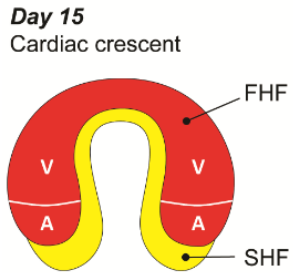
- **vývoj základů srdce a cév: konec třetího týdne**
- embryonální vaskulogeneze cca 2 dny po založení extraembryonální vaskularizace
- primordiální krevní cévy, arterie a žíly nejsou strukturálně odlišitelné
- primordium srdce a velkých cév v **kardiogenní oblasti**
- embryonální hematopoeze z para-aortálních klastrů v AGM
- **angioplastické provazce** → kanalizace → **endokardové srdeční trubice** → **tubulární srdce**



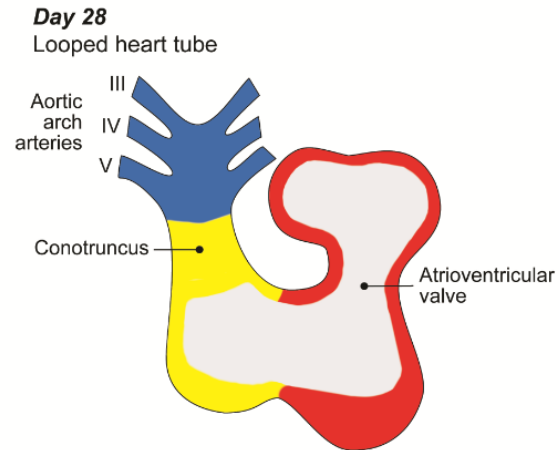
PRVNÍ ZÁKLADY KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

Vznik a fúze kardiogenních polí

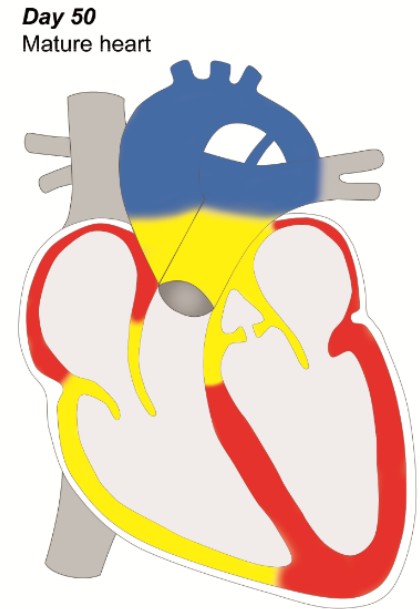
Vznik srdeční trubice



Looping

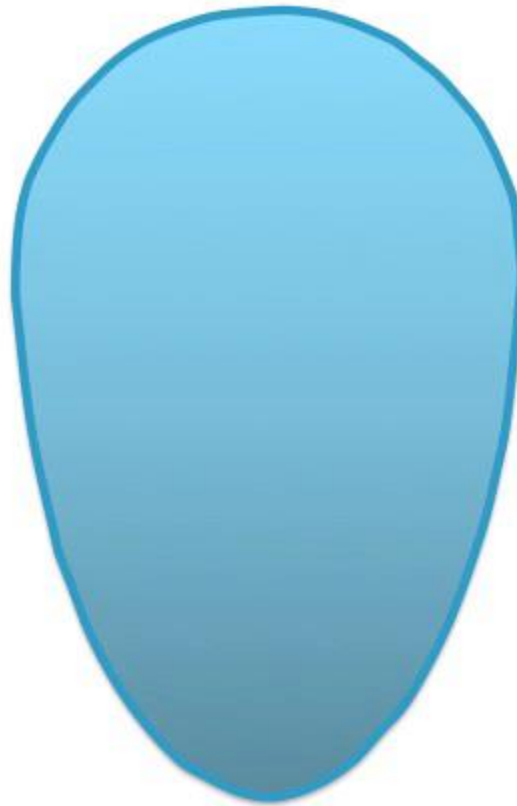


Septace



PRVNÍ ZÁKLADY KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

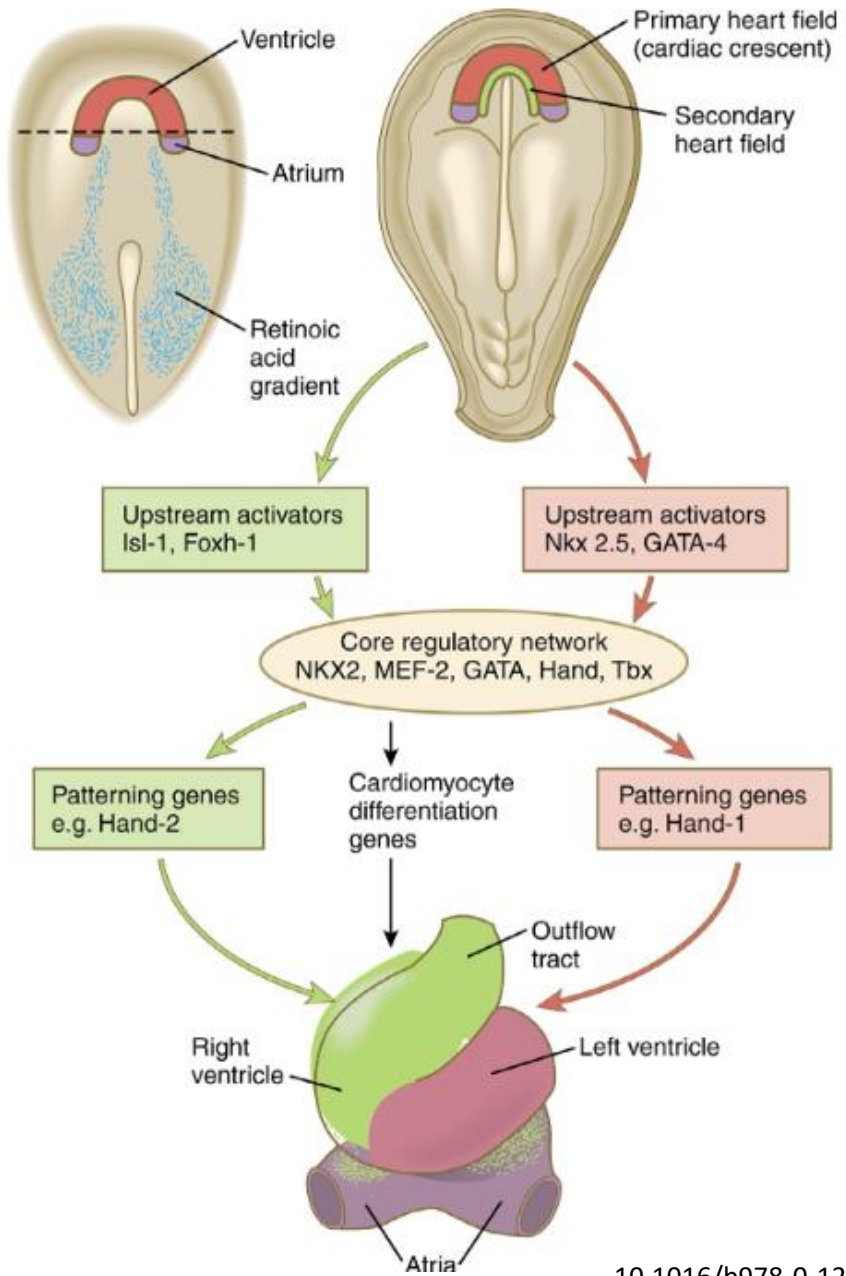
3. týden



Epiblast

18 days, dorsal surface

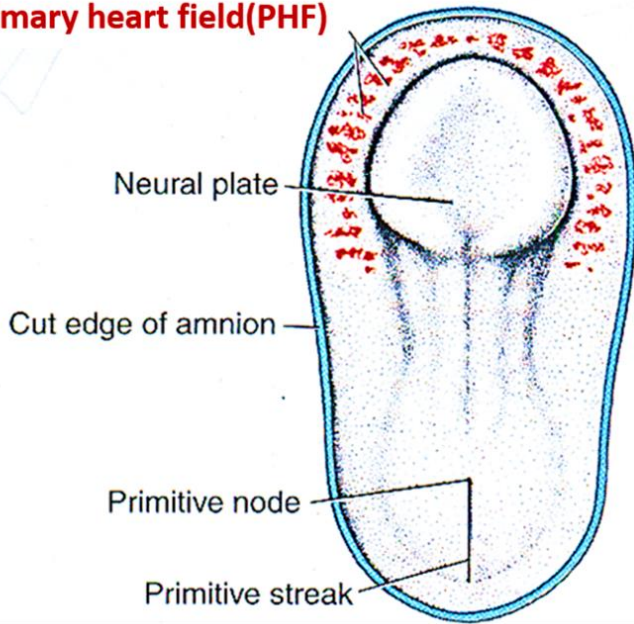
PRVNÍ ZÁKLADY KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU



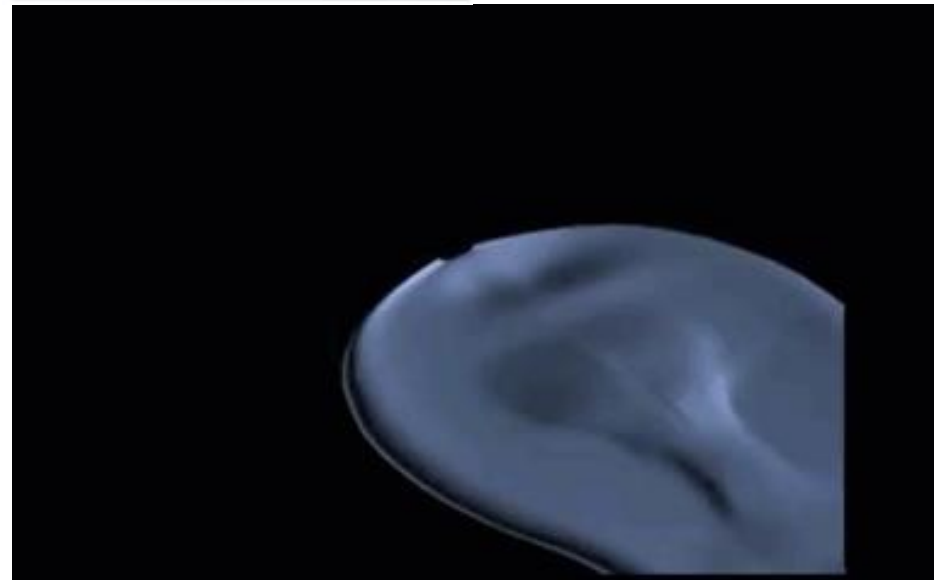
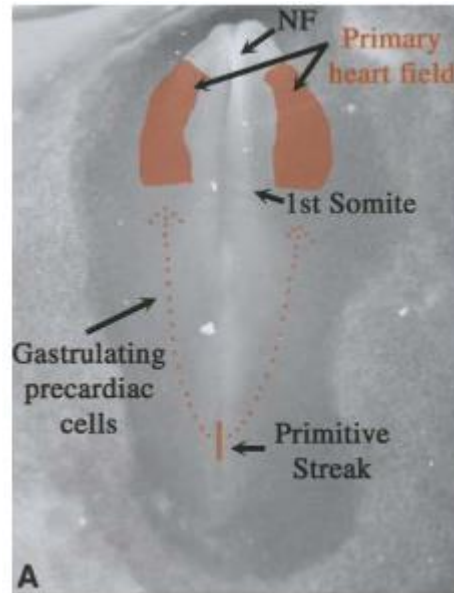
VZNIK KARDIOGENNÍCH POLÍ JE SOUČÁSTÍ VÝVOJE TĚLNÍCH DUTIN

3. týden

Primary heart field (PHF)



3. týden (18. den)

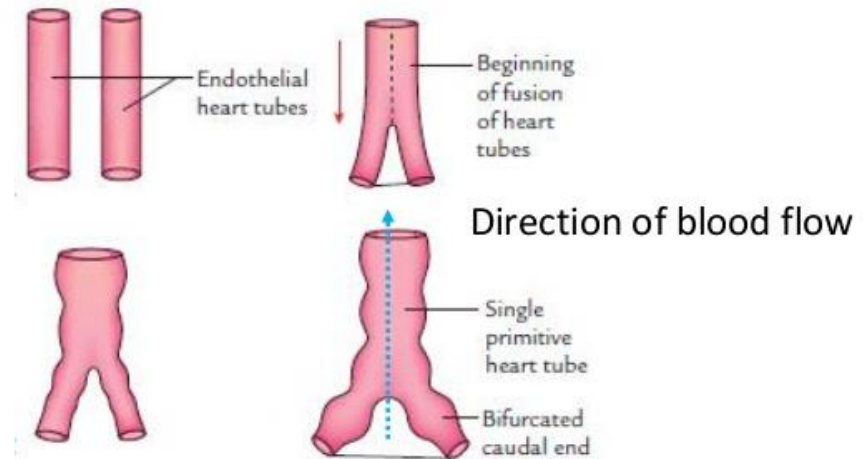
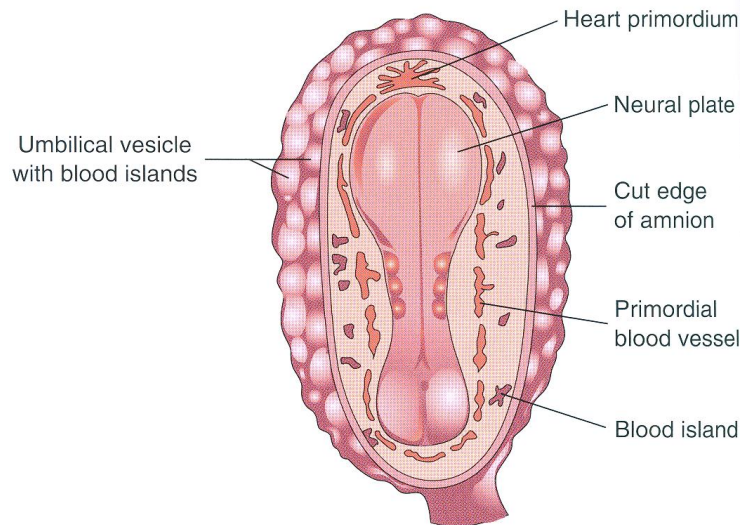


Primární kardiogenní pole: pravá a levá síň, levá komora

Sekundární kardiogenní pole: pravá komora, výtokový trakt – během loopingu srdce

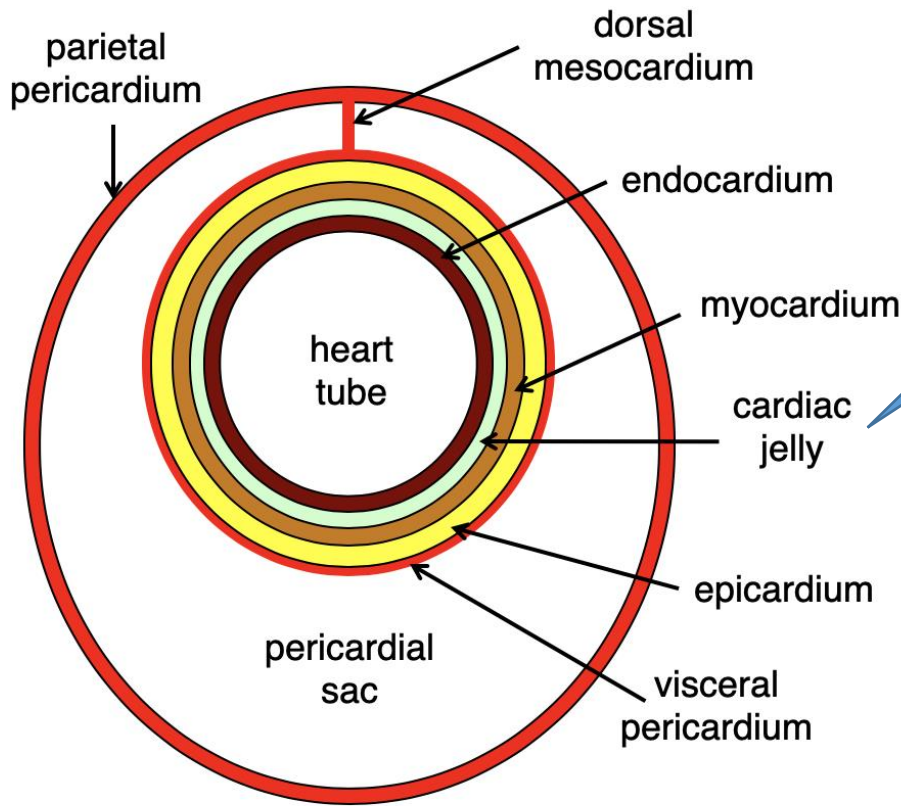
HISTOGENEZE SRDEČNÍCH TKÁNÍ

- párové **endokardové trubice** (**cor tubulare duplex**) z embryonální splanchnopleury v kardiogenní oblasti (budoucí endokard) – luminizace angioblastických provazců
- flexe embrya → mediální fúze: **jednoduché trubicovité srdce** (**cor tubulare simplex**)
- viscerální mezoderm: **myoepikardový plášť: myokard**
- **srdeční rosol** (*cardiac jelly*) → mezi endokardem a myokardem (produkt primitivního myokardu)
- epikard – z mezotelu sinus veosus
- srdeční kontrakce **21-22. den** (po oplození)
- uzavřená cirkulace ~ **4.týden** (gestační)



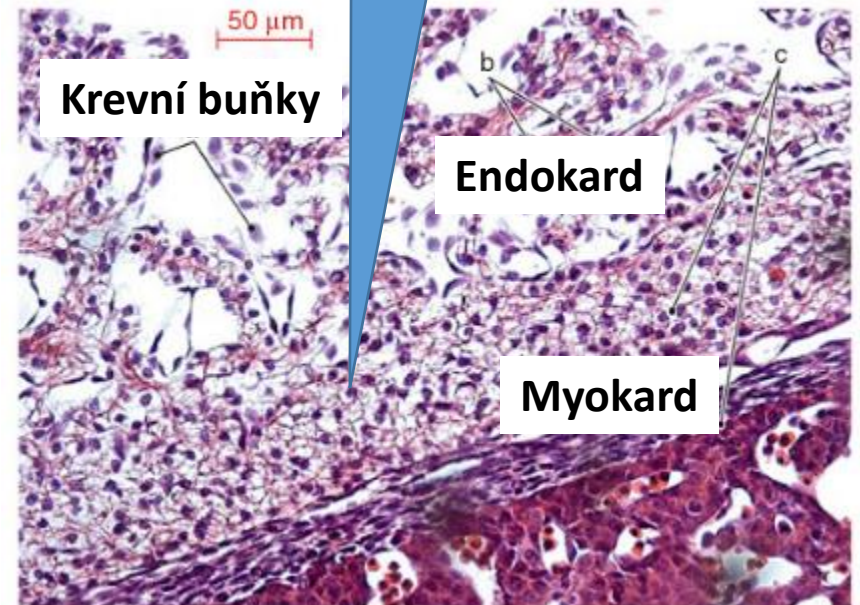
HISTOGENEZE SRDEČNÍCH TKÁNÍ

3. týden



Layers of the Heart Tube

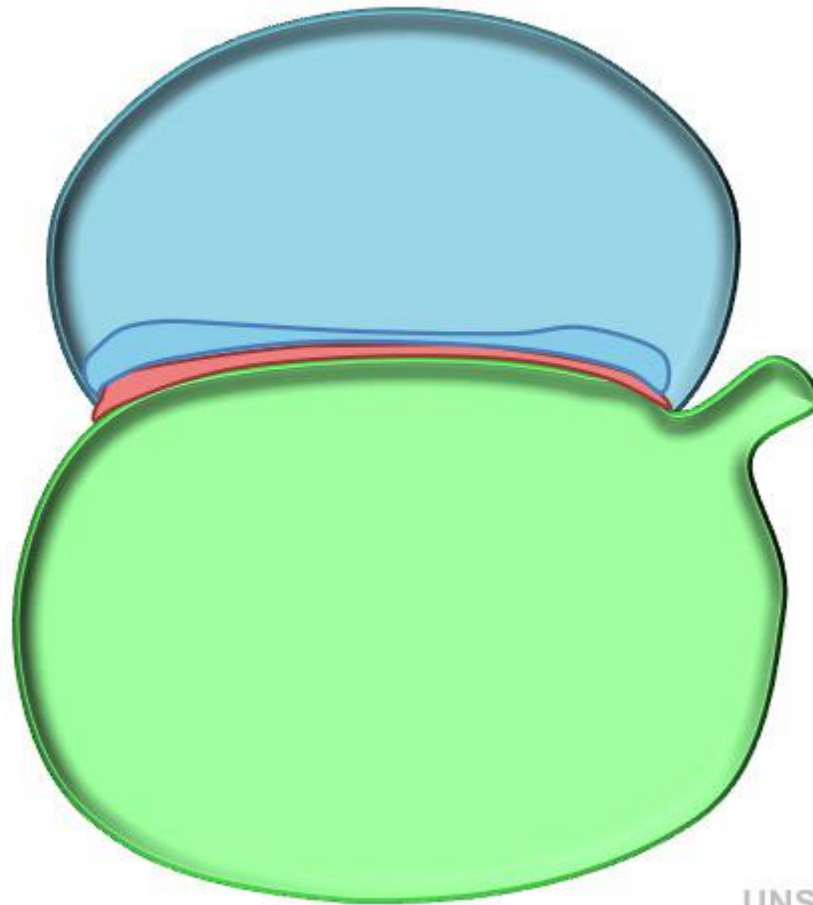
- Embryonální ECM
- Morfogeneze myokardu
- Převodní systém srdeční



LOOPING

3.-4. týden

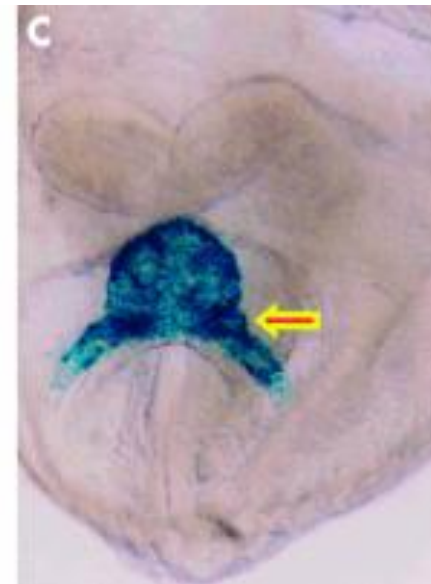
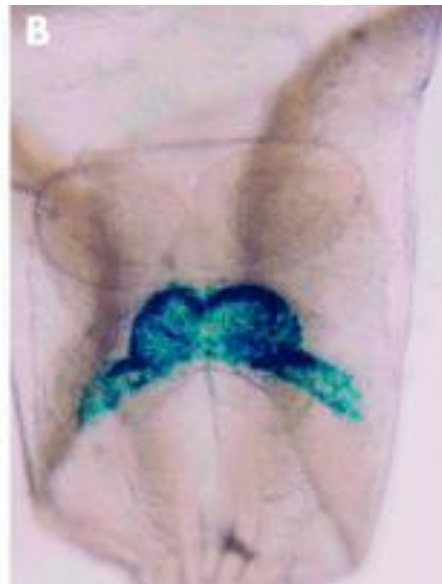
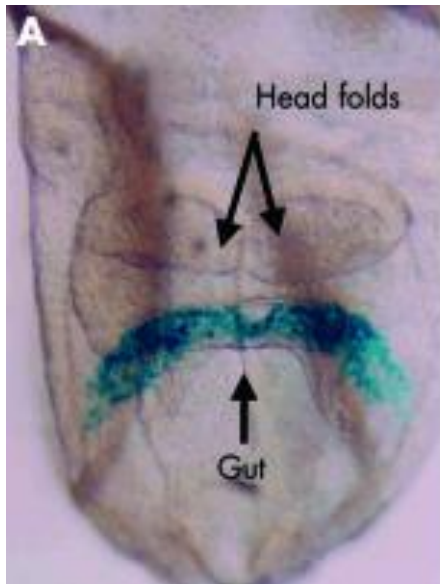
Folding and Fusion of the Heart Tubes



LOOPING



fúze endokardových trubic a vznik jednoduchého trubicovitého srdce



VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE

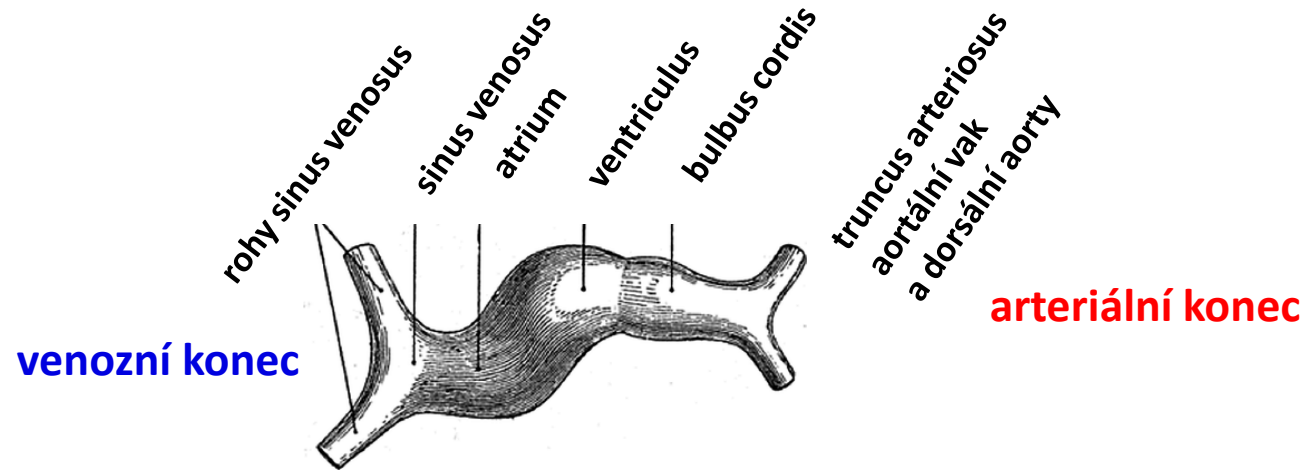
4. týden

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

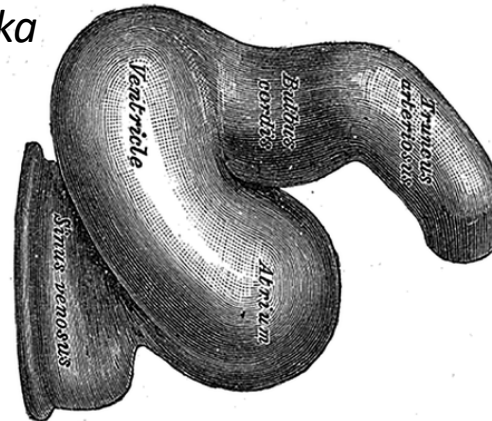
cor tubulare simplex



cor tubulare sigmoideum



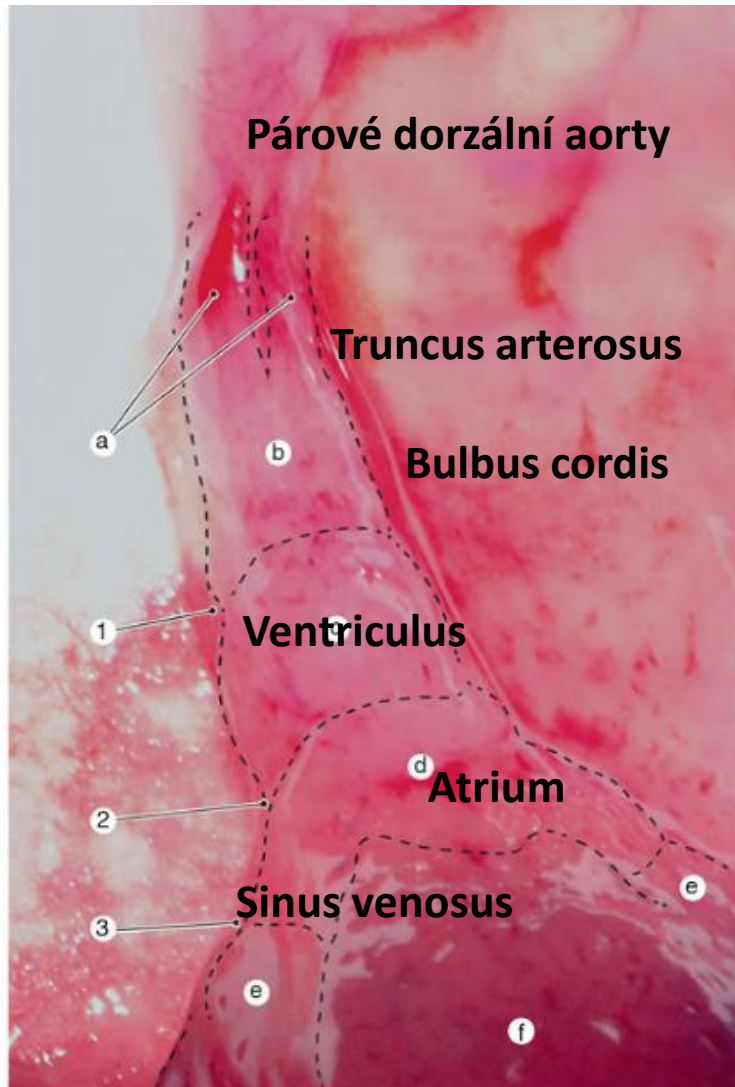
bulboventrikulární klička



VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE

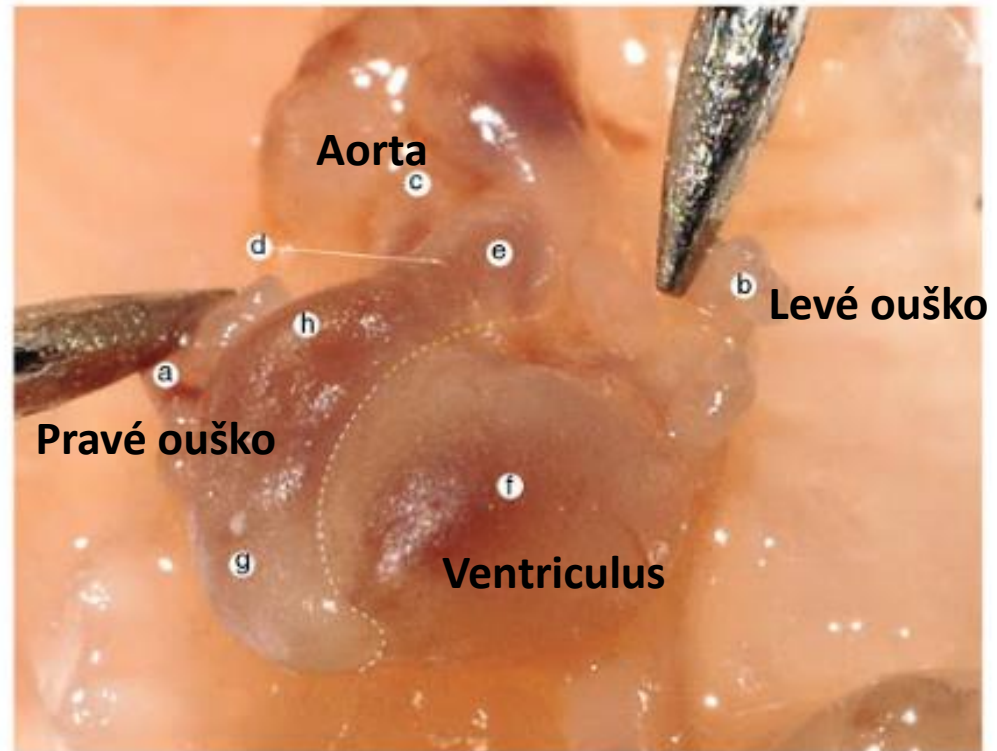
4. týden

Cor tubulare simplex

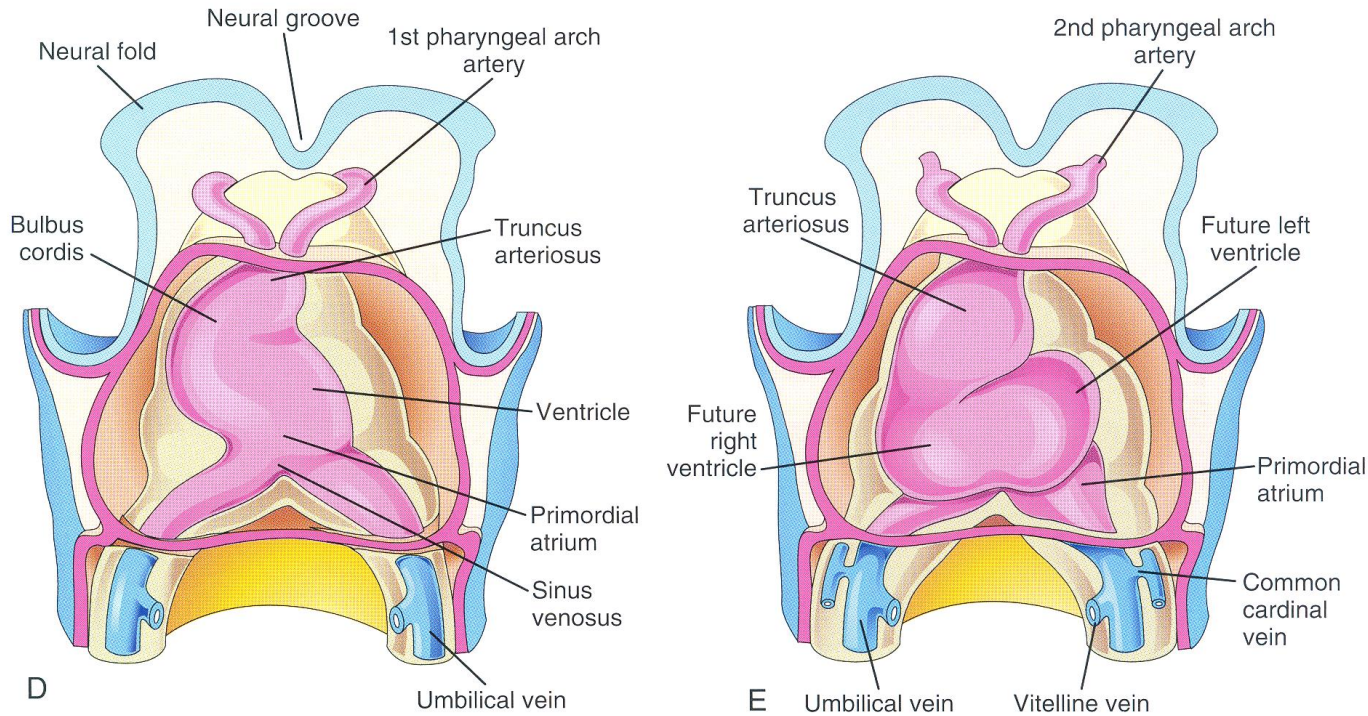
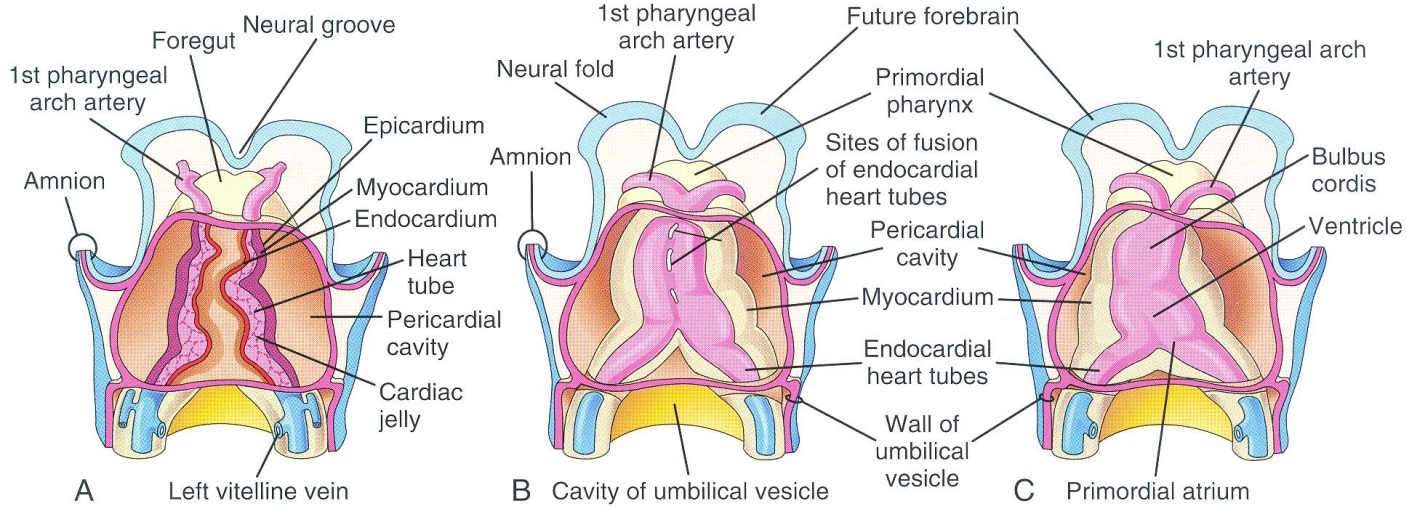


tubulární srdce není jen teoretická struktura

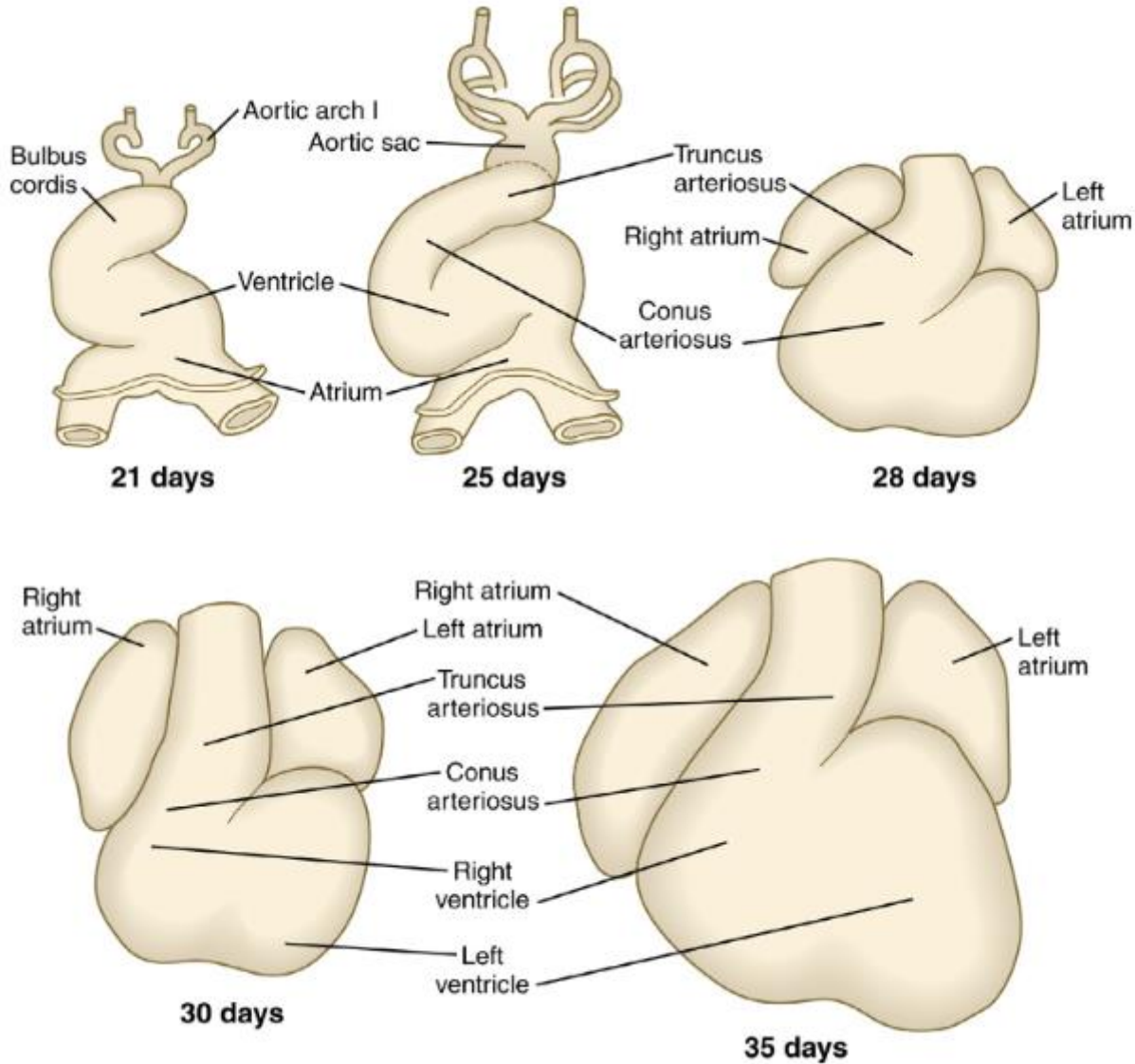
Cor tubulare sigmoideum



VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE

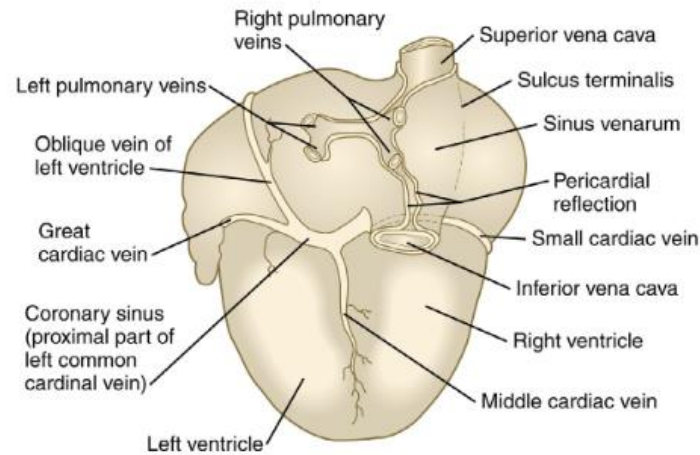
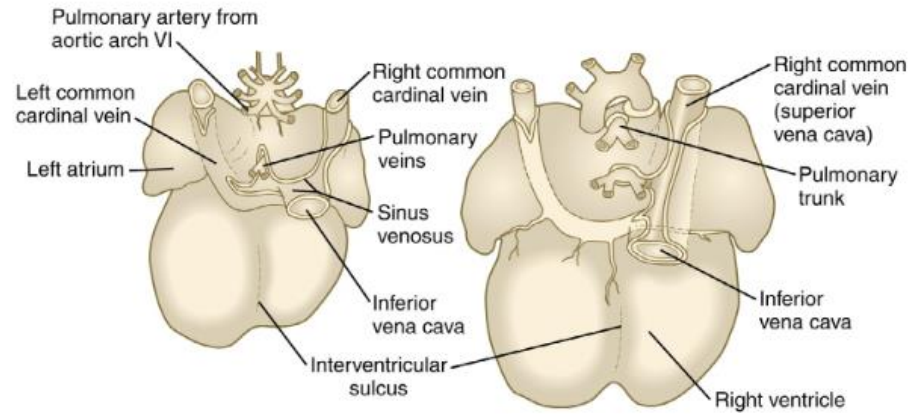
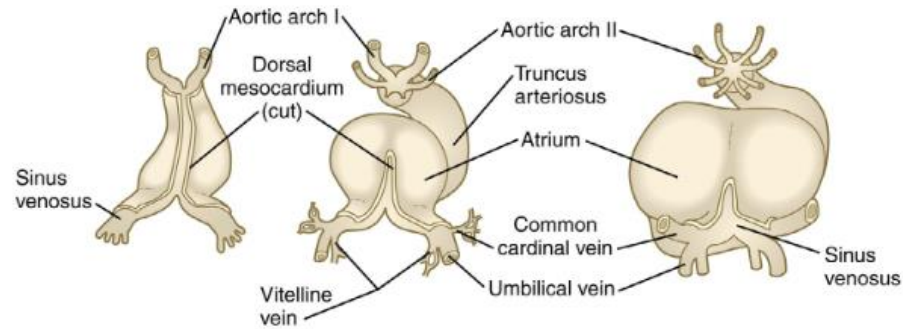


VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE



Ventral views of human embryonic hearts that illustrate bending of the cardiac tube and the establishment of its regional divisions.

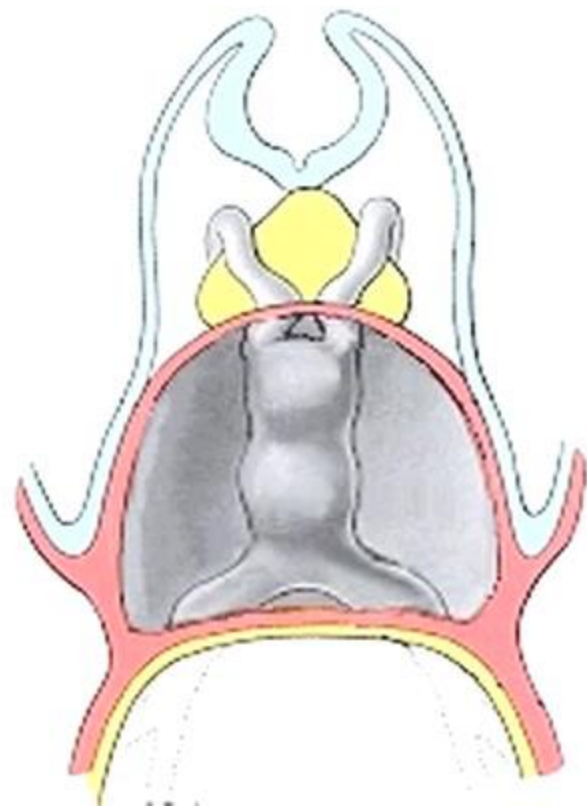
VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE



Dorsal views of the development of the human heart that show changes in the venous input channels into the heart.

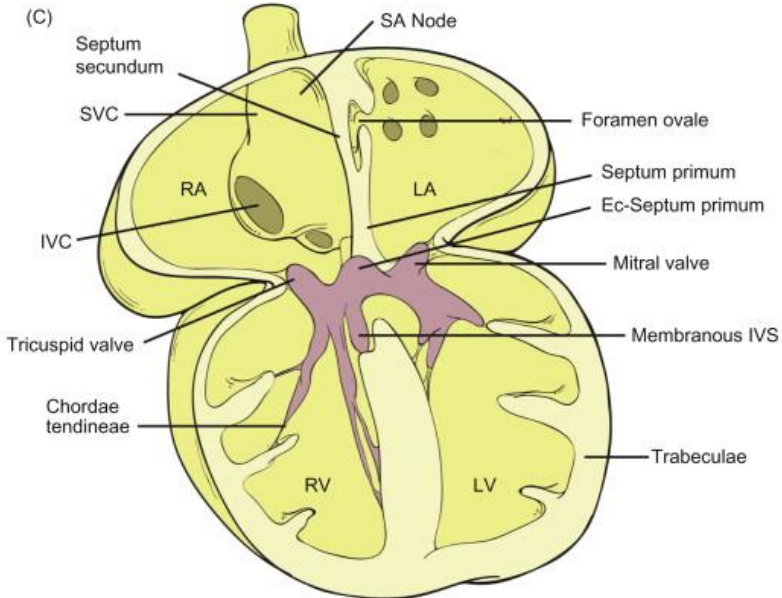
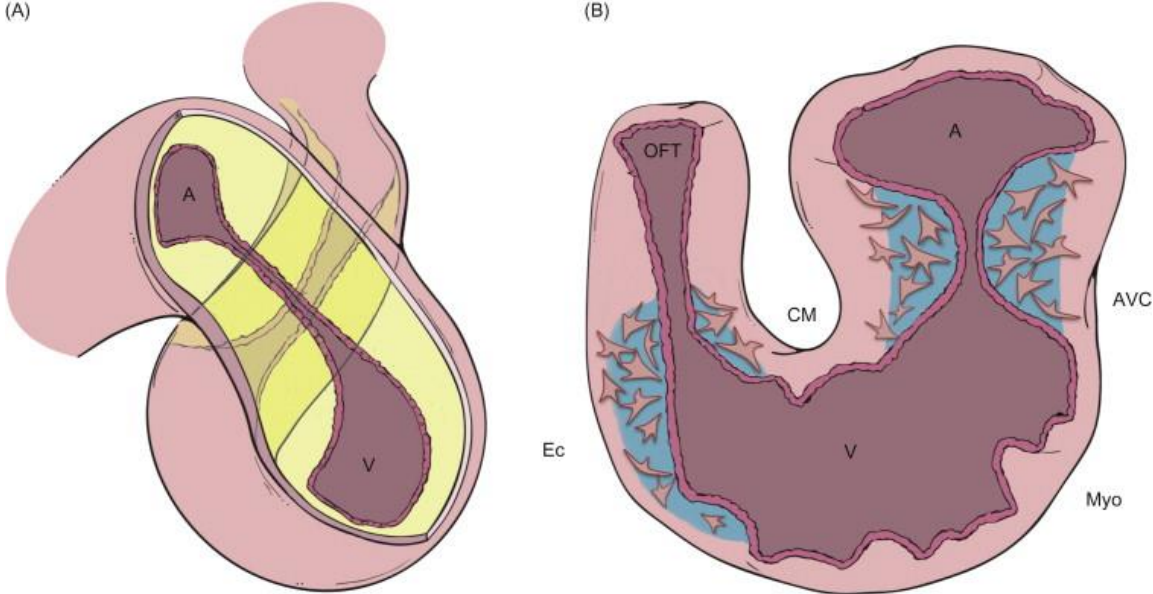
VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE

4. týden



SEPTACE A VZNIK SRDEČNÍCH ODDÍLŮ

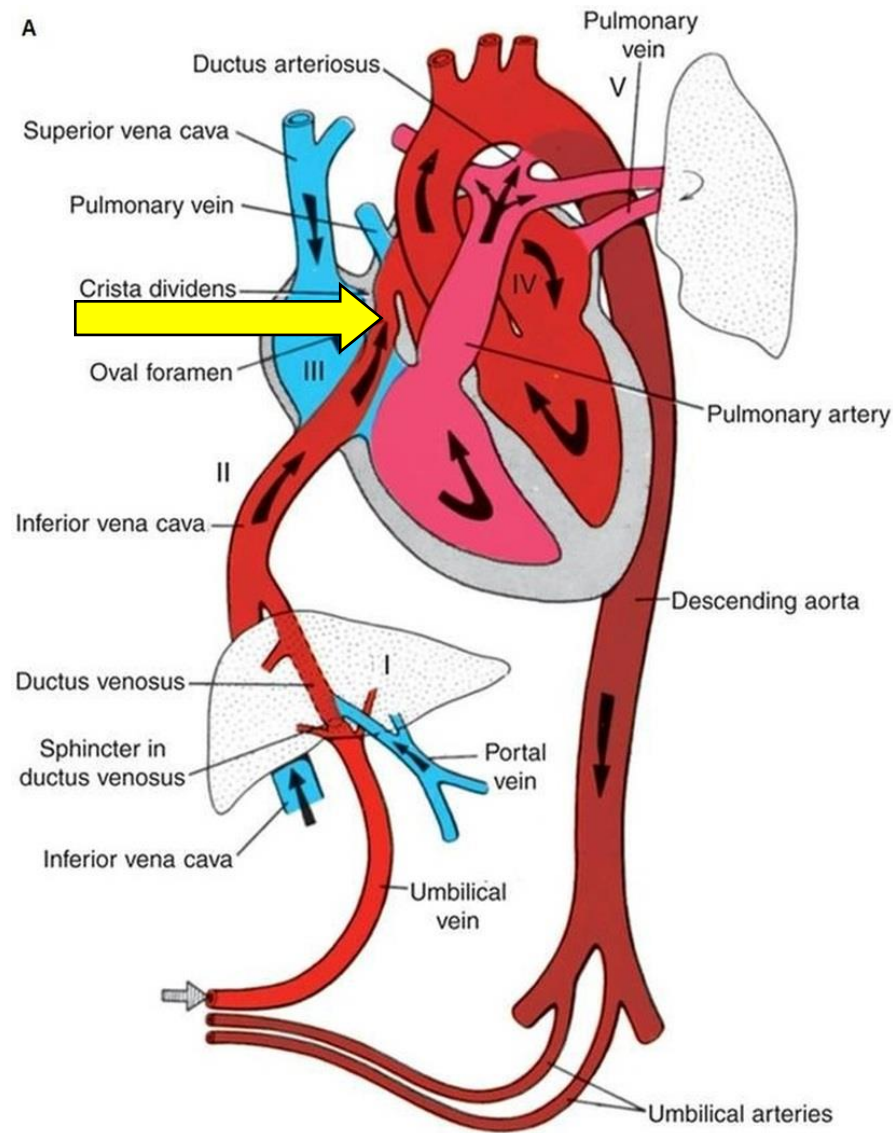
Endokardové polštářky (návalky)



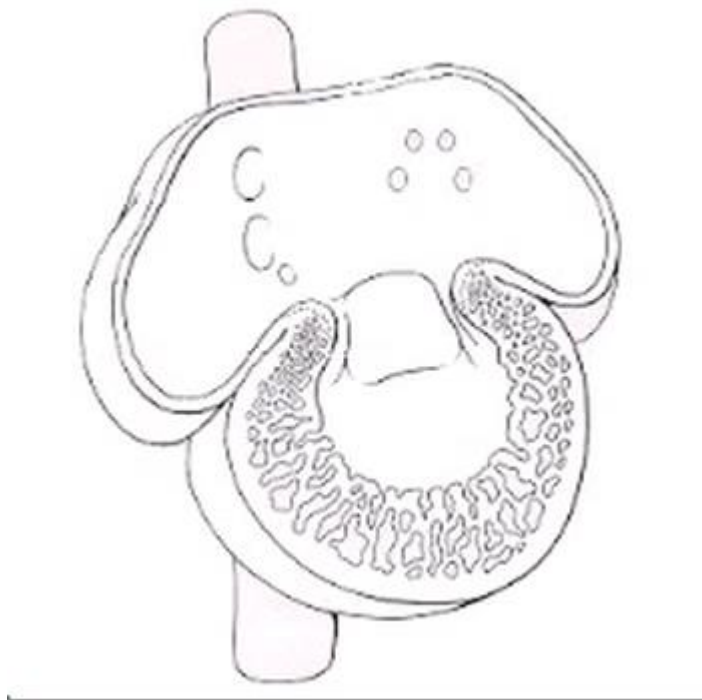
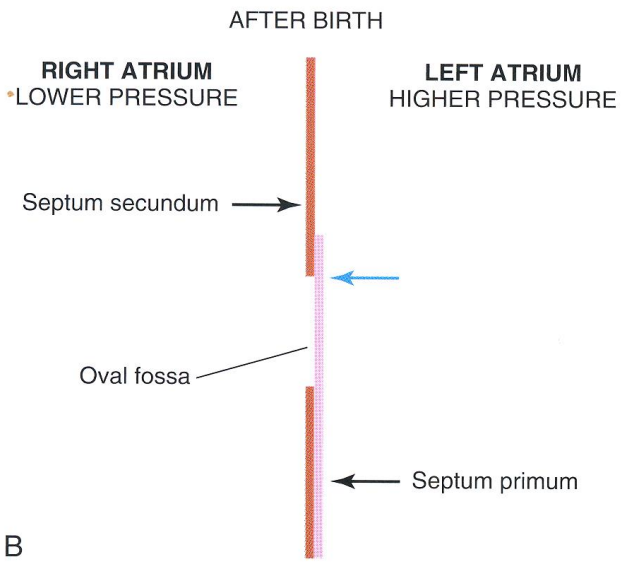
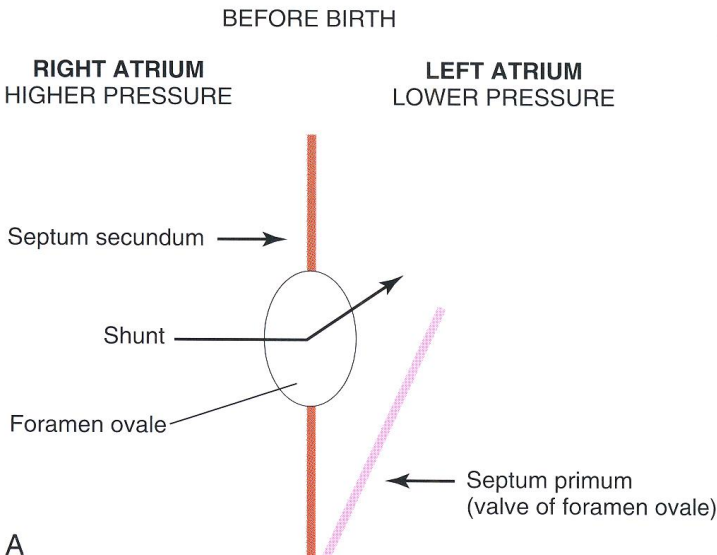
SEPTACE A VZNIK SRDEČNÍCH ODDÍLŮ

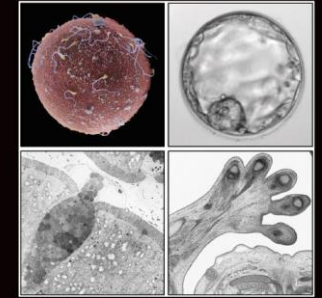
Rozdělení společného atria (atrium communis)

- 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

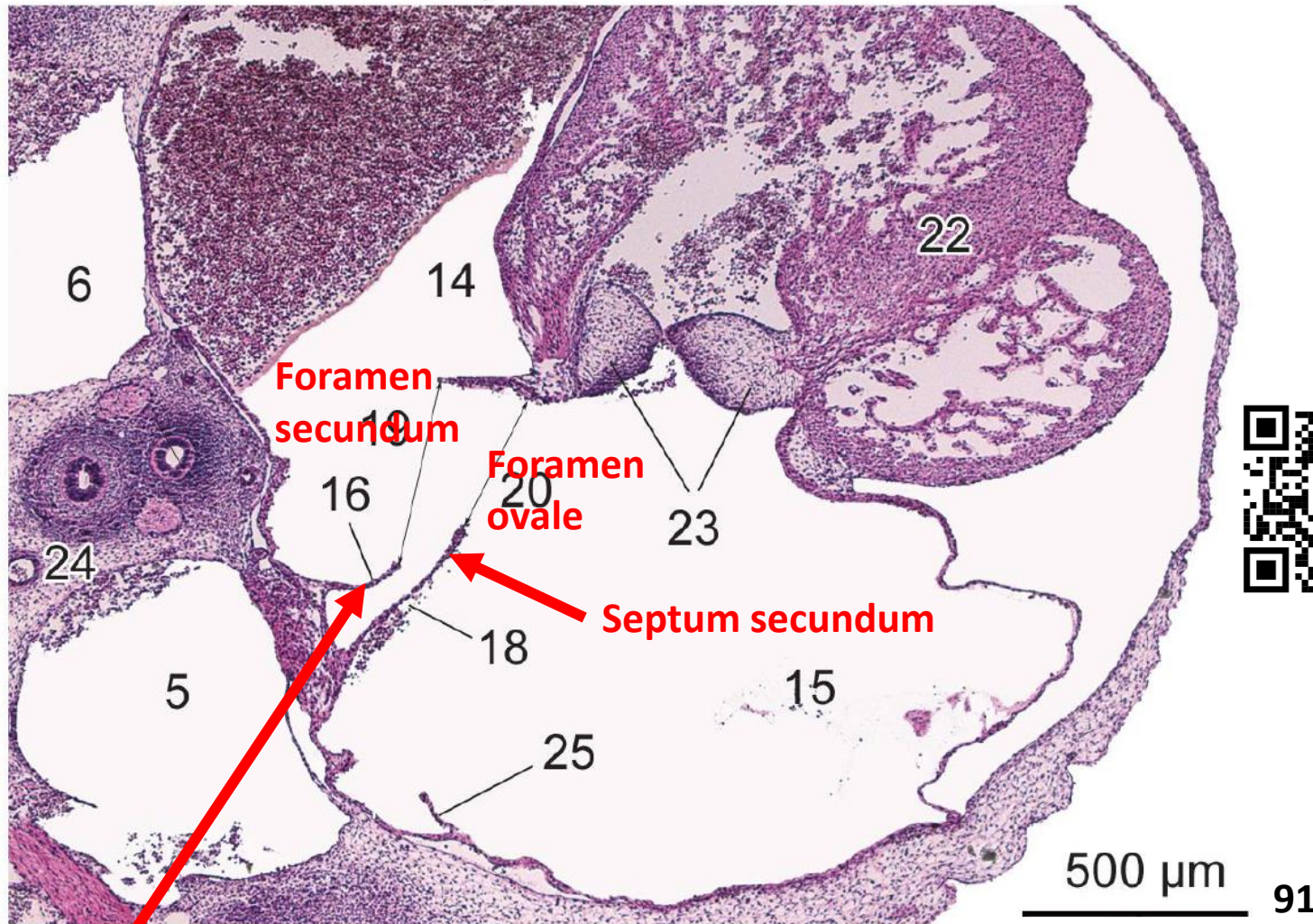


SEPTACE PRIMITIVNÍHO ATRIA





Petr Vaňhara • Jana Dumková



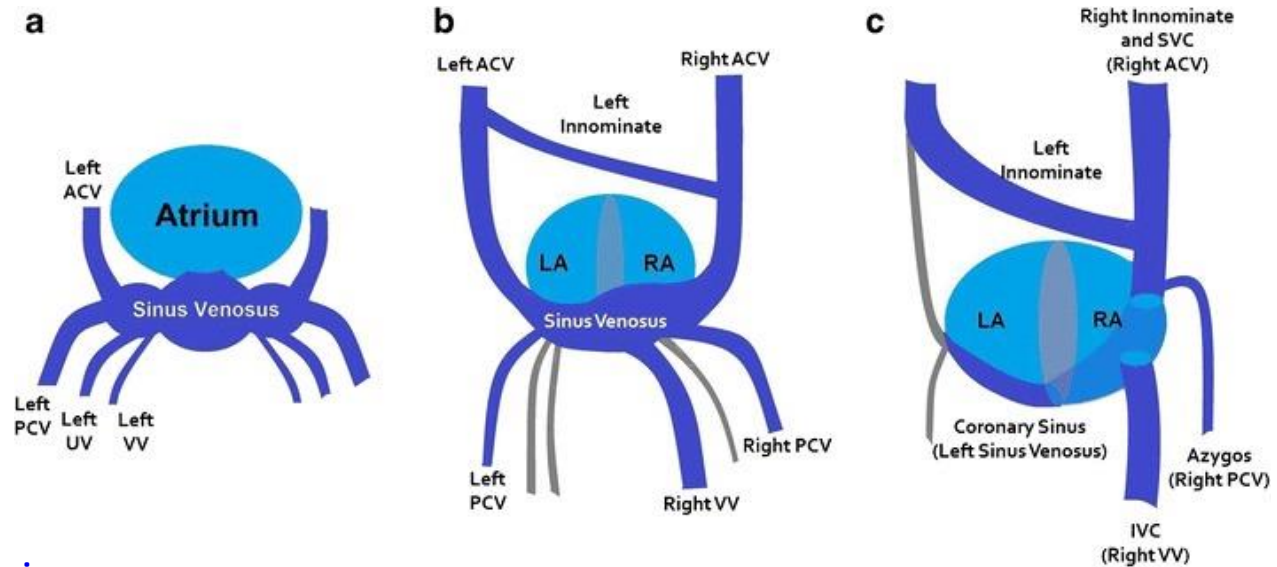
**Septum
primum**

Vývoj srdce – development of heart. (1) perikardová dutina – pericardial cavity, (2) *bulbus cordis*, (3) *ventriculus primitivus*, (4) *atrium commune*, (5) *cornu dx. sinus venosus*, (6) *cornu sin. sinus venosus*, (7) *dorsal aortae*, (8) *truncus arteriosus*, (9) *conus cordis*, (10) základ pravé komory – developing right ventricle, (11) budoucí 1. faryngová arterie (aortální oblouk) – developing 1st pharyngeal artery (aortic arch), (12) *sulcus bulboventricularis*, (13) základ levé komory – developing left ventricle (14) *atrium sin.*, (15) *atrium dx.*, (16) *septum primum*, (17) *foramen (ostium) primum*, (18) *septum secundum*, (19) *foramen (ostium) secundum*, (20) *foramen ovale*, (21) *foramen secundum*, (22) *septum interventriculare*, (23) endokardové polštářky (návalky) – endocardial cushions, (24) *mediastinum*, (25) venózní chlopeň – venous valve.

VÝVOJ PRIMITIVNÍHO SRDCE

Sinus venosus během atriální septace:

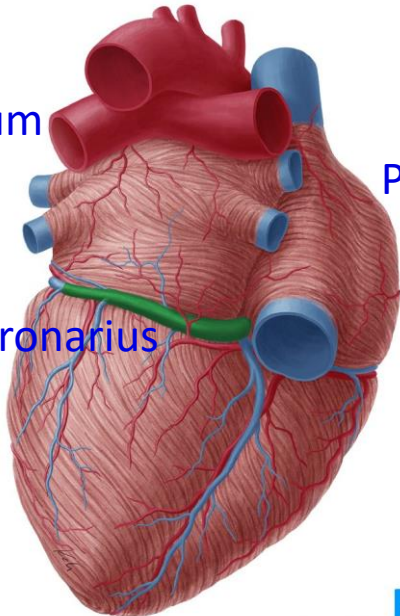
- posun ústí sinus venosus doprava → stěna pravého atria
- levá část sinus venosus se odděluje → sinus coronarius (← venae cordis)



L atrium

P atrium

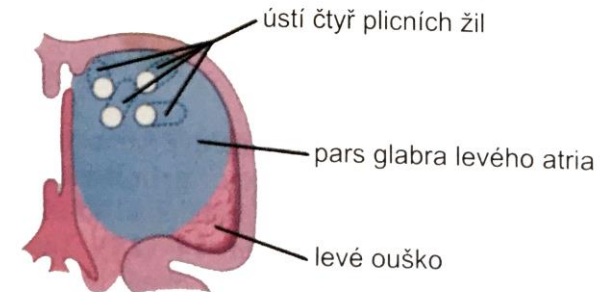
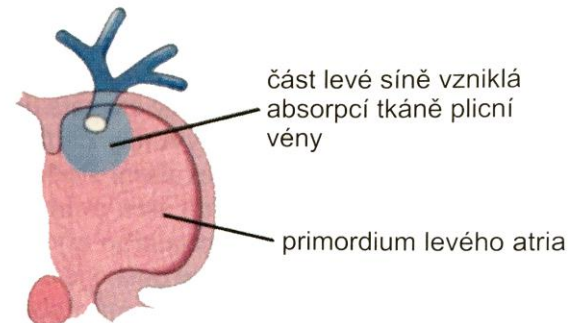
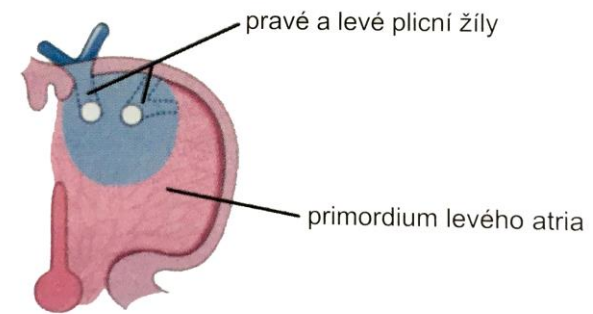
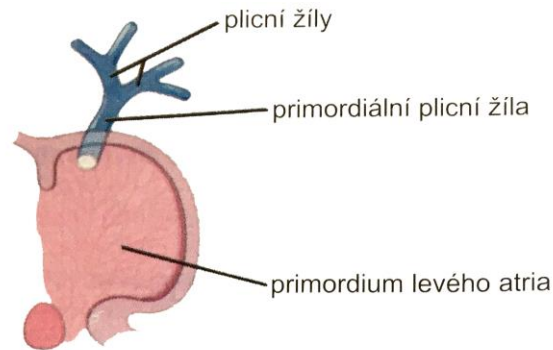
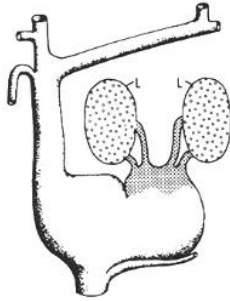
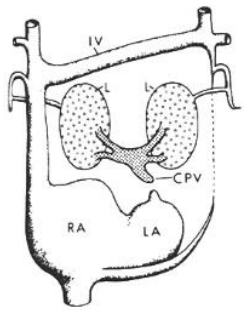
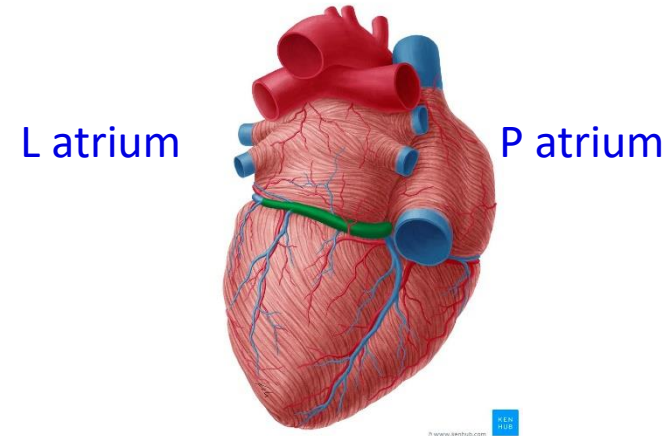
Sinus coronarius



VÝVOJ SRDCE

Vena pulmonalis během atriální septace:

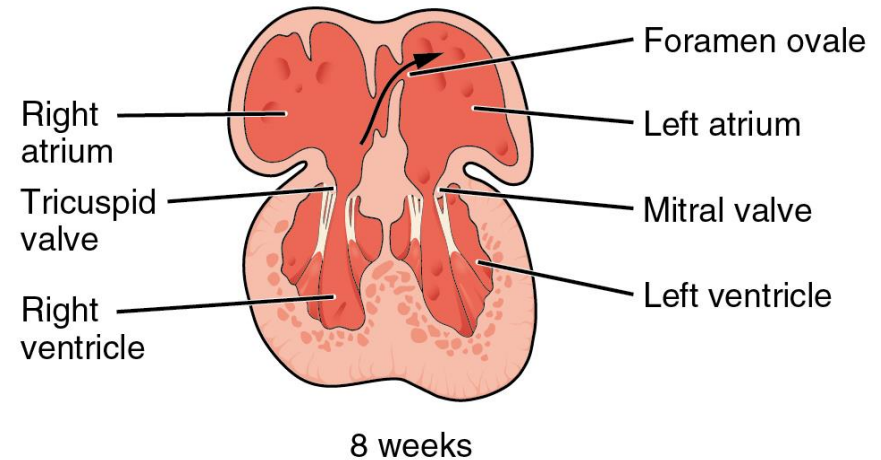
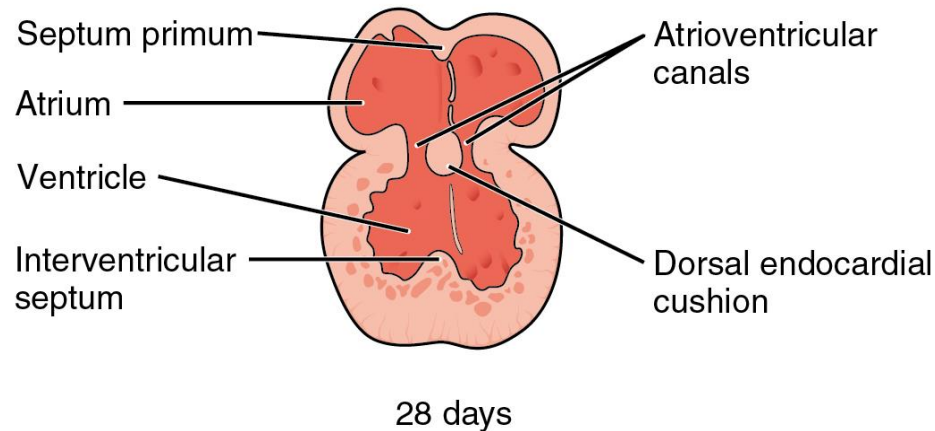
- primitivní **v. pulmonalis** vzniká z primitivního atria a souběžně s vývojem venózního plexu plic
- společně se svými větvemi se stává součástí levého atria



VÝVOJ SRDCE

Rozdělení společné komory (ventriculus communis)

- **primitivní interventrikulární septum** – 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)**
- **pars muscularis (septi interventricularis)** mediální strany obou komor



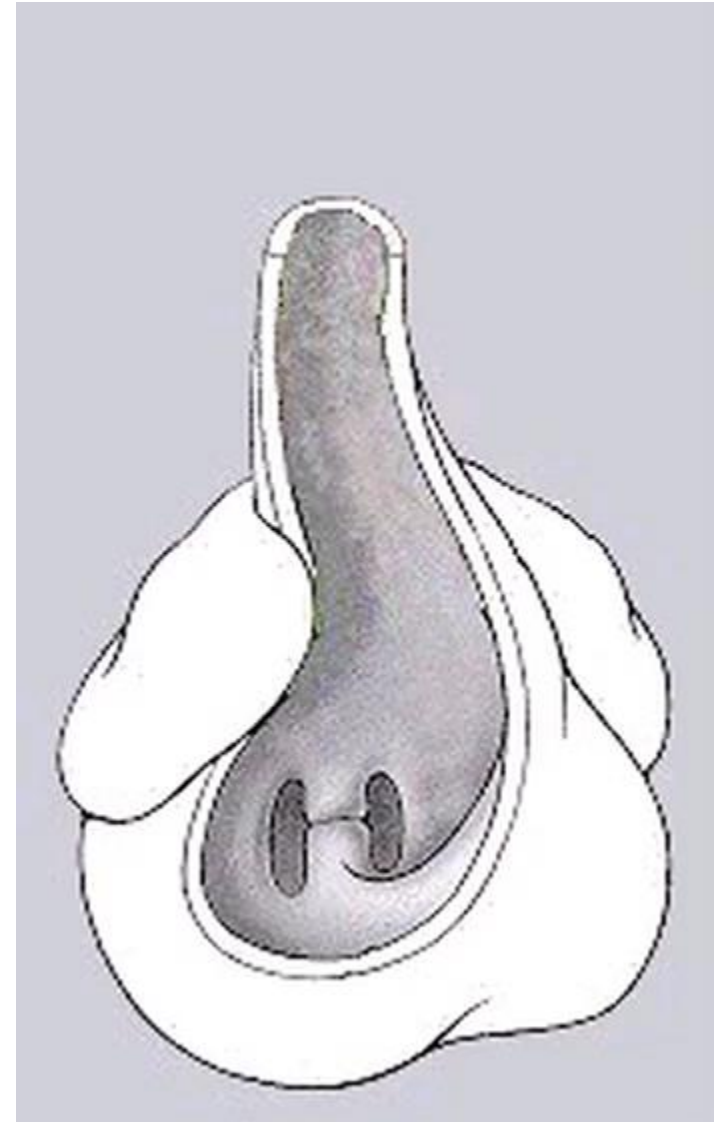
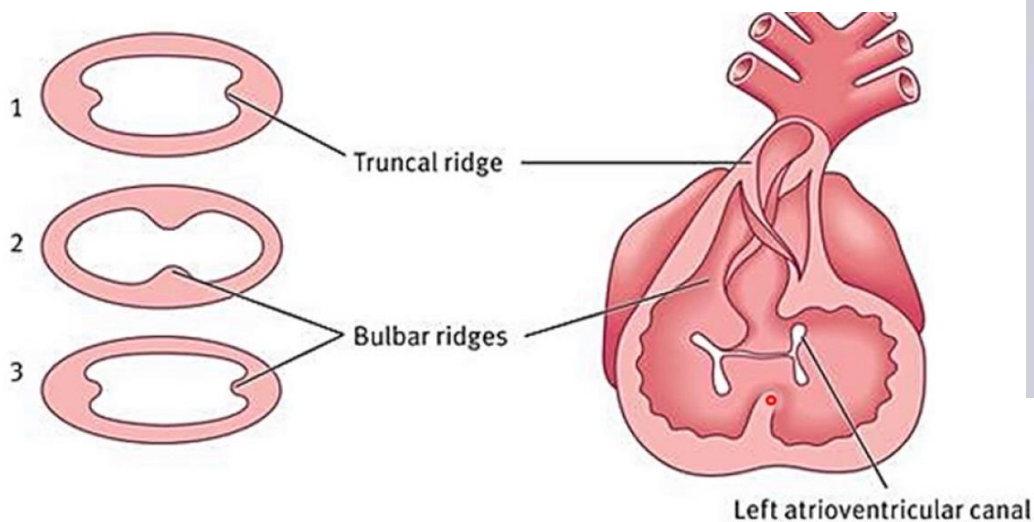
VÝVOJ SRDCE

Rozdělení bulbus cordis a truncus arteriosus

- 5. týden – **bulbární a trunkální valy** (lišty)
- 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

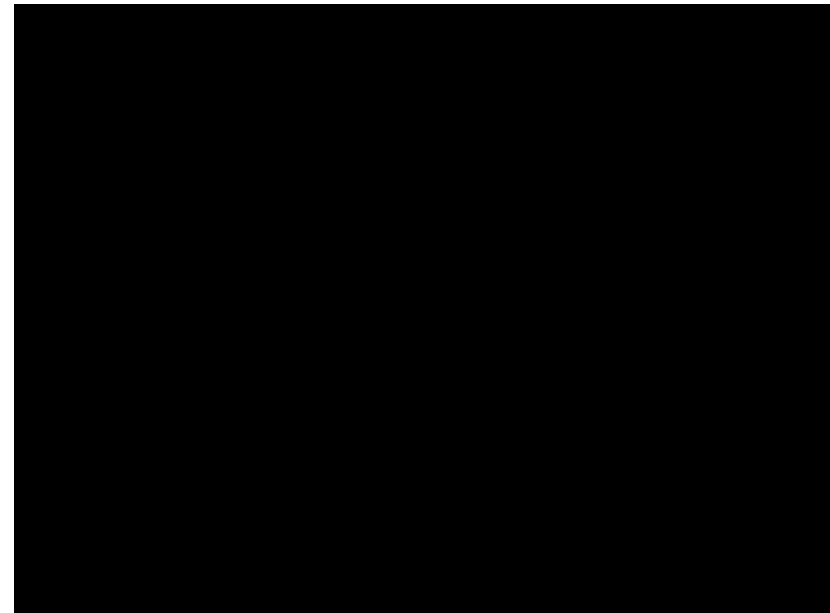
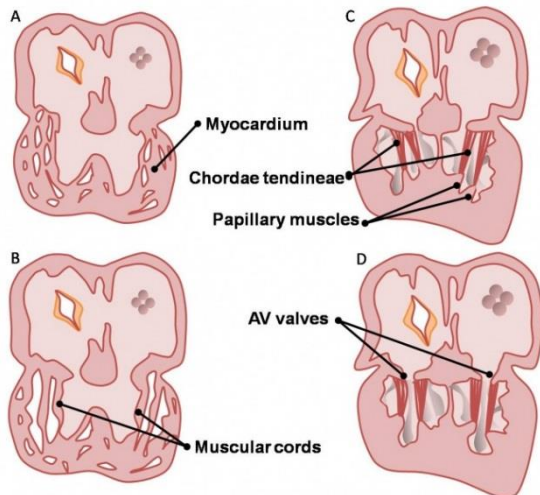
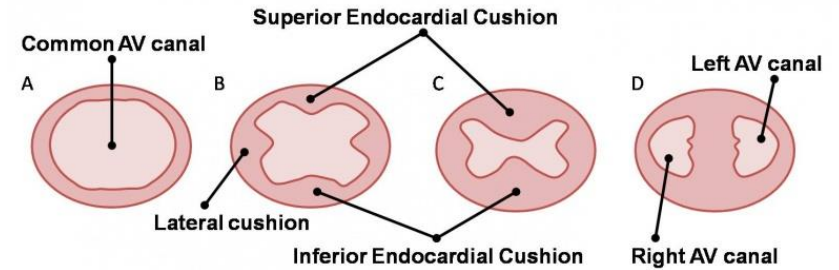
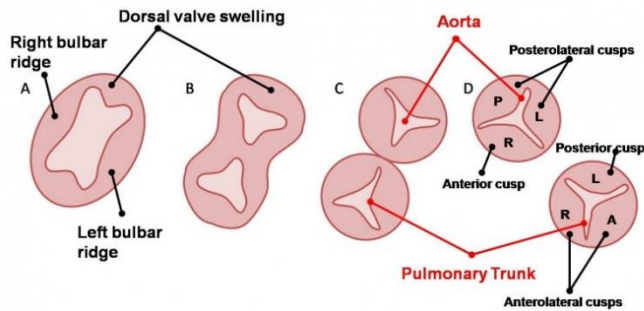
levá komora: **vestibulum aortae**



VÝVOJ SRDCE

Vývoj srdečních chlopní

- **semilunární chlopně** (aortální, pulmonální) během septace truncus arteriosus z endokardových polštářů aortopulmonárního septa
- **atrioventrikulární chlopně** (trikuspidální, mitrální) z endokardových polštářů a myokardu ve foramen atrioventriculare commune

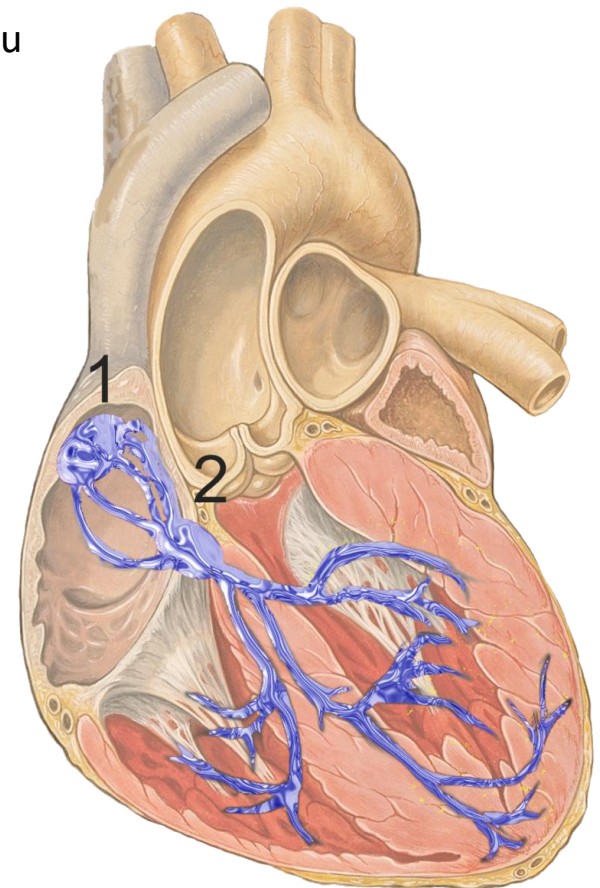
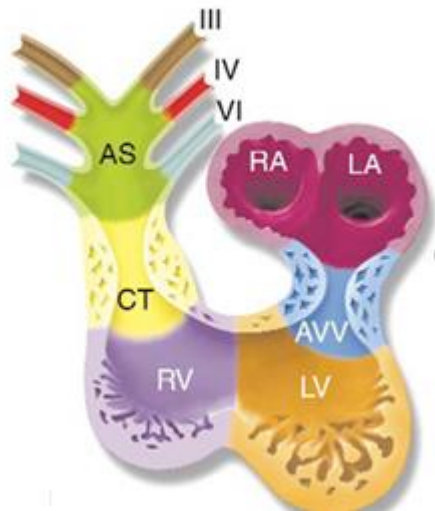


VÝVOJ SRDCE

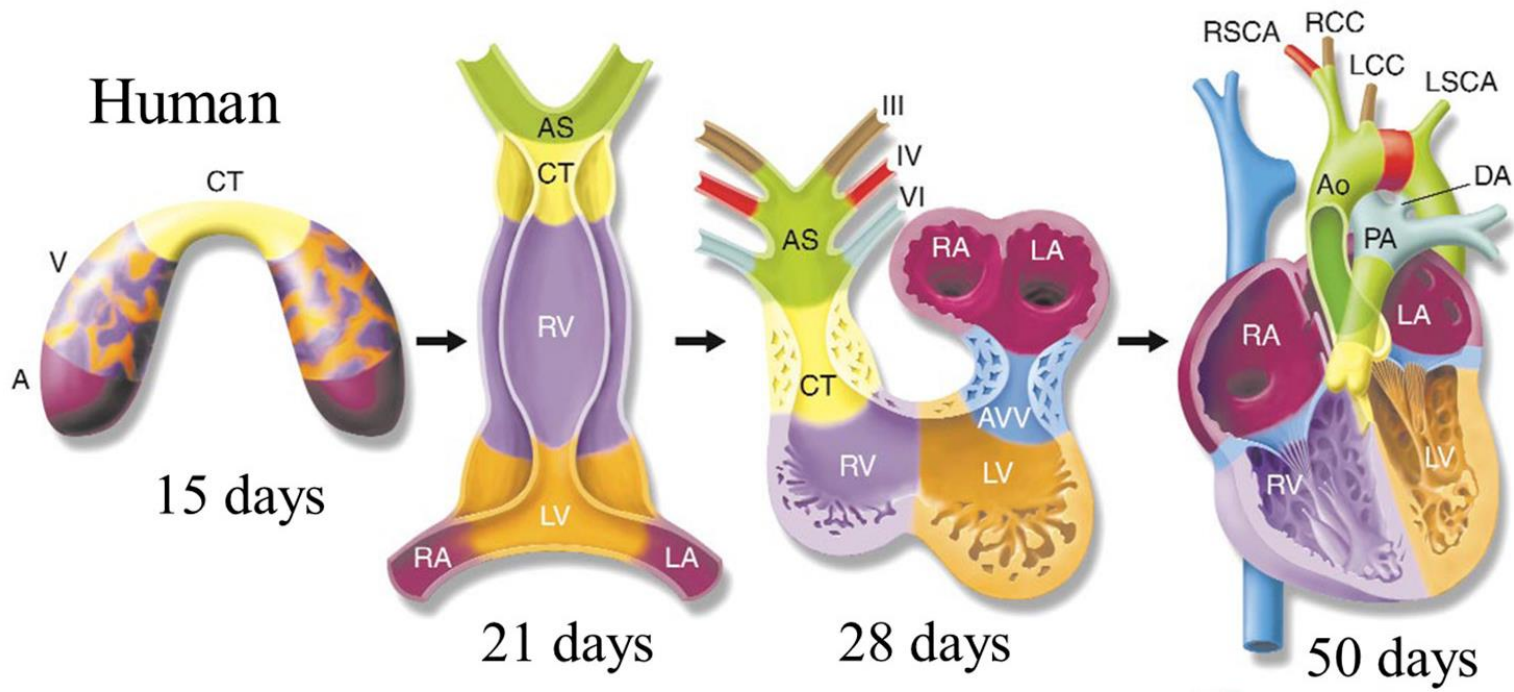
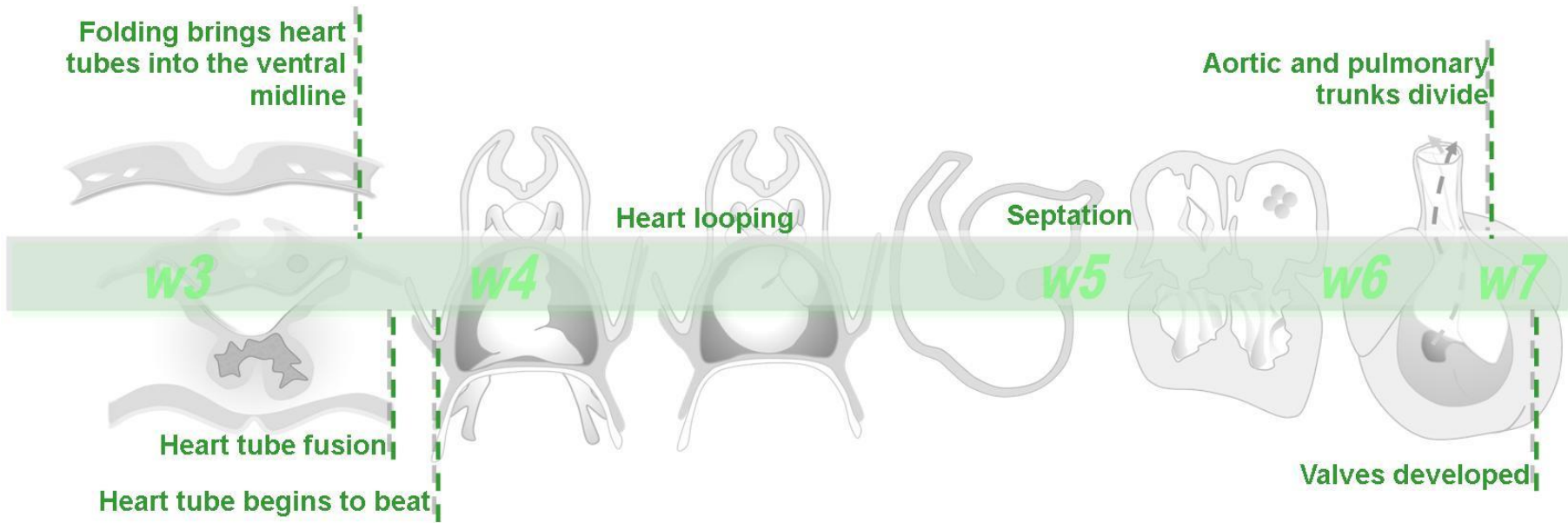
Vývoj převodního srdečního systému

Definitivní převodní systém = elektrické spojení mezi síněmi a komorami

- Souvislost svalových vrstev atrií a komor
- **Primitivní atrium** – prvotní pacemaker
- SA uzlík v 5. týdnu z tkání sinus venosus
- Buňky interatriálního a atrioventrikulárního septa se podílí na vzniku AV uzlu a fasciculus atrioventricularis → raménka → komorový myokard



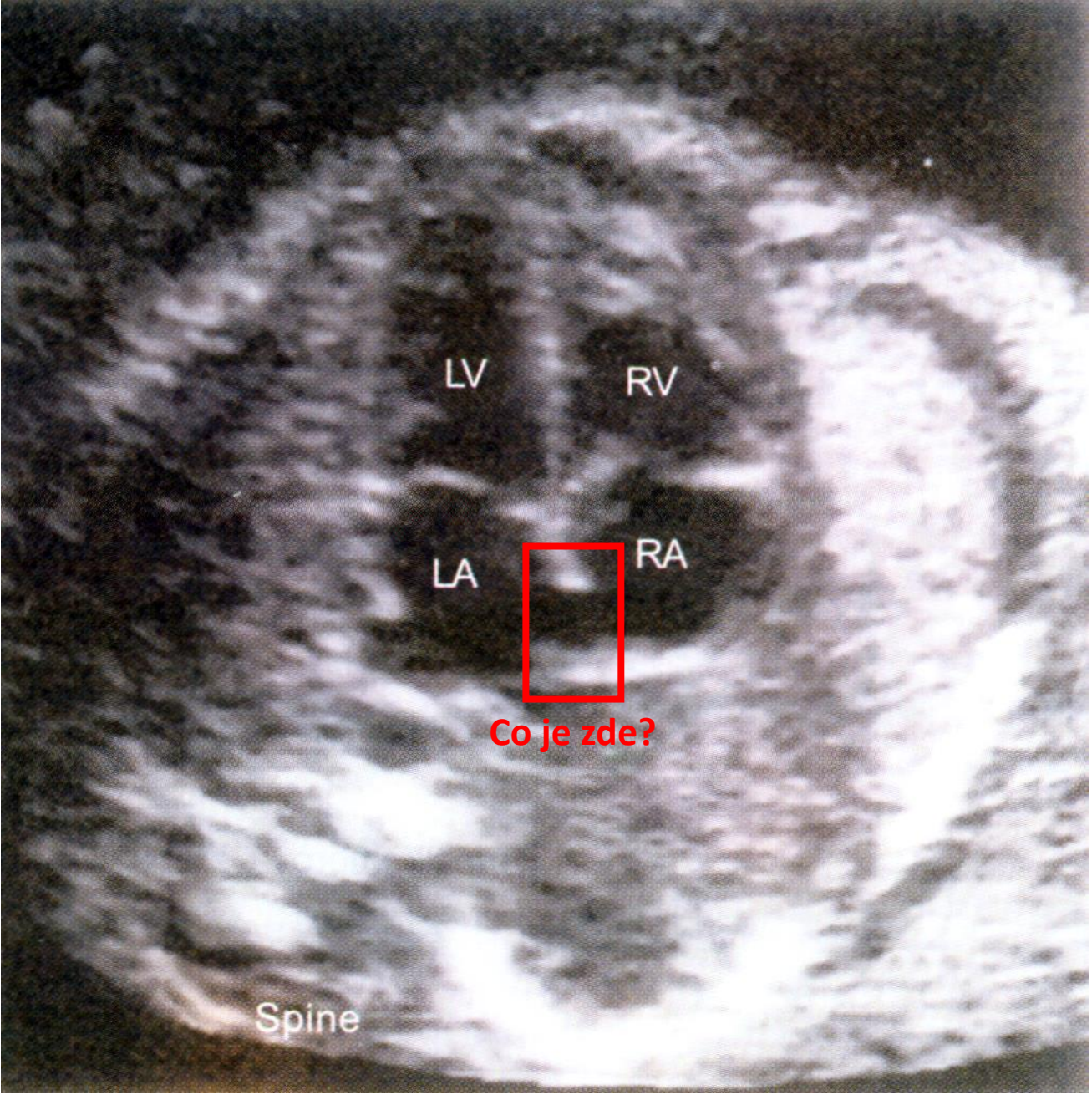
VÝVOJ SRDCE – SHRNUTÍ





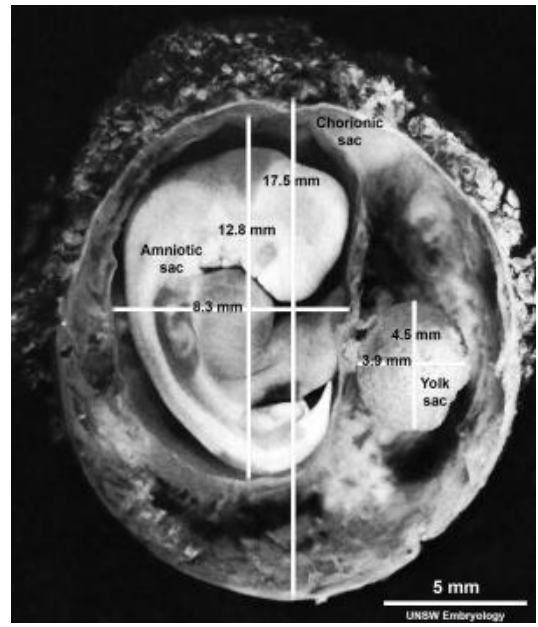
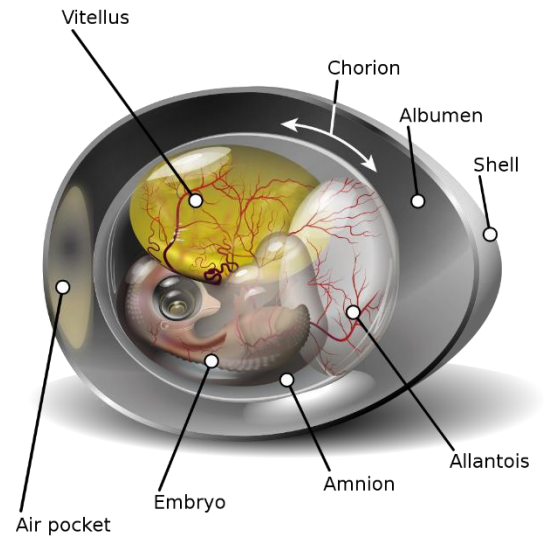
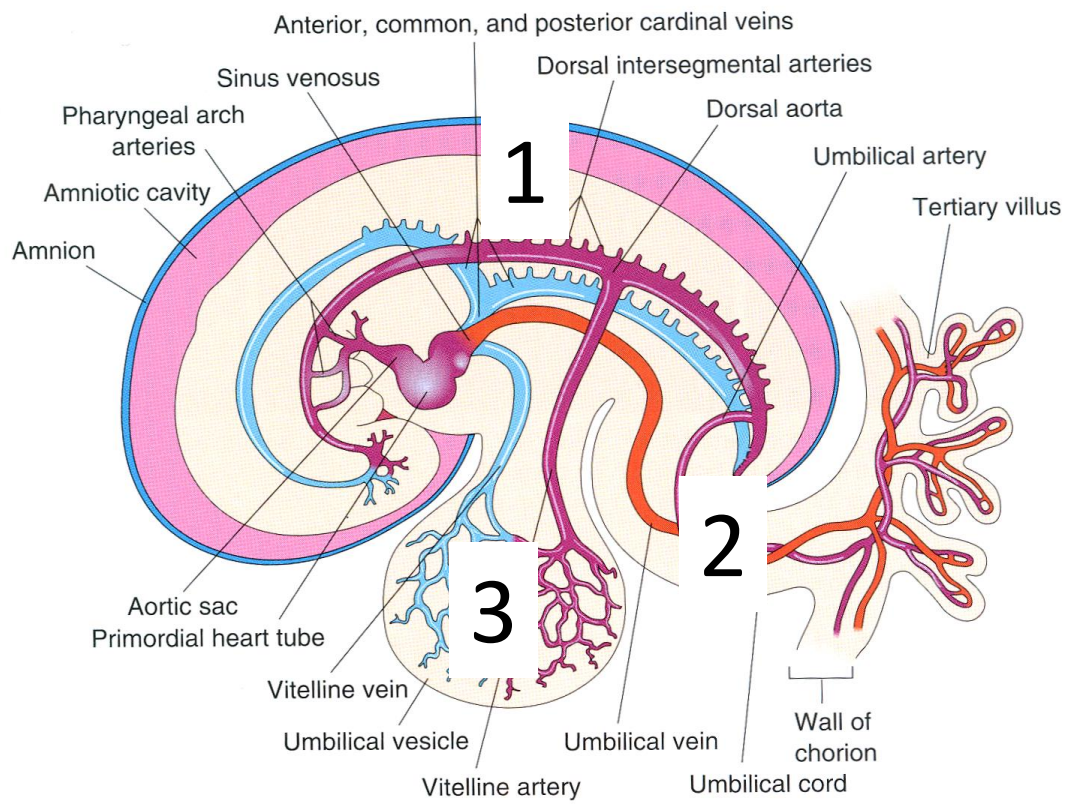
ECHOKARDIOGRAFIE FETÁLNÍHO SRDCE

20. týden



PRIMITIVNÍ KREVŇÍ OBĚH

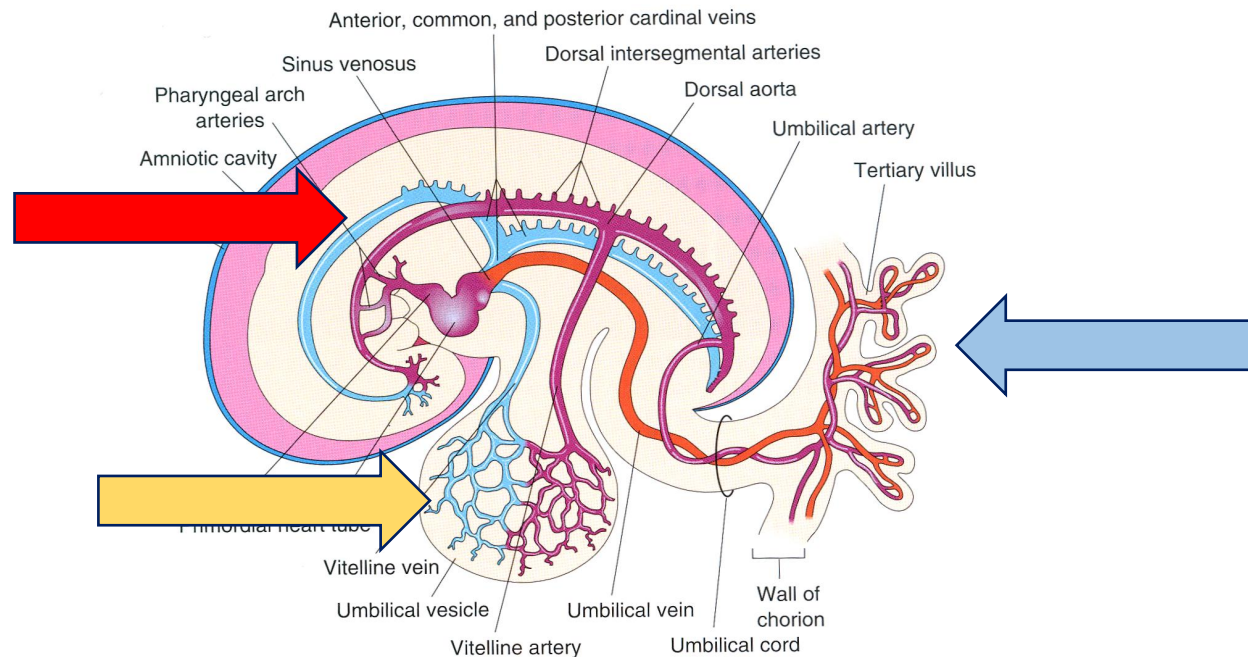
4. týden



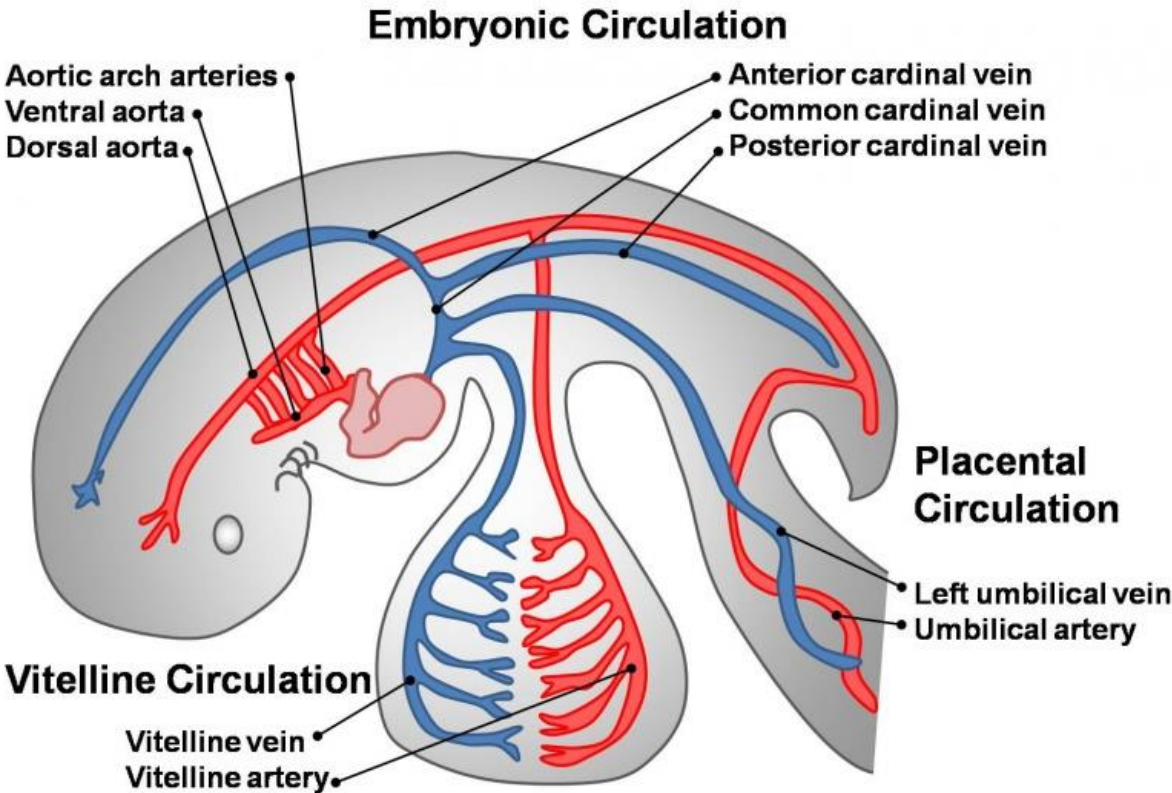
PRIMITIVNÍ KREVŇÍ OBĚH

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) → **párové v. cardinales communes** (*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*



VÝVOJ ARTERIÍ



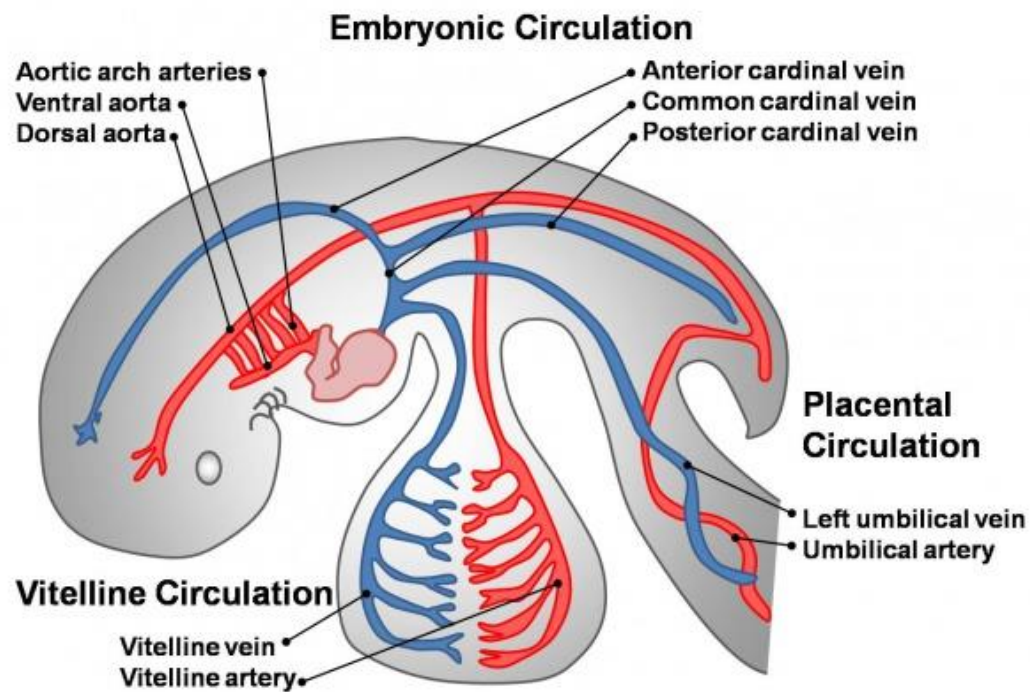
VÝVOJ ARTERIÍ

Dorzální aorta

- původně párová
- odstupuje z aortálních oblouků
- párové aorty splývají v jednu dorzální aortu → a. descendens

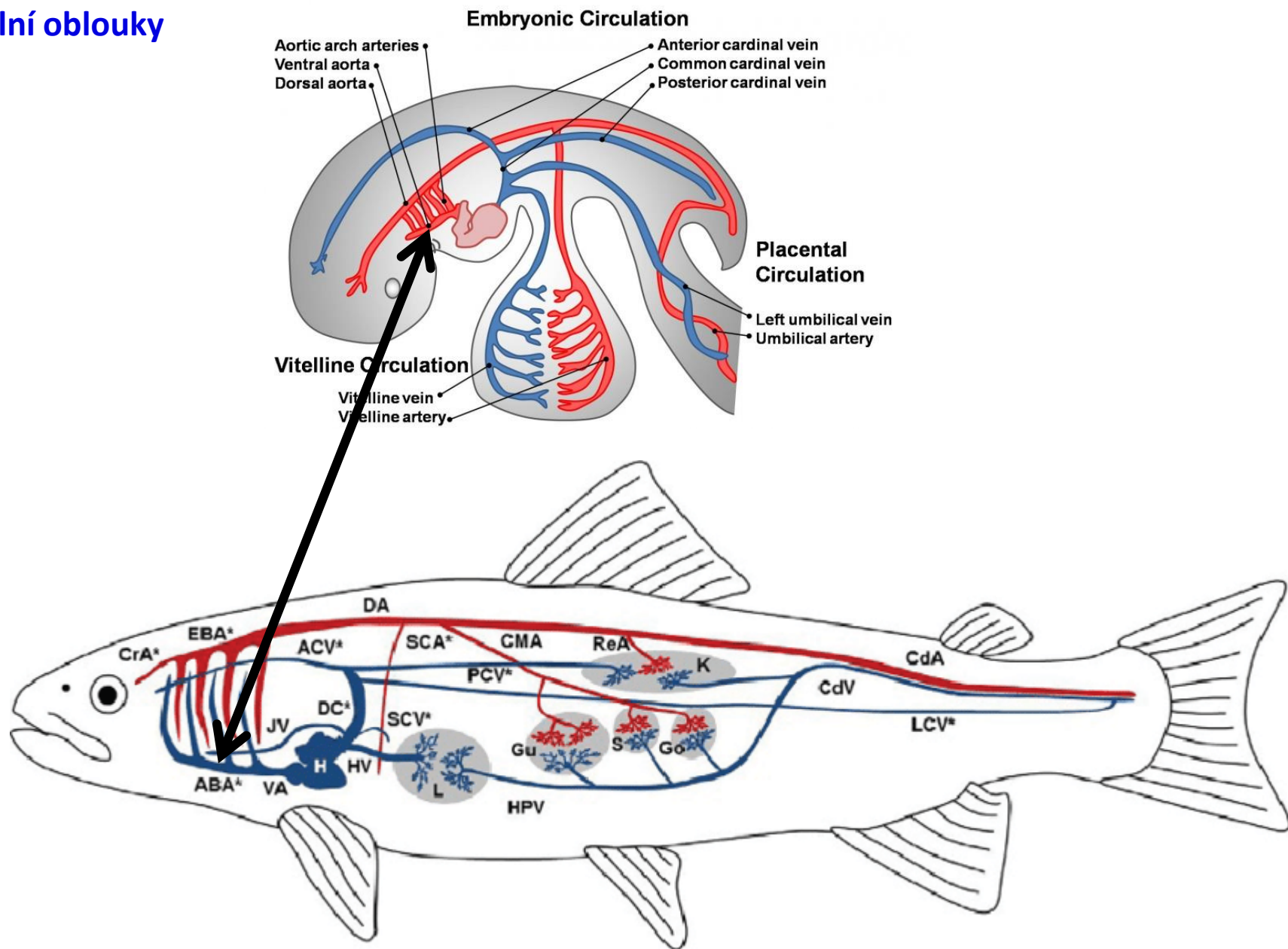
Ventrální aorta a aortální vak

- původně párová
- po flexi embrya párové aorty splývají v **aortální vak** → odstup aortálních oblouků

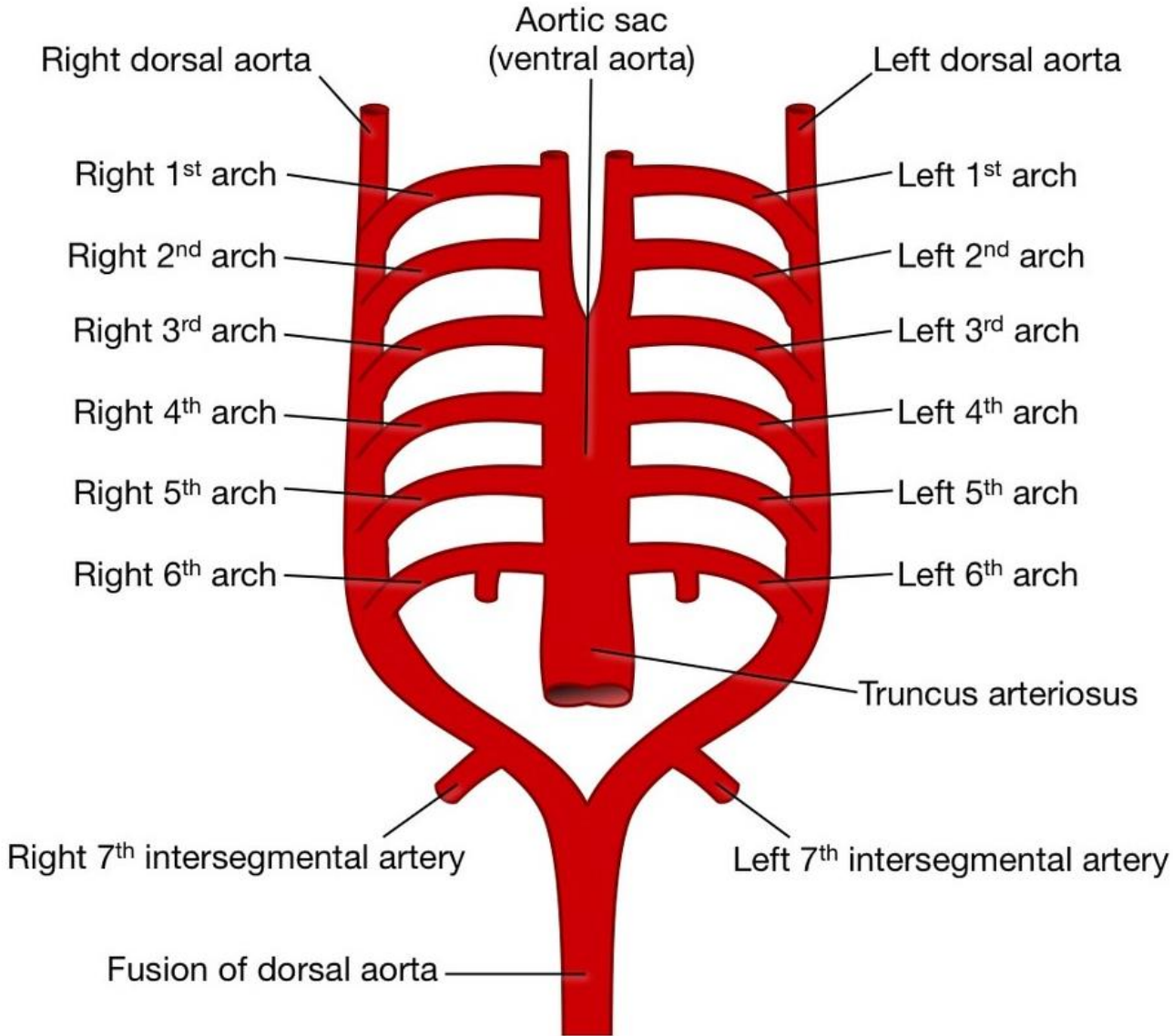


VÝVOJ ARTERIÍ

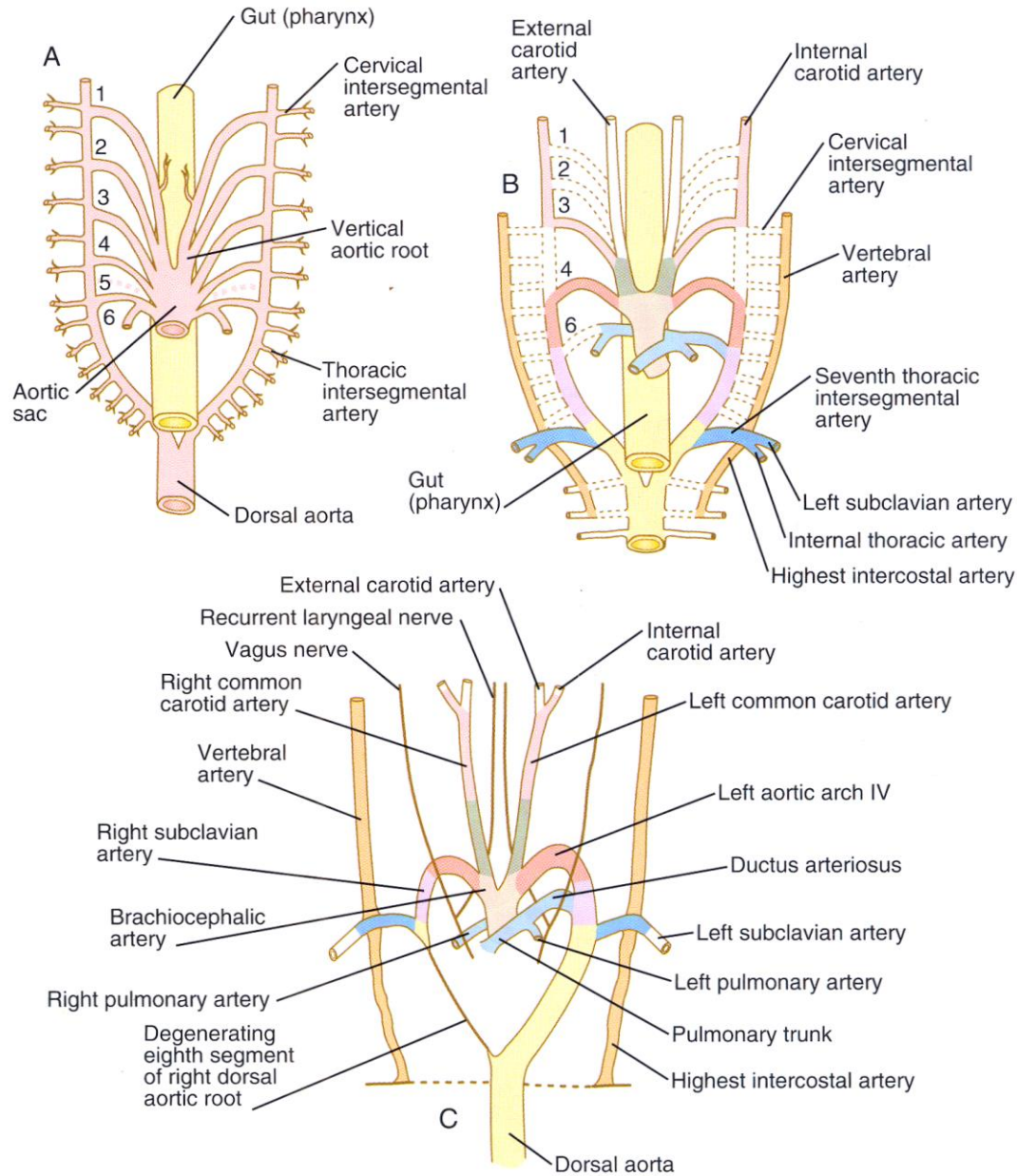
Aortální oblouky



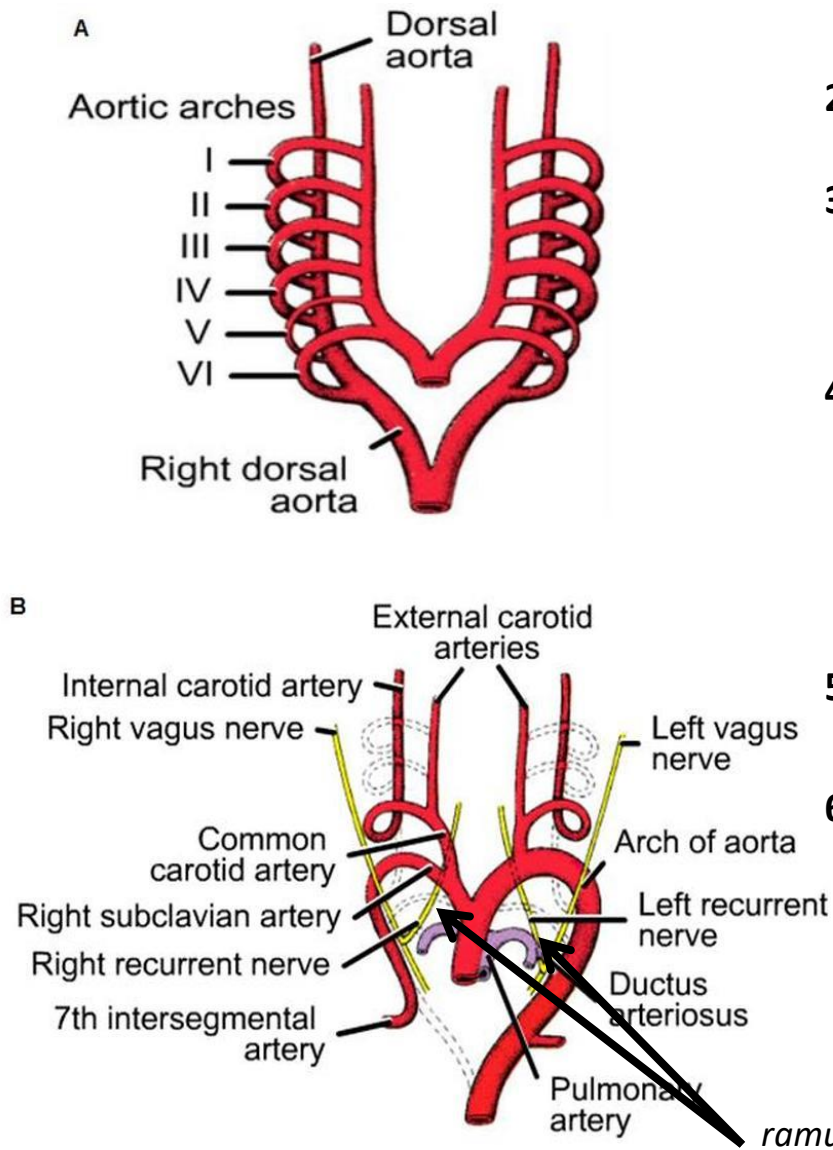
AORTÁLNÍ OBLOUKY



AORTÁLNÍ OBLOUKY

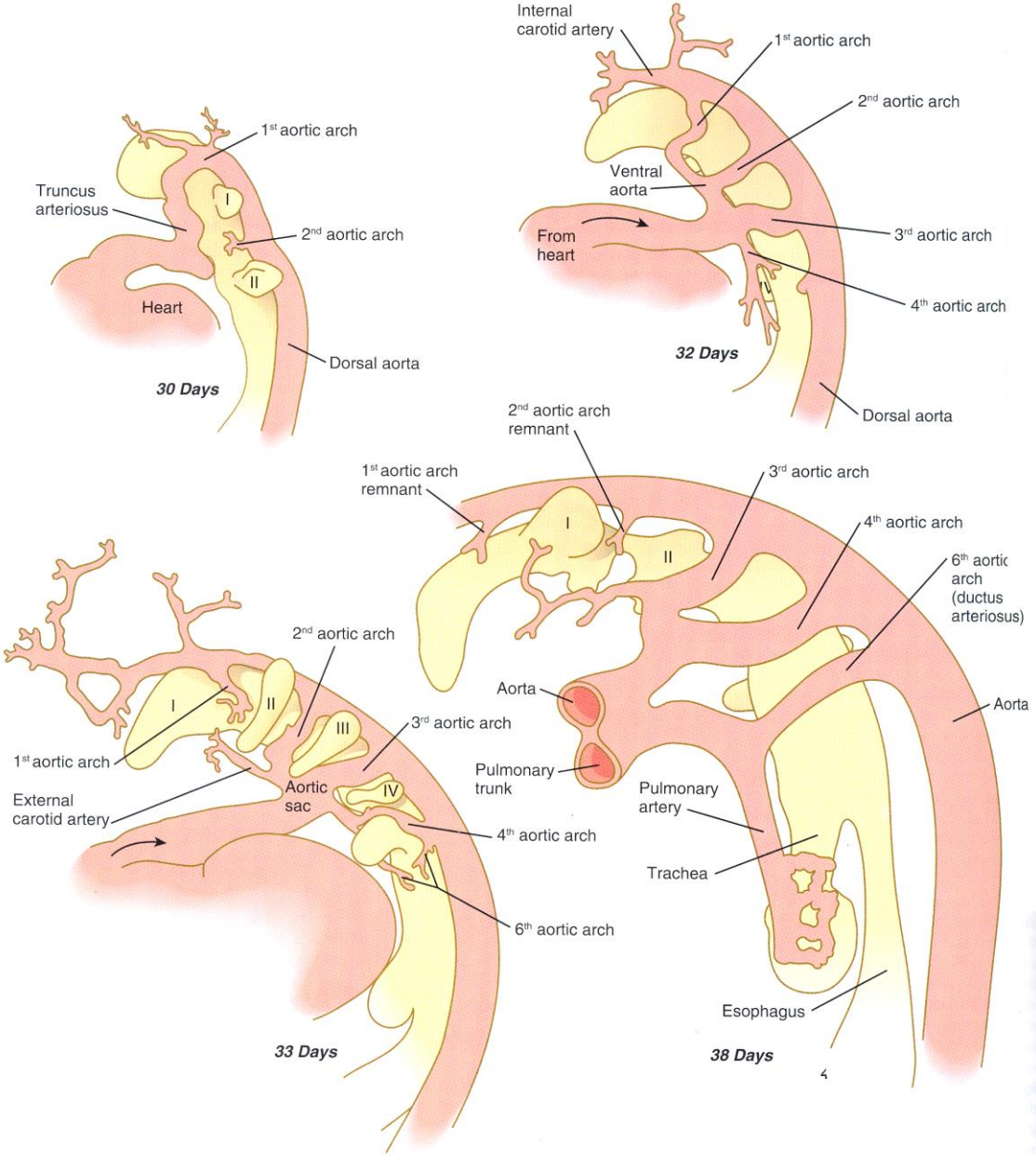


AORTÁLNÍ OBLOUKY



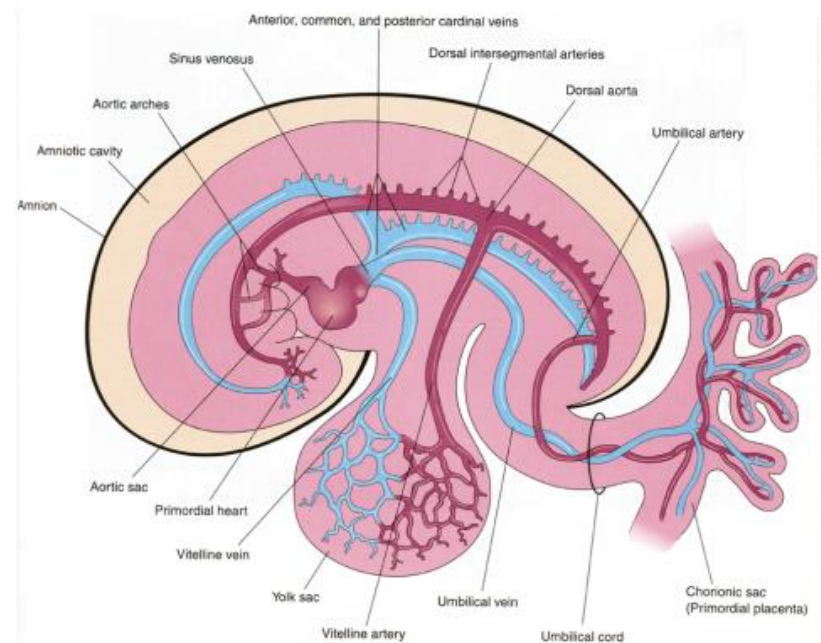
- 1 **zaniká**, z části **a. maxillaris** (částečně aa. carotides externae)
- 2 **zaniká**, z části **a. stapedia** a **a. hyoidea**
- 3 proximální úseky **aa. carotides communes**, distální část oblouků + dorzální aorty - **aa. carotides internae**
- 4 pravý dává vznik proximální části **a. subclavia dextra** (distální část pochází z dorzální 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**.

AORTÁLNÍ OBLOUKY

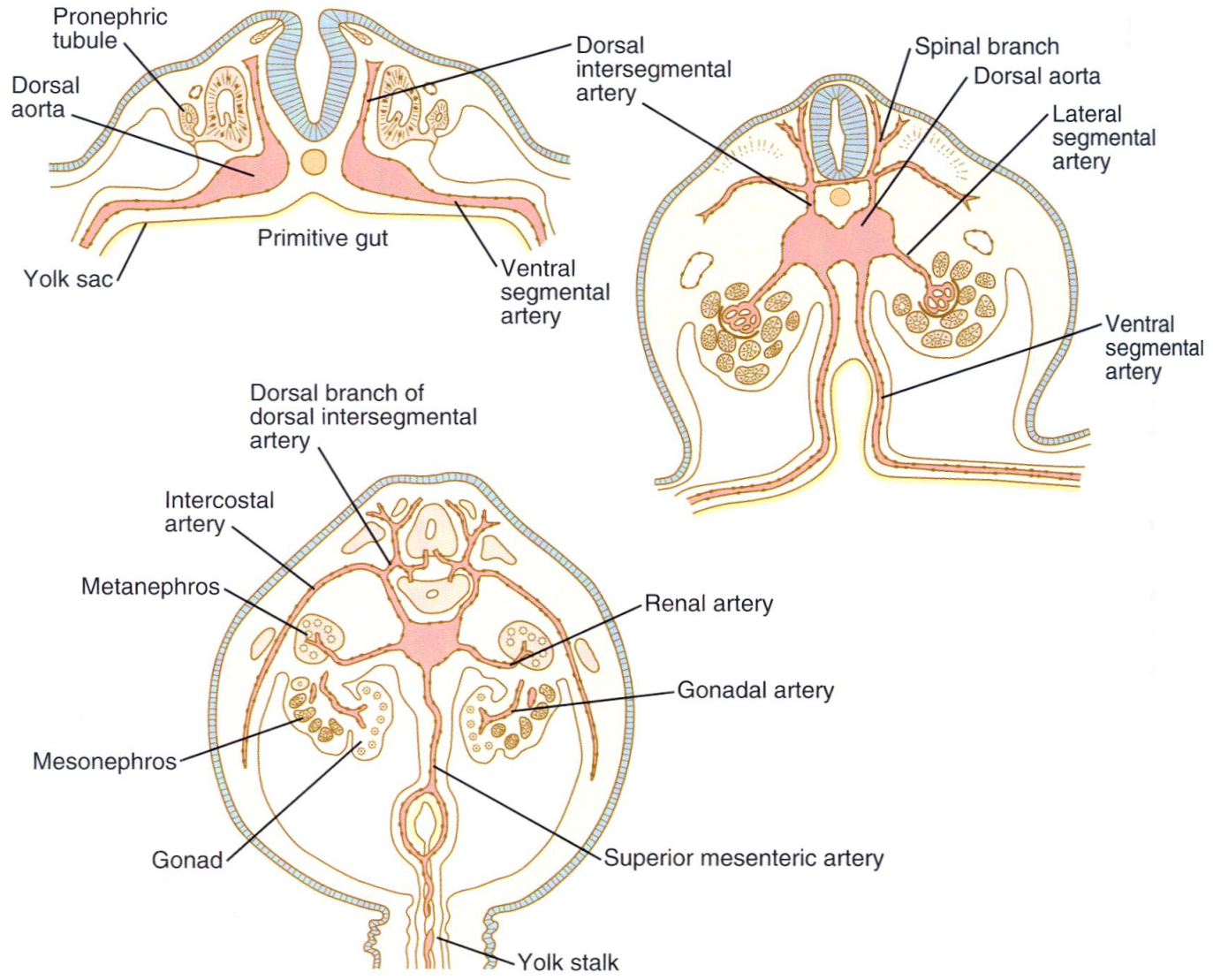


INTERSEGMENTÁLNÍ TEPNY

- dorzální, ventrální a laterální **větve dorzální aorty** (30)
- mezi somity (po dokočení vývoje obratlů probíhají na úrovni jejich těl)
- cévní zásobení somitů a jejich derivátů
- **intersegmentální arterie**
 - krku → **a. vertebralis**
 - hrudníku → **aa. intercostales**
 - břišní → **aa. lumbales**
 - sakrální → **aa. sacrales laterales**
- část 7. intersegmentální arterie → **a. subclavia dx.**
- kaudální konec dorzální aorty → **a. sacralis media**



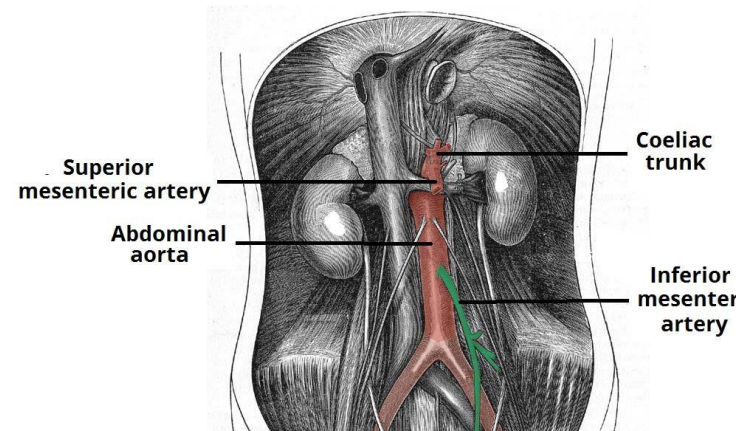
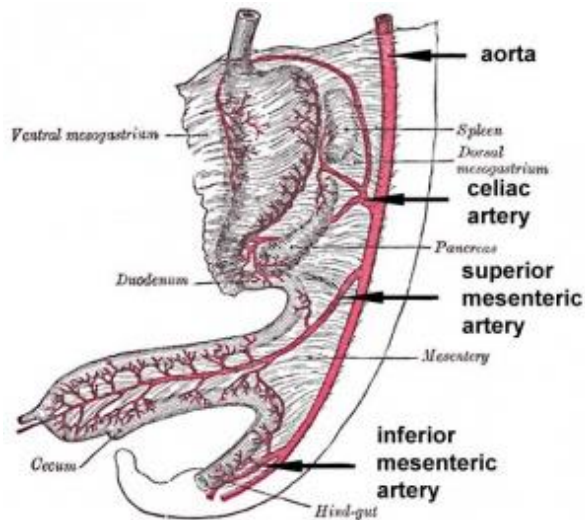
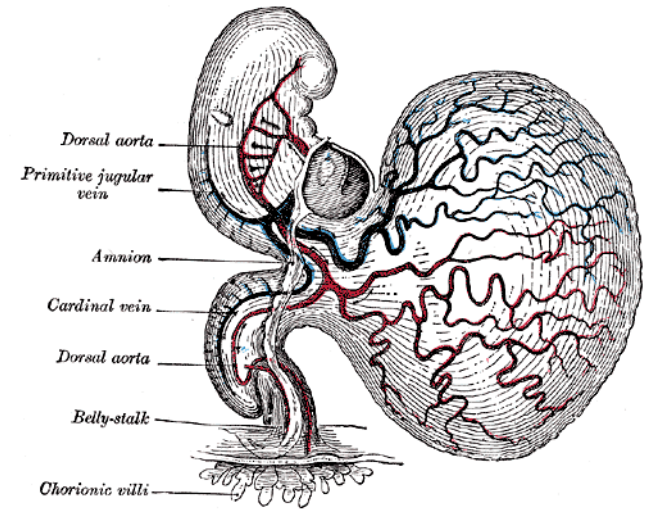
INTERSEGMENTÁLNÍ TEPNY



VITELINNÍ TEPNY

= žloutkové tepny

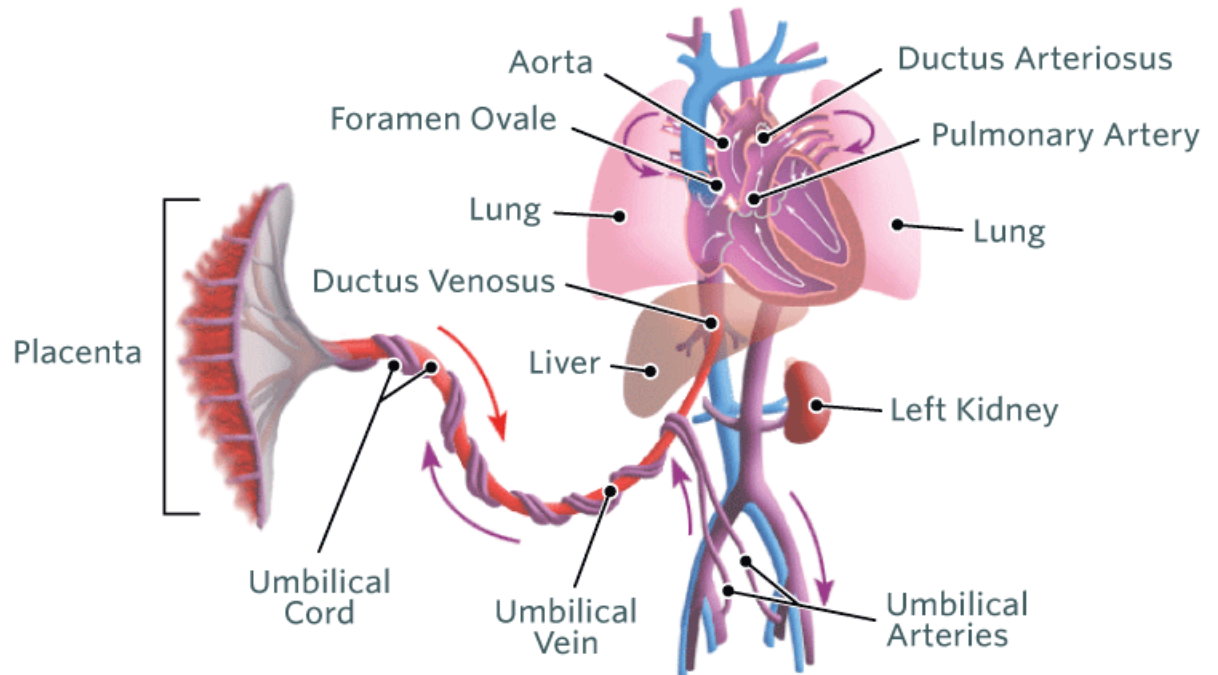
- aa. vitellinae (aa. omphalomesentericae)
- **ventrální větve dorsálních aort**
- redukce během vývoje **na tři hlavní tepny:**
 1. **truncus coeliacus**
 2. **a. mesenterica superior**
 3. **a. mesenterica inferior**



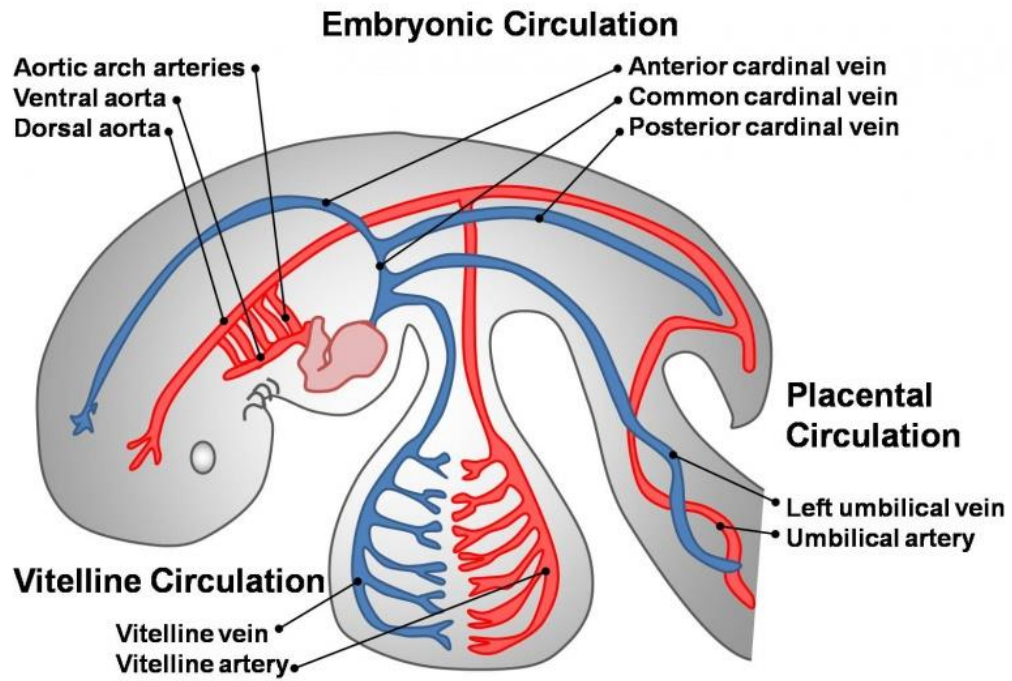
UMBILIKÁLNÍ TEPNY

= pupečnickové tepny

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



VÝVOJ VĚN



KARDINÁLNÍ VĚNY

- hlavní venózní systém embrya
- **vv. cardinales anteriores a posteriores**, spojující se **ve vv. cardinales communes**

- **párové vv. cardinales anteriores**

- 8. týden: anastomóza (z levé do pravé)
- z anastomózy: v. brachiocephalica
- kaudální úsek levé v. card. ant. zaniká
- pravá v. card. ant. + v. card. commun.: SVC

- párové **vv. cardinales posteriores**

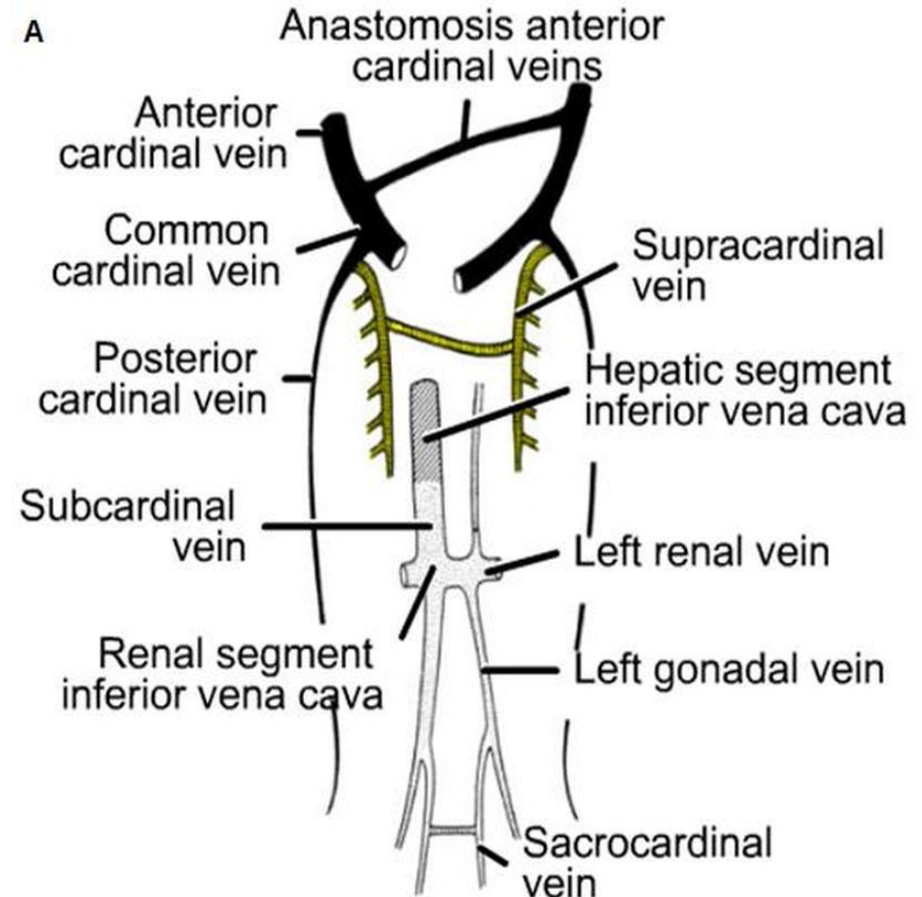
- primárně cévy mezonefros: s jeho zánikem také zanikají
- přetrvávají jako odstupy v. hemiazygos a v. azygos
- jsou nahrazeny subkardinálními a suprakardinálními vénami

- párové **vv. subcardinales**

- anastomózy navzájem i s v. cardinales posteriores
- levá v. renalis, v. suprarenales, vény gonád, část IVC

- párové **vv. supracardinales**

- nad ledvinami – anastomóza – v. azygos a v. hemiazygos
- kaudálně levá v. supracardinalis zaniká, z pravé vzniká dolní část IVC (anastomóza s v. subcardinalis)



KARDINÁLNÍ VÉNY A VÝVOJ VENA CAVA INFERIOR ET SUPERIOR

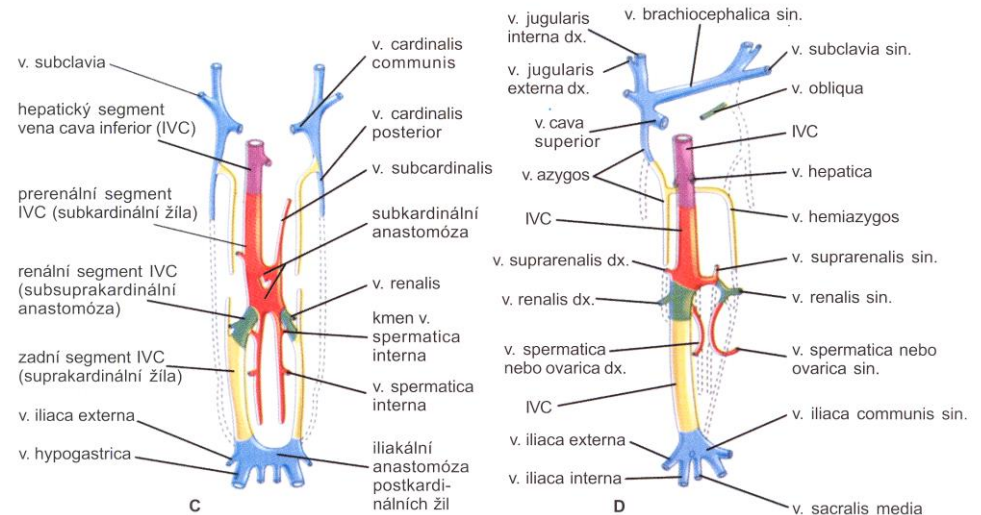
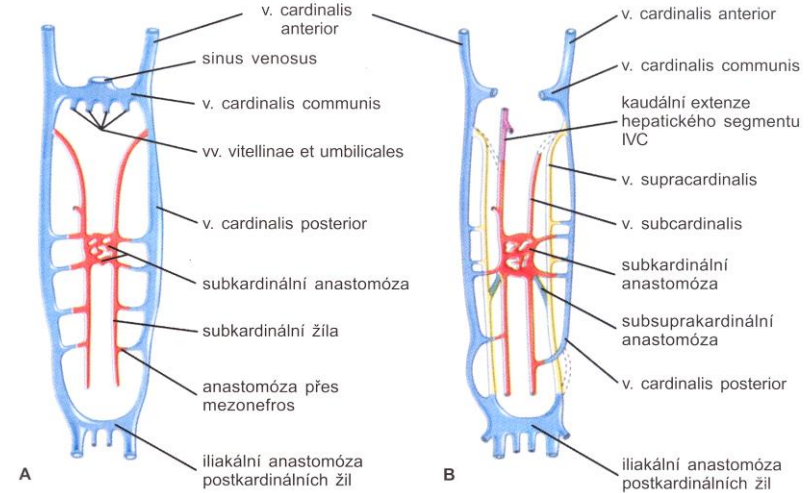
Vena cava inferior:

- 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)



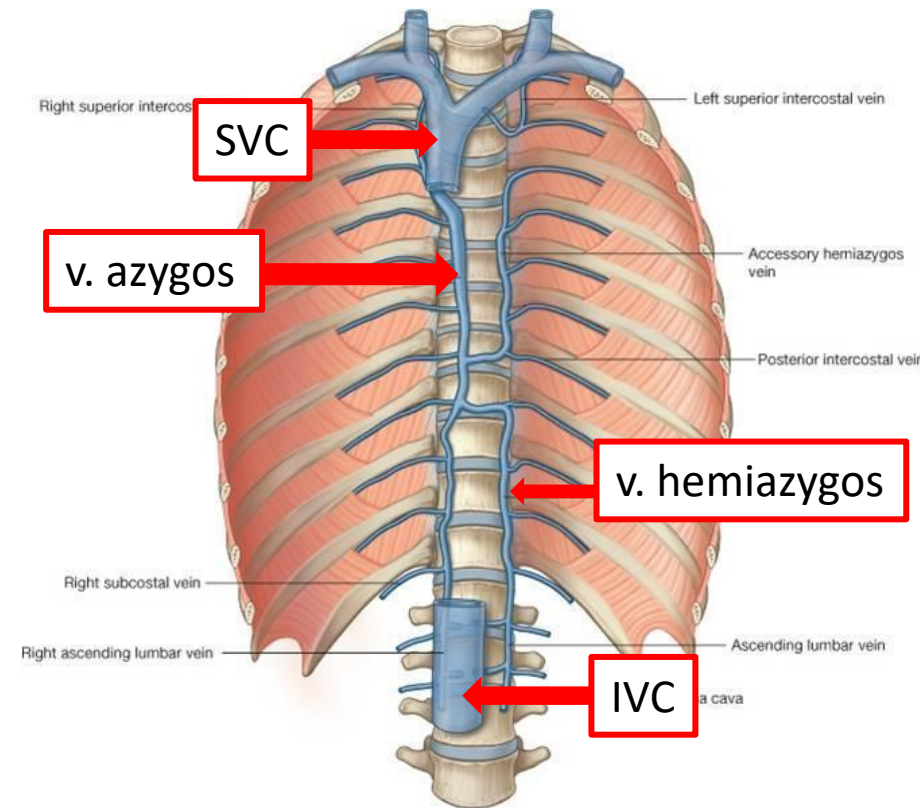
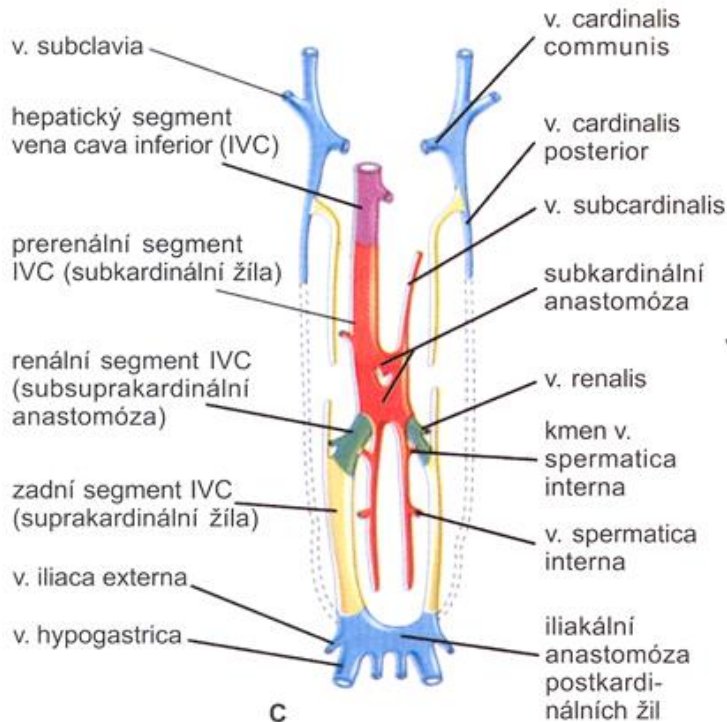
Vena cava superior:

- pravá v. cardinalis communis a v. cardinalis anterior



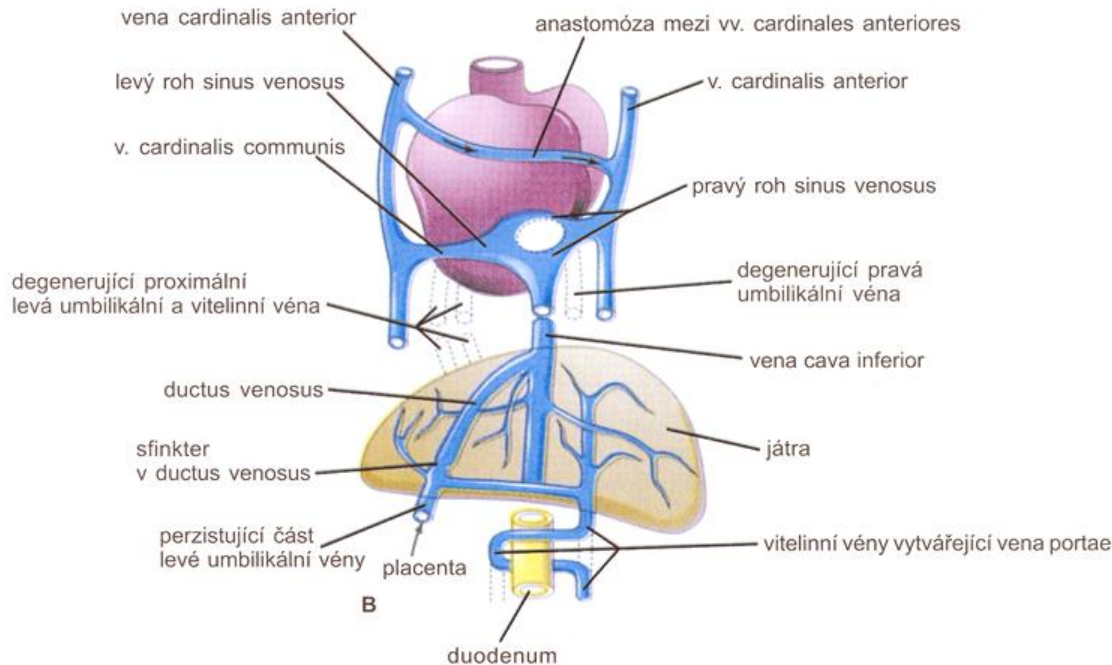
ANOMÁLIE VELKÝCH DUTÝCH VÉN

- **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



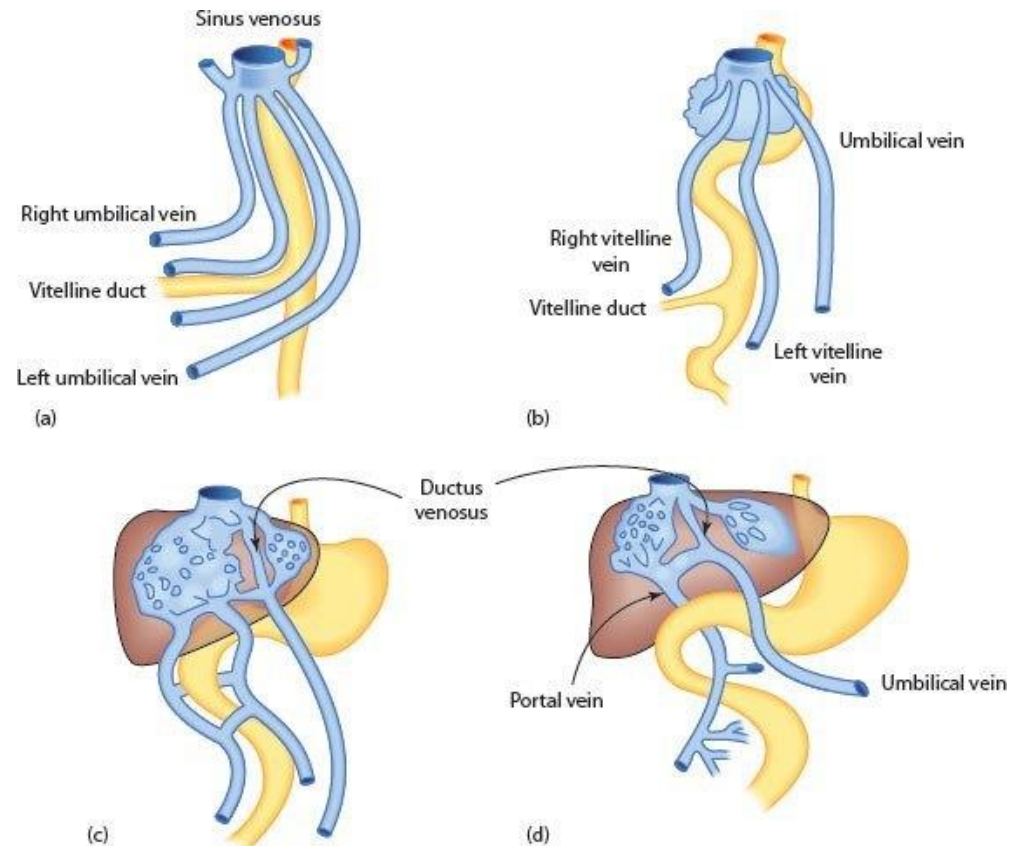
VITELINNÍ VÉNY

- **párové vv. omphalomesentericae**, vedou krev ze žloutkového vaku
- septum transversum
- ústí do sinus venosus (spolu s pupečníkovými vénami jako trunci vitelloumbilicales)
- růst jater – rozdělení vv. omphalomesentericae na proximální oddíl (žloutkový vak-játra) 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



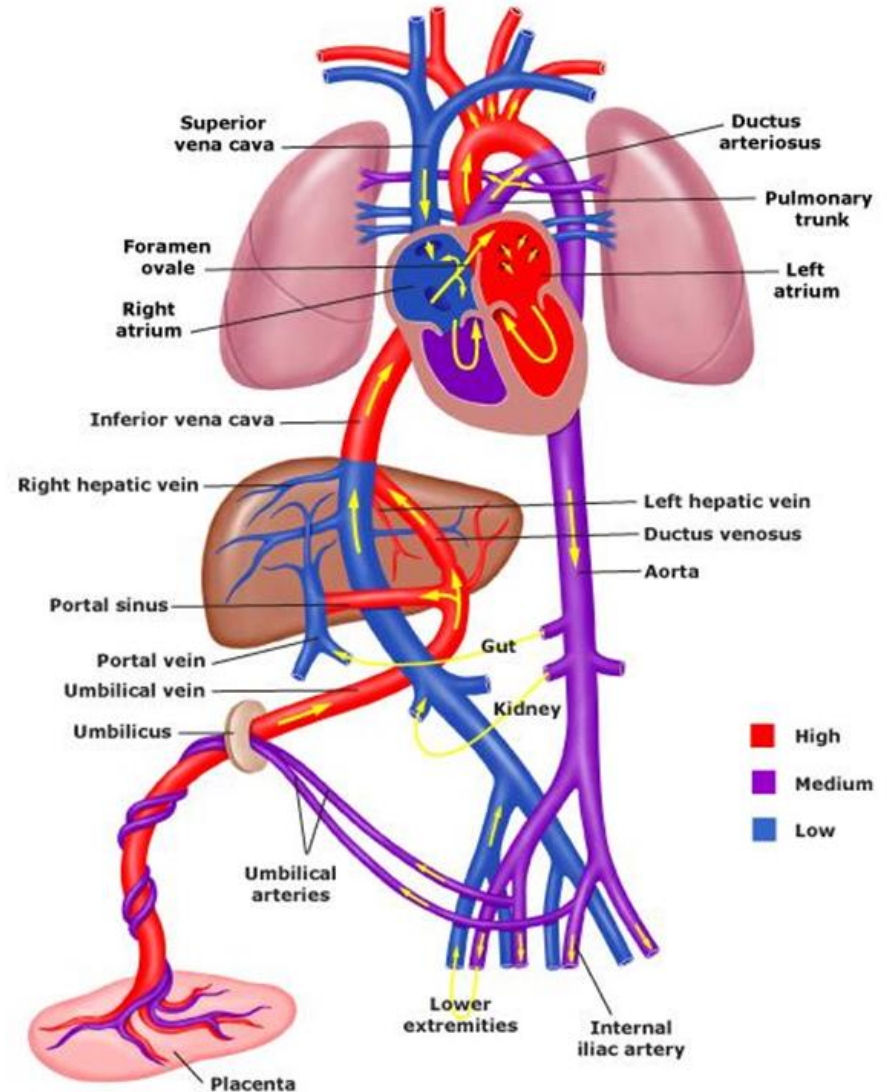
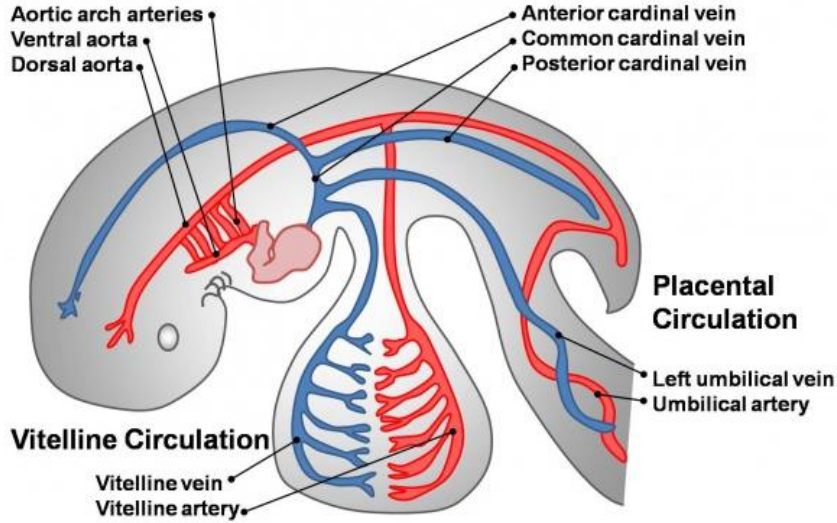
PUPEČNÍKOVÉ VÉNY

- párové (na začátku) vv. umbilicales, vedou krev z choriových klků do sinus venosus
- v důsledku růstu jater zanikají hepatické úseky obou vén, pravá umbilikální vena vymizí celá
- levá umbilikální vena tvoří kanál v jaterním parenchymu **ductus venosus**
- po porodu d. venosus zaniká a je nahrazený **ligamentum venosum**



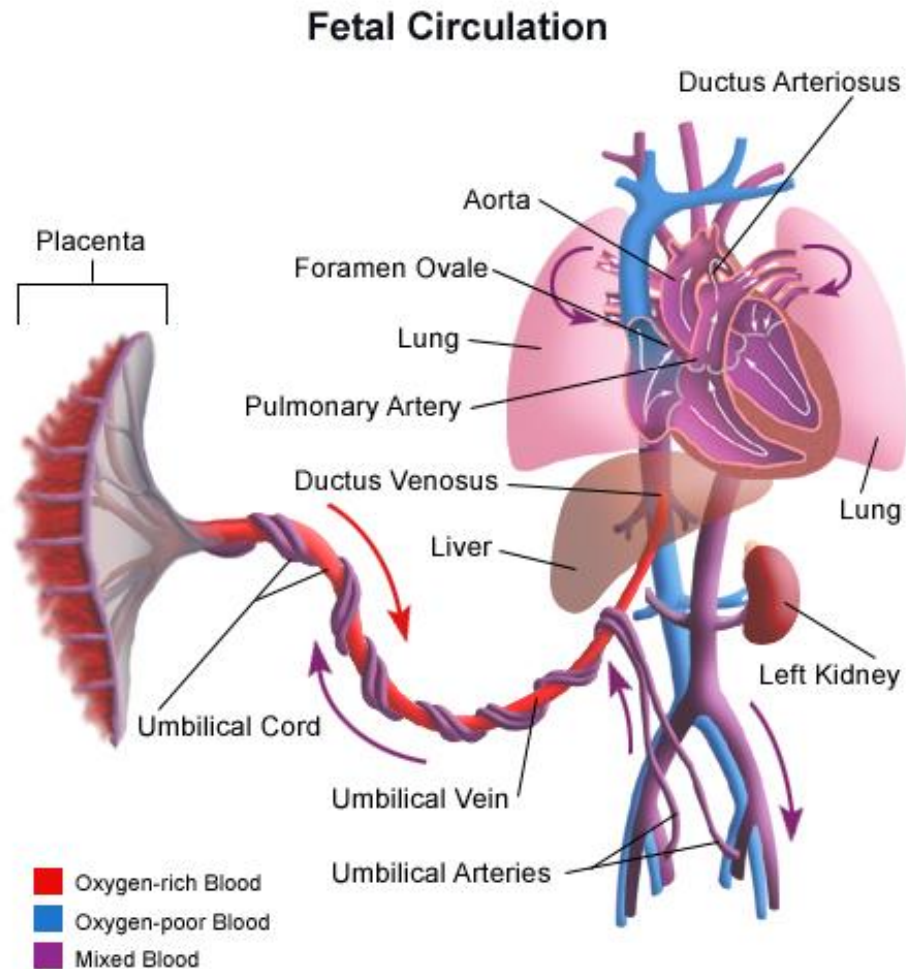
KLÍČOVÉ ZNAKY EMBRYONÁLNÍHO A FETÁLNÍHO KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

Fetální oběh



Embryonální oběh

DERIVÁTY FETÁLNÍCH VASKULÁRNÍCH STRUKTUR



Umbilikální vena → **ligamentum teres**

Od pupku k porta hepatis, úpon k levé větvi v. portae

Lumen l. teres může přetrvávat

Ductus venosus → **ligamentum venosum**

(prochází játry od levé větve v. portae k IVC)

Umbilikální arterie → **ligamenta umbilicalia**

medialia (většina intraabdominálního průběhu), jejich proximální části **aa. vesicales superiores**

Foramen ovale → **fossa ovalis**

Adheze septum primum (valvula foraminis ovalis) k septum secundum

Spodní část fossa ovalis – septum primum

Spodní okraj septum secundum – limbus fossae ovalis (anulus ovalis)

Ductus arteriosus → **ligamentum arteriosum**

(od levé pulmonální arterie k arcus aortae)

VROZENÉ VÝVOJOVÉ VADY KVS

Teratologie

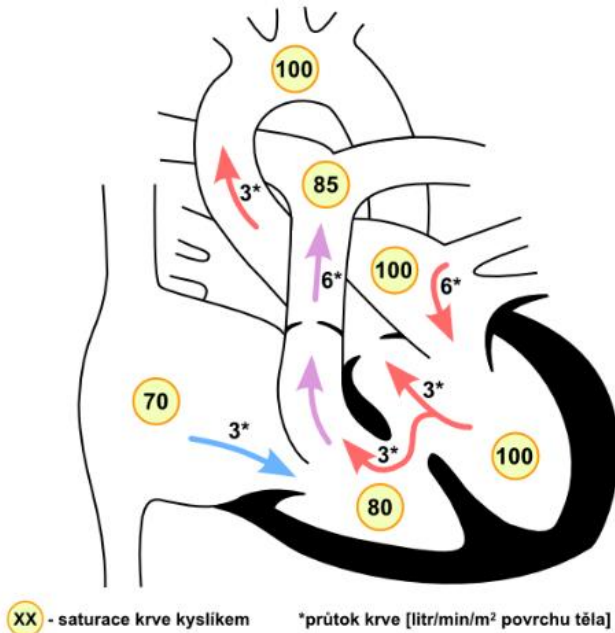
VVV se zkratem a bez zkratu

S levopřavým zkratem – ACYANOTICKÉ

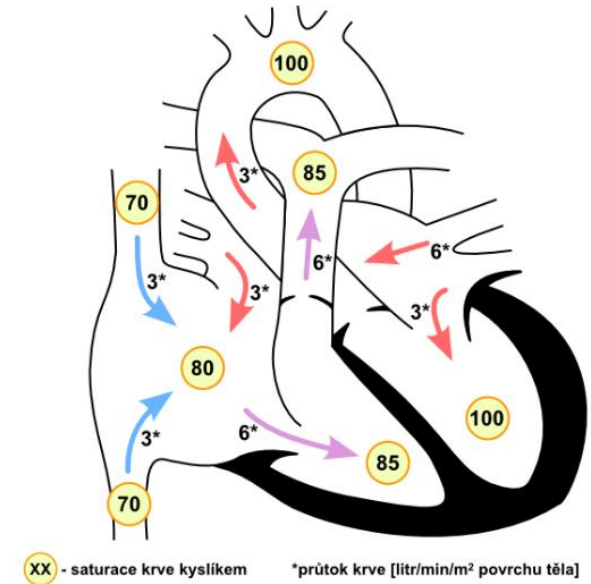
Příklady:

- Atriální septální defekty
- Ventrikulární septální defekty
- Atrioventrikulární septální defekt
- Ductus arteriosus apertus

Defekt komorového septa



Defekt síňového septa



Otevřená tepenná duče (PDA)



VROZENÉ VÝVOJOVÉ VADY KVS

S pravolevým zkratem – **CYANOTICKÉ**

Příklady:

- Fallotova tetralogie (pentalogie)
- Transpozice velkých cév
- Hypoplastické levé srdce
- Trikuspidální atresie



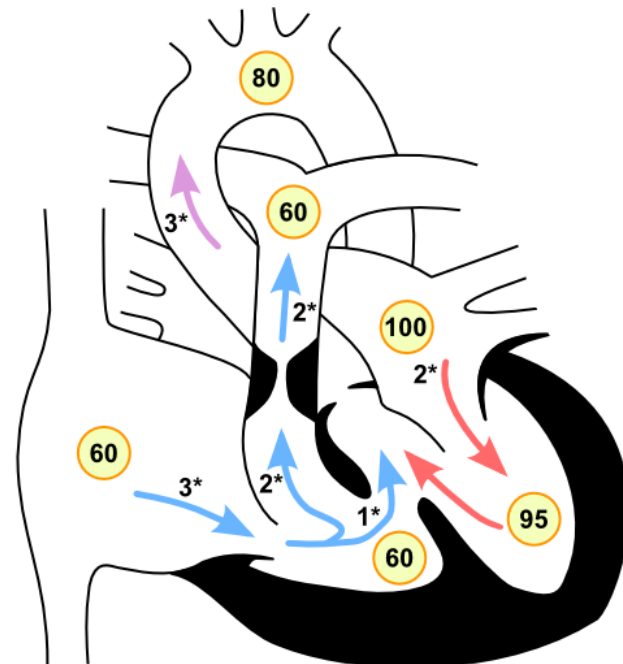
(a) Peripheral cyanosis (©iStockPhoto)



(b) Central cyanosis (source:[9])

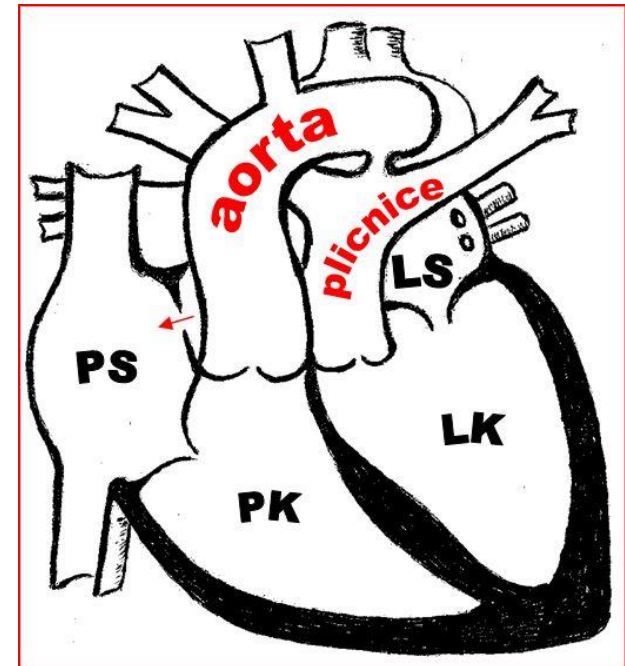
Peters, Peter & Delbressine, Frank & Feijs, Loe. (2014).
Designing preterm neonatal cyanosis simulation.

Fallotova tetralogie



XX - saturace krve kyslíkem *průtok krve [litr/min/m² povrchu těla]

Transpozice velkých cév

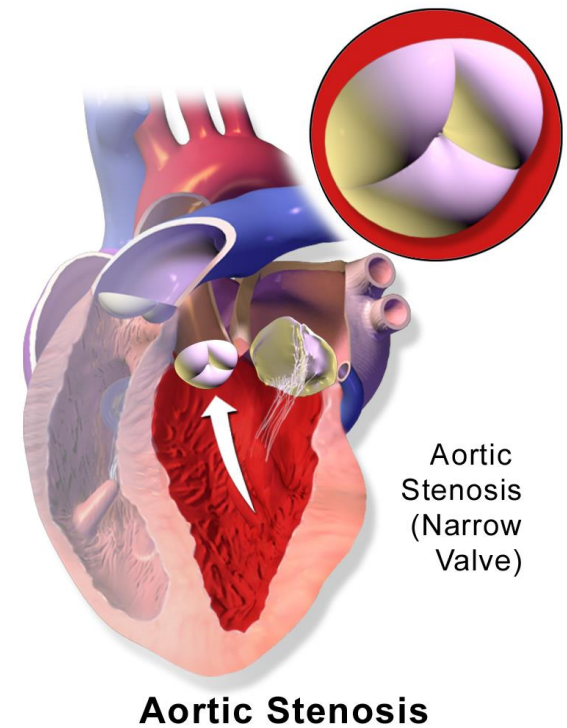
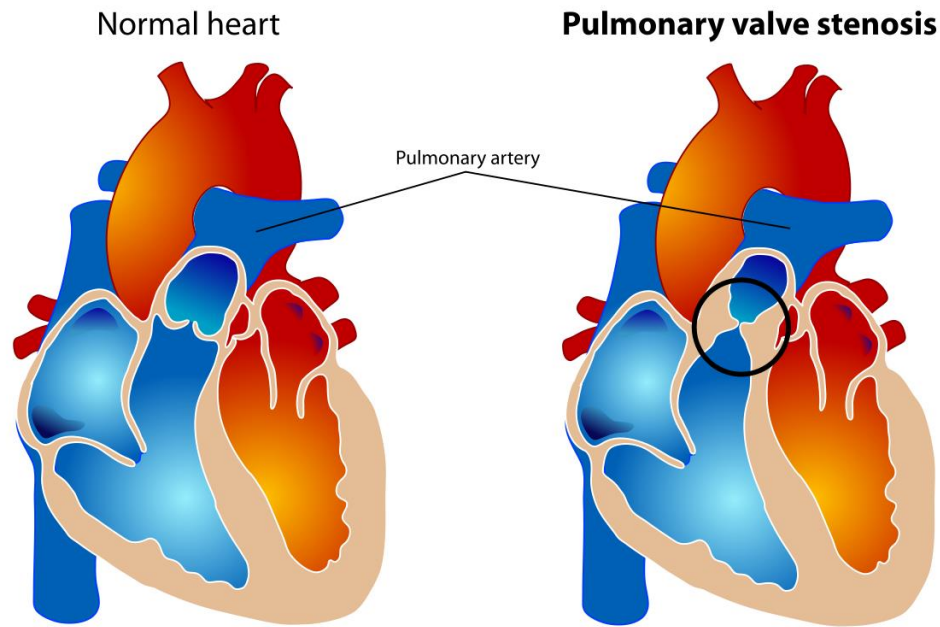


VROZENÉ VÝVOJOVÉ VADY KVS

Bez zkratu

Příklady:

- Stenóza plicnice
- Aortální stenóza



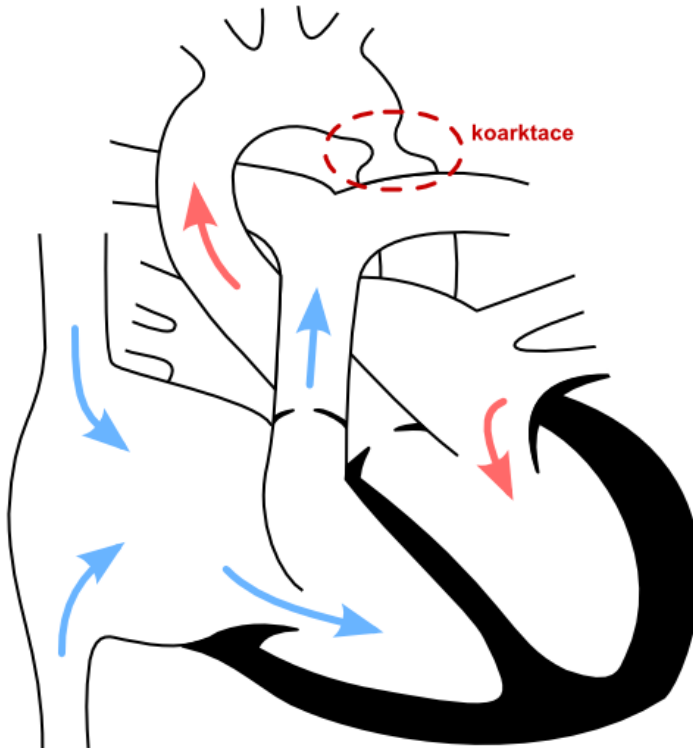
VROZENÉ VÝVOJOVÉ VADY KVS

Bez zkratu

Příklady:

- Koarktace aorty
- Akardie
- Dextrokardie
- Ektopické srdce

Koarktace aorty



<http://www.fetalultrasound.com/online/text/1-026.HTM>

Akardie



Ectopia cordis



VROZENÉ VÝVOJOVÉ VADY KVS

Další studium:

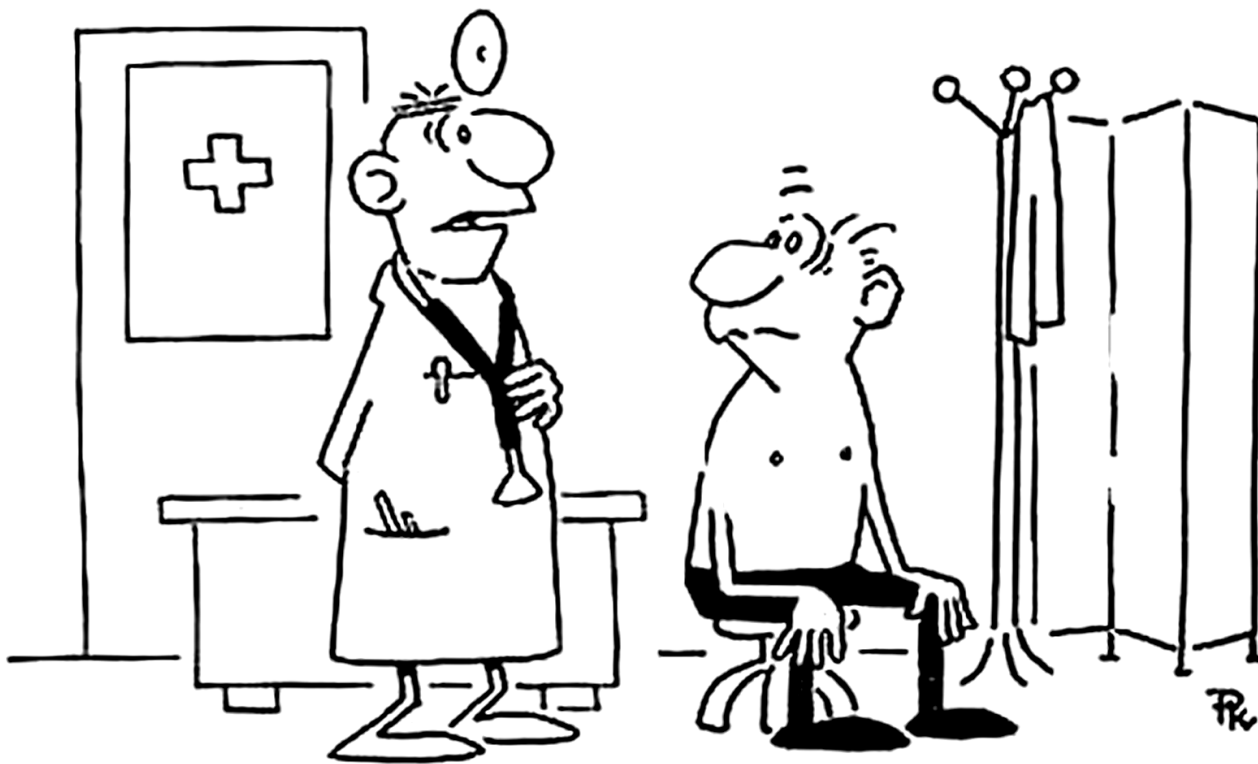
https://www.youtube.com/watch?v=DrgUSGvL_4Q

<https://www.youtube.com/watch?v=IBGUtiBp8k8>

<https://www.youtube.com/watch?v=HbUrfLgE2FE>

<https://www.youtube.com/watch?v=C0Gb-yScjSk>

Děkuji za pozornost



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