

ÚSTAV HISTOLOGIE A EMBRYOLOGIE LF UK V PLZNI



Trojrozměrné rekonstrukce orgánů a topografických oblastí zárodků a plodů založené na sériových histologických řezech

PŘÍRUČKA PRO STUDENTY

MUDr. Mgr. Zbyněk Tonar
Lukáš Nedorost
Vít M. Matějka
Doc. MUDr. Jitka Kočová, CSc.

leden 2007

Práce byla podporována grantem FRVŠ G3 893/2006
Trojrozměrné rekonstrukce orgánů a topografických oblastí zárodků a plodů člověka a hlodavců založené na sériových histologických řezech.

Poděkování řešitelů

- Doc. MVDr. Dr.med.vet. Kirsti Witter, CSc. a Prof. MVDr. Ivanu Míškovi, CSc., za ochotu a pomoc při získávání zkušeností s 3-D rekonstrukcemi v embryologii
- RNDr. Jiřímu Janáčkovi, CSc., za úpravy modulu Surface v používaném software Ellipse3D a za konzultace při registraci fyzických řezů a rekonstrukci povrchů
- Prof. MUDr. RNDr. Jaroslavu Slípkovi, DrSc., za přednášky a cenné rady v oboru embryologie.

Obsah

1 Úvod	3
1.1 Cíl práce	3
2 Materiál a metodika	4
2.1 Zárodky a plody člověka	4
2.2 Histologické zpracování	4
2.3 Postup rekonstrukce	4
2.4 Sesazování panoramatických snímků	8
2.5 Terminologie	9
3 Rekonstrukce zárodků a plodů	10
3.1 C. glareolus, TK 16 mm, frontální řezy	10
3.1.1 Mikrofotografie	10
3.1.2 Rekonstrukce	12
3.2 C. glareolus, TK 16 mm, sagitální řezy	17
3.2.1 Mikrofotografie	17
3.2.2 Rekonstrukce	19
3.3 C. glareolus, TK 16 mm, transverzální řezy	25
3.3.1 Rekonstrukce	25
3.4 H. sapiens, TK 19 mm, transverzální řezy	32
3.4.1 Mikrofotografie	32
3.4.2 Rekonstrukce	34
3.5 H. sapiens, TK 27 mm, transverzální řezy	41
3.5.1 Rekonstrukce	41
3.6 H. sapiens, TK 58 mm, sagitální řezy	45
3.6.1 Mikrofotografie	45
3.6.2 Rekonstrukce	48
3.7 H. sapiens, TK 60 mm, transverzální řezy	55
3.7.1 Mikrofotografie	55
3.7.2 Rekonstrukce	56
4 Závěr	58
Literatura	59

1 Úvod

1.1 Cíl práce

Během výuky teoretického předmětu „Histologie a embryologie“ absolvují studenti II. ročníku všeobecného lékařství LF UK v Plzni v zimním semestru přednáškový cyklus „Embryologie“. Pro pochopení vývojových vztahů význačných orgánů jsou dosud používána osvědčená kreslená schémata. Ve výuce morfologických oborů je již několik let běžné používání trojrozměrných počítačových rekonstrukcí, v humánní anatomii založené zejména na projektu Visible Human Male/Female (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA) [34]. Pro potřeby výuky embryologie jsou k dispozici některé komerční produkty s 3-D rekonstrukcemi člověka, myši apod., jejich širšímu použití ve výuce (včetně studenty často požadovaného zveřejnění na lokální počítačové síti) však často brání licenční podmínky či cena. Odpovídající demonstrace trojrozměrných vztahů byť jen vybraných ontogenetických stadií je ve výuce tohoto předmětu dosud skrovná, byť se stává s současností doplňkem některých zahraničních učebnic embryologie [24], jako např. projekt Simbryo [3]. Při nutnosti ozřejmit současně makroskopické prostorové vztahy orgánů i hlavní histologické rysy tkání je tvořících shledáváme v zavedeném přístupu k výuce značný prostor právě pro počítačové trojrozměrné modely založené na rekonstrukci řezů z embryologických sérií. Proto se domníváme, že kombinací 3-D modelů alespoň některých didakticky vhodných struktur (viz dále) s již dříve námi zpracovanou makroskopickou fotodokumentací zárodků a plodů ze sbírek našeho pracoviště by bylo možné výuku embryologie výrazně zefektivnit a zkvalitnit. Navrhovaná technika rekonstrukcí ze sériových řezů je dosti pracná, má řadu úskalí (sesazování řezů v ose Z, odstranění vlivu artefaktů vzniklých krájením) a dosud skýtá prostor pro tvůrčí práci potřebnou k jejich překonávání.

Velkou inspirací pro naši práci byla monografie [5], pojednávající podrobně jak o vhodné přípravě sériových řezů použitelných k rekonstrukcím, tak o restituci řezů. Přestože tato publikace patří ke klasickým pracím v oboru, většina zásad v ní popsanych má obecnou platnost a je využitelná i v době počítačových rekonstrukcí.

Nezbytným základem pro předkládanou práci jsou samozřejmě i moderní atlasy a učebnice humánní [4, 7, 8, 11, 14, 24, 17, 18] i veterinární [13] embryologie.

Cílem této práce je

- naskenování sérií histologických řezů při dostatečném rozlišení,
- separace obrazů jednotlivých sériových řezů a jejich registrace v ose kolmé na rovinu řezu,
- segmentace kontur těla a vnitřních orgánů a rekonstrukce povrchu těchto struktur,
- popis rekonstrukcí a generování 3-D náhledů ve formátu VRML,
- pořízení fotodokumentace mikroskopických preparátů korespondujících s rekonstruovanými strukturami.

2 Materiál a metodika

2.1 Zárodky a plody člověka

Ze sbírek Ústavu histologie a embryologie v Plzni byly studovány lidské zárodky a plody o temenokostrční délce 19, 27, 58 a 60 mm a tři plody norníka rudého (*Clethrionomys glareolus*, Rodentia, Cricetidae) o identické TK 16 mm.

Problematika odhadu postkoncepčního stáří byla zpracována v předchozím projektu http://www.lfp.cuni.cz/histologie/arch/embr_atlas/komplet.html „Fotodokumentace prenatalního vývoje člověka a savců“, včetně komentovaného přehledu literatury vztahující se k zařazování savčích zárodků do vývojových stadií [1, 9, 10, 20, 21, 27, 28, 29, 30, 26].

2.2 Histologické zpracování

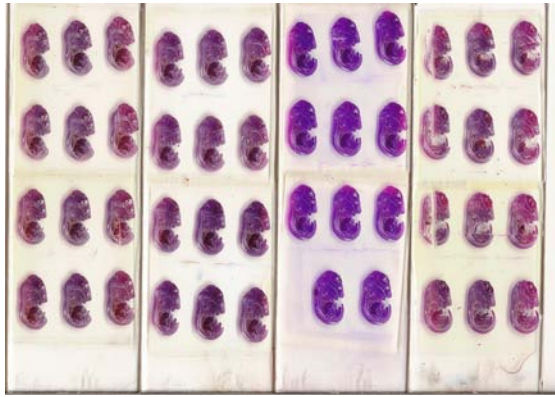
Paraplastové sériové řezy (6–10 μm) byly přehledně barveny Harrisovým hematoxylinem a eosinem [33, p. 343], a barvením podle Malloryho [35, p. 428]. U první metody (HE) bylo dosaženo zřetelnějšího výsledku při použití erythrosinu s kyselinou pikrovou. Při druhé metodě (Mallory) byla literaturou doporučená doba k působení fuchsínu (2 minuty) shledána jako příliš dlouhá a optimální čas (zkusmo nalezený) činil 1 minutu. V anilinu byly řezy ponechány 2–2,5 minuty. Odvodněné řezy byly zamontovány do kanadského balzámu. Každé podložní sklíčko bylo označeno jedinečným kódem. Přehled zpracovaných zárodků a plodů spolu s nástinem výsledků podává Tabulka 1).

druh	TK	pohlaví	orient.	řezů	snímáno	objektů	kontur	VRML
C. g.	16	samčí	F	500	celé tělo	12	2599	1
C. g.	16	samčí	S	369	celé tělo	11	2414	8
C. g.	16	samčí	T	493	celé tělo	13	2245	4
Homo s.	19	–	T	1779	celé tělo	8	1647	2
Homo s.	27	–	T	435	hlava	7	1422	3
Homo s.	58	ženské	S	201	trup	5	1284	1
Homo s.	60	ženské	T	762	pánev	7	853	1
celkem				4539		63	12464	20

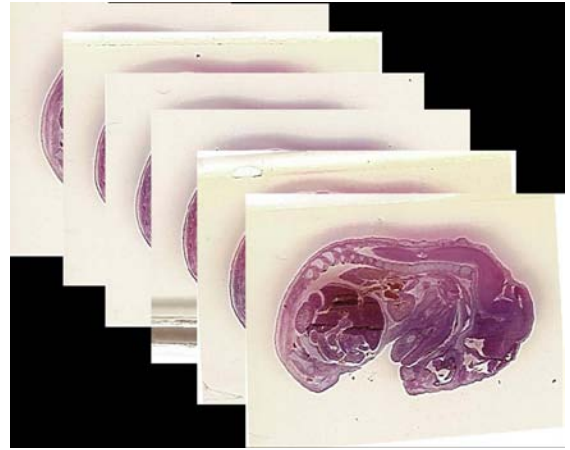
Tabulka 1: Seznam zhotovených preparátů sériových řezů a přehled jejich zpracování *C. g.* – *Clethrionomys glareolus*; *Homo* – *Homo sapiens sapiens*; *TK* – temenokostrční délka [mm]; *pohlaví* u dvou zárodků (–) nebylo s jistotou určeno; *údaj o orientaci série* se vztahuje k rovinám těla jako celku: *T* – transverzální, *S* – sagitální, *F* – frontální; *řezů* – počet nasnímaných a registrovaných řezů v sérii; *snímáno* – nasnímaný celek či část těla; *objektů* – počet tříd objektů zrekonstruovaných v dané sérii; *kontury* – celkový počet kontur všech objektů dané série; *VRML* – počet rekonstrukcí publikovaných v online verzi

2.3 Postup rekonstrukce

1. Sériové řezy zárodky a plody často svou velikostí přesahují možnosti mikrofotografie. Mohou být proto naskenovány (Obr. 1) – vhodným rozlišením může být např. 1200 dpi.

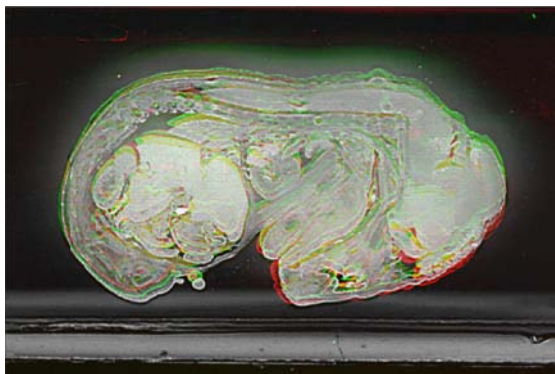


Obr. 1: Část naskenované série *Clethrionomys glareolus*, 16 mm TK.

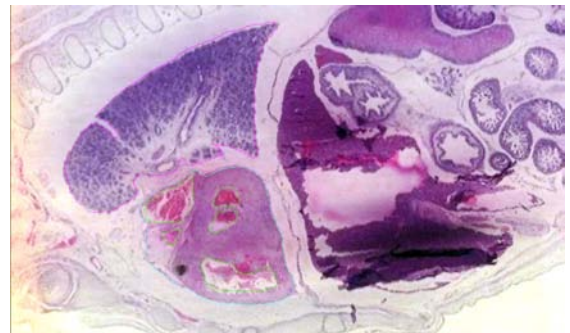


Obr. 2: Obrazy jednotlivých řezů separované ze sklíček a sružené zpět do série.

- Pro rychlou separaci jednotlivých řezů ze série sklíček můžeme s výhodou použít kombinaci posouvání výběru o konstantní velikosti a automatizovaného snímání obrazovky pomocí volně dostupných programů IrfanView (Irfan Skiljan) a WinGrab (Per Skjerpe, Stavanger, Norsko). Výsledkem je neregistrovaná série (Obr. 2).
- Hlavní přípravnou fází je registrace obrazů, tj. snaha o restituci řezů do stavu před rozkrájením. Při delších sériích se nevyhneme manuálním korekcím (translace, rotace), např. v programu ImagReg1 (Jiří Janáček, FÚ AVČR v Praze). Metody elastické registrace mohou vyrovnat deformace vzniklé krájením řezů, u dlouhých sérií však zpravidla nejsou použitelné. Optimální překryv mezi sousedními řezy zpravidla vynikne v negativu (Obr. 3).



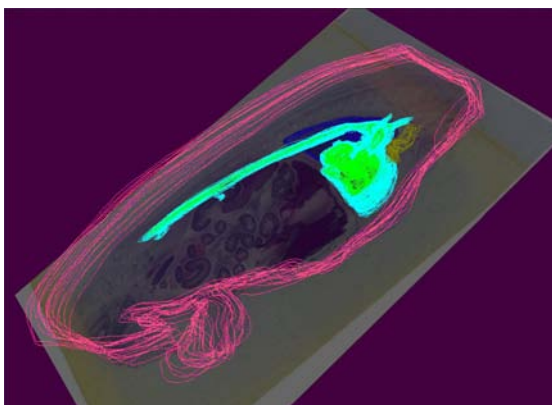
Obr. 3: Do úrovně aktuálního řezu (bíle) se promítá i řez předchozí (zeleně) a následující (červeně).



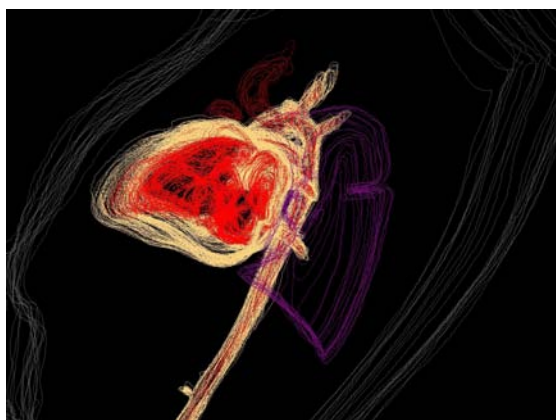
Obr. 4: Ukázka segmentace plic, povrchu srdce a srdečních oddílů.

- V registrovaných obrazech pak segmentujeme oblasti našeho zájmu (kontury těla či orgánů), např. programem Ellipse3D (ViDiTo, Košice, Slovensko). Volíme mezi poloautomatickými nástroji (princip prahování, watershed, LiveWire apod.) či manuálním obkreslováním grafickým tabletem. Řezy nepoužitelné pro rekonstrukci (roztržené, deformované, neúplné) ponecháme v sérii a při segmentaci je přeskočíme a interpolujeme. Jednotlivé kontury patřící k danému orgánu sdužujeme jako objekty určité třídy (Obr. 4).

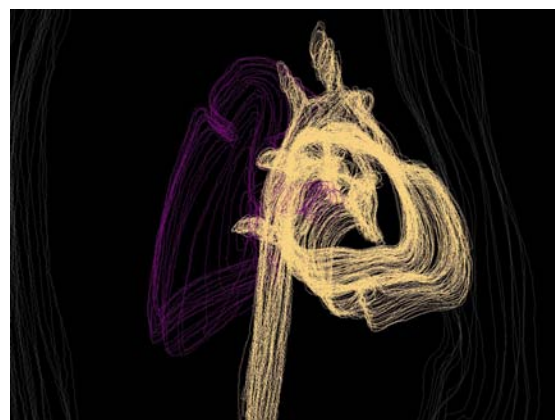
5. Pro orientaci mezi objekty a hledání chyb můžeme před vlastní rekonstrukcí zviditelnit kontury ve 3D (Obr. 5–7).



Obr. 5: Obrazy jednotlivých řezů separované ze sklíček a sdružené zpět do série.

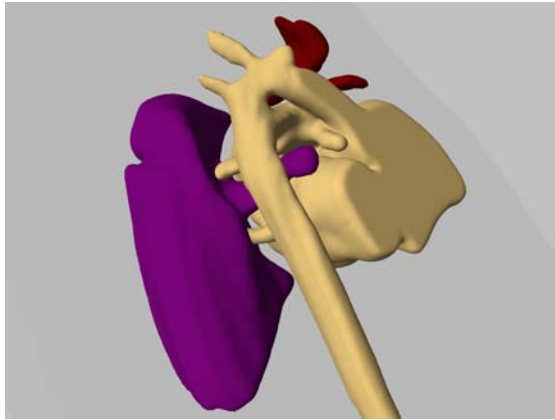


Obr. 6: Kontury srdce, aorty, plic a tělního povrchu u plodu *H. sapiens* TK 58 mm.

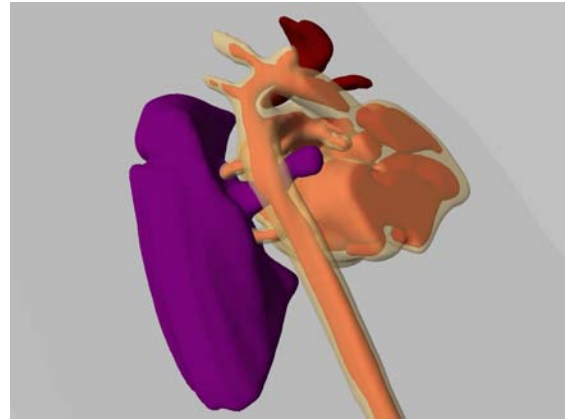


Obr. 7: Ukázka segmentace plic, povrchu srdce a srdečních oddílů.

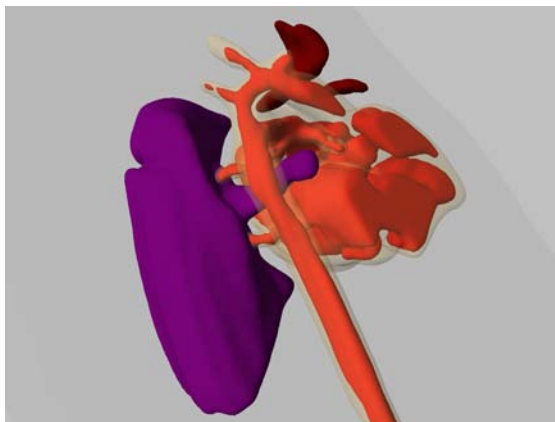
6. Rekonstrukci povrchu zobrazíme modulem Surface. V něm volíme pro každou třídu nastavení průhlednosti (Obr. 8–14), stupně vyhlazení, barvu, intenzitní práh pro zobrazení, kvalitu (a tím i výpočetní náročnost) rekonstrukce (zvlášť pro XY a zvlášť pro Z) apod. V globálním nastavení můžeme provést řez objektem pomocí masky. Pokud požadujeme rekonstrukci jen některých rovin, vrátíme se zpět na sérii zdrojových obrázků s konturami a Processing Crop vymezíme požadované axiální roviny.



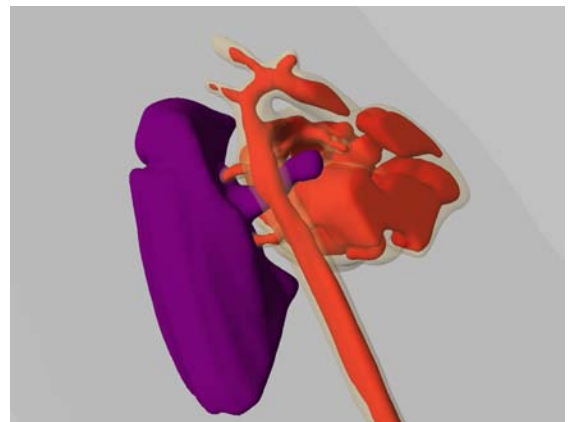
Obr. 8: Neprůhlednost stěny srdce a cév.



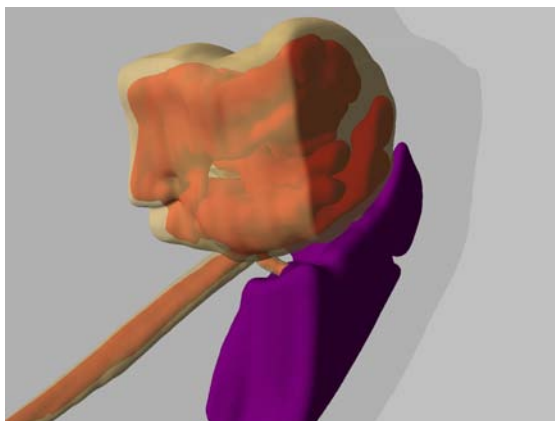
Obr. 9: Volba průhlednosti stěny srdce a cév.



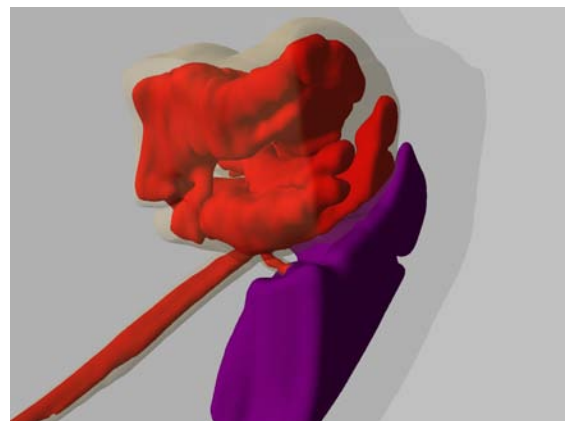
Obr. 10: Volba vyšší průhlednosti stěny srdce a cév, thymus zobrazen.



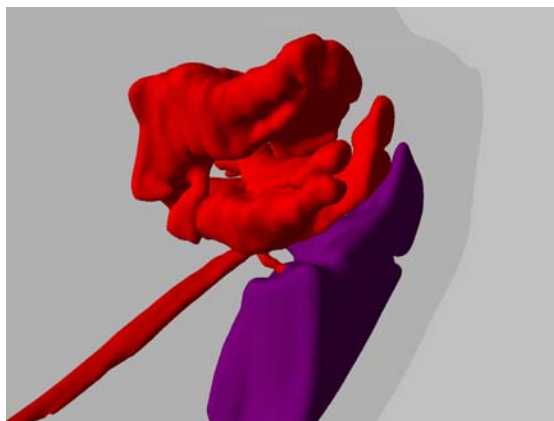
Obr. 11: Volba vyšší průhlednosti stěny srdce a cév, thymus nezobrazen.



Obr. 12: Volba nižší průhlednosti stěny srdce a cév.



Obr. 13: Volba vyšší průhlednosti stěny srdce a cév.



Obr. 14: Volba úplné transparency stěny srdce a cév.

7. Modul Surface nejprve vytvoří volumetrický model objektů ze série kontur dané třídy. Pak pro zobrazení vytváří model povrchu těchto objektů tím, že v sérii obrázků detekuje tzv. isosurface, což je povrch vytvářený při renderingu spojením série 2-D kontur. Je možné nastavit citlivost propojení těchto kontur, což je užitéčné např. pokud máme u různých orgánů různé odstupy mezi sousedními konturami (u orgánů s menší nepravidelností nebývá nutné segmentovat kontury v každé rovině).

2.4 Sesazování panoramatických snímků

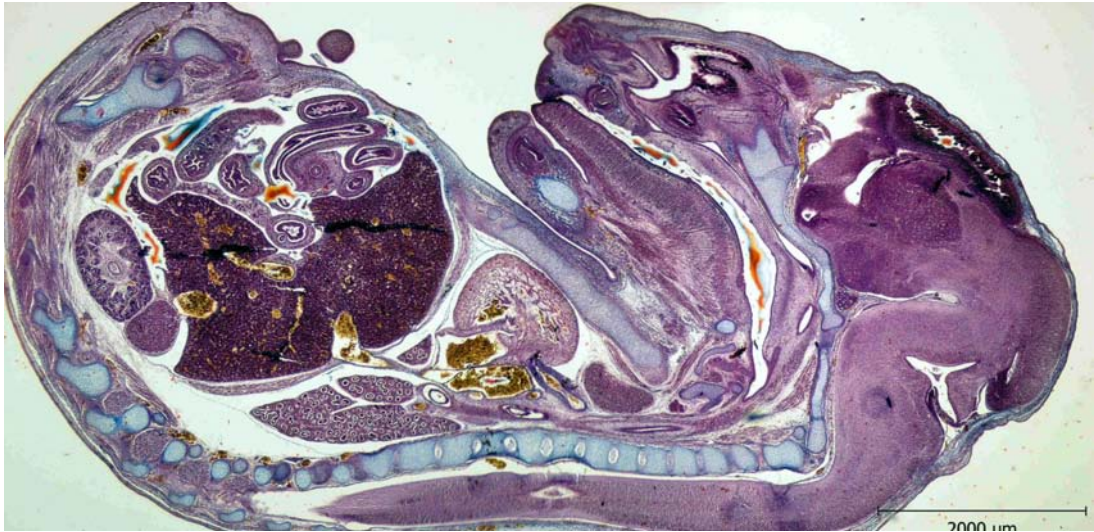
Velikost většiny zárodků a plodů přesahuje zorné pole mikroskopů. Tento problém jsme řešili způsobem výše popsaným, tj. kombinací skenování histologických sklíček a nasnímáním ilustrativních mikrofotografií. Další možností je použití lupy (stereomikroskopu), nebo sesazování na sebe navazujících snímků (Obr. 15–16) do velkého obrázku s vysokým rozlišením (Obr. 17). Nevýhodou posledně jmenovaného řešení je časová náročnost, při níž by nebylo možné zpracovat potřebný počet sériových řezů.



Obr. 15: Játra, metanefros, nadledvina, střevní kličky, bránice, plíce, srdeční komora, thymus, mandibula, jazyk.



Obr. 16: Srdce, thymus, dutina ústní a nosní, baze lební, mozek.



Obr. 17: Sesazení dvou řezů získaných objektivem 2× do jednoho obrázku.

2.5 Terminologie

V rámci veterinární terminologie je označování směrů v porovnání s humánním názvoslovím odlišné. Termínům *anterior/posterior* odpovídá *ventralis/dorsalis*, termínům *superior/inferior* odpovídají směry *cranialis/caudalis*.

3 Rekonstrukce zárodků a plodů

3.1 C. glareolus, TK 16 mm, frontální řezy

U plodu C. glareolus (normík rudý), TK 16 mm, byl v 500 frontálních registrovaných řezech rekonstruován povrch těla, jícen, žaludek, vena cava inferior, vena umbilicalis, játra, pankreas, slezina, gonády (testes), mesonefros, metanefros, močovod, močový měchýř a nadledvina.

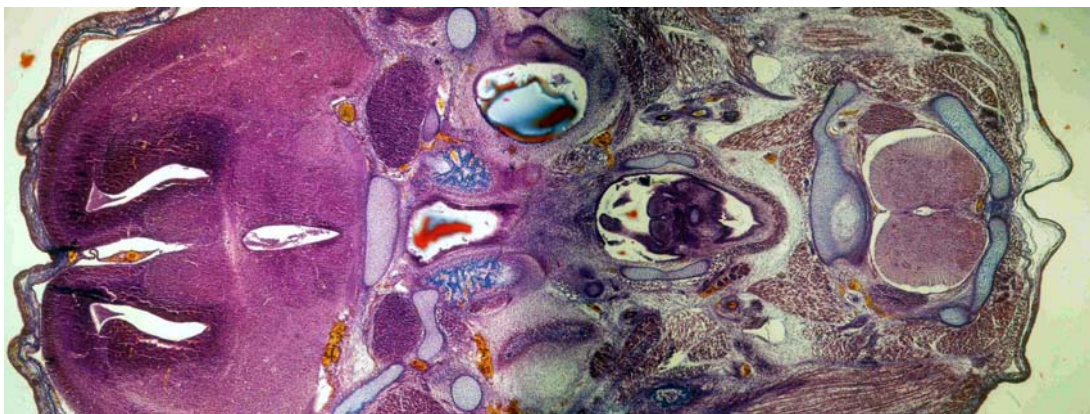
3.1.1 Mikrofotografie



Obr. 18: CNS, chrupavky baze lební, ganglia n. trigeminus, desmogenní osifikace splanchnokrania.



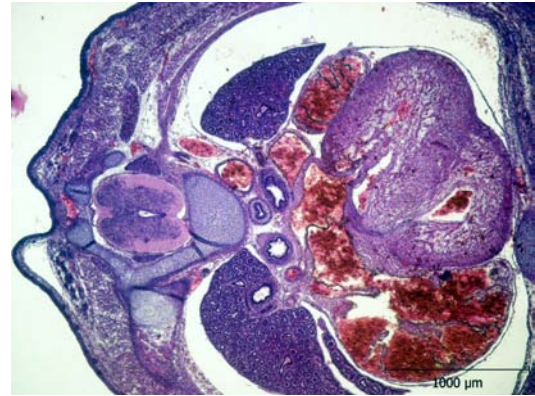
Obr. 19: Řez krční míchou v úrovni laryngu.



Obr. 20: Sesazení dvou řezů získaných objektivem 2× do jednoho obrázku.



Obr. 21: Oční bulbus krytý víčky, čočka, pigmentový a nervový list sítnice, odstup n. opticus.

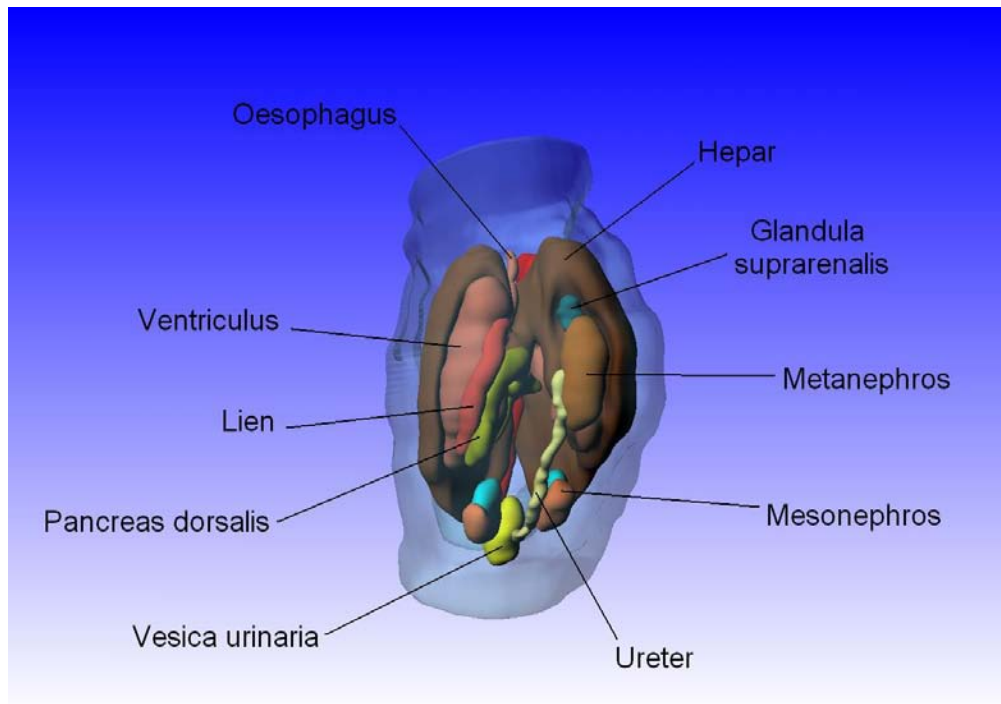


Obr. 22: Mícha, spinální ganglia, hrudní aorta, jícn, principální bronchy, plíce, srdeční síně a komory.

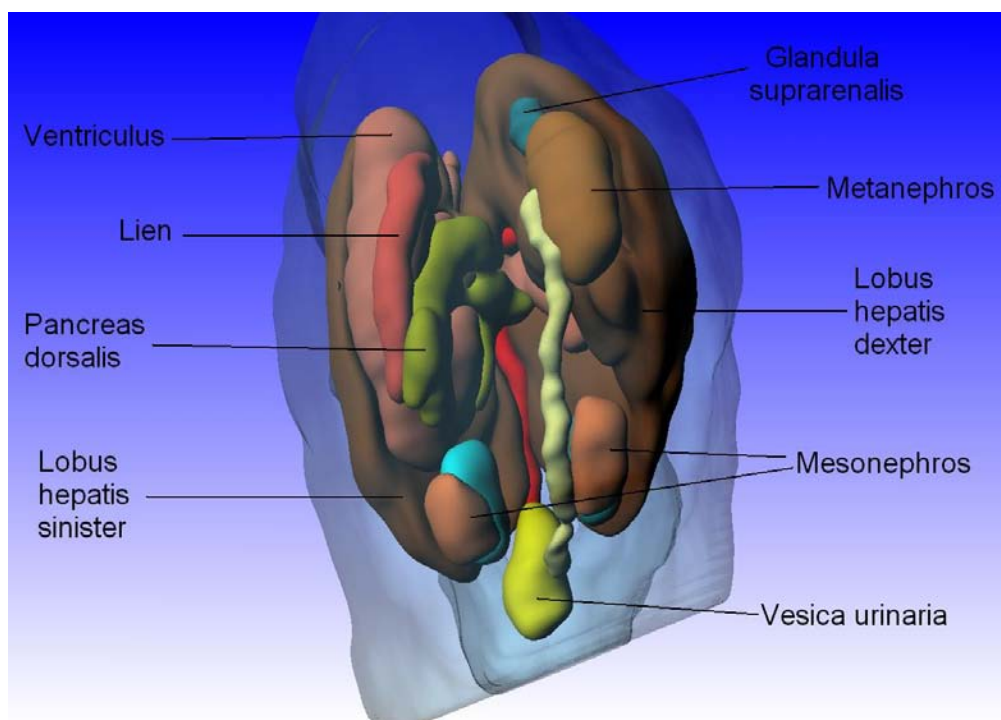


Obr. 23: Dutina ústní, jazyk, skelet nosu.

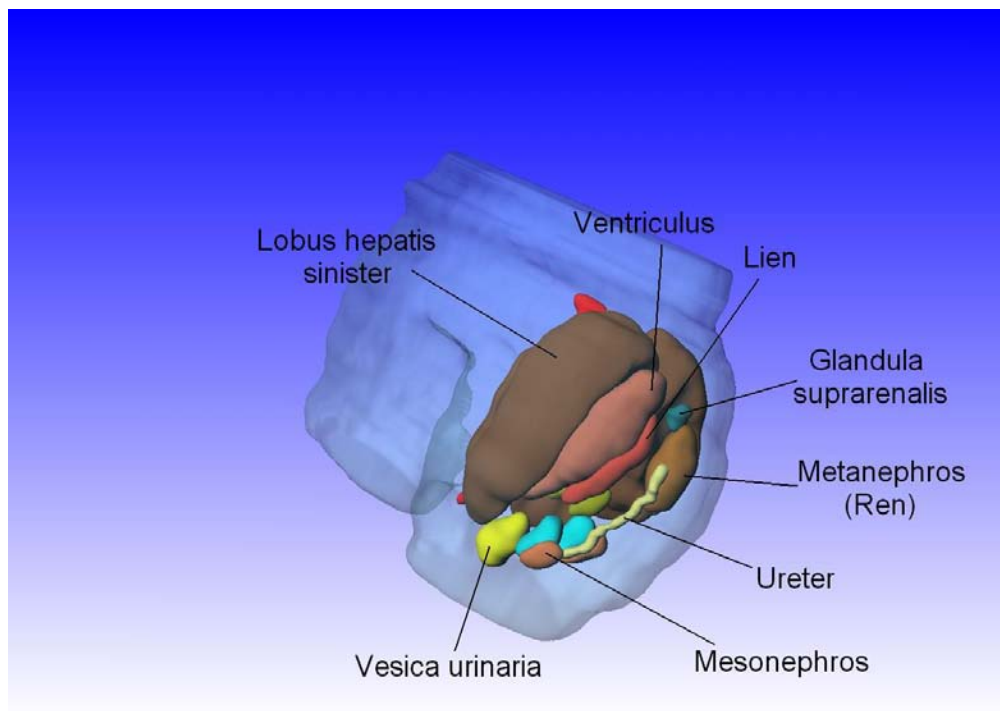
3.1.2 Rekonstrukce



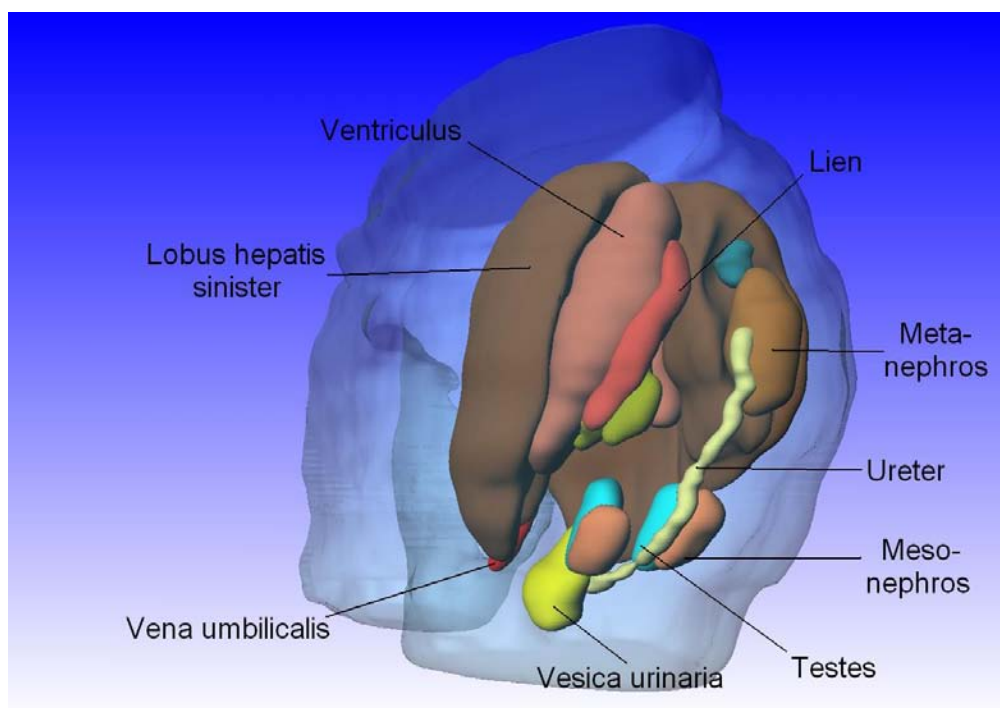
Obr. 24: Dorzální pohled na rekonstrukci trupu a vnitřních orgánů.



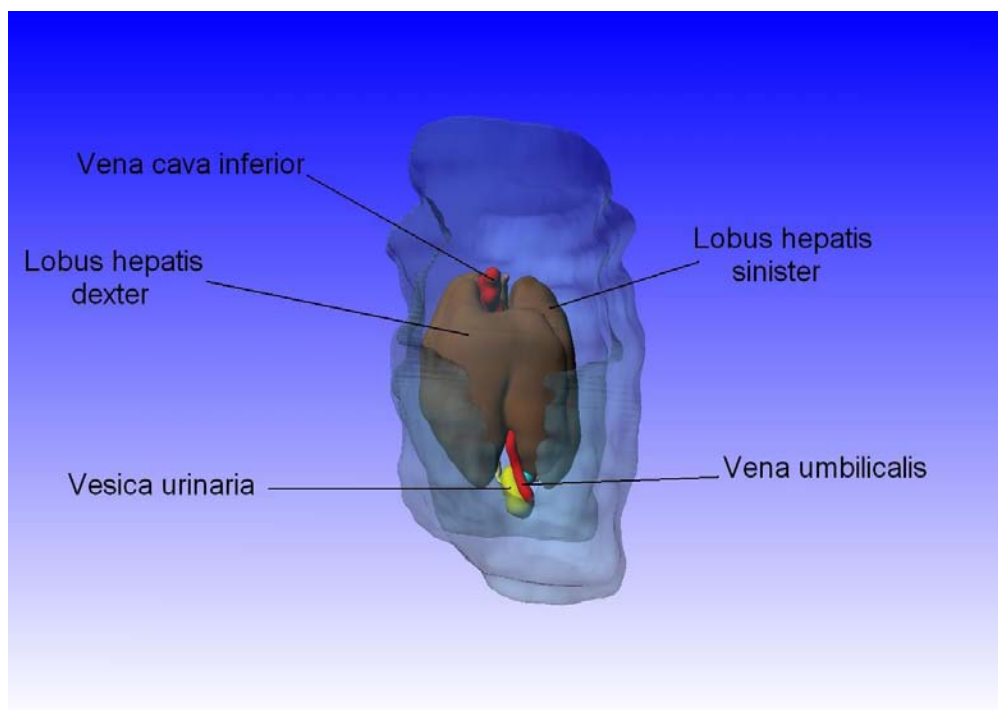
Obr. 25: Dorzální pohled na rekonstrukci trupu a vnitřních orgánů.



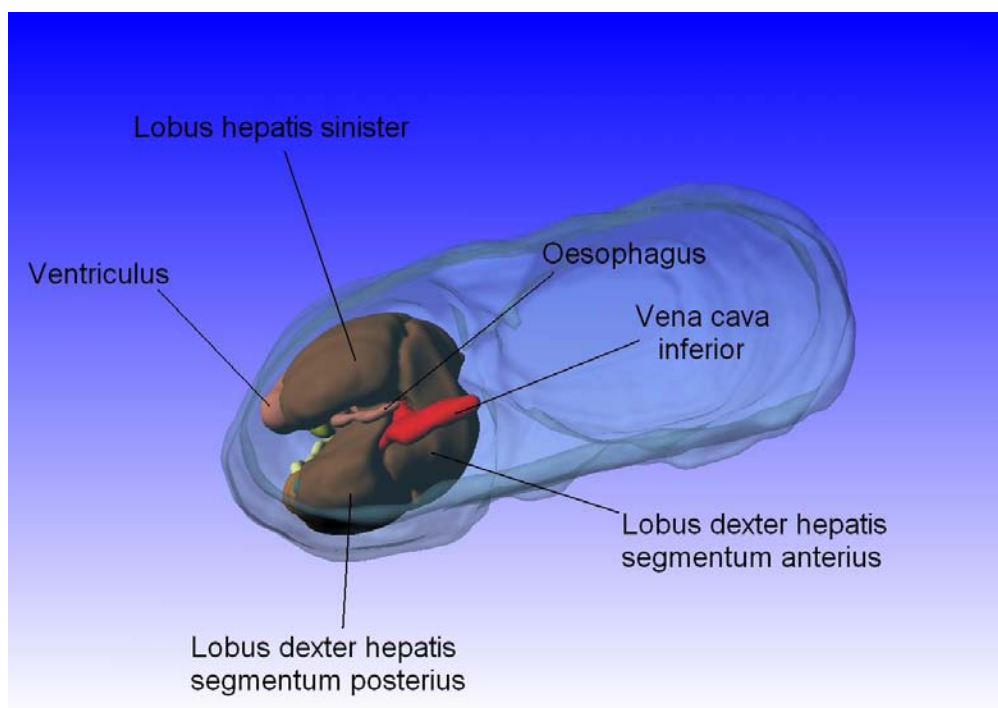
Obr. 26: Dorzosinistrální pohled na rekonstrukci trupu a vnitřních orgánů.



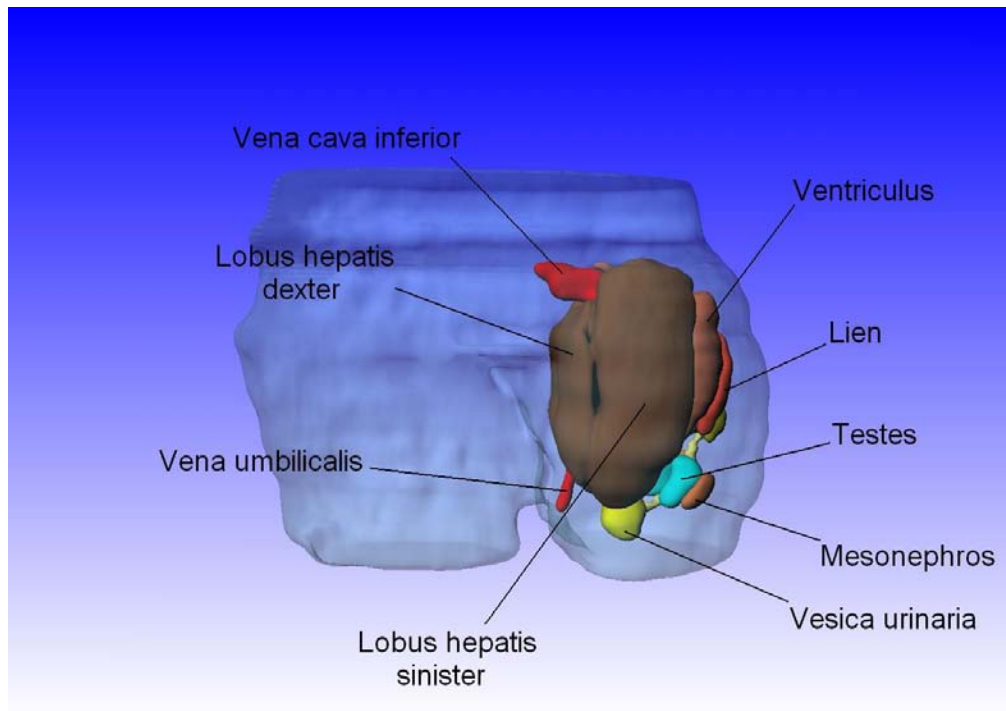
Obr. 27: Dtto.



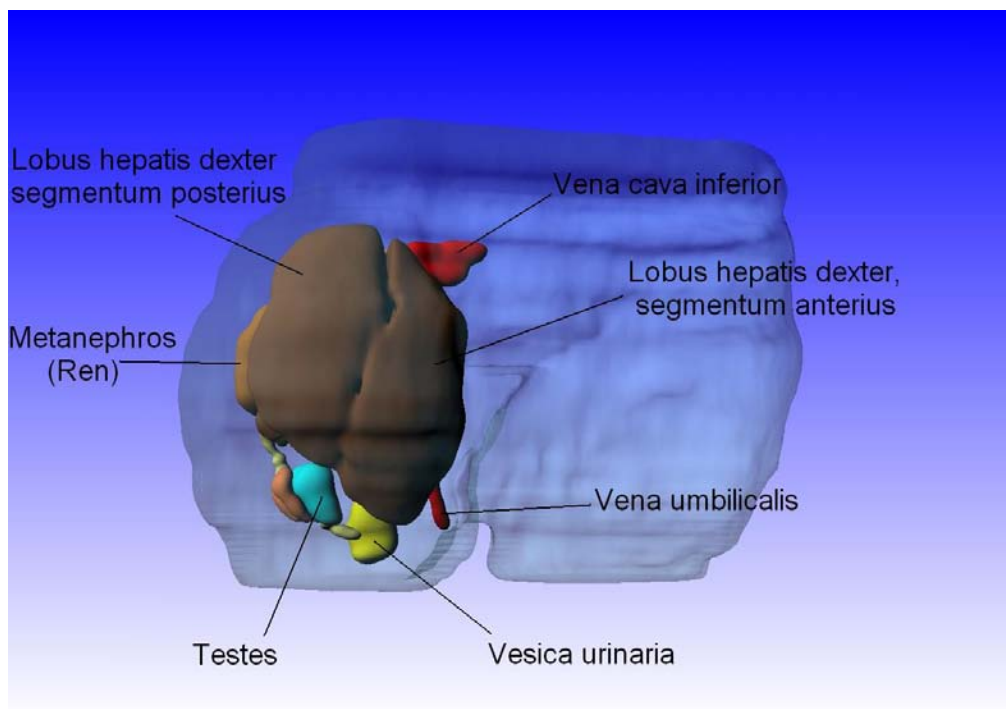
Obr. 28: Frontální pohled.



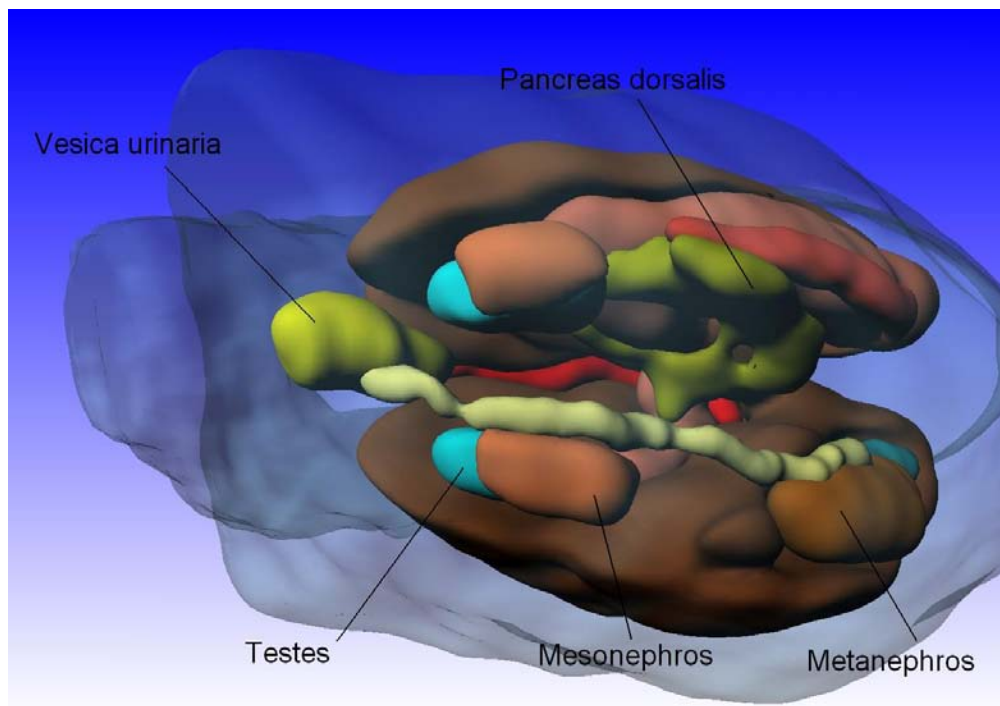
Obr. 29: Pohled kraniokaudálním směrem.



Obr. 30: Levý pohled.



Obr. 31: Pravý pohled.



Obr. 32: Pohled kaudokraniálním směrem.

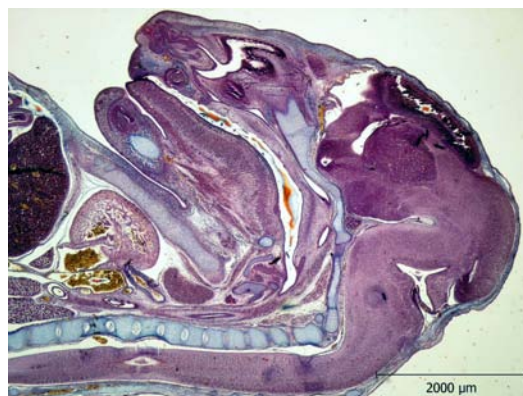
3.2 C. glareolus, TK 16 mm, sagitální řezy

U plodu C. glareolus (normík rudý), TK 16 mm, byl v 369 sagitálních registrovaných řezech rekonstruován povrch těla, telencephalon, mesencephalon, rhombencephalon, mozkové komory vč. 3. a 4. komory a aquaeductus mesencephali, mícha, oční čočka, larynx, plíce, trachea, srdce, aorta descendens, thymus, ledviny, nadledviny.

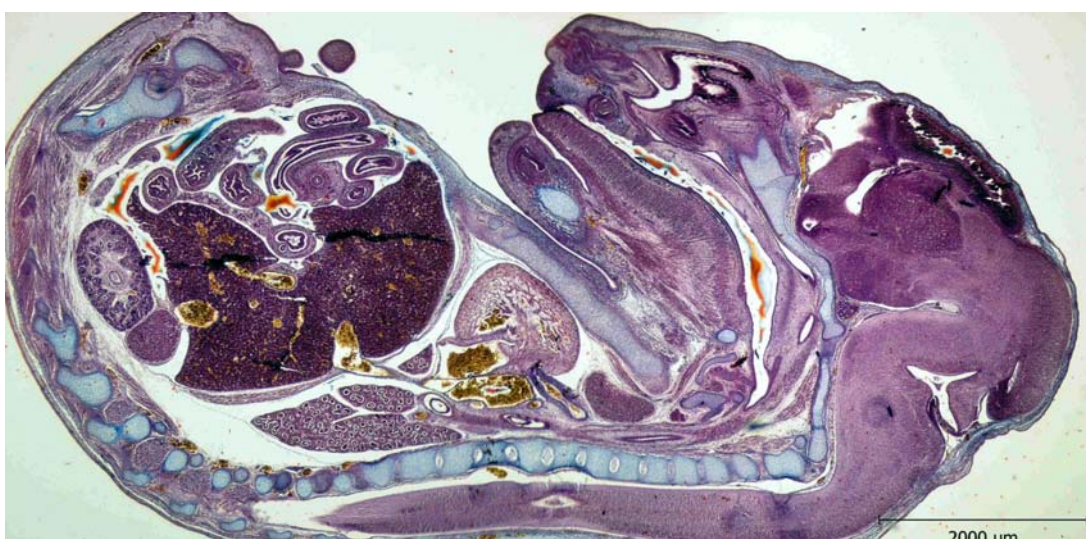
3.2.1 Mikrofotografie



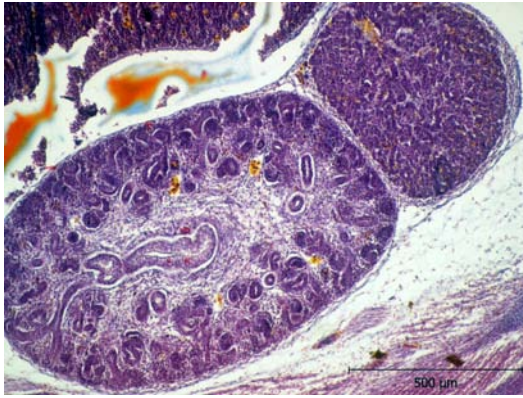
Obr. 33: Játra, metanefros, nadledvina, střevní kličky, bránice, plíce, srdeční komora, thymus, mandibula, jazyk.



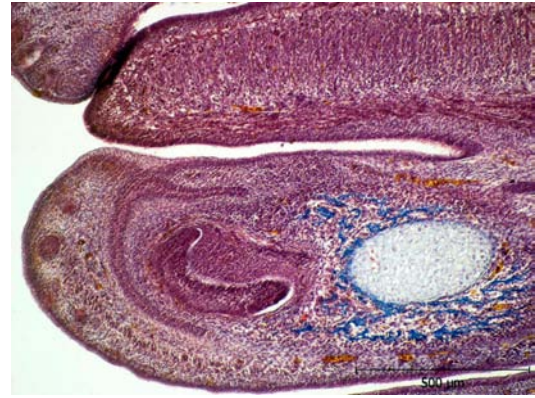
Obr. 34: Srdce, thymus, dutina ústní a nosní, baze lební, mozek.



Obr. 35: Sesazení dvou řezů získaných objektivem 2× do jednoho obrázku.



Obr. 36: Diferenciace kůry a dřene ledviny, nadledvina.



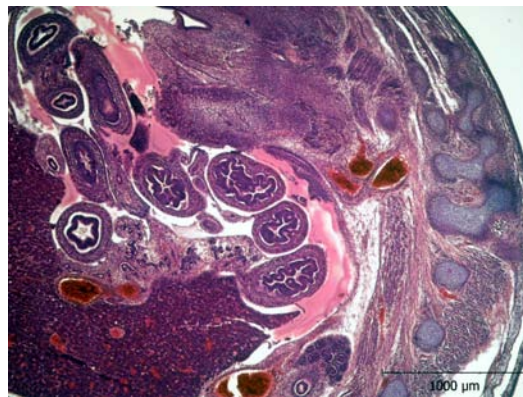
Obr. 37: Meckelova chrupavka, kolem ní desmogenní osifikace mandibuly, základ řezáku.



Obr. 38: Kost klínová, hypofýza, mozek.

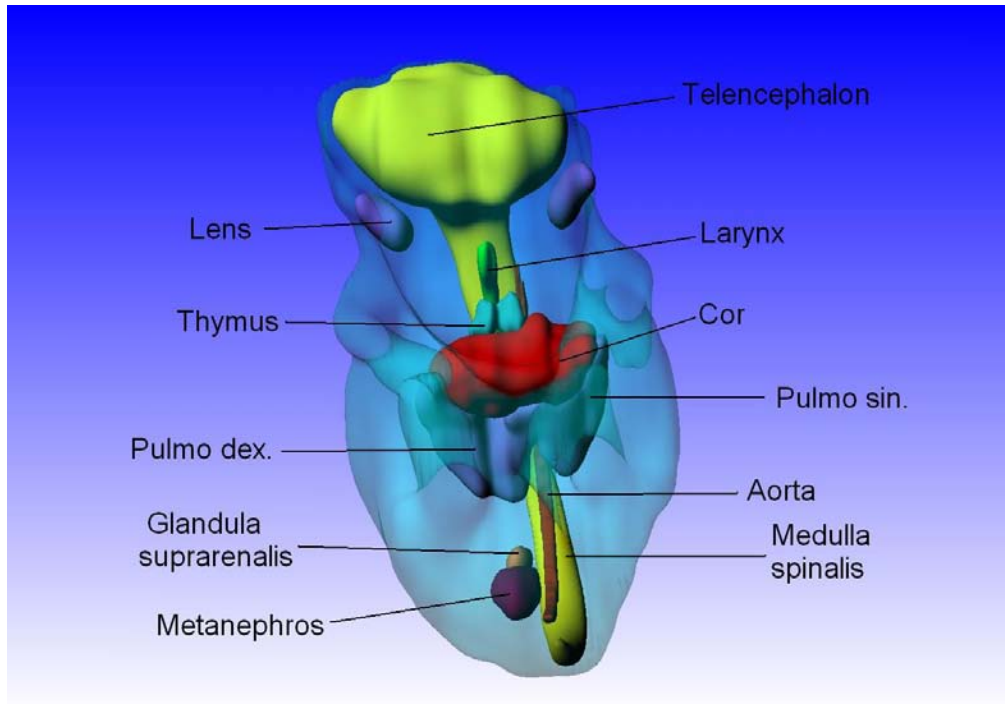


Obr. 39: Thymus, levá srdeční komora s odstupující aortou, plíce, bránice, játra.

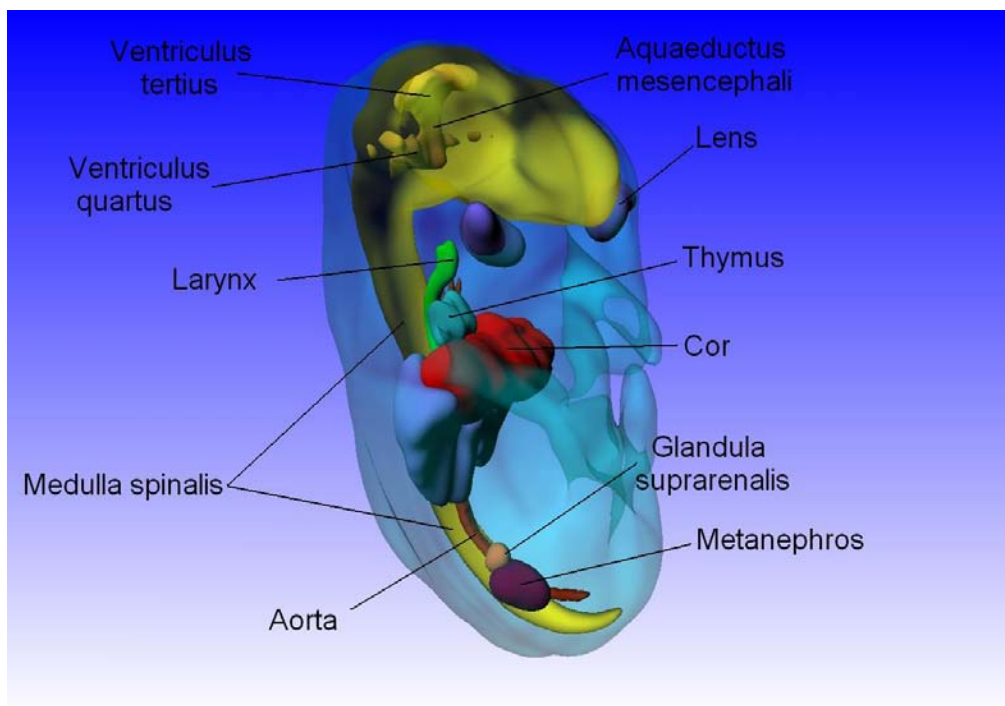


Obr. 40: Játra, střevní kličky, kaudální obratle.

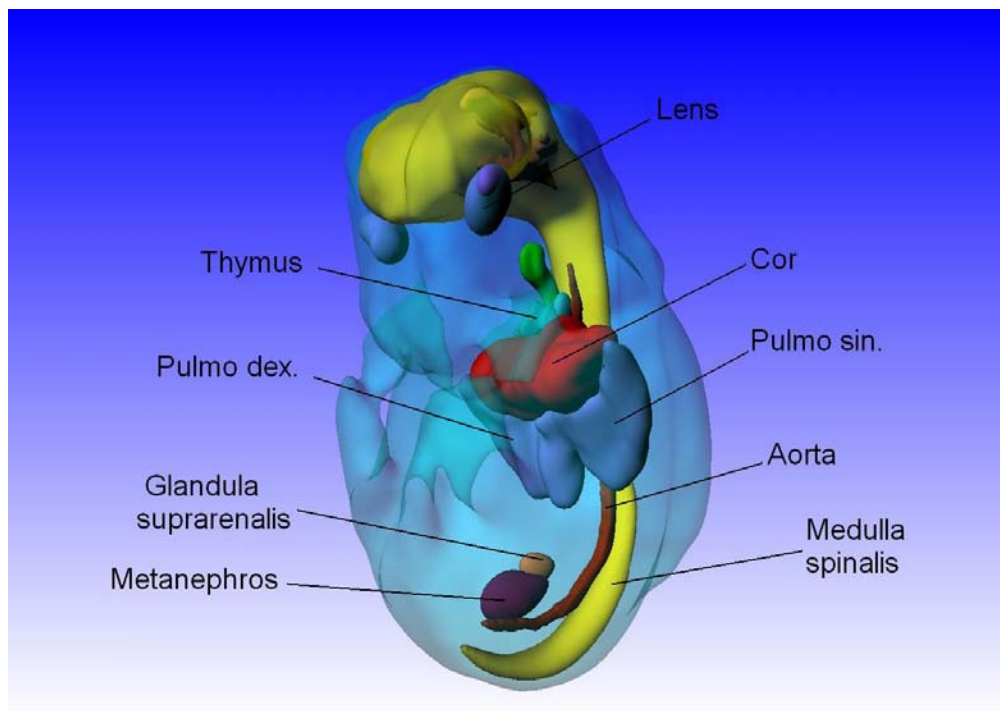
3.2.2 Rekonstrukce



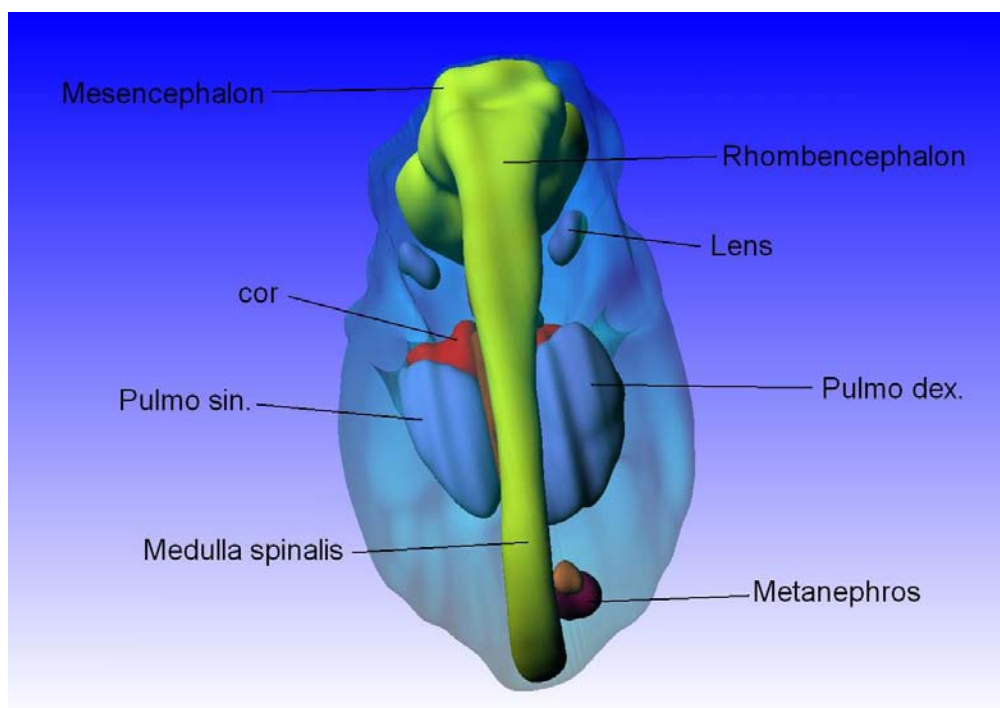
Obr. 41: Frontální pohled.



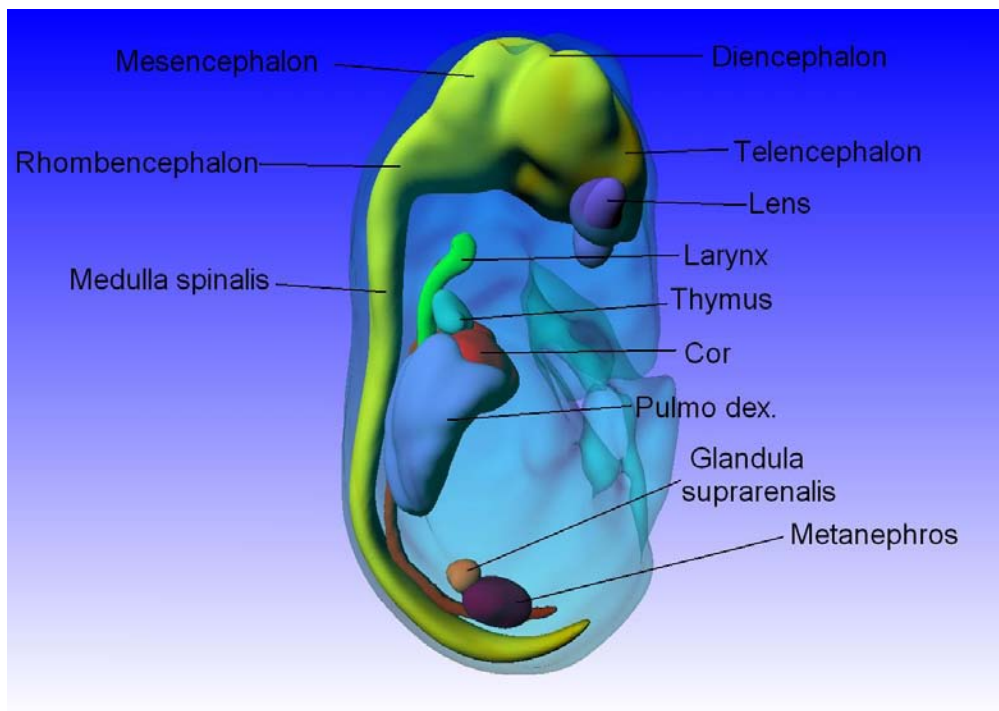
Obr. 42: Frontální pravý pohled.



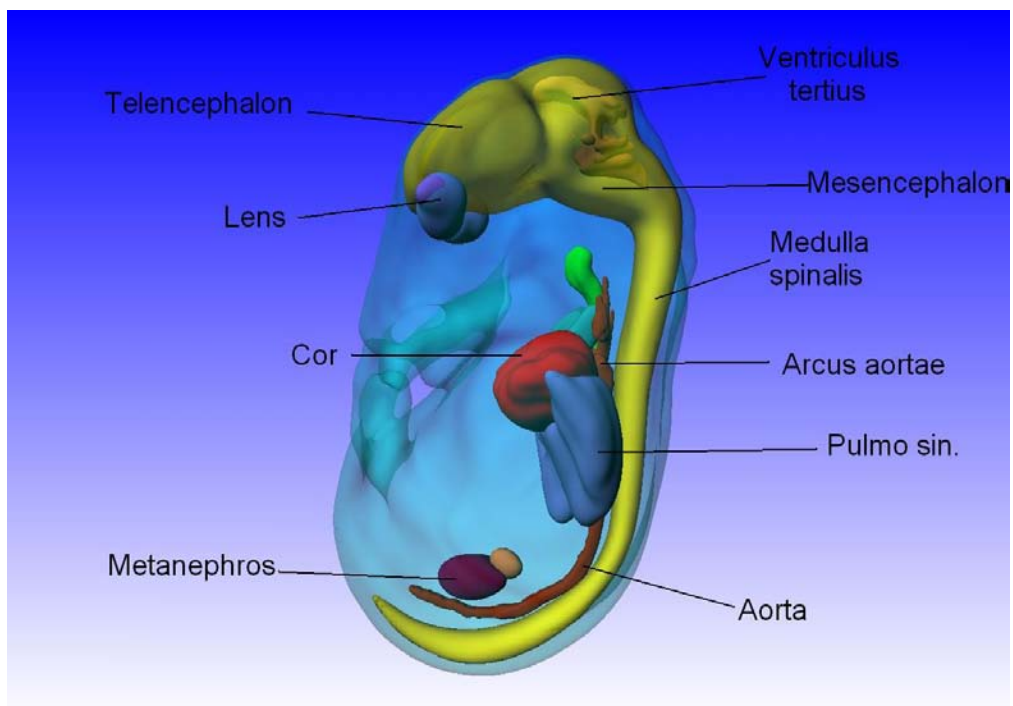
Obr. 43: Frontální levý pohled.



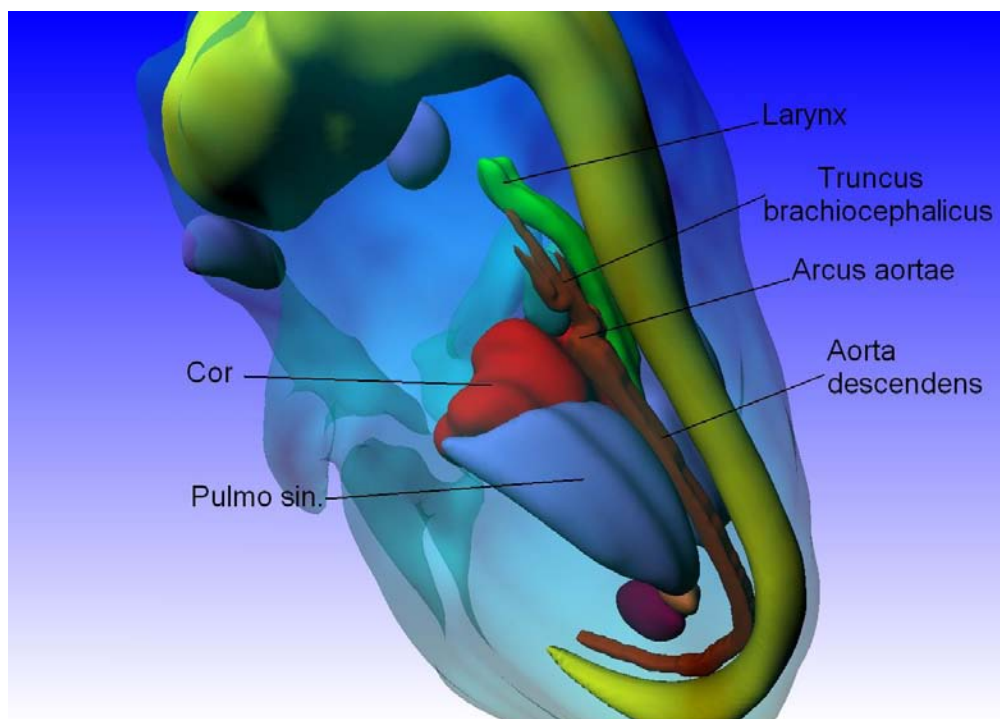
Obr. 44: Dorzální pohled.



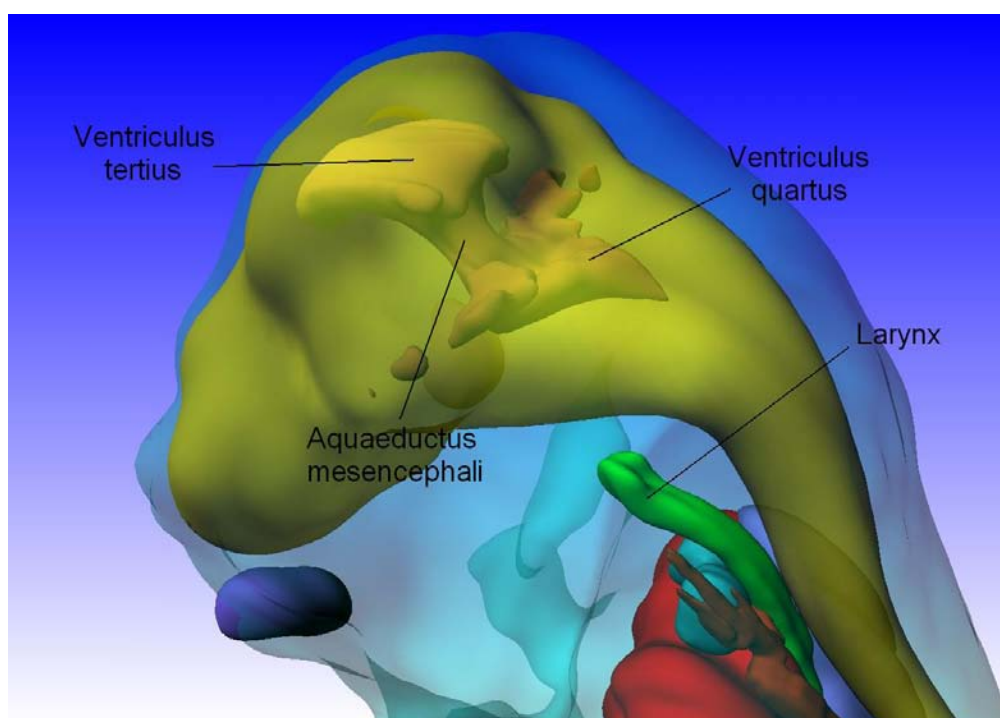
Obr. 45: Pohled zprava.



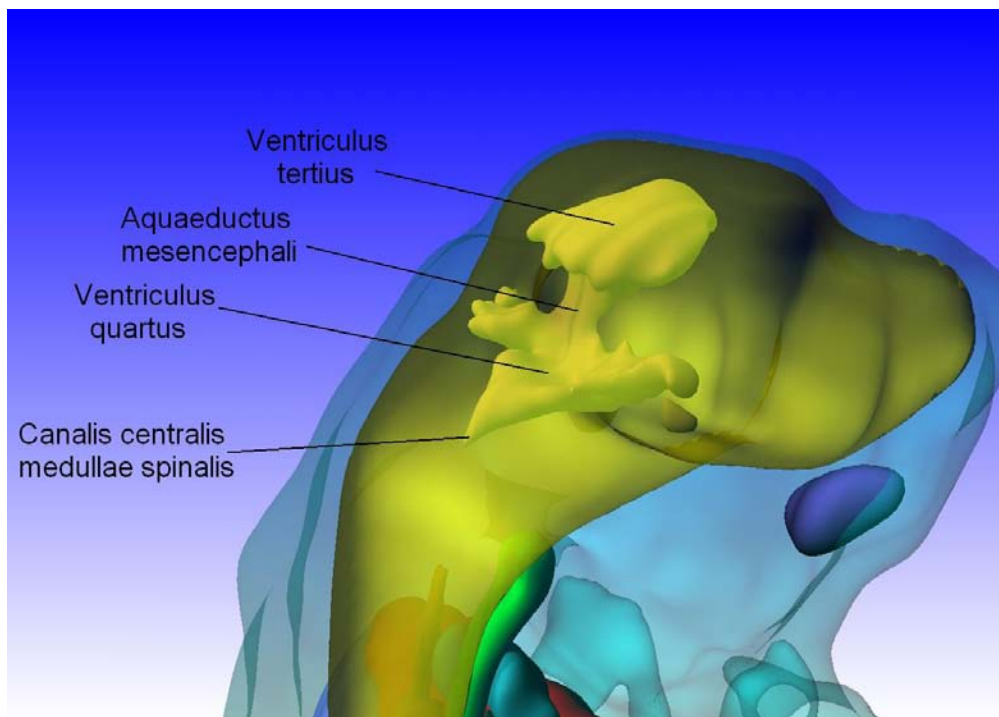
Obr. 46: Pohled zleva.



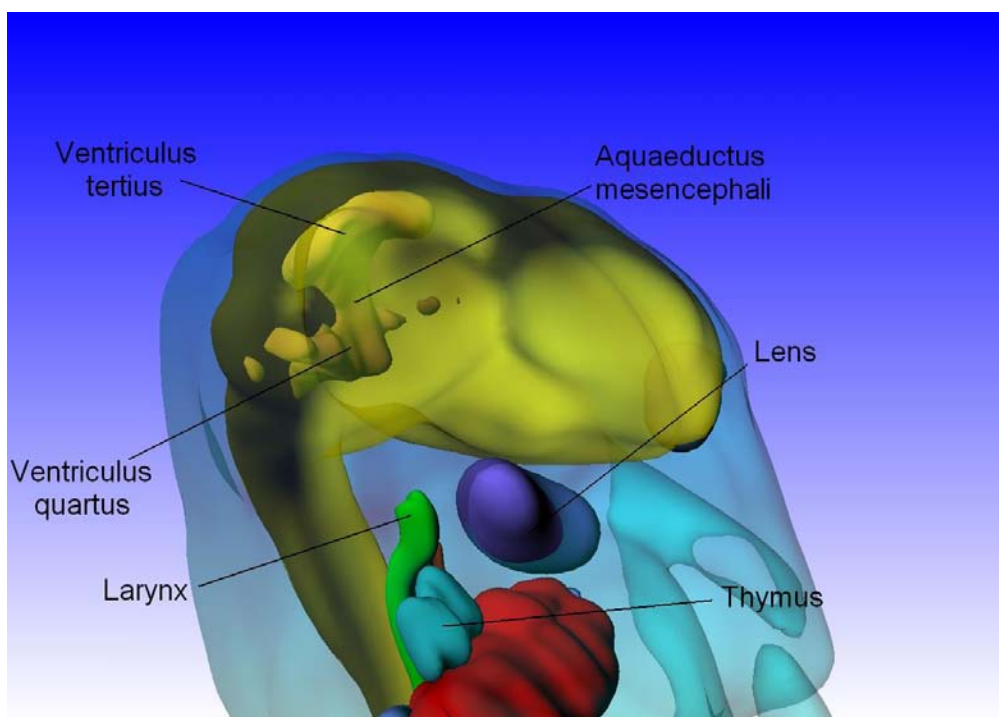
Obr. 47: Pohled zleva směrem kraniokaudálně.



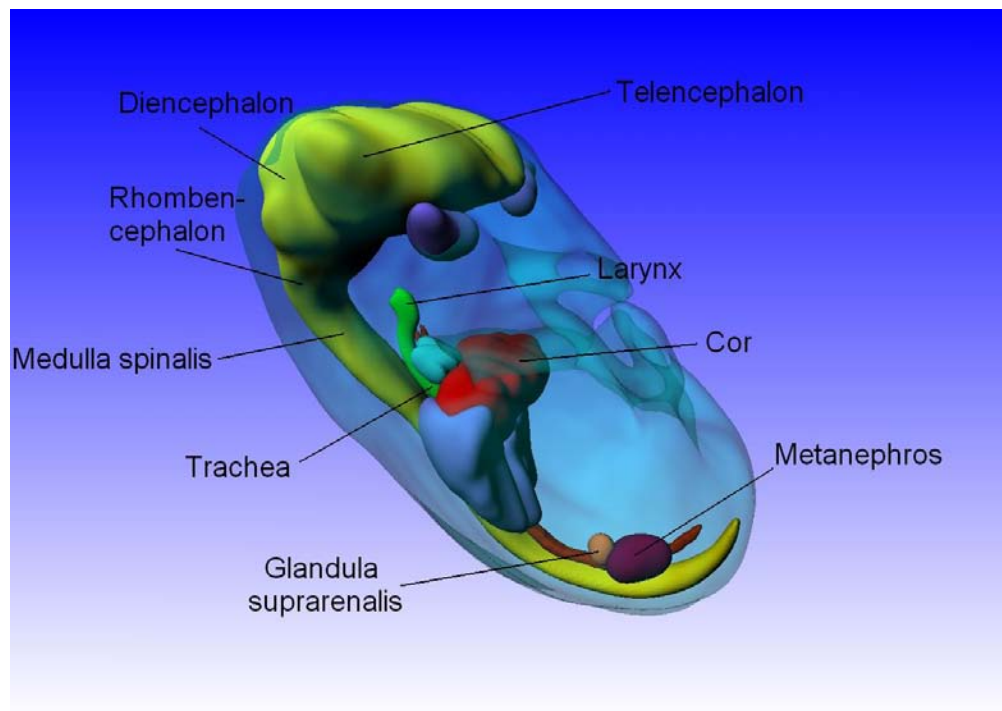
Obr. 48: CNS, pohled zleva směrem kraniokaudálně.



Obr. 49: Pohled zprava mírně dozroventrálně.



Obr. 50: Hlava, pohled zprava směrem ventrodorzálně.

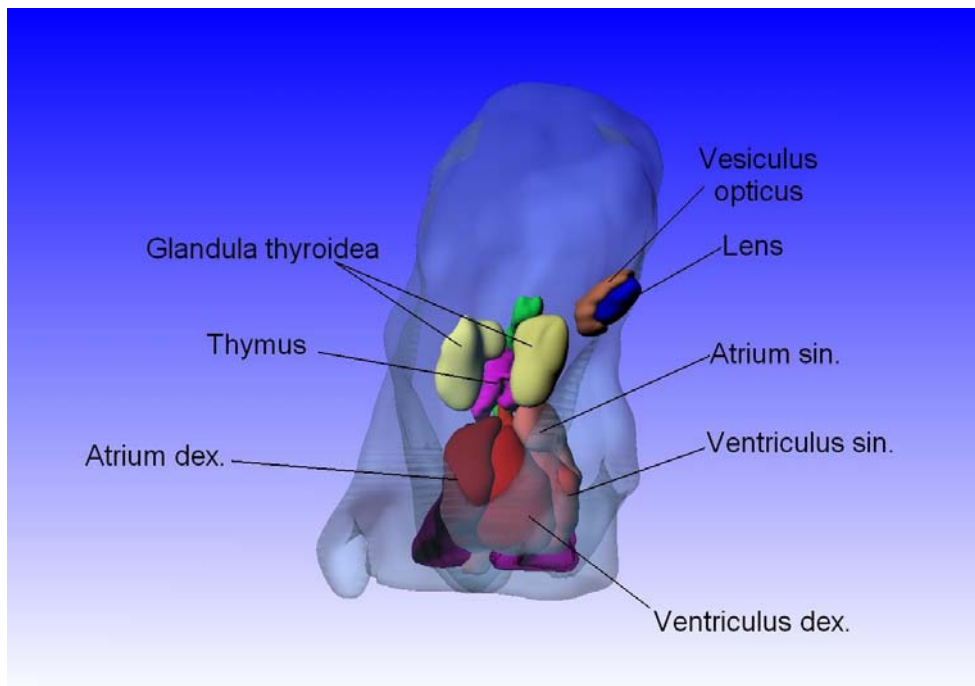


Obr. 51: Pravý šikmý pohled.

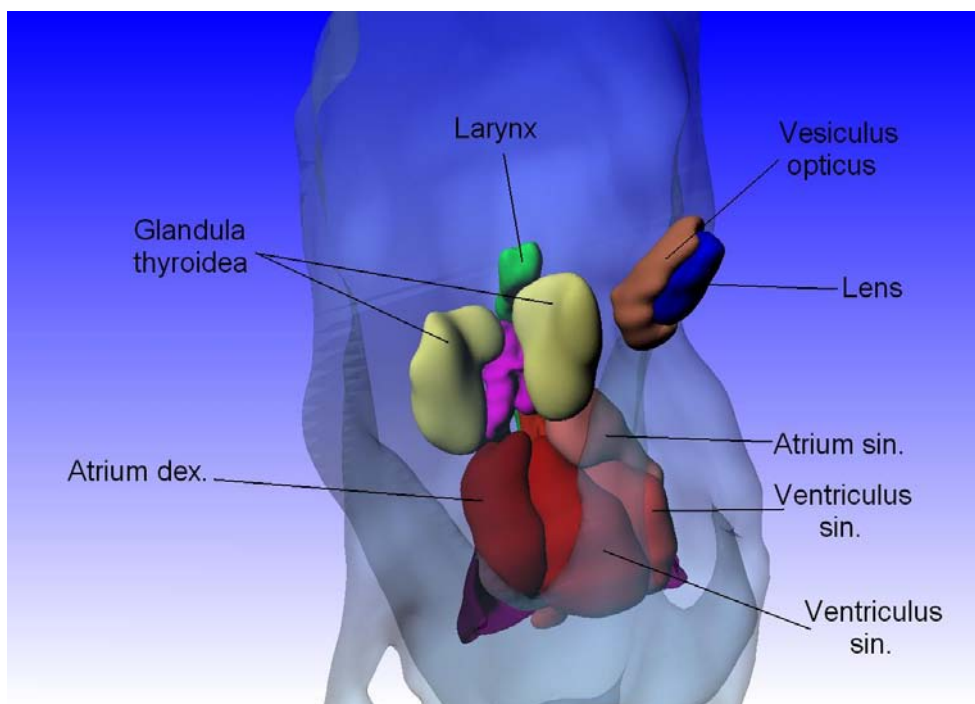
3.3 C. glareolus, TK 16 mm, transverzální řezy

U plodu C. glareolus (normík rudý), TK 16 mm, byl v 493 transverzálních registrovaných řezech rekonstruován povrch těla, oční pohárek, čočka, štítná žláza, thymus, trachea, část vena cava cranialis et caudalis, levá a pravá síň, levá a pravá komora, plíce, vnější a vnitřní povrch žaludku.

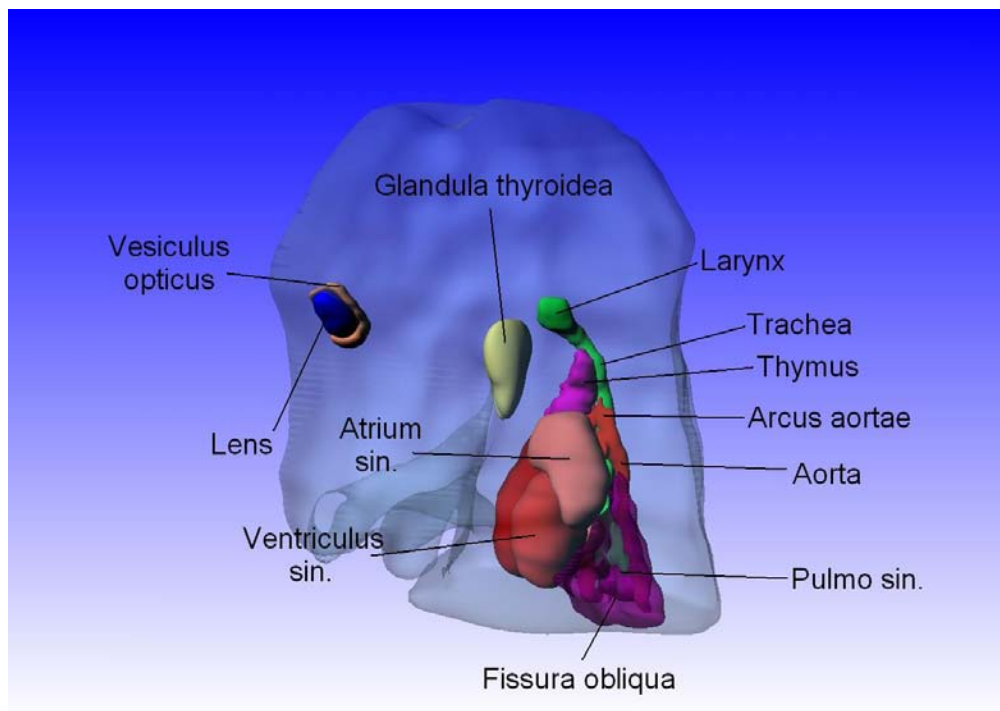
3.3.1 Rekonstrukce



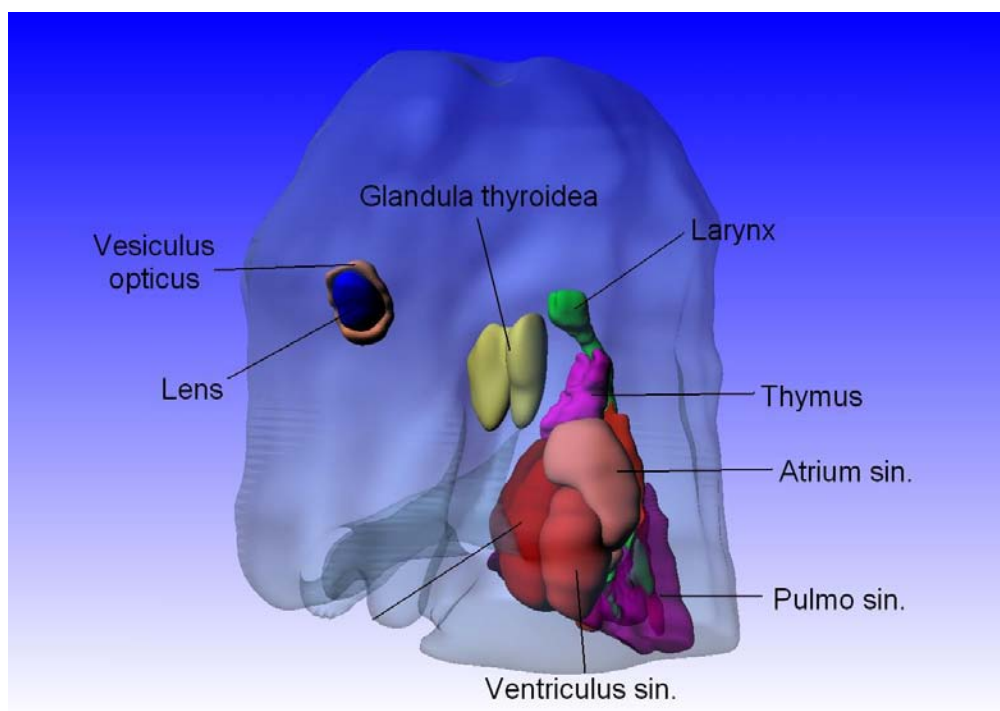
Obr. 52: Frontální pohled.



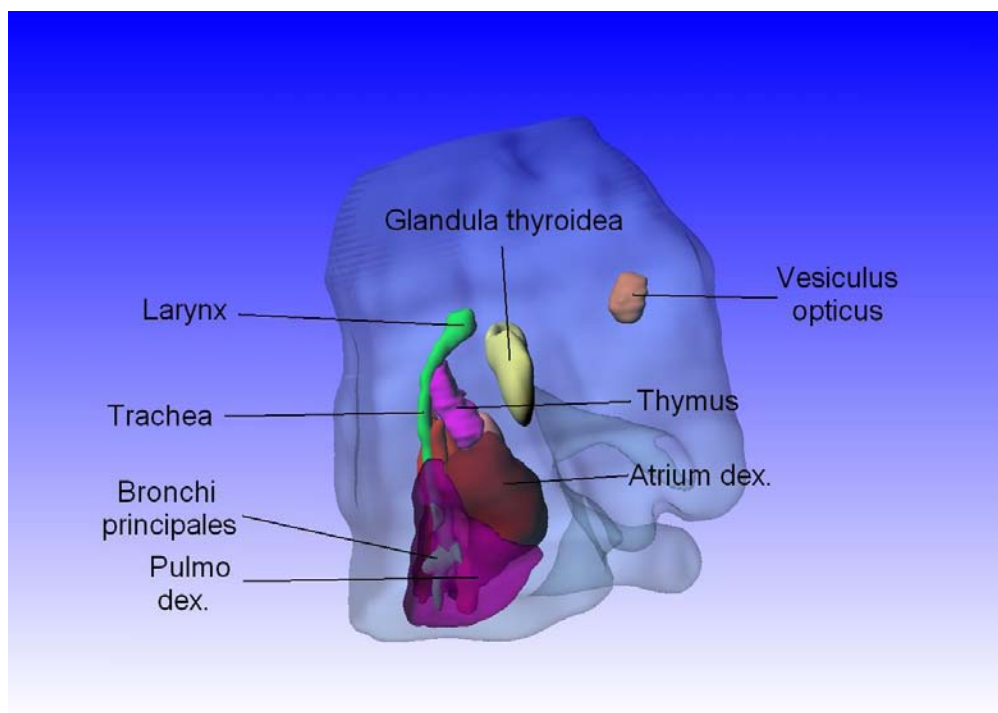
Obr. 53: Frontální pohled.



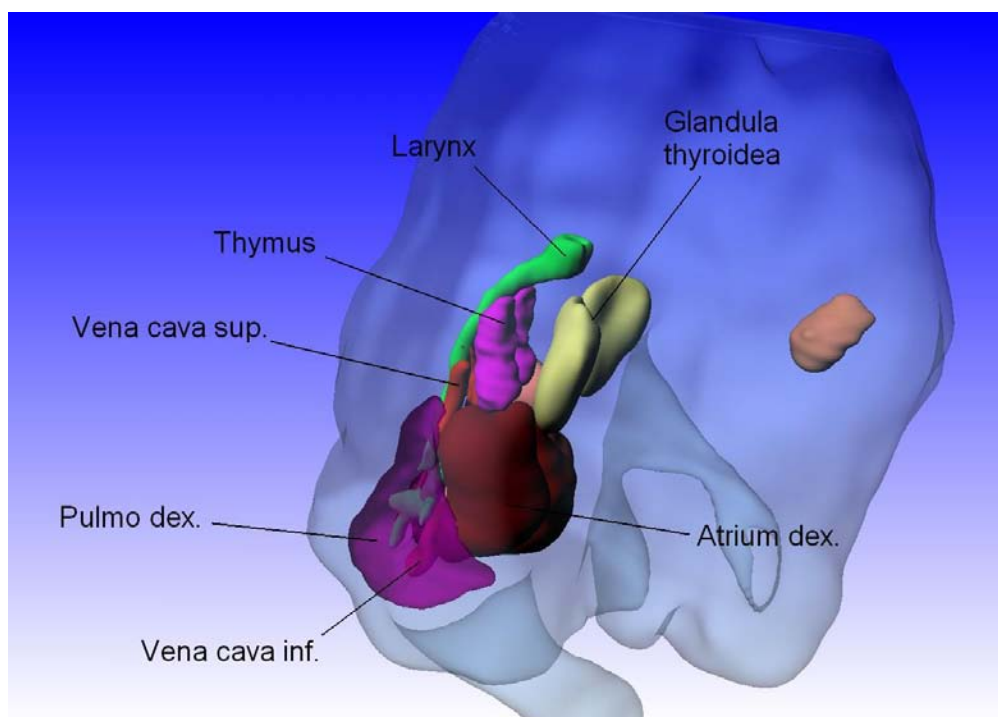
Obr. 54: Levý pohled.



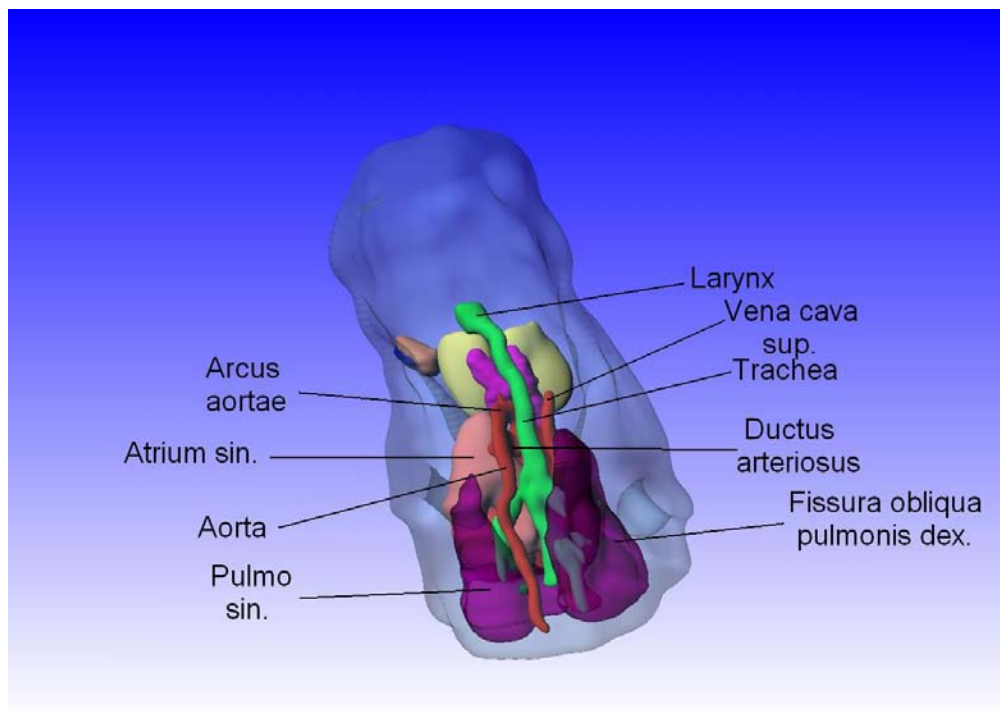
Obr. 55: Levý pohled.



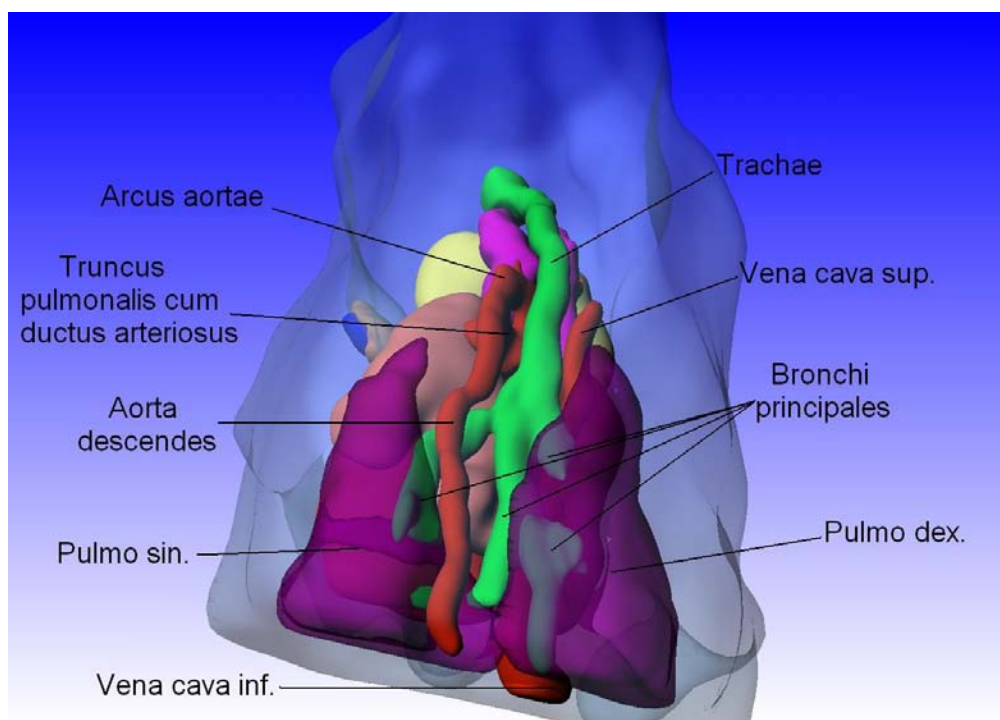
Obr. 56: Pohled zprava.



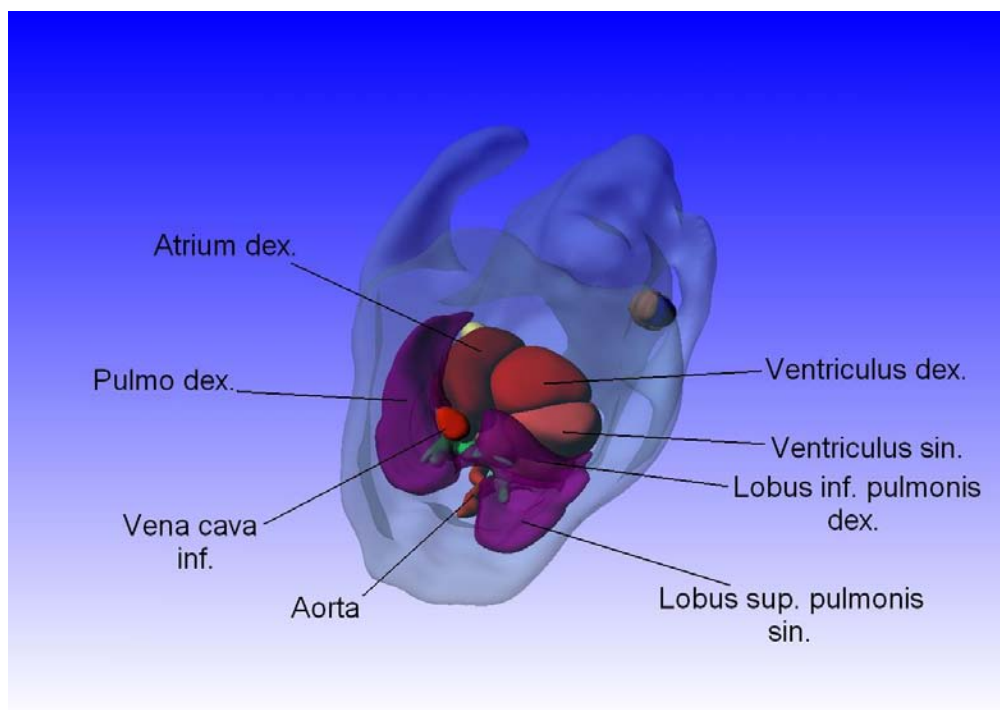
Obr. 57: Pohled zprava šikmo.



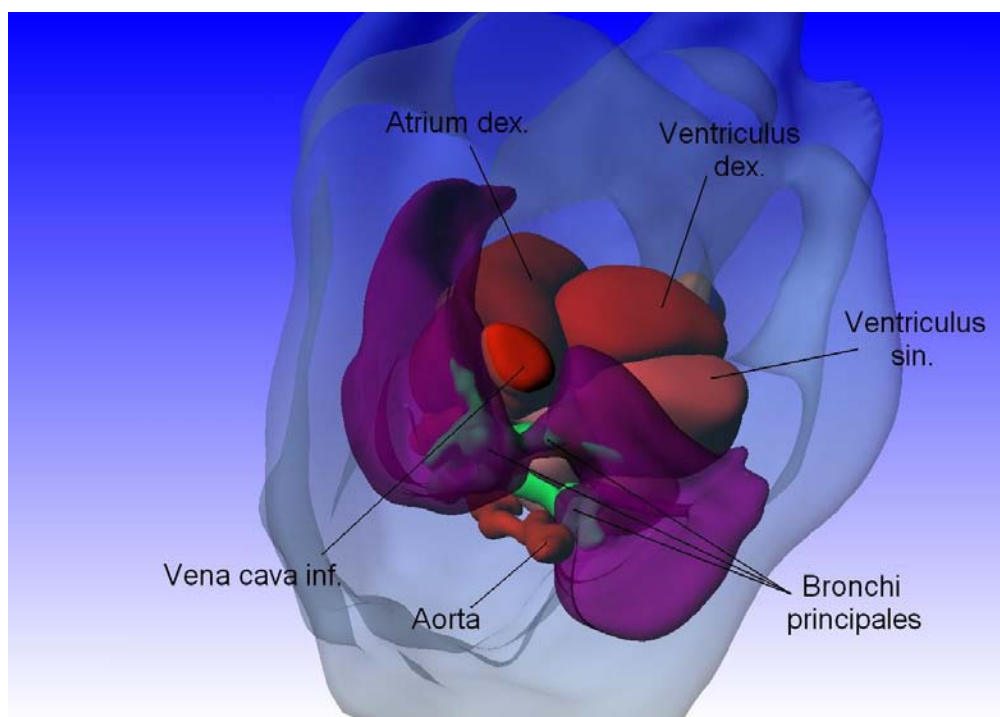
Obr. 58: Dorzální pohled.



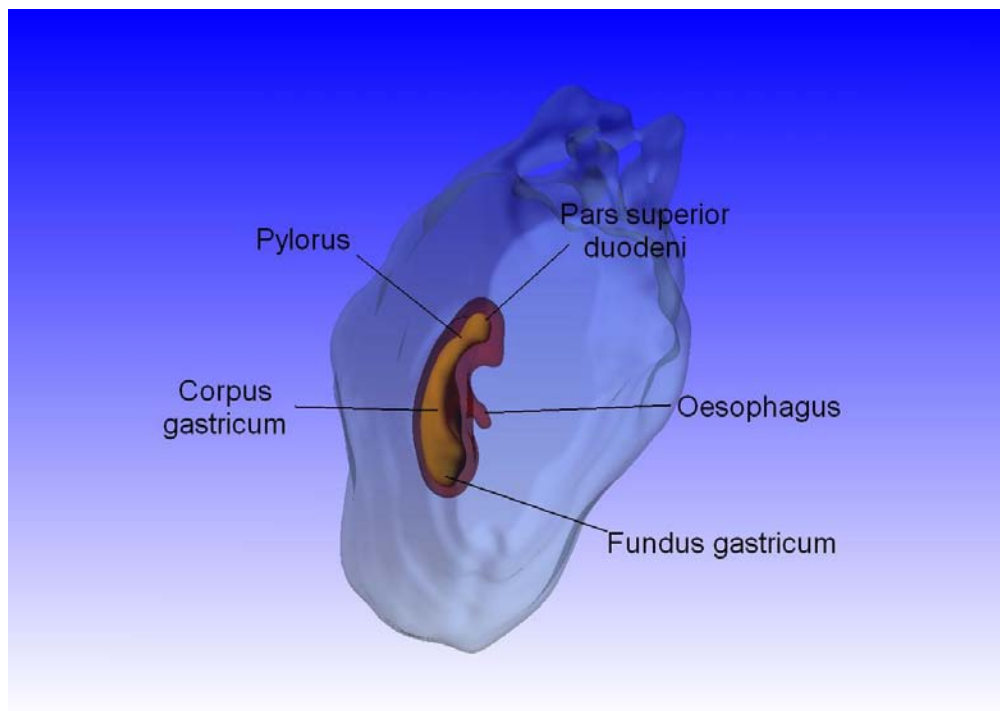
Obr. 59: Dorzální pohled.



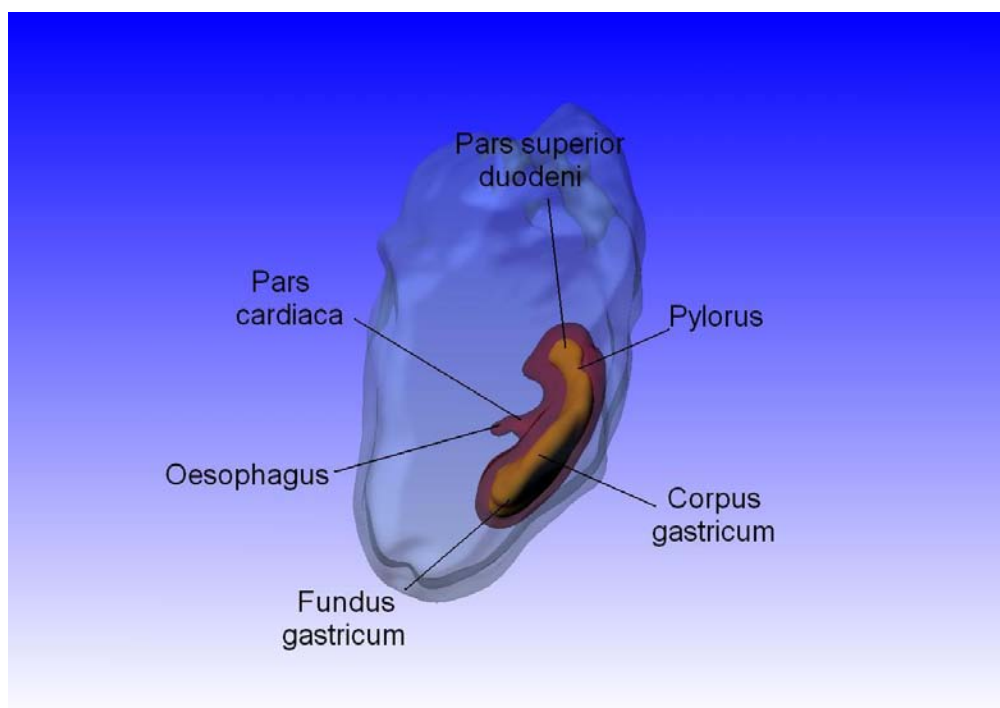
Obr. 60: Kaudální pohled.



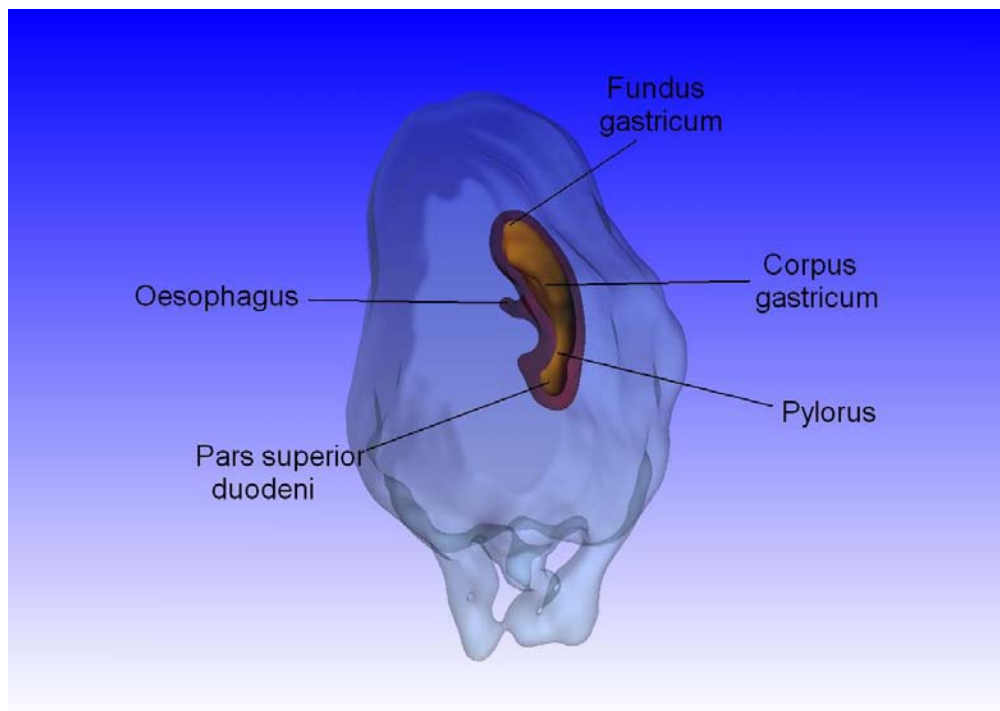
Obr. 61: Kaudální pohled.



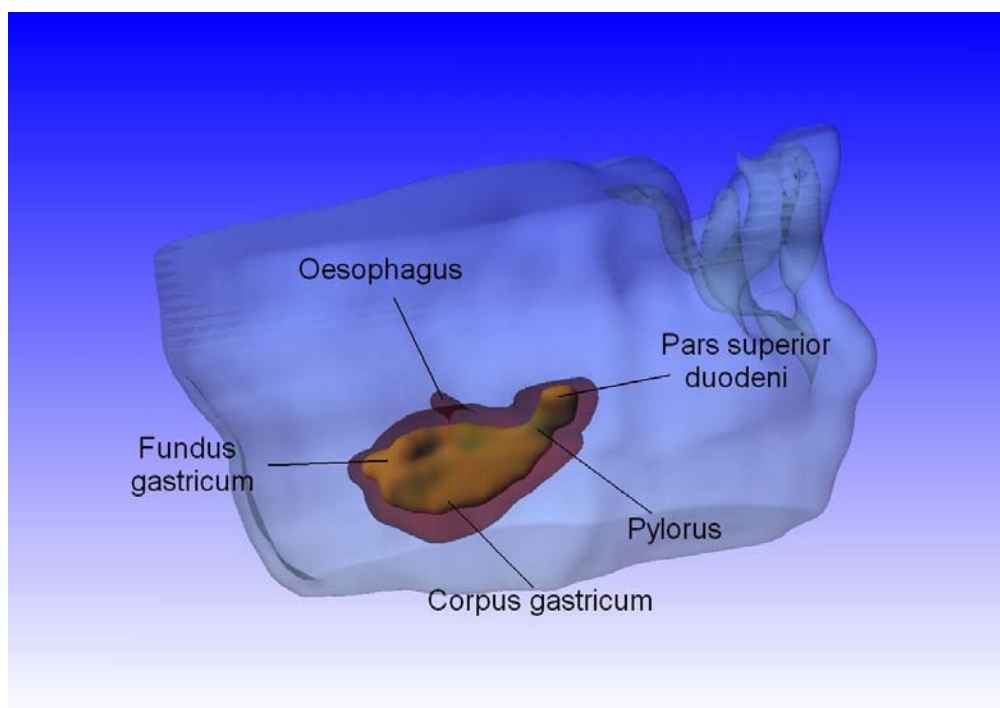
Obr. 62: Kaudální pohled.



Obr. 63: Kaudální pohled.



Obr. 64: Kaudální pohled.



Obr. 65: Právý pohled.

3.4 H. sapiens, TK 19 mm, transverzální řezy

U zárodku H. sapiens, TK 19 mm, byl v 1179 transverzálních registrovaných řezech rekonstruován povrch těla, mozkové komory, oko, trachea, plíce, hltan, jícen, střevní kličky, rektum, srdce, aorta, játra, ledviny.

3.4.1 Mikrofotografie



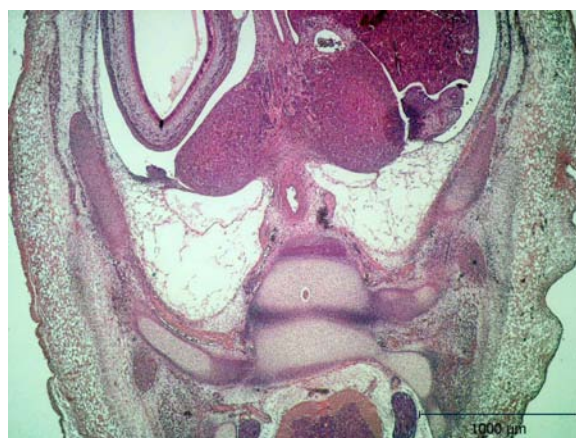
Obr. 66: Mícha, obratel, aorta, jícen, trachea, odstup aorty z levé komory, bránice, játra.



Obr. 67: Mícha, spinální ganglia, neurapofýzy, obratlové tělo, aorta, jícen, trachea, odstup aorty z levé komory.



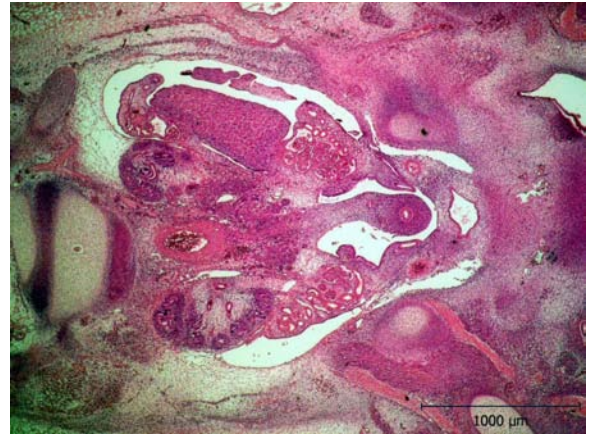
Obr. 68: Mícha, obratel, aorta, základ gonády, mesonefros, základ žaludku, játra.



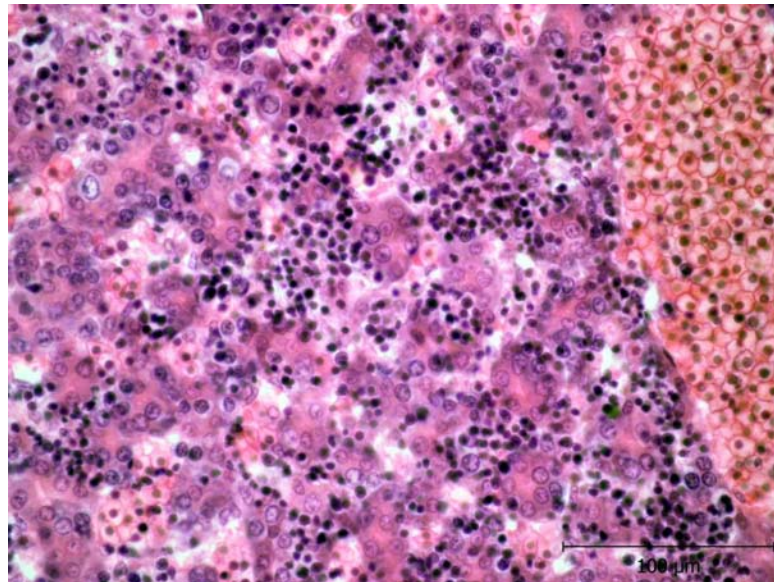
Obr. 69: Mícha, spinální ganglia, břišní aorta, základ gonád, mesonefros.



Obr. 70: Mícha, obratel, aorta, základ gonády, mesonefros, základ kůry nadledvin, dolní končetiny.

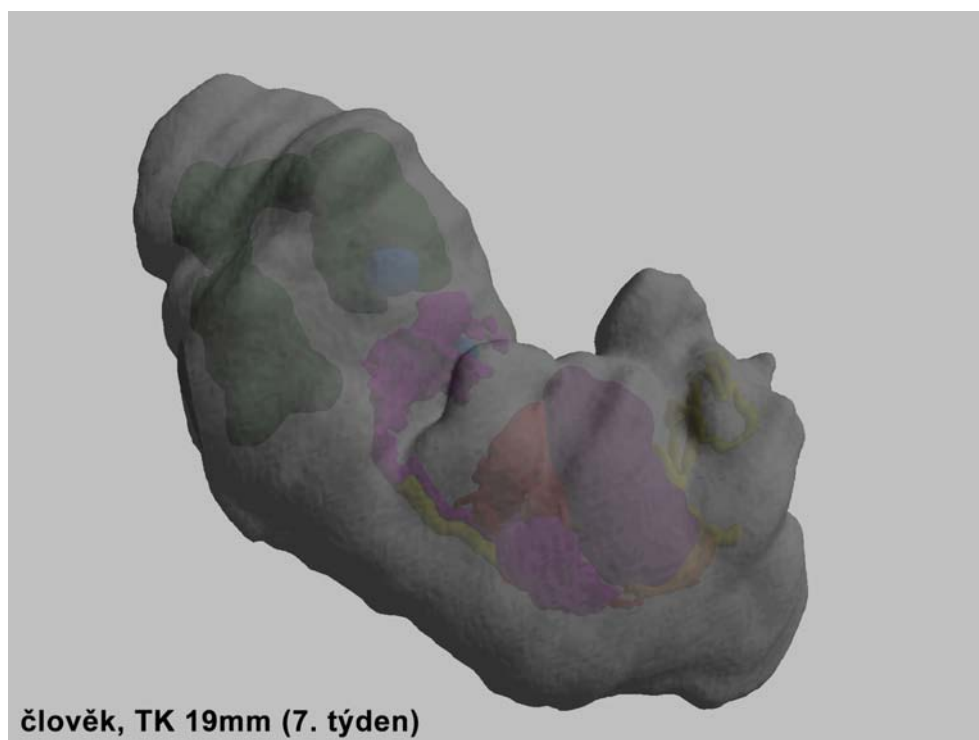


Obr. 71: Mícha, obratel, aorta, základ gonády, mesonefros, základ kůry nadledvin, párový Wolffův a unifikovaný Müllerův vývod, umbilikální arterie a umbilikální vena.

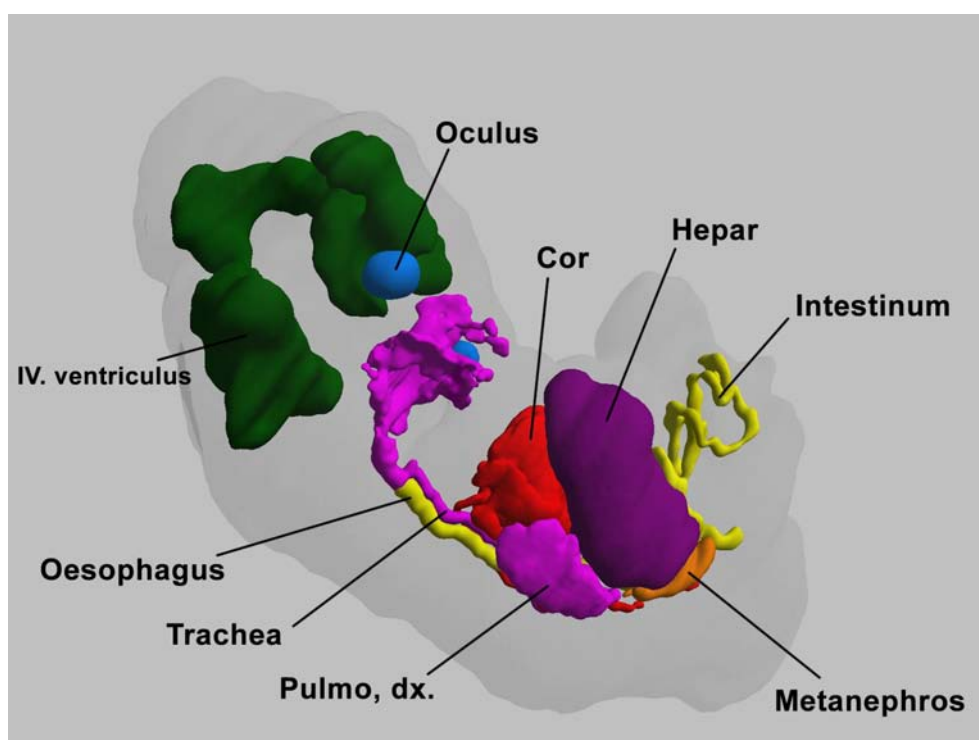


Obr. 72: Erytroblasty mezi jaterními buňkami.

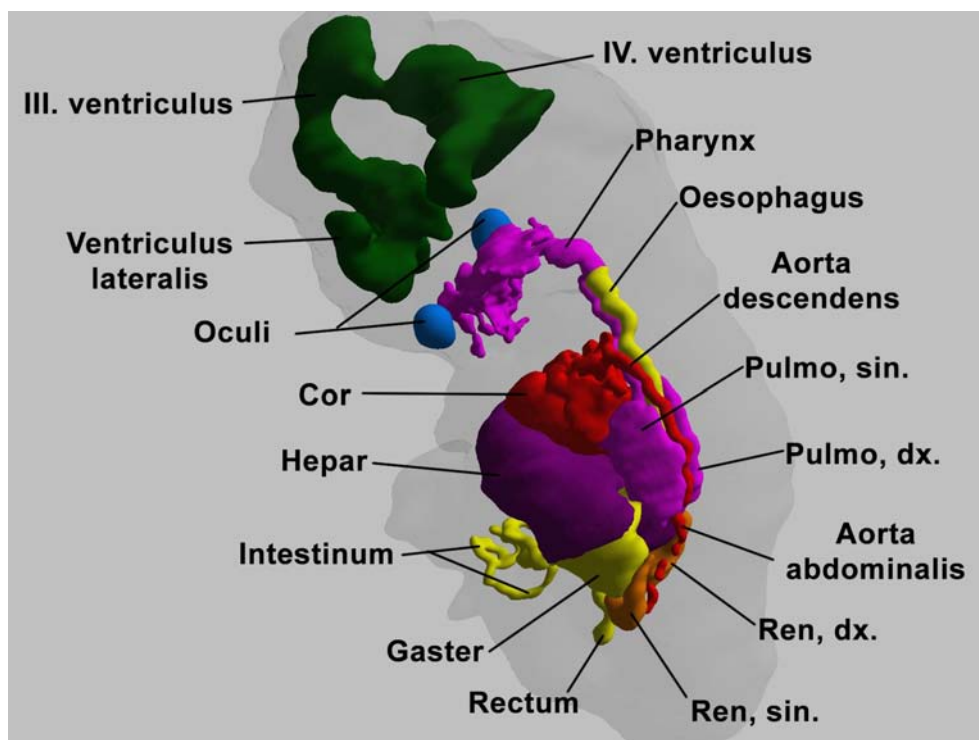
3.4.2 Rekonstrukce



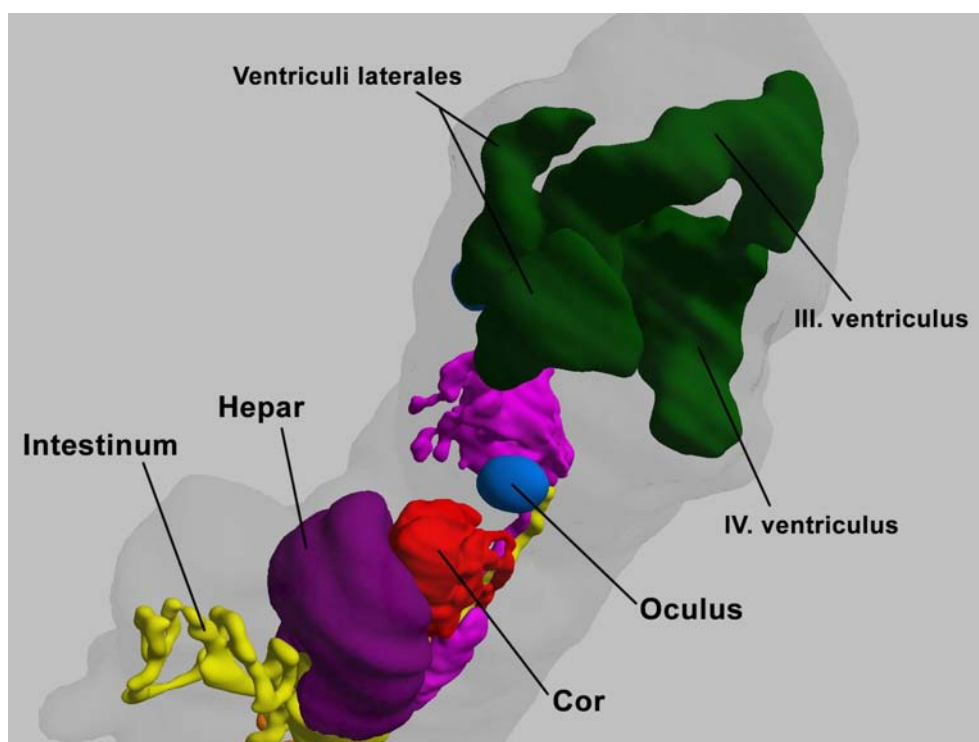
Obr. 73: Pravý laterální pohled.



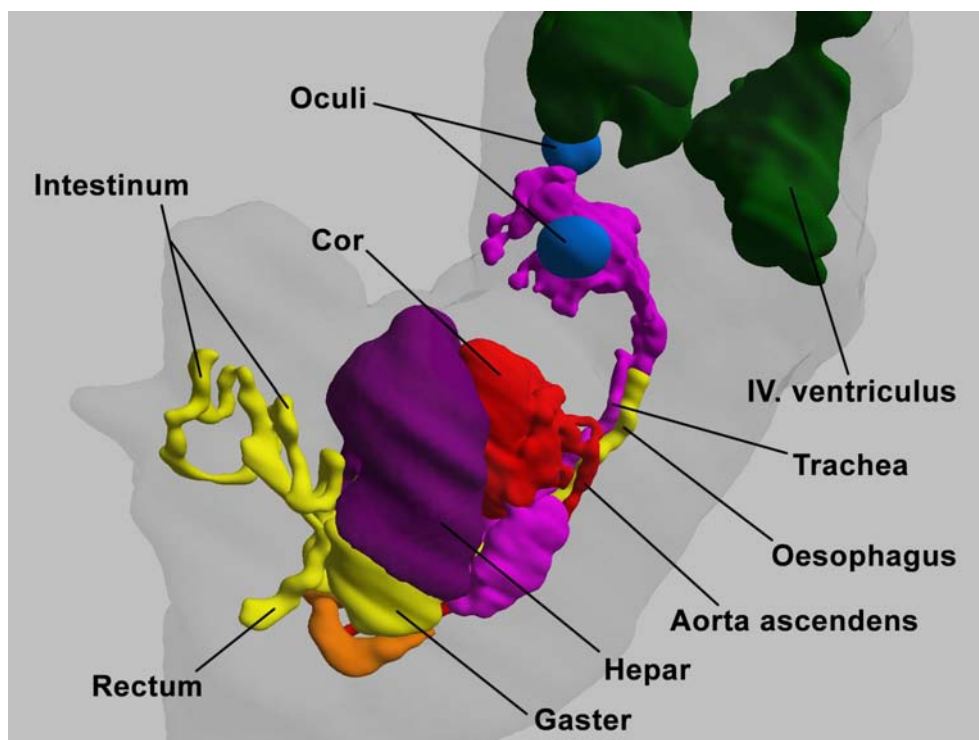
Obr. 74: Pravý laterální pohled.



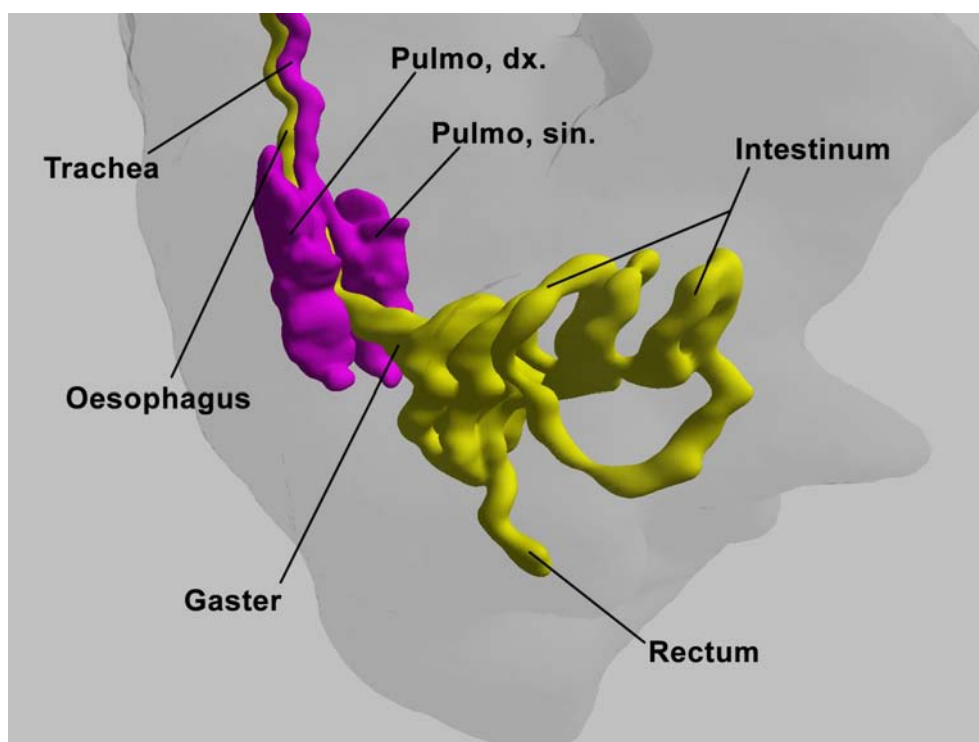
Obr. 75: Levý laterální pohled.



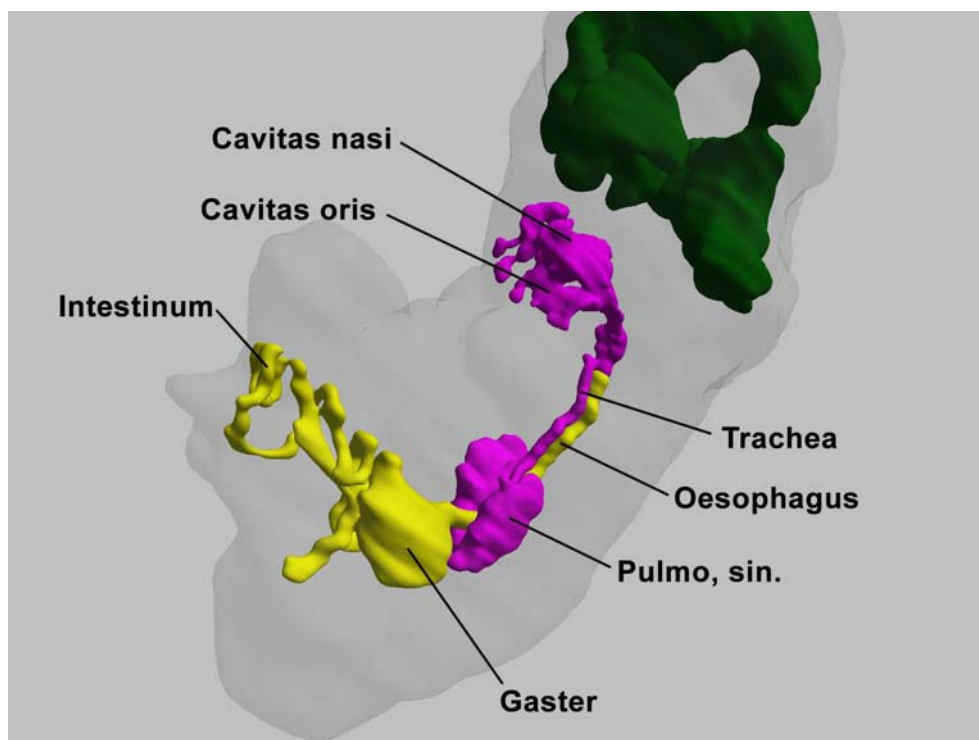
Obr. 76: Levý laterodorzální pohled.



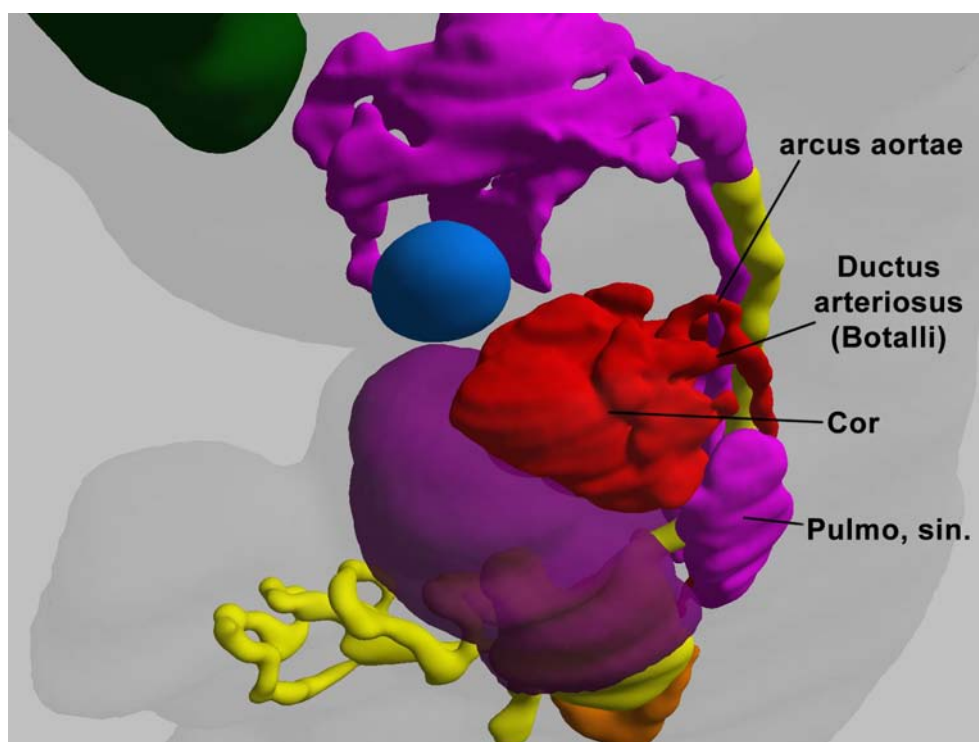
Obr. 77: Levý laterodorzáni pohled.



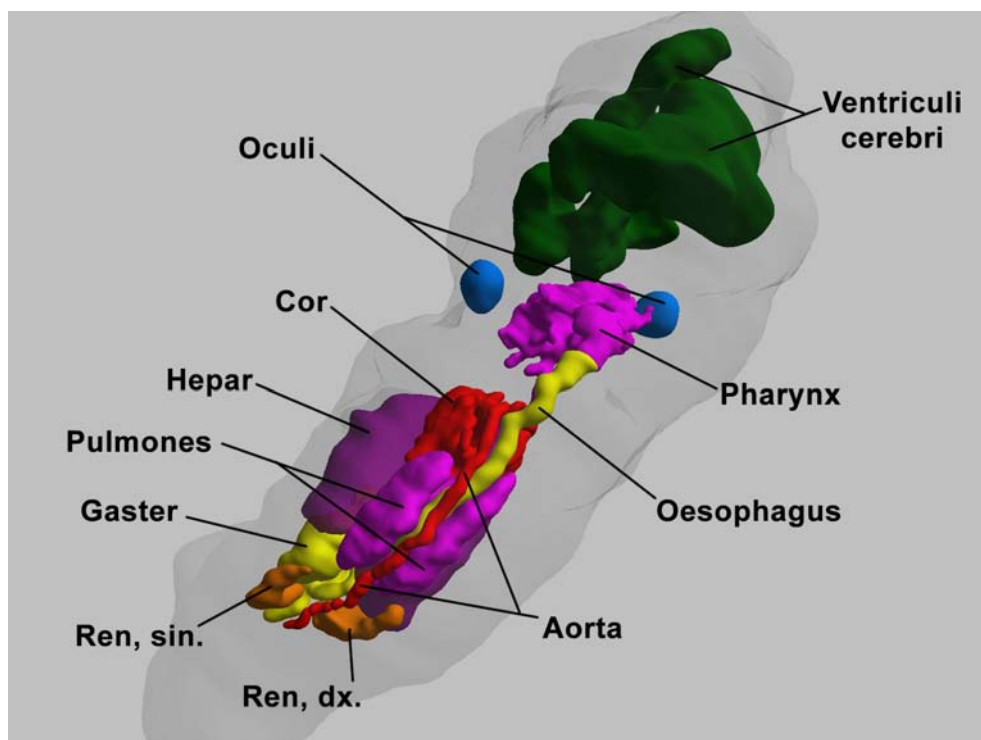
Obr. 78: Pravý pohled laterálním a dorzálním směrem.



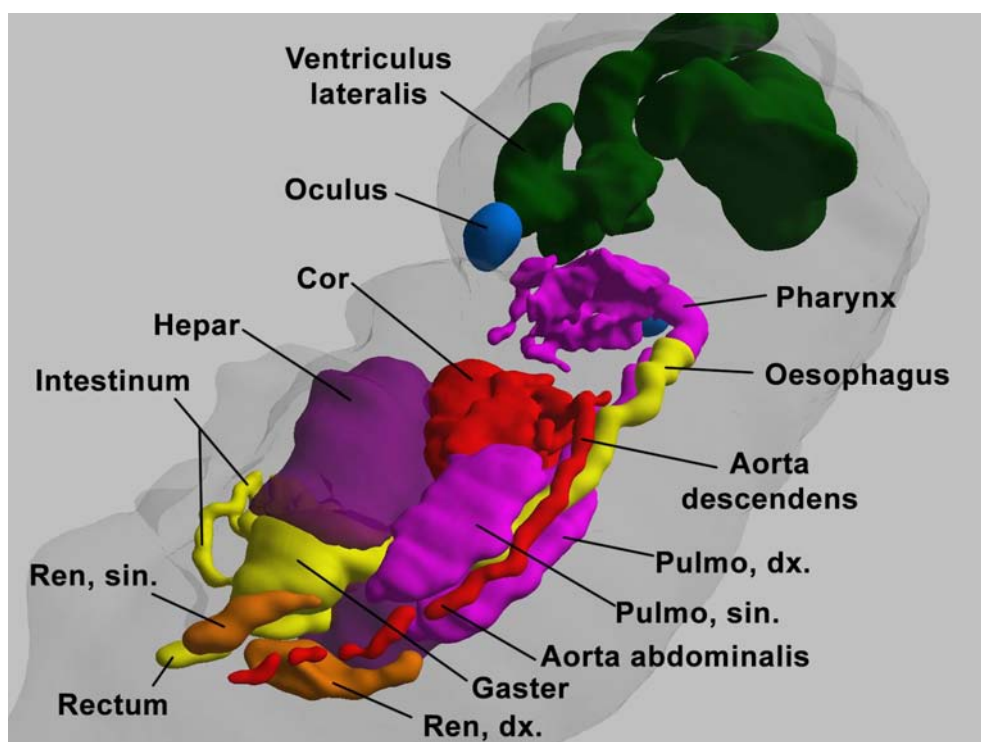
Obr. 79: Levý laterální pohled.



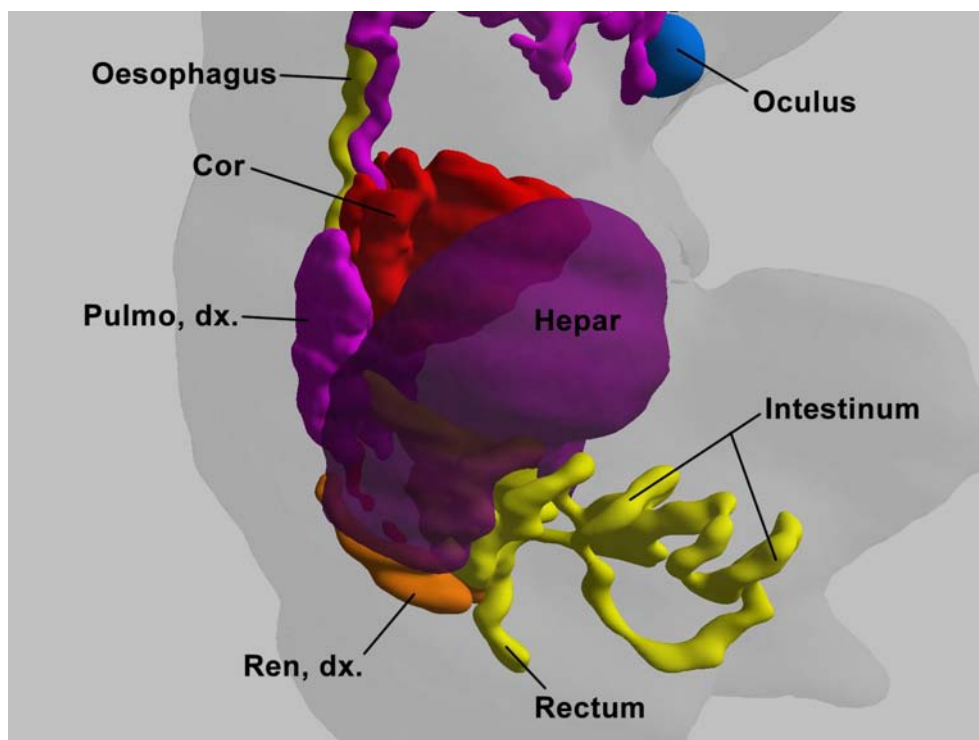
Obr. 80: Levý laterální pohled.



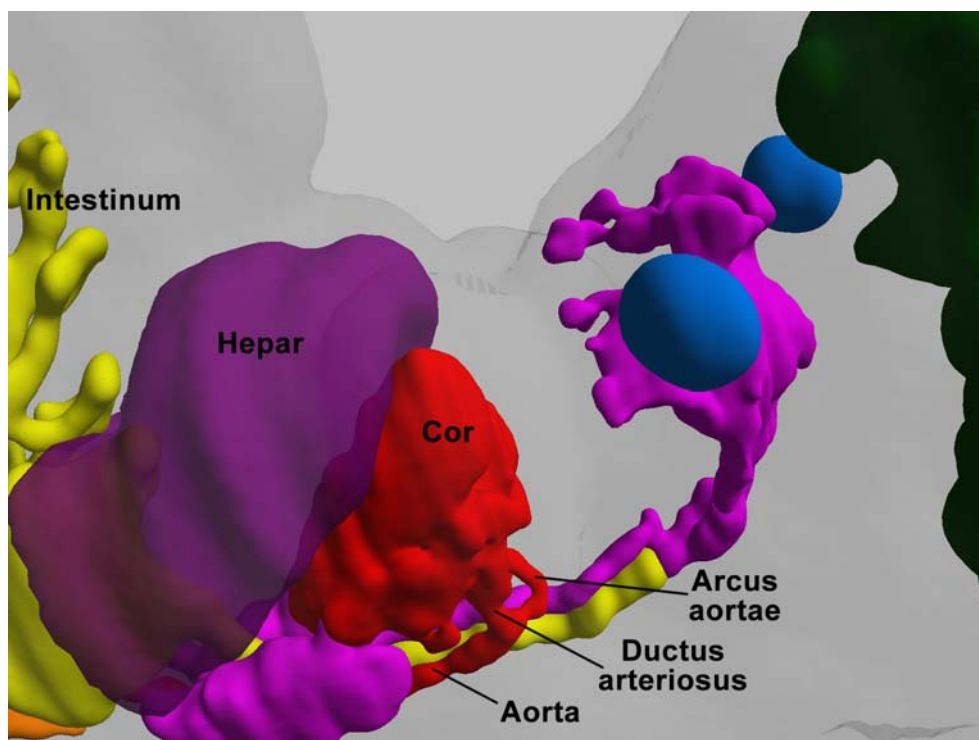
Obr. 81: Levý šikmý laterální pohled.



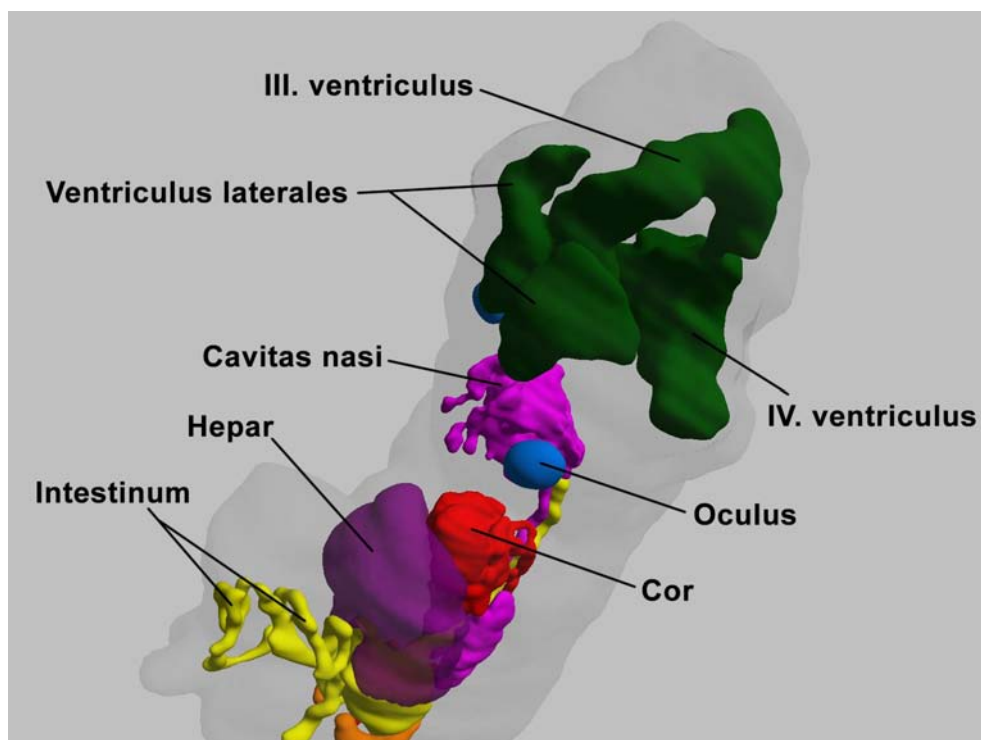
Obr. 82: Levý šikmý laterální pohled.



Obr. 83: Pravý šikmý laterální pohled.



Obr. 84: Levý šikmý pohled kraniokaudálním směrem.

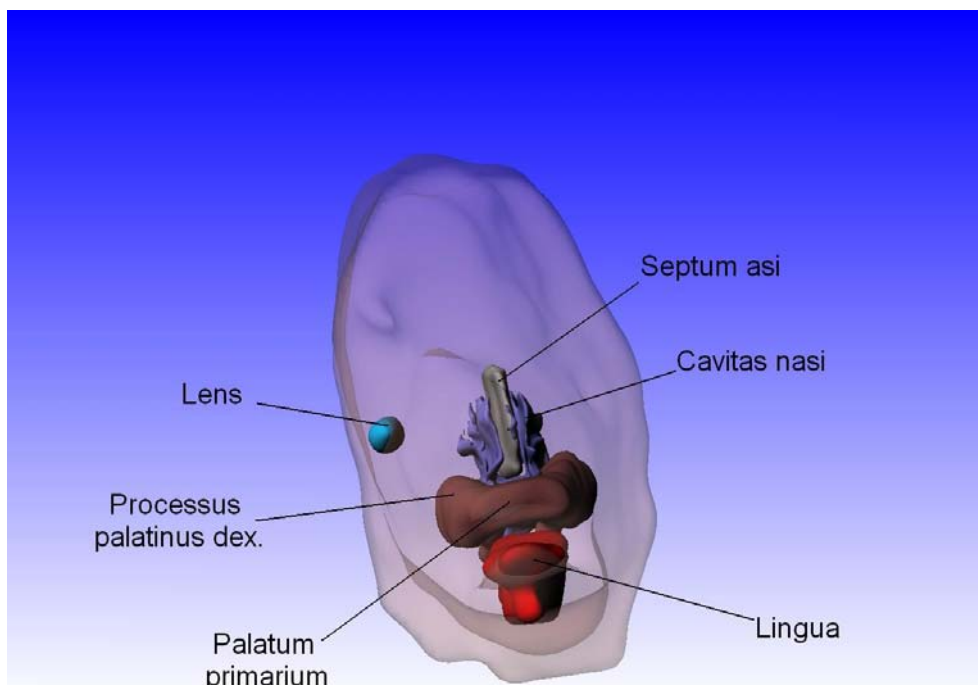


Obr. 85: Levý šikmý pohled.

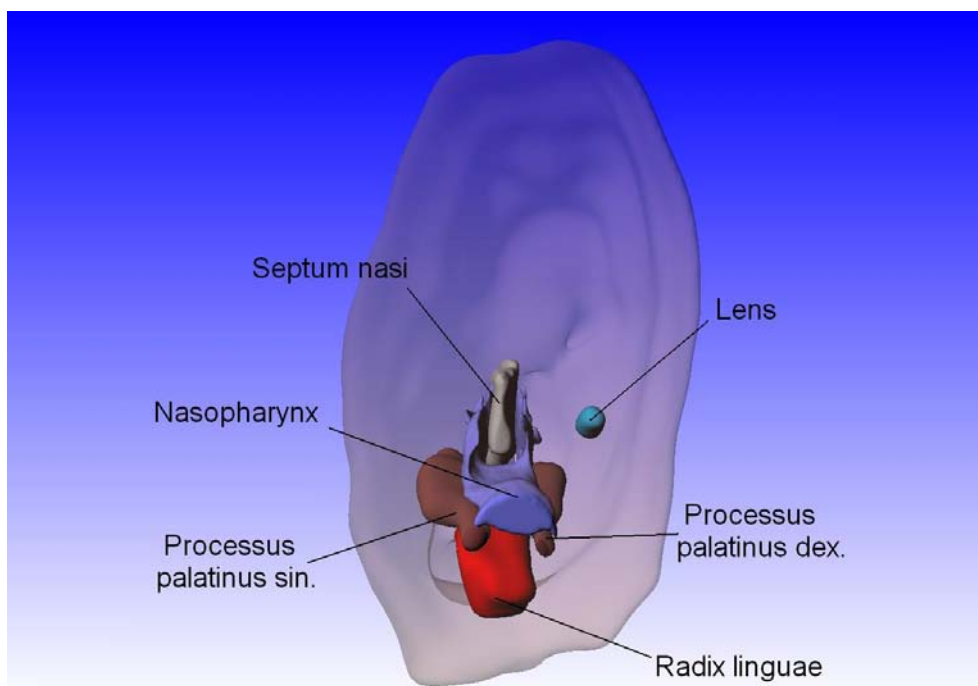
3.5 H. sapiens, TK 27 mm, transverzální řezy

U zárodku H. sapiens, TK 27 mm, byl v 435 transverzálních registrovaných řezech rekonstruován povrch hlavy, nosní dutina, nosní septum, nosohltan, jazyk, patrové ploténky horní čelisti, čočka, oční pohárek.

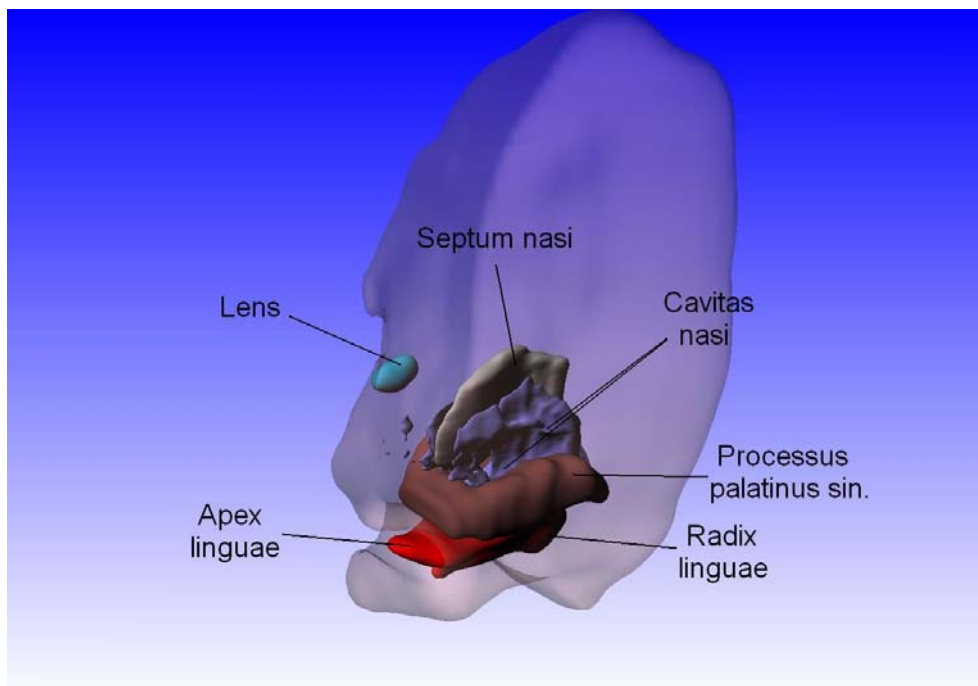
3.5.1 Rekonstrukce



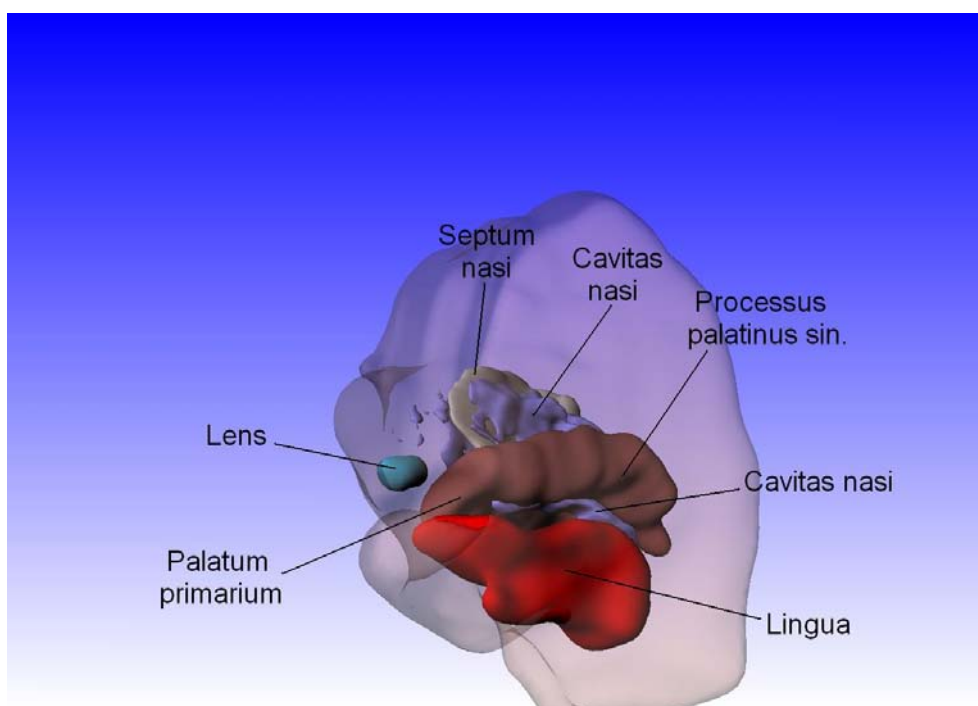
Obr. 86: Frontální pohled.



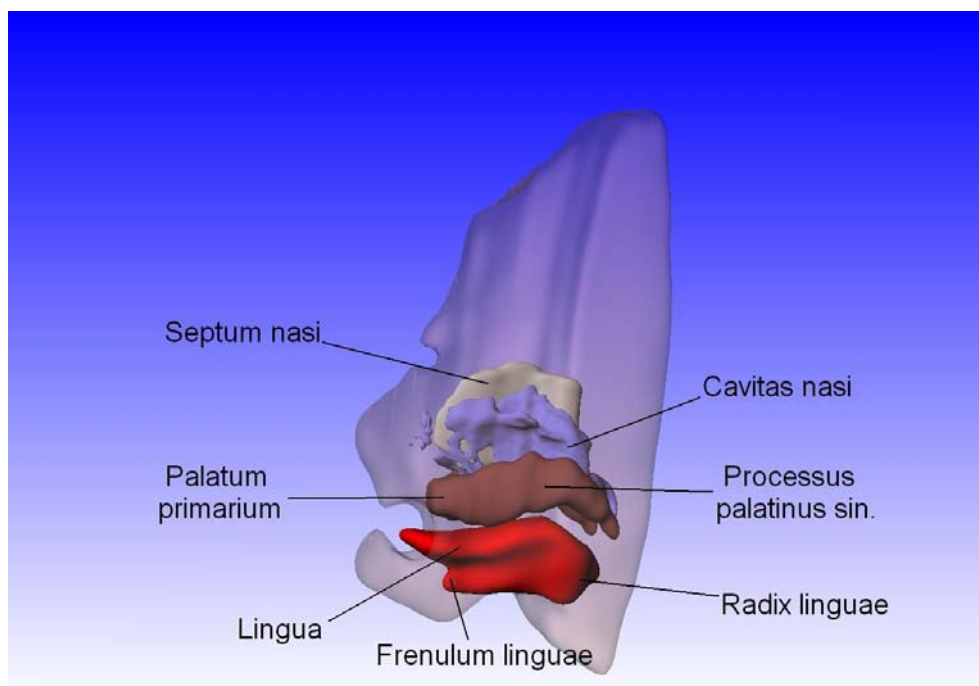
Obr. 87: Dorzální pohled.



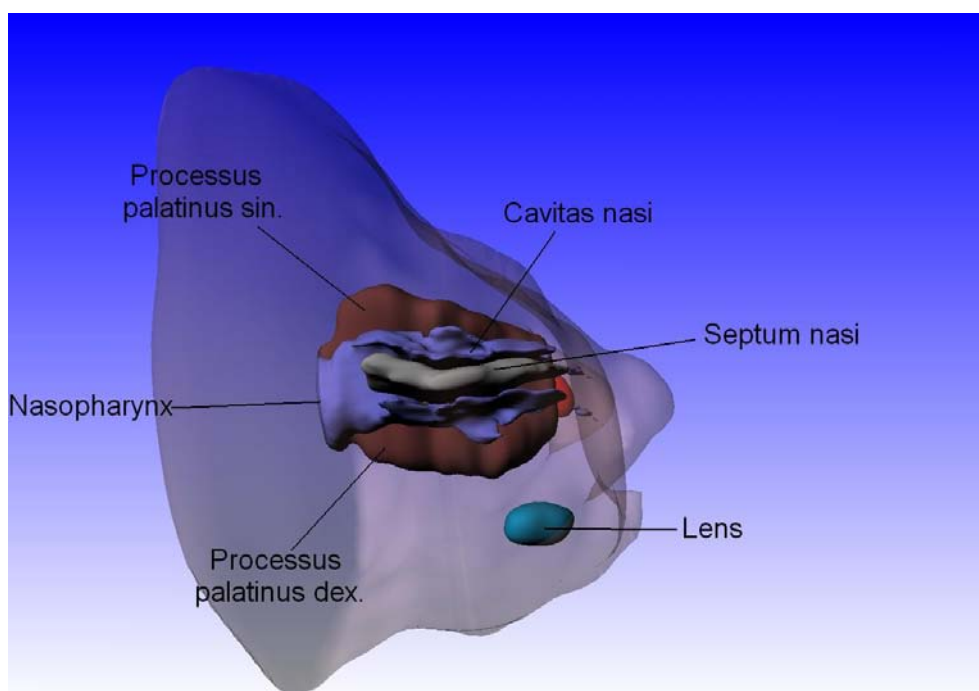
Obr. 88: Levý frontální pohled.



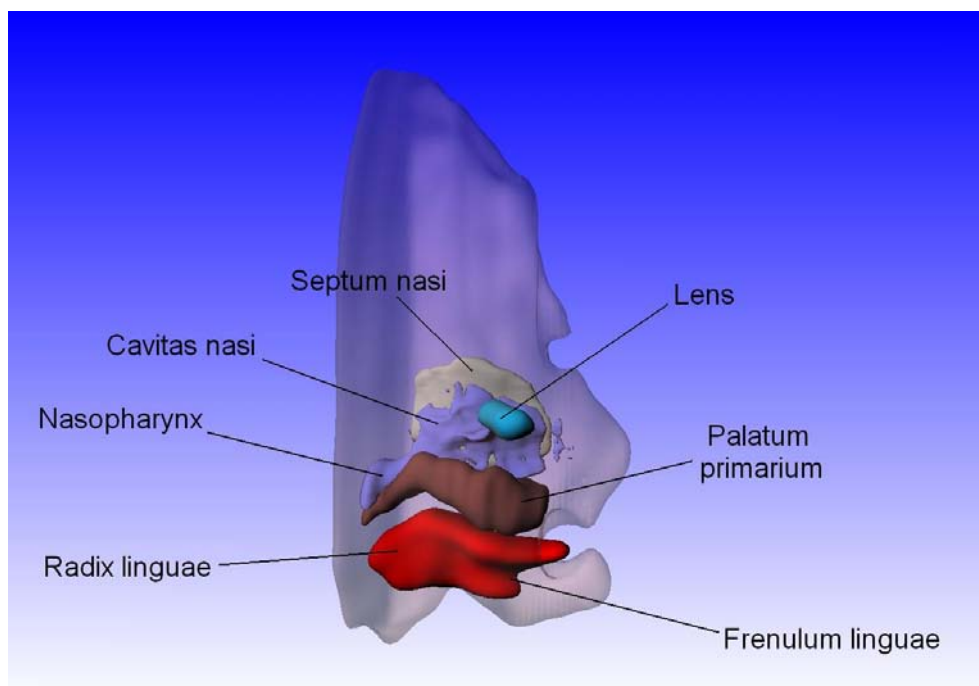
Obr. 89: Levý frontální pohled.



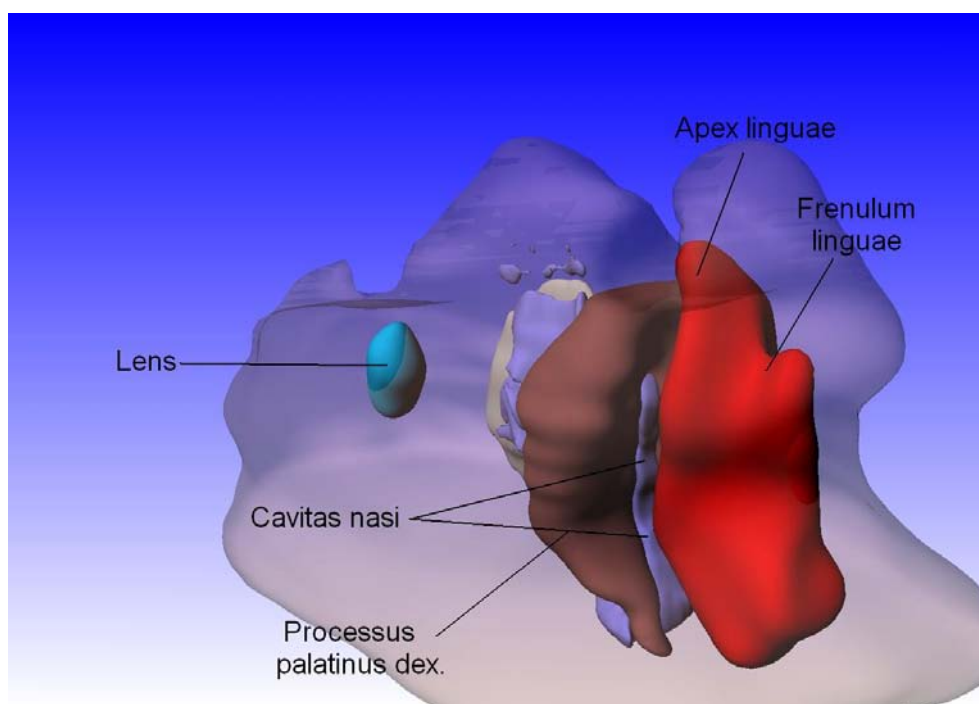
Obr. 90: Levý pohled.



Obr. 91: Pohled kраниokaudálním směrem.



Obr. 92: Právý pohled.

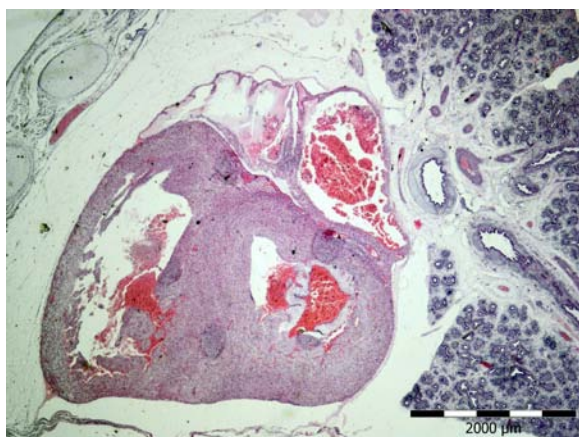


Obr. 93: Právý pohled.

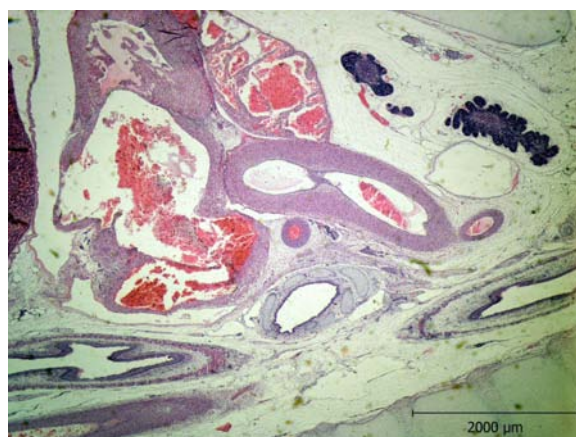
3.6 H. sapiens, TK 58 mm, sagitální řezy

U zárodku H. sapiens, TK 58 mm, byl v 201 sagitálních registrovaných řezech rekonstruován povrch hrudníku, břicha a části pánve, thymus, vnitřní povrch srdečních oddílů (obě síně a komory), foramen ovale, odstupy a. subclavia sin., a. carotis communis sin. a truncus brachiocephalicus z arcus aortae, aa. pulmonales, ductus arteriosus, aorta descendens, dále i vnější povrch srdce a uvedených cév, aa. umbilicales, v. umbilicalis, levé plicní křídlo.

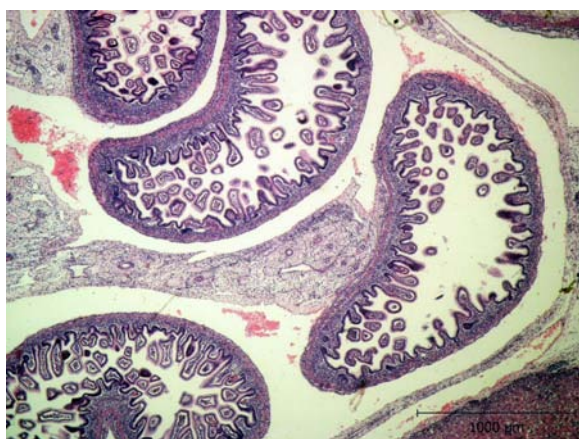
3.6.1 Mikrofotografie



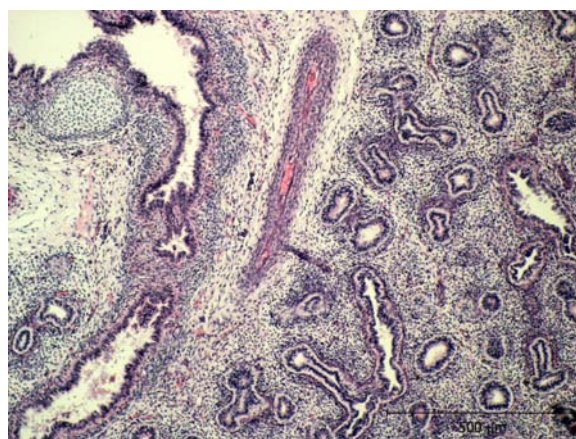
Obr. 94: Síně, komory a plíce.



Obr. 95: Odstup aorty ze srdce, thymus, jícn, trachea.



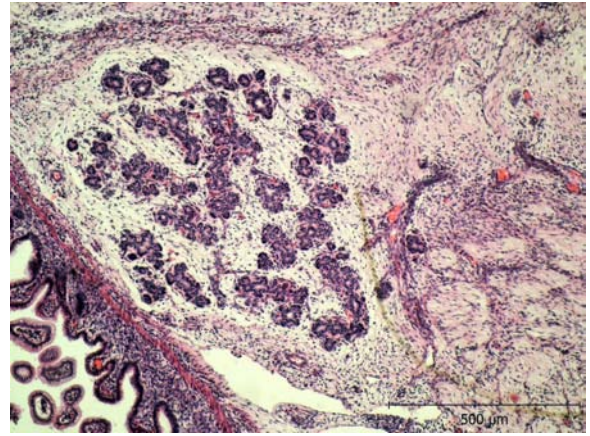
Obr. 96: Bránice, střevní kličky, vpravo dole slezina.



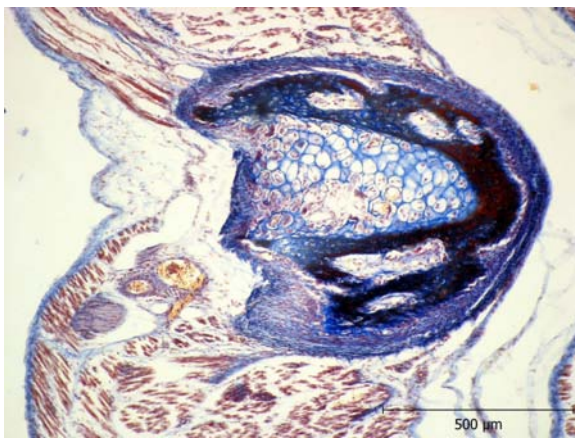
Obr. 97: Bronchus a plíce.



Obr. 98: Jícen, bránice, játra, střevní klíčky.



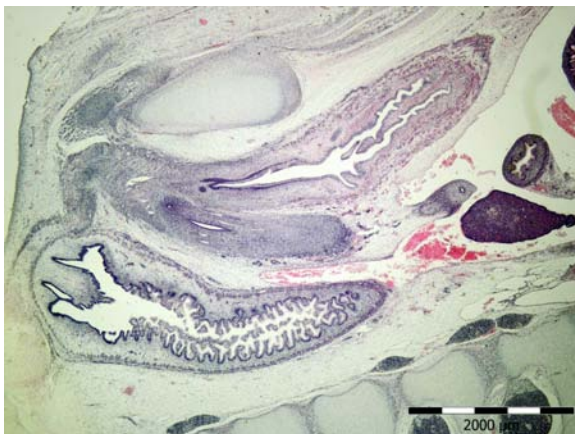
Obr. 99: Pankreas, plexus coeliacus.



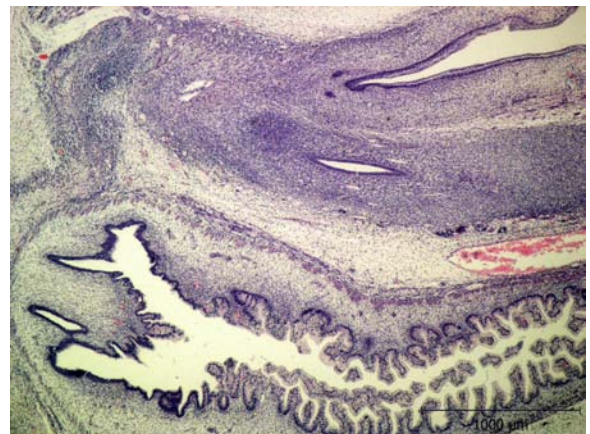
Obr. 100: Příčný průřez osifikující chrupavkou žebra.



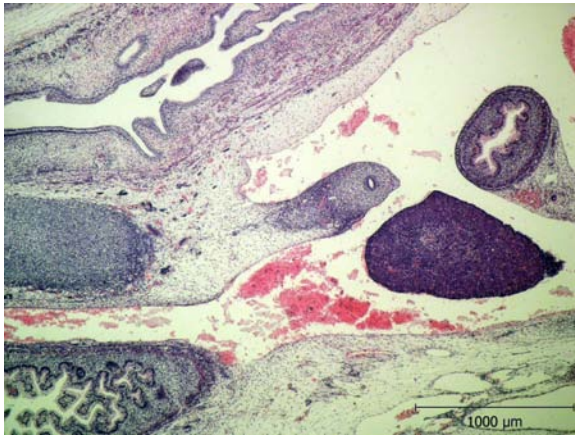
Obr. 101: Podélný průřez osifikující chrupavkou žebra. Invaze kapilár s osteoprogenitorovými buňkami do rozrušené chrupavky. Periostální límec.



Obr. 102: Chrupavka stydké kosti, močový měchýř, základ dělohy (unifikovaný Müllerův vývod), ovarium, rektum.



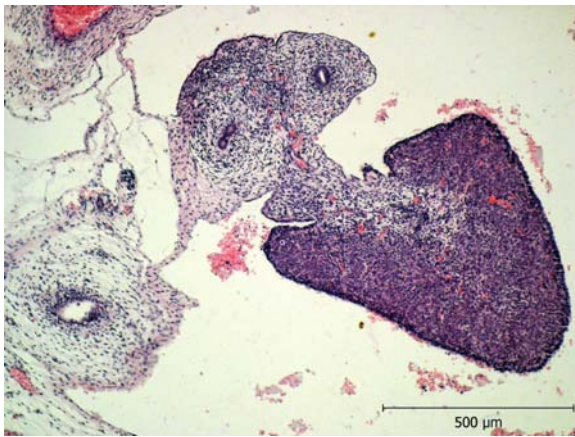
Obr. 103: Močový měchýř, základ dělohy, rektum.



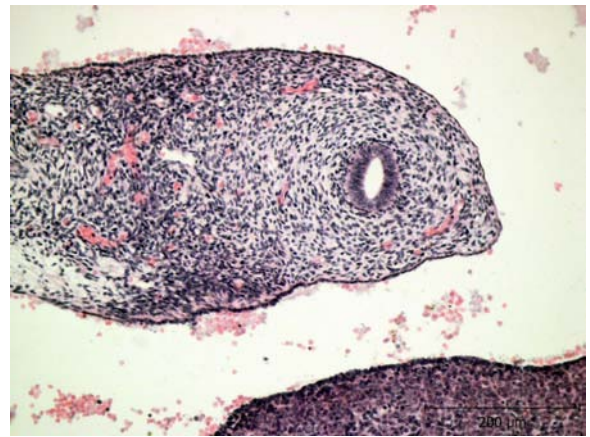
Obr. 104: Močový měchýř, základ dělohy, ovarium, rektum.



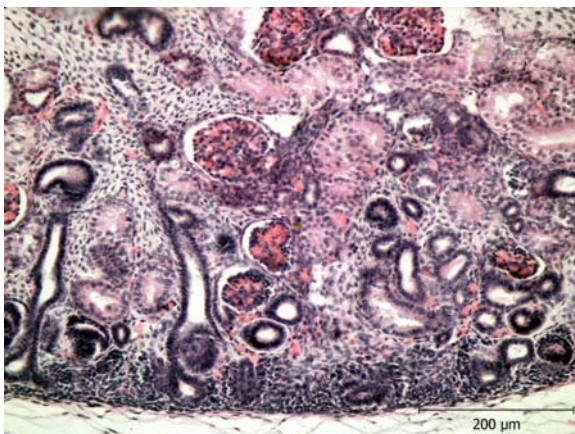
Obr. 105: Střevní kličky, metanefros, slezina, plíce, jícen.



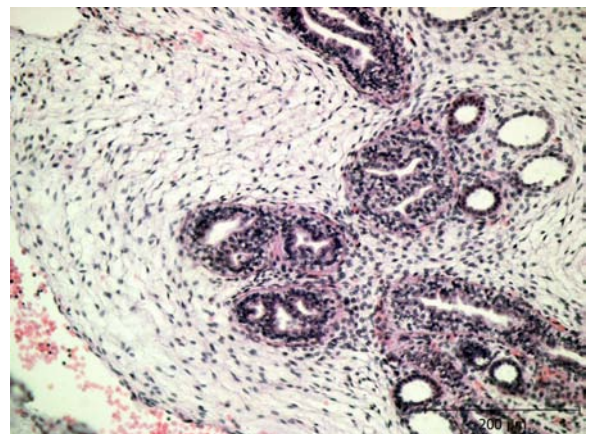
Obr. 106: Vlevo Wolffův vývod, nahore Müllerův vývod, vpravo ovarium.



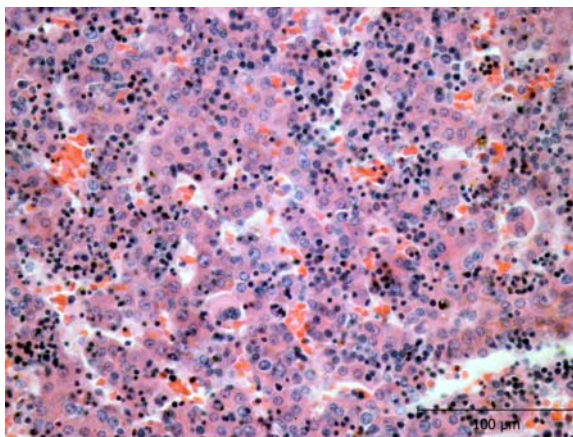
Obr. 107: Müllerův vývod a ovarium.



Obr. 108: Kůra ledviny (metanefros).

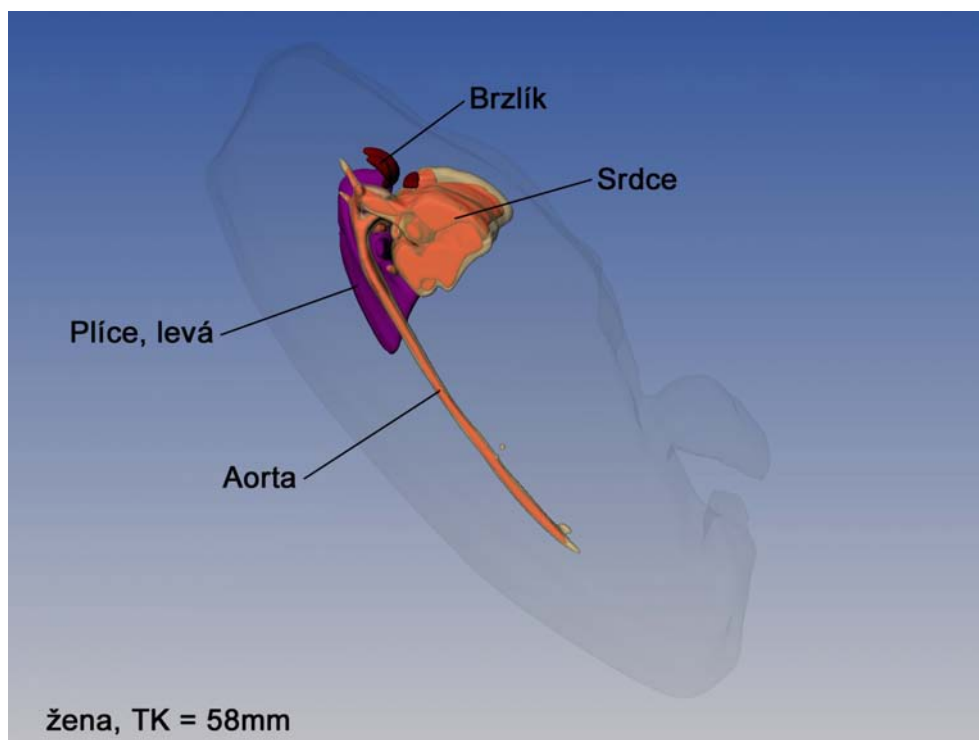


Obr. 109: Dřeň ledviny (metanefros).

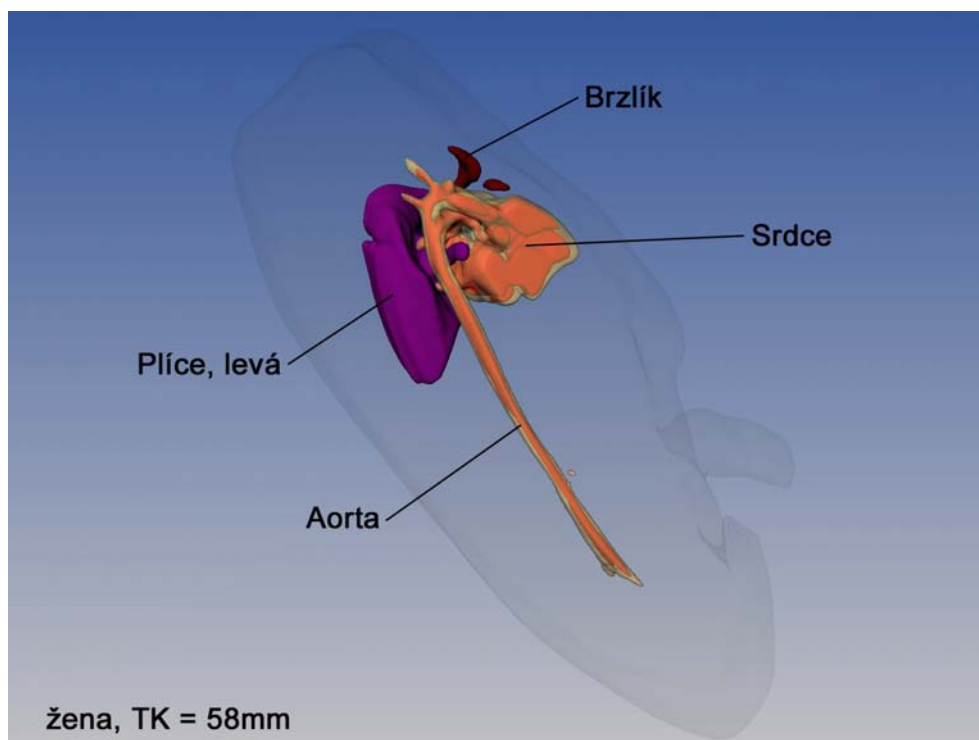


Obr. 110: Krvetvorba v játrech.

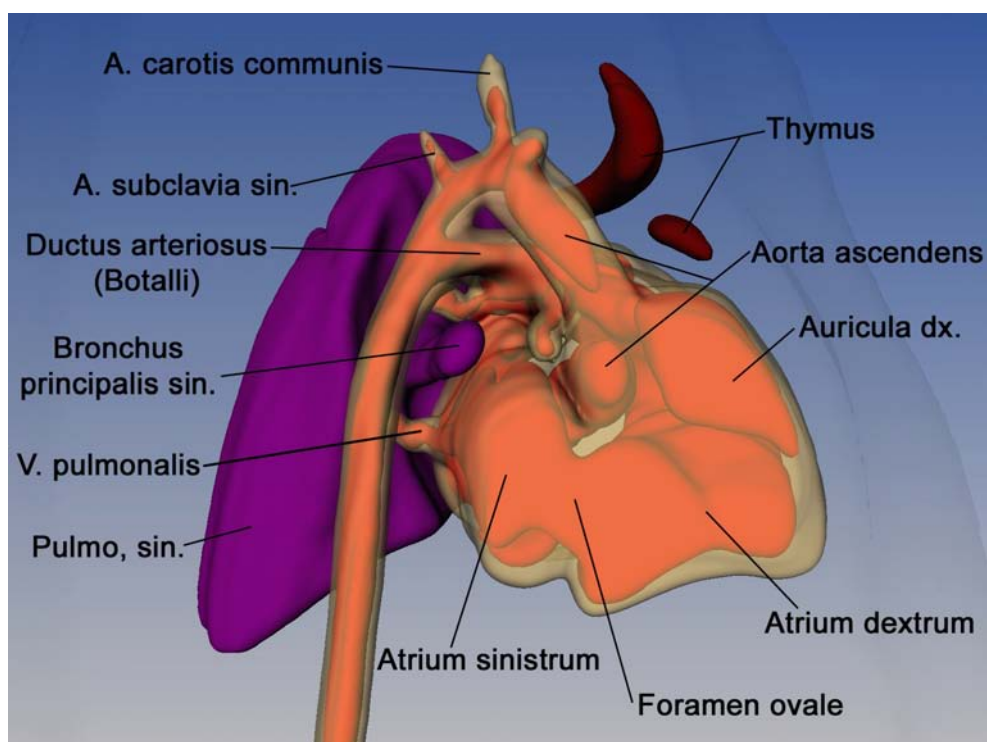
3.6.2 Rekonstrukce



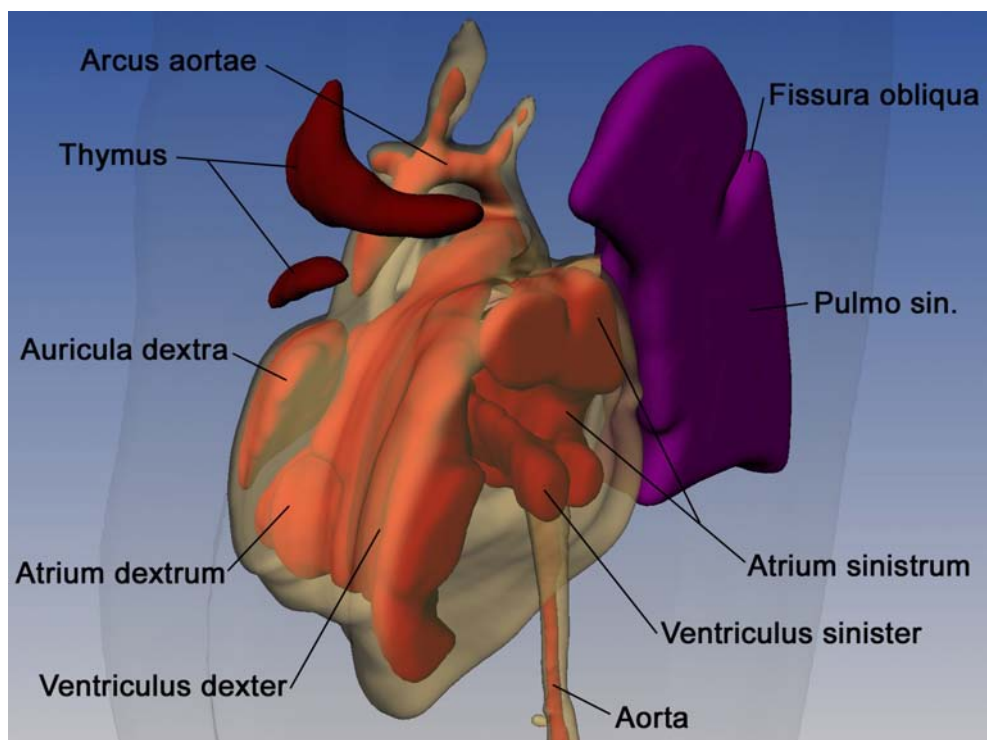
Obr. 111: Pravý laterální pohled.



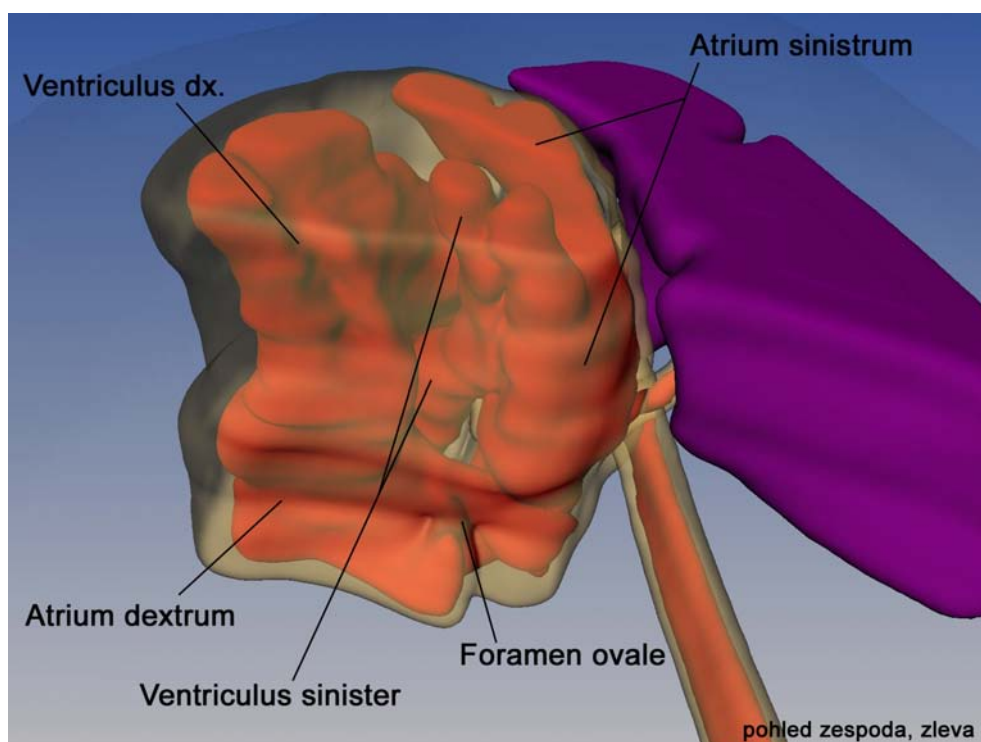
Obr. 112: Pravý laterální pohled.



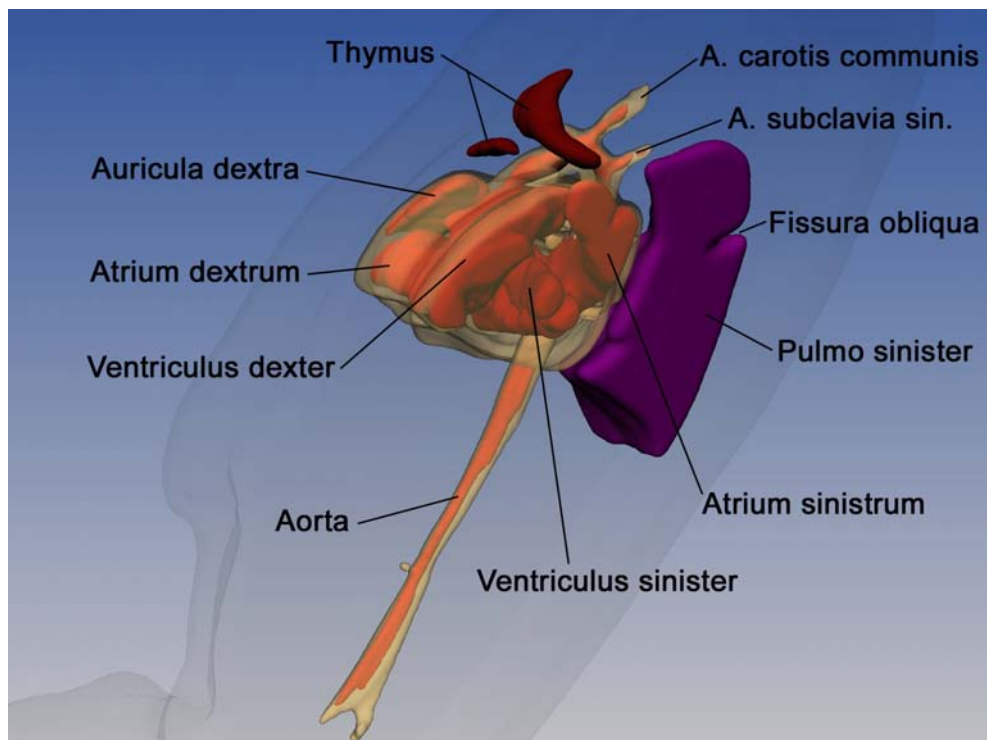
Obr. 113: Průřez rekonstrukcí, pohled zprava.



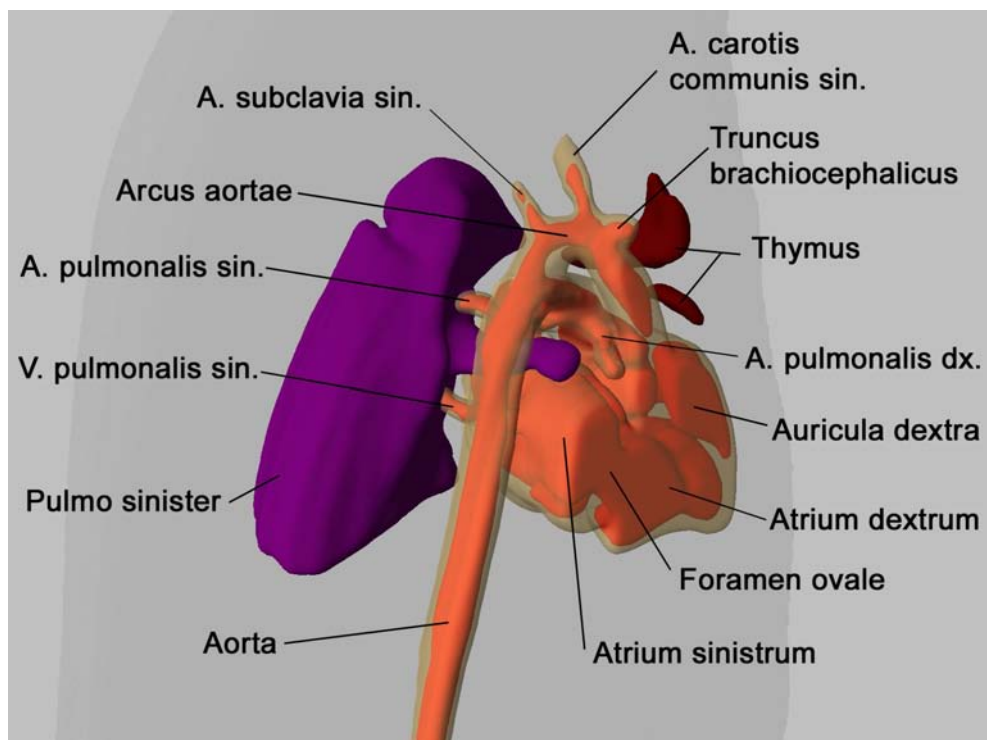
Obr. 114: Průřez rekonstrukcí, pohled zleva zepředu.



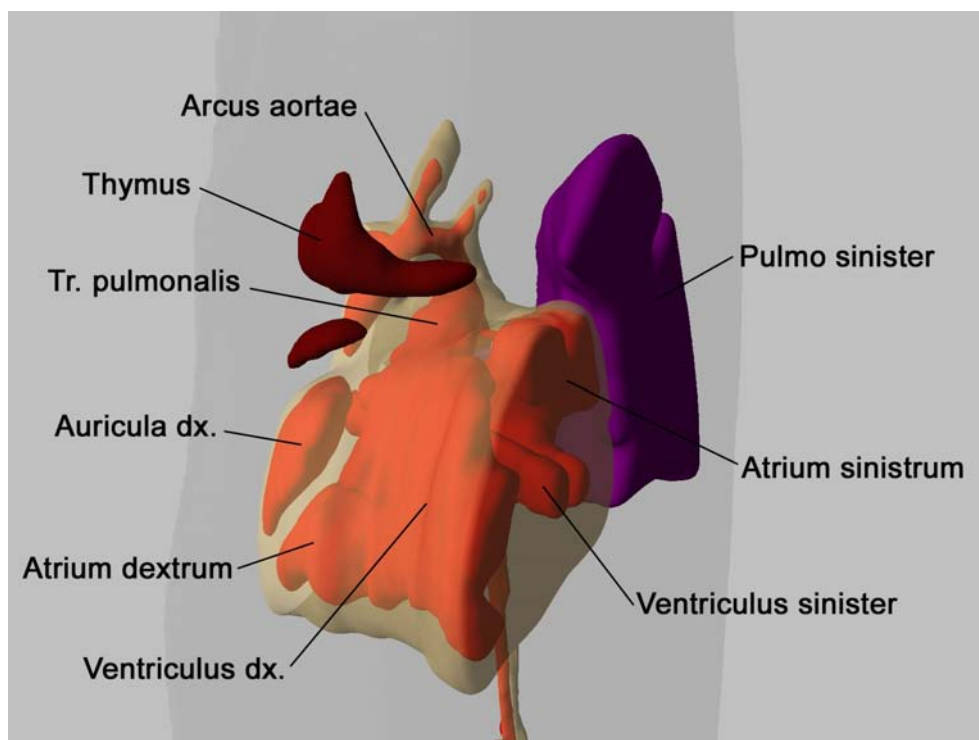
Obr. 115: Průřez rekonstrukcí, pohled zleva zepředu směrem vzhůru.



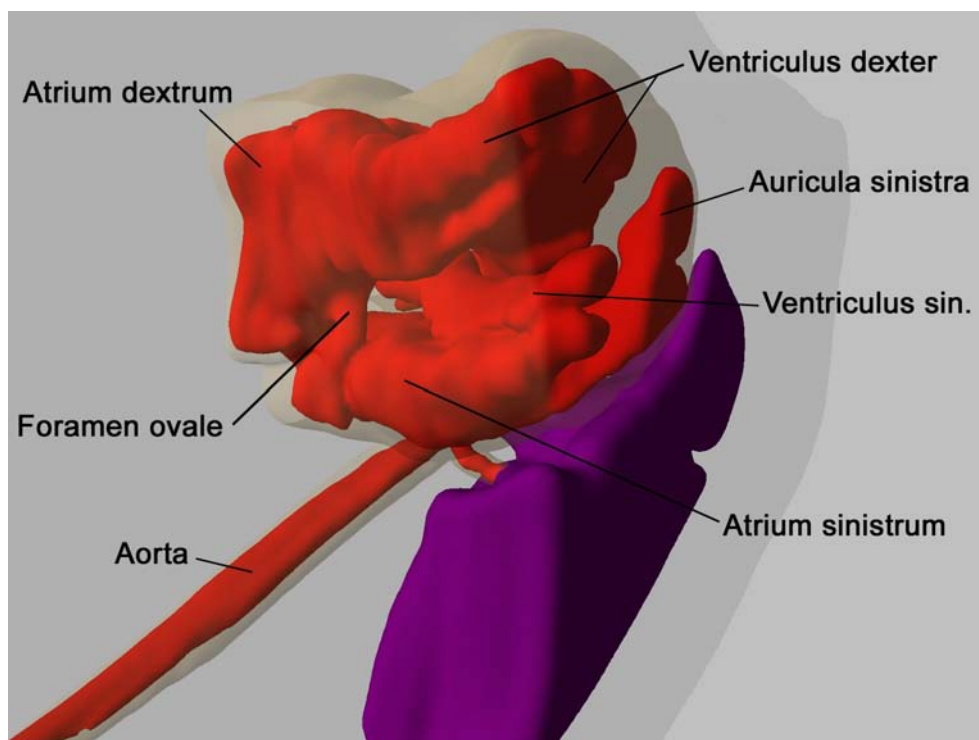
Obr. 116: Pohled zleva směrem vzhůru.



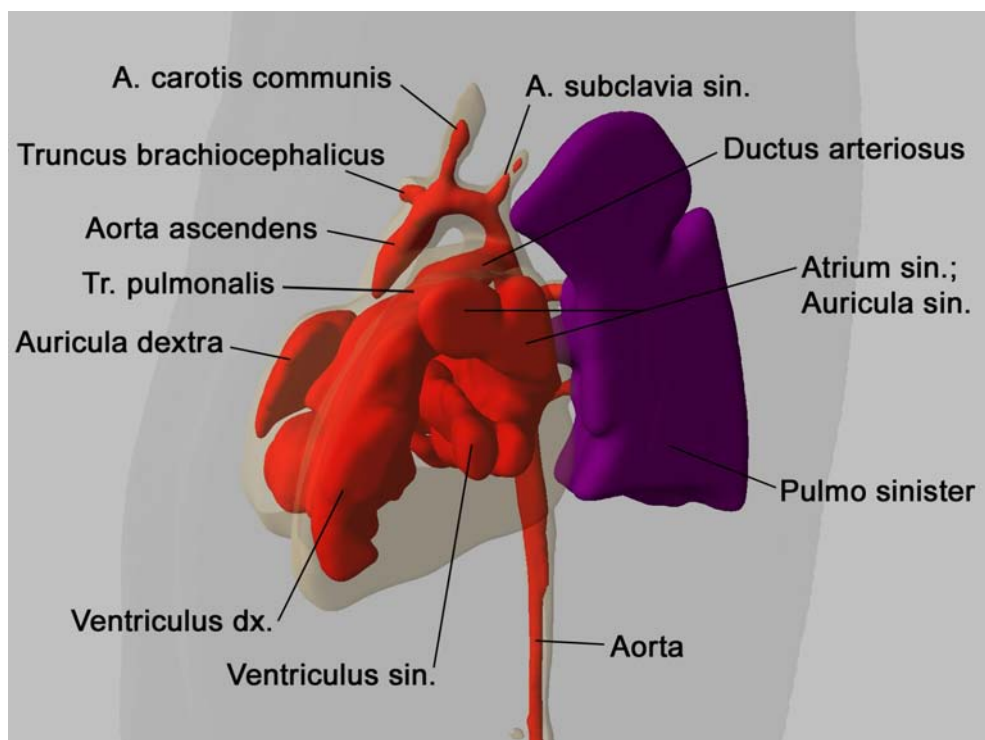
Obr. 117: Pohled zprava zezadu.



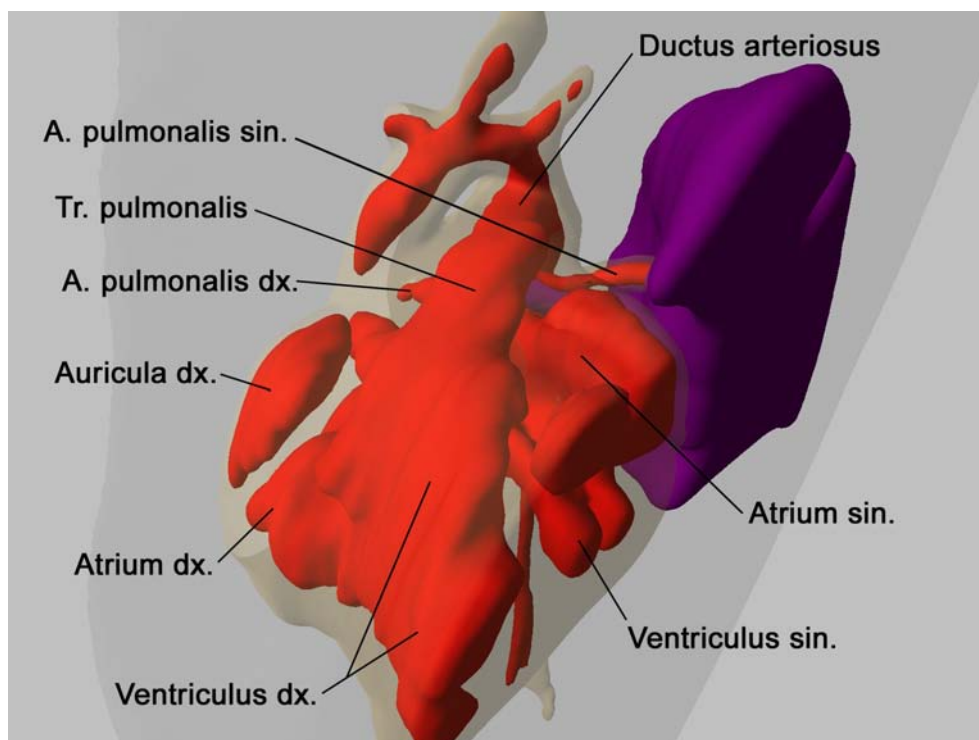
Obr. 118: Šikmý levý přední pohled.



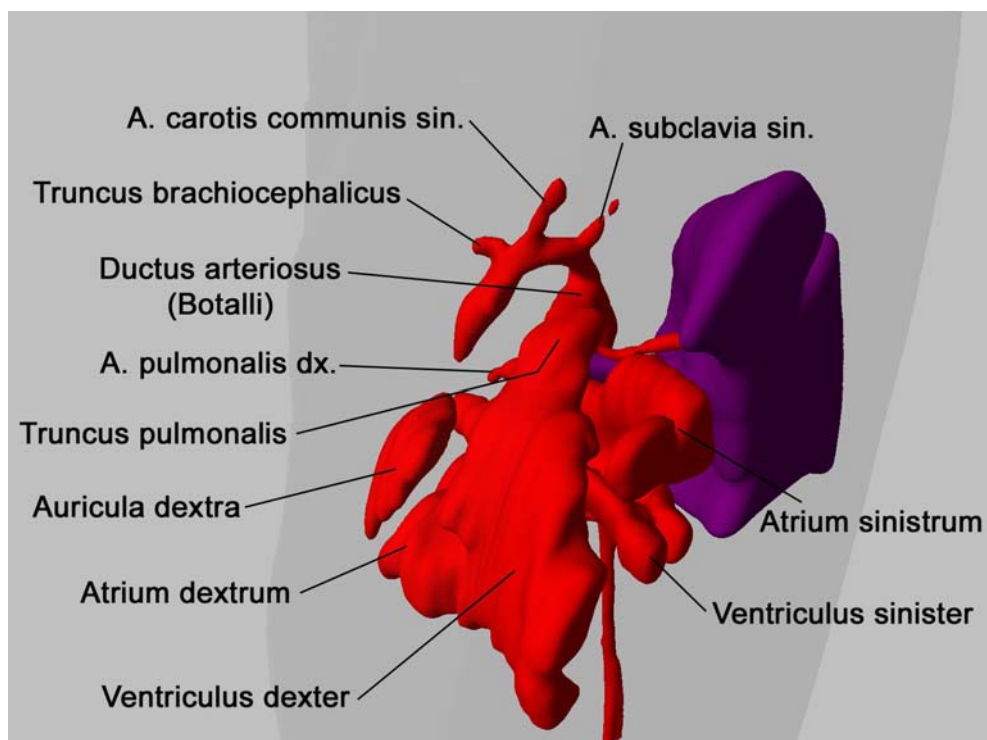
Obr. 119: Pohled zleva směrem vpravo dozadu vzhůru.



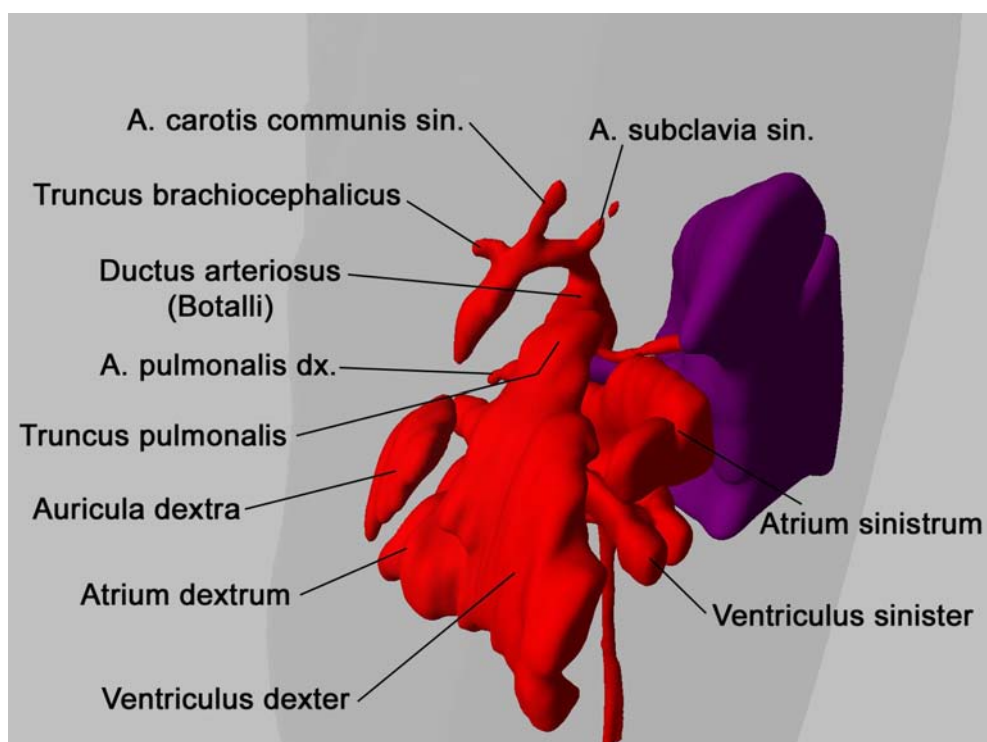
Obr. 120: Šikmý levý přední pohled.



Obr. 121: Pohled zleva ze strany směrem vpravo dolů.



Obr. 122: Pohled zleva ze strany směrem vpravo dolů.



Obr. 123: Pohled zleva zepředu.

3.7 H. sapiens, TK 60 mm, transverzální řezy

U zárodku H. sapiens, TK 60 mm, byl v 762 transverzálních registrovaných řezech rekonstruován povrch těla, rektum, močový měchýř, Mullerův a Wolffův vývod, a. iliaca interna, děloha a kraniální část pochvy, urachus, a. umbilicalis a ovaria.

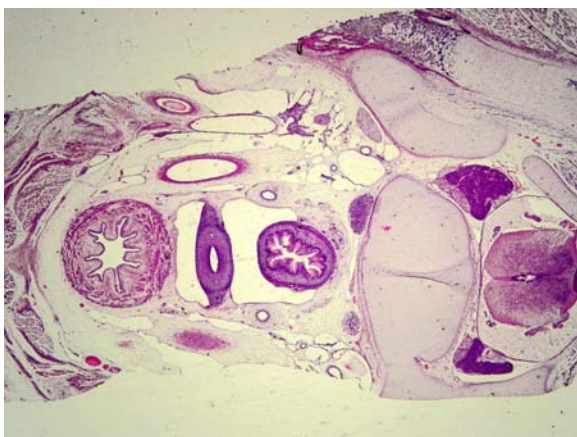
3.7.1 Mikrofotografie



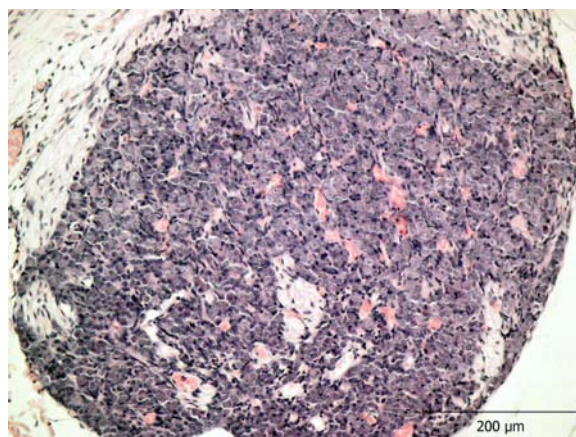
Obr. 124: Genitální valy, falus, chrupavky ramének stydkých kostí, močový měchýř, rektum, tělo obratle.



Obr. 125: Močový měchýř, děloha, Douglassův prostor, rektum, prevertebrální a spinální ganglia, tělo obratle, mícha.

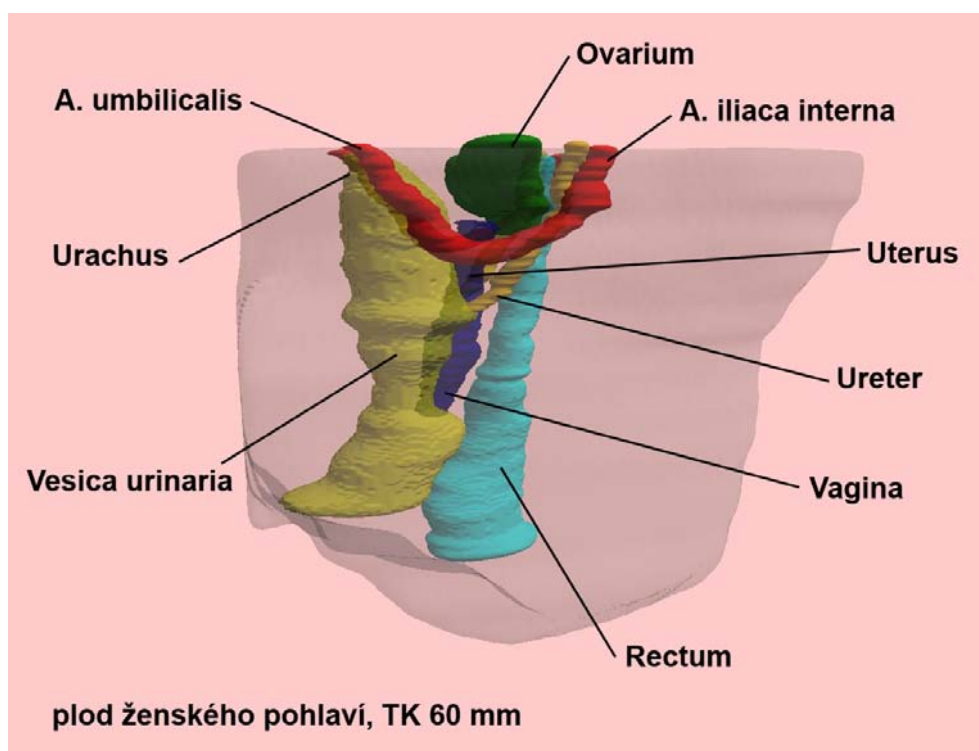


Obr. 126: Močový měchýř, děloha, Douglassův prostor, rektum, prevertebrální a spinální ganglia, tělo obratle, mícha.

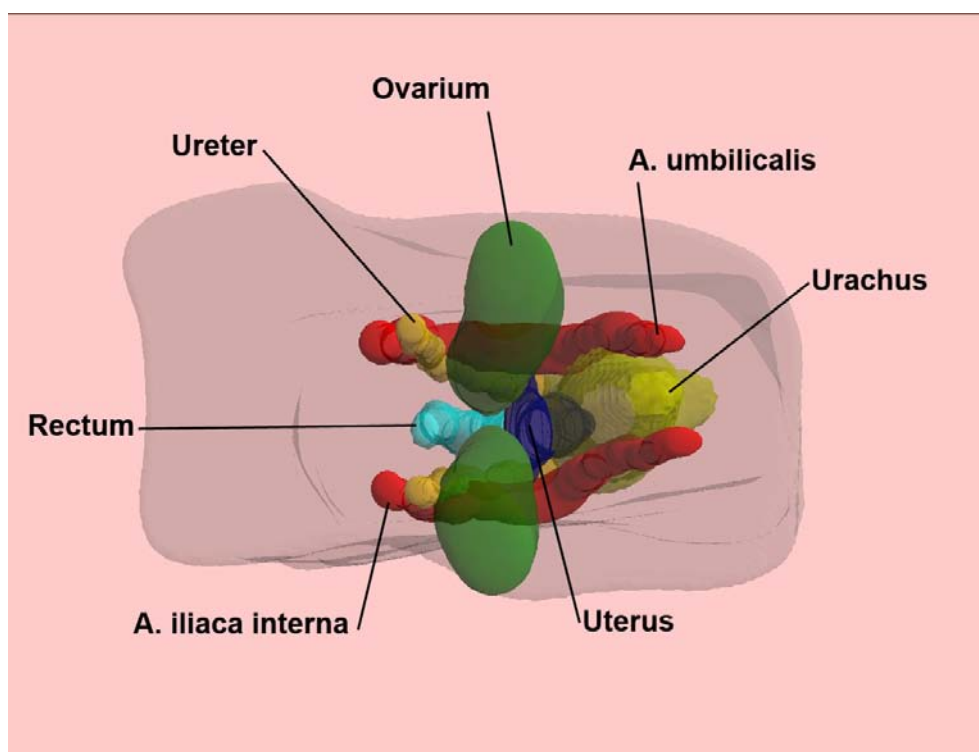


Obr. 127: Spinální ganglion.

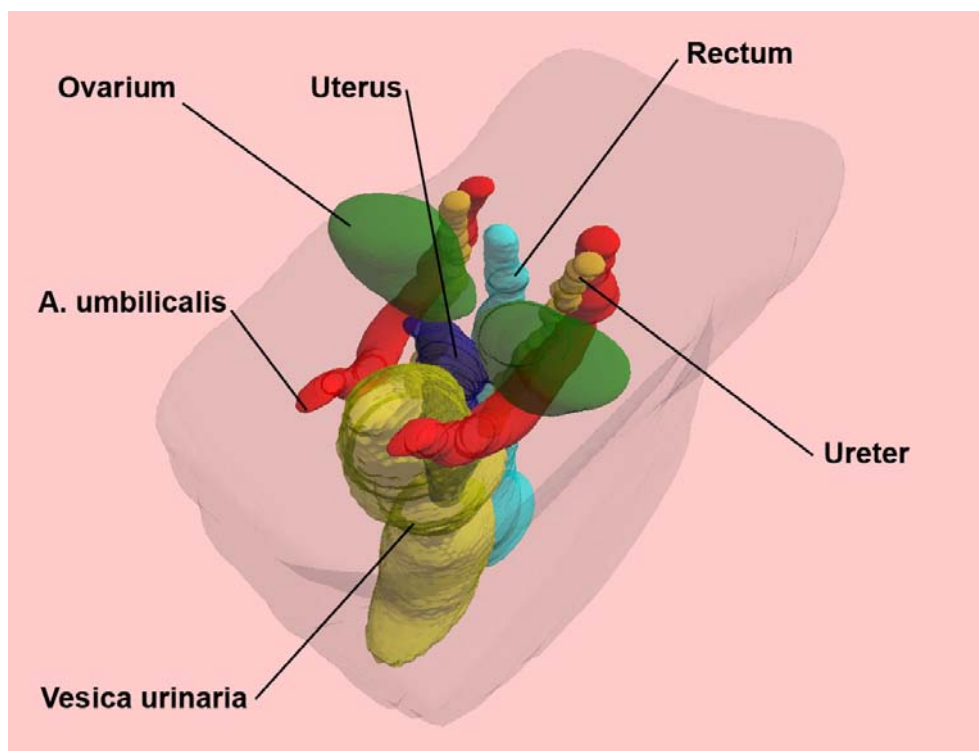
3.7.2 Rekonstrukce



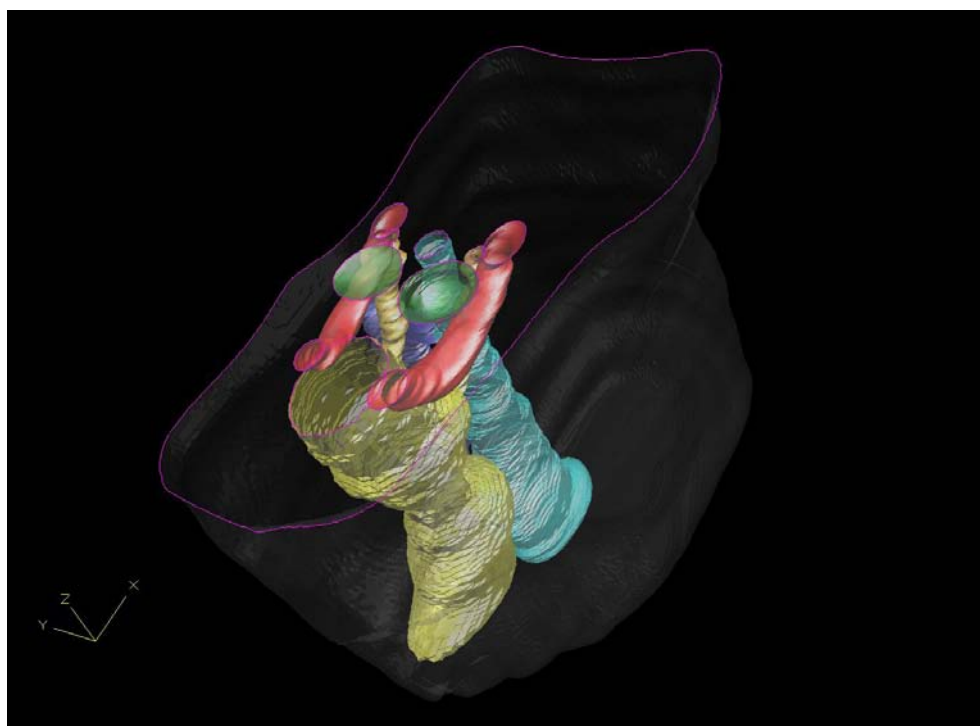
Obr. 128: Levý laterální pohled.



Obr. 129: Pohled kraniokaudálním směrem.



Obr. 130: Pohled z levé přední strany směrem dorzokaudálním.



Obr. 131: Simulace axiálního řezu rekonstrukcí.

4 Závěr

Projekt se zabýval trojrozměrnou rekonstrukcí povrchu těla a orgánů 4 zárodků a plodů člověka (temenokostrční délka 19, 27, 58 a 60 mm) a 3 plodů hlodavce druhu norník rudý (temenokostrční délka 16 mm) ze sbírek Ústavu histologie a embryologie LF UK v Plzni a mikroskopickou dokumentací řezů korespondujících s rekonstrukcemi. Výsledky byly publikovány na anatomickém sjezdu [32], zpřístupněny formou WWW stránek a tištěné brožury studentům a slouží k podpoře výuky embryologie v pregraduálním studiu všeobecného/zubního lékařství. Studenti nyní mají možnost lépe chápat vývojová schémata a projekce předkládané při přednáškách z embryologie i embryologické preparáty studované během praktických cvičení. Výsledky jsou spolu s komentářem volně zpřístupněny pro nekomerční využití i odborné veřejnosti.

Literatura

- [1] Butler H., Juurlink B. H. J. (1987): An atlas for staging mammalian and chick embryos. CRC Press, Boca Raton.
- [2] Cochard L.R. (2002): Netter's Atlas of Human Embryology. Icon Learning Systems, New Jersey.
- [3] Ecker P., Ecker G., Butler C.D., Mathers L.H., Wilson D.: Simbyo. <http://simbyo.stanford.edu/>
- [4] England M. A. (1996): Life before birth. 2nd edition. Mosby-Wolfe, London.
- [5] Gaunt P. N., Gaunt W.A. (1978): Three dimensional reconstruction in biology. Pitman Medical Publishing Co., Tunbridge Wells.
- [6] Hansson L. (1990): Breeding of captive bank voles (*Clethrionomys glareolus*) related to dynamics of source populations. *J. Reprod. Fertil.*, 89: 769–772.
- [7] Hinrichsen, K. V. (ed.) (1990): Humanembryologie. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [8] Christ B., Wachtler F. (1998): Medizinische embryologie. Ullstein Medical Verlagsgesellschaft, Wiesbaden.
- [9] Jirásek J. E. (1998): Prenatal development: growth, differentiation, and their disturbances. In: Sciarra J. J. (ed): Gynecology and Obstetrics. Vol.2. Chap. 14: 1–16. Revised edition. Lippincott-Raven Publishers, Philadelphia.
- [10] König H.E., Liebich H.G. (2003): Anatomie domácích savců, 1. + 2. díl. Hájko & Hájková, Bratislava.
- [11] Larsen W. J. (1997): Human Embryology. 2nd edition. Churchill Livingstone, New York.
- [12] Mall F. P. (1914): On stages in the development of human embryos from 2 to 25 mm long. *Anat. Anz.*, 46: 78–84.
- [13] Maretta M. (1992): Fundamentals of veterinary embryology. Vysoká vojenská letecká škola SNP (for the University of Veterinary Medicine in Košice), Košice.
- [14] Matsumura G., England M. A. (1999): Embryology colouring book. Mosby (An imprint of Harcourt Publishers Ltd.).
- [15] Míšek I. (1988): Ontogeneze oční koule u nidikolních savců. *Scr. Med.*, 61: 183 (Zpráva o činnosti brněnské pobočky Čs. společnosti biologické při ČSAV v roce 1987).
- [16] Míšek I. (1991): Srovnání vývoje dentes postcanini u vybraných drobných savců. In: Plzeň. lék. Sborn., Suppl. 63: 253–254.
- [17] Moore K. L., Persaud T. V. N. (1998): Before We Are Born. W. B. Saunders, Philadelphia.
- [18] Moore K.L., Persaud V.P.N. (1998): Developing Human: Clinically Oriented Embryology. W.B. Saunders Company, Philadelphia.

- [19] Nejedlý. K. (1965): Biologie a soustavná anatomie laboratorních zvířat. SPN, Praha.
- [20] O’Rahilly (1972): Guide to the staging of human embryos. *Anat. Anz.*, 130: 556–559.
- [21] Otis E. M., Brent L. (1954): Equivalent ages in mouse and human embryos. *Anat. Rec.*, 120: 33–63.
- [22] Ozdzenski W. , Mystkowska E. T. (1976): Implantation and early postimplantation development of the bank vole *Clethrionomys glareolus*, Schreber. *J. Embryol. exp. Morph.*, 35: 535–543.
- [23] Popesko P., Rajtová V., Horák J. (1990): Atlas anatomie malých laboratorních zvířat. 2. Potkan, myš, chrček zlatý. Příroda, Bratislava.
- [24] Sadler T.W. (2004): Langman’s Medical Embryology. 9th edition. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore.
- [25] Streeter G. L. (1920): Developmental stages in human embryos, including a survey of the Carnegie collections. Part A. Embryos of the first three weeks (Stages 1 to 9). Carnegie Institute of Washington, Washington, D. C. – cit. dle Butler H., Juurlink B. H. J. (1987): An atlas for staging mammalian and chick embryos. CRC Press, Boca Raton.
- [26] Streeter G. L. (1951): Developmental horizons in human embryos. Age groups XI to XXIII. Collected papers from the Contributions to embryology published by the Carnegie Institution of Washington. Carnegie institution of Washington, Washington, D. C.
- [27] Štěrba O. (1976): Prenatal development of microtine rodents. *Acta Sc. Nat. Brno*, 10: 1–41.
- [28] Štěrba O. (1977a): Prenatal development of selected altricial and precocial rodents. *Acta Sc. Nat. Brno*, 11: 1–36.
- [29] Štěrba O. (1983): Prenatální růst a vývoj modelových druhů savců. Manuskript, Autoreferát disertační práce. Ústav pro výzkum obratlovců ČSAV, Brno.
- [30] Štěrba O. (1995): Staging and ageing of mammalian embryos and fetuses. *Acta vet. Brno*, 64: 83–89.
- [31] Štěrba O., Míšek I. (1982): Prenatal development of dentition in *C. glareolus* and *P. subterraneus*. *Fol. Zool. Brno*, 31: 123–126.
- [32] Tonar Z., Nedorost L., Kočová J. (2006): Three-dimensional reconstructions in lectures on embryology. – In: Naňka O., Grim M. (Eds): Abstract Book of the 43rd International Congress on Anatomy and 43rd Lojda Symposium on Histochemistry: Morphology 2006, p. 162. Czech Anatomical Society.
- [33] Vacek Z (2006): Embryologie pro studenty lékařství. Grada, Praha.
- [34] http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html
- [35] Wolf J. (1954): Mikroskopická technika. SZdN, 428, Praha.