



Trojrozměrné rekonstrukce ve výuce embryologie

Zbyněk Tonar, Lukáš Nedorost, Jitka Kočová

Ústav histologie a embryologie Lékařské fakulty UK v Plzni

zbynek.tonar@lfp.cuni.cz



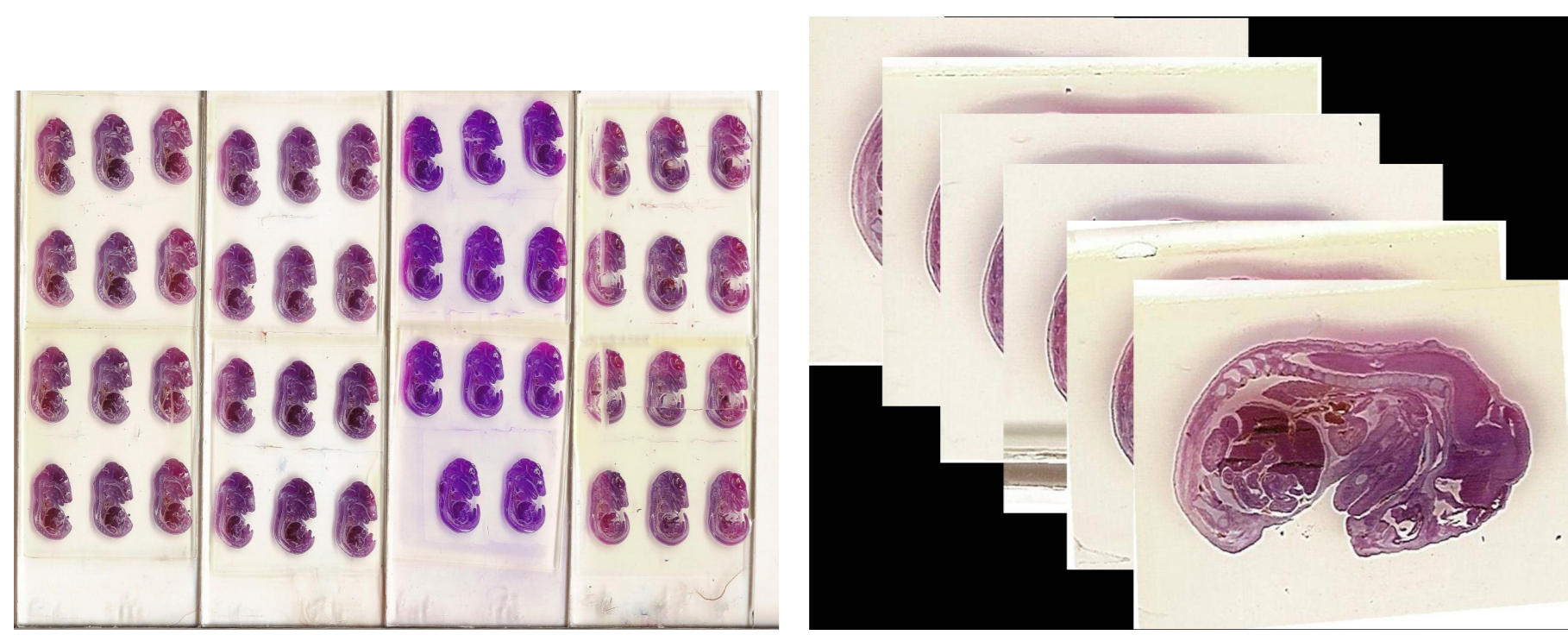
Úvod

Ve výuce morfologických oborů je běžné používání trojrozměrných počítačových rekonstrukcí, v humánní anatomii založené zejména na projektu Visible Human Male/Female (National Institute of Health, Bethesda, MD, USA). Pro potřeby výuky embryologie jsou k dispozici některé komerční produkty s 3-D rekonstrukcemi člověka, myši apod., jejich širšímu použití ve výuce (včetně studentů často požadovaného zveřejnění na lokální počítačové síti) však často brání licenční podmínky či cena. Odpovídající demonstrace trojrozměrných vztahů byt jen vybraných ontogenetických stadií je ve výuce tohoto předmětu dosud skrovná.

Cílem práce bylo osvojit si techniku trojrozměrných rekonstrukcí vycházejících ze sérií řezů vybranými zárodky a plody tak, aby výsledkem byly didakticky použitelné počítačové modely s dostatečným prostorovým rozlišením.

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.

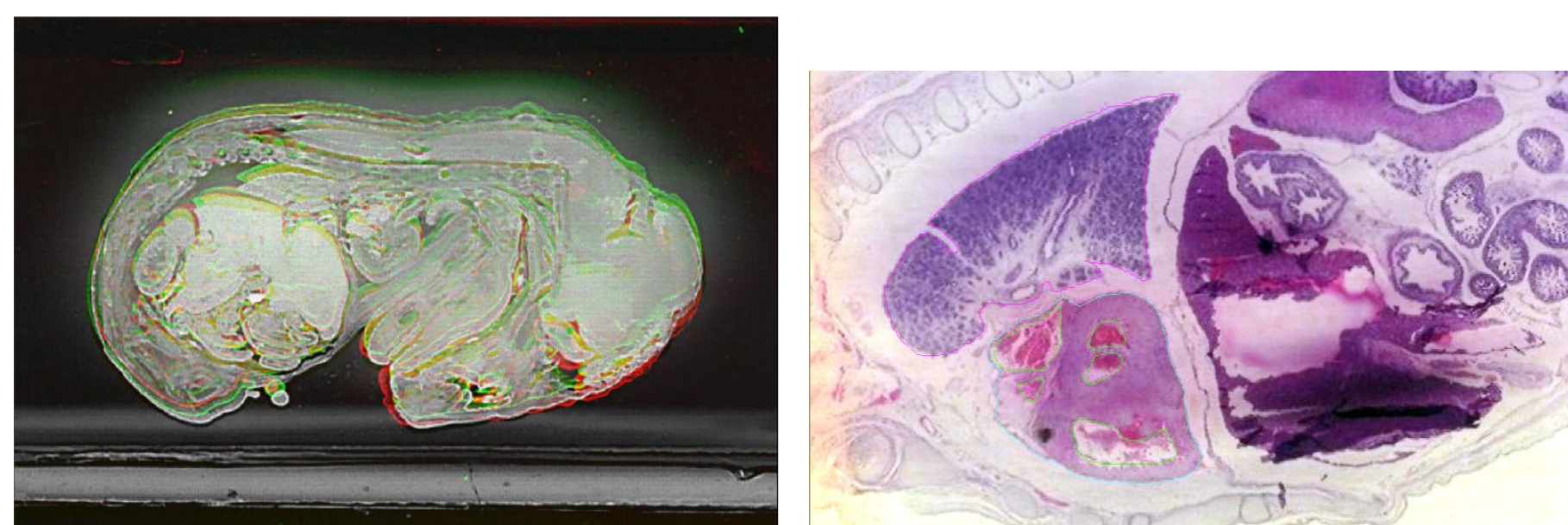


Obr. 1: Část naskenované série *Clethrionomys glareolus*, 16 mm TK.

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

2. 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).

3. Hlavní přípravnou fází je registrace obrazů, tj. snaha o restituci řezů do stavu před rozkrájením. Při delších sériích se nevyhne manuální korekcí (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).

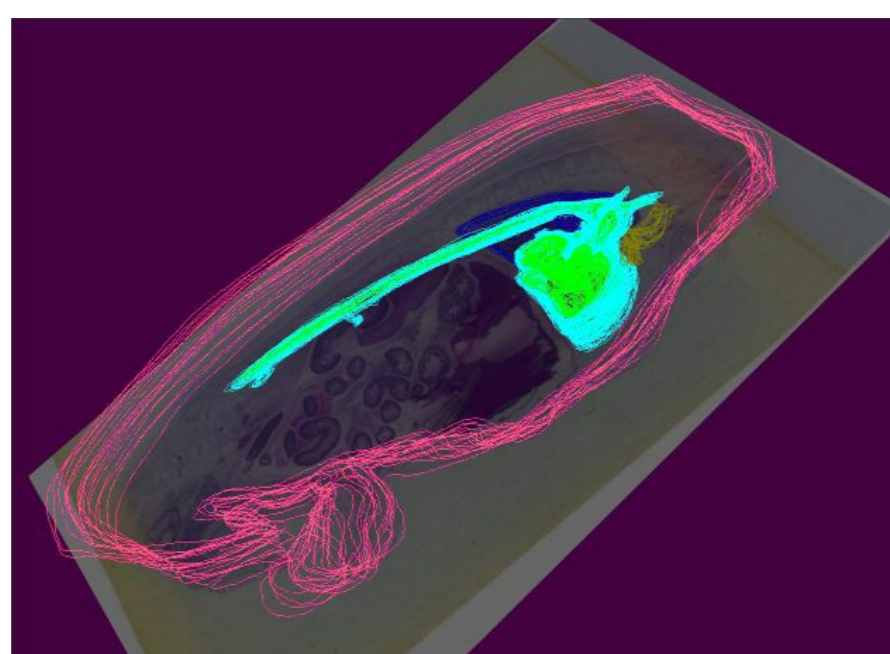


Obr. 3: Do úrovně aktuálního řezu (bílé) se promítá i řez předchozí (zeleně) a následující (červeně).

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

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

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



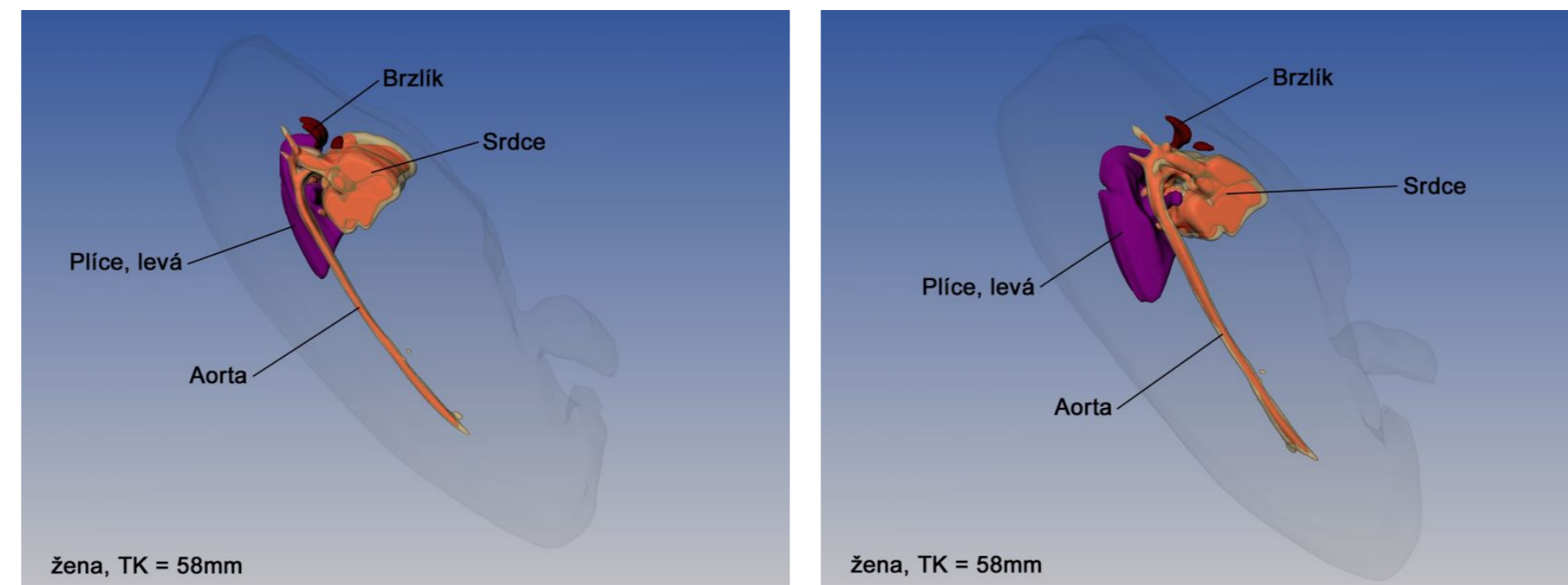
Obr. 5: Obrazy jednotlivých řezů separované ze sklíček a sružené zpět do série.

6. Rekonstrukci povrchu zobrazíme modulem Surface. V něm volíme pro každou třídu nastavení průhlednosti, stupně vyhlazení, barvu, intenzitní práh pro zobrazení, kvalitu (a tím i výpočetní náročnost) rekonstrukce (zvláště pro XY a zvláště 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.

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 užitečné např. pokud máme u různých orgánů různé odstupy mezi sousedními konturami (u orgánů s menší nepravidlostí nebývá nutné segmentovat kontury v každé rovině).

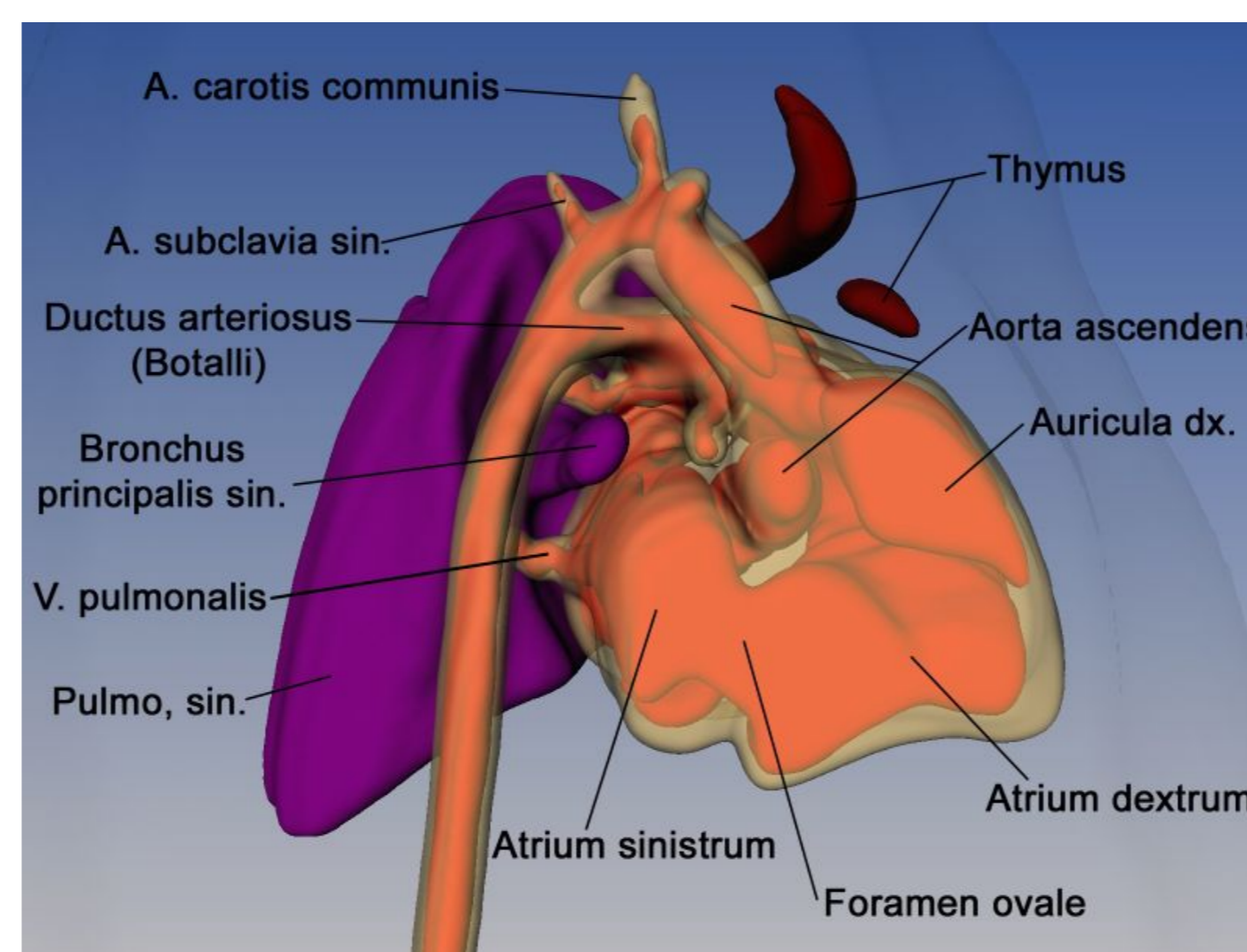
8. Rekonstruované objekty exportujeme do formátu VRML, který lze prohlížet volně dostupnými programy, např. SIM VRMLview, Model Press Reader, respektive i internetovými prohlížeči po nainstalování pluginů Cortona VRML Client.

Ukázky výsledků

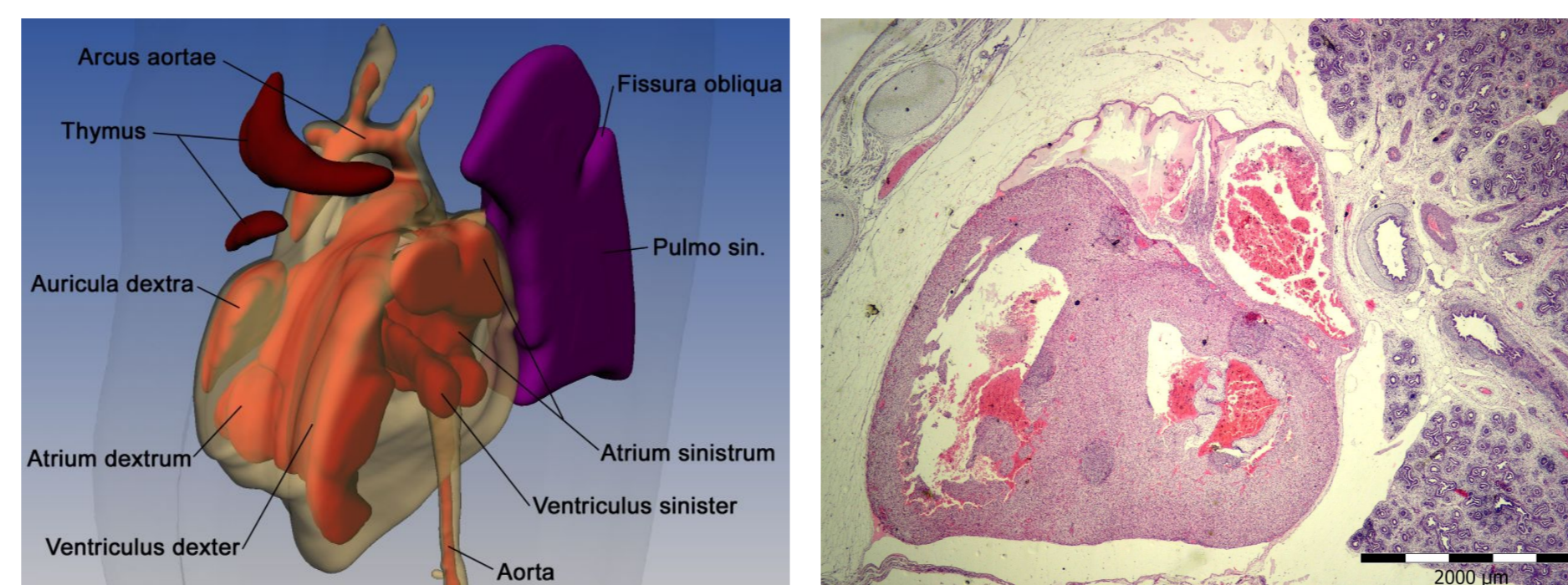


Obr. 6: Sagitální řez rekonstrukcí plodu ženského pohlaví (58 mm TK) sestávající z 200 řezů.

Obr. 7: Dto, též Obr. 6-19.

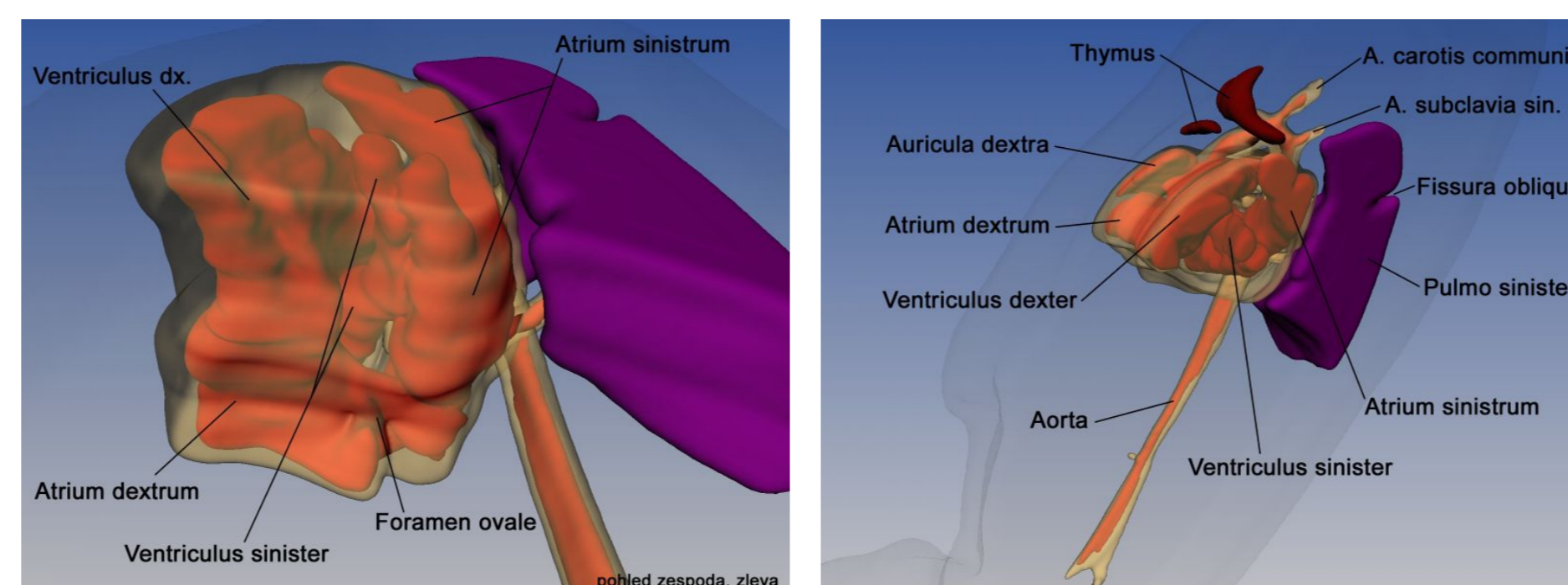


Obr. 8: Rekonstrukce srdečních oddílů plodu TK 58 mm.



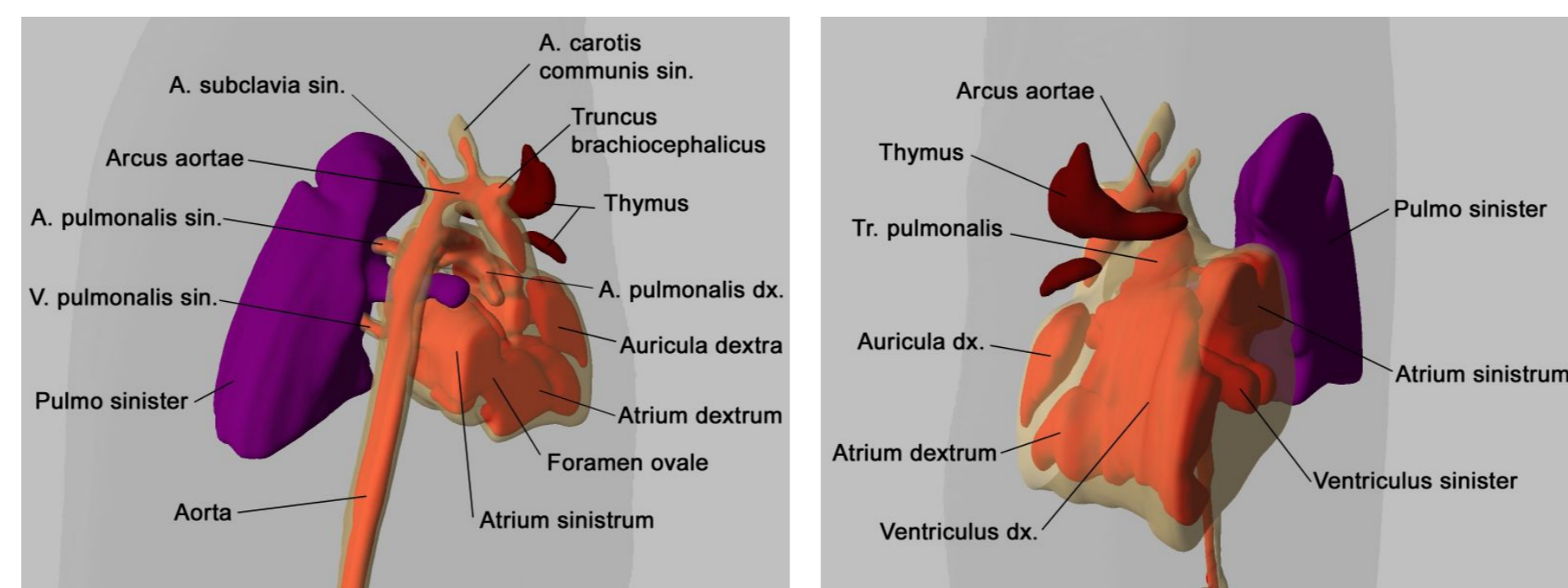
Obr. 9: Dto.

Obr. 10: Mikrofotografie téhož plodu.



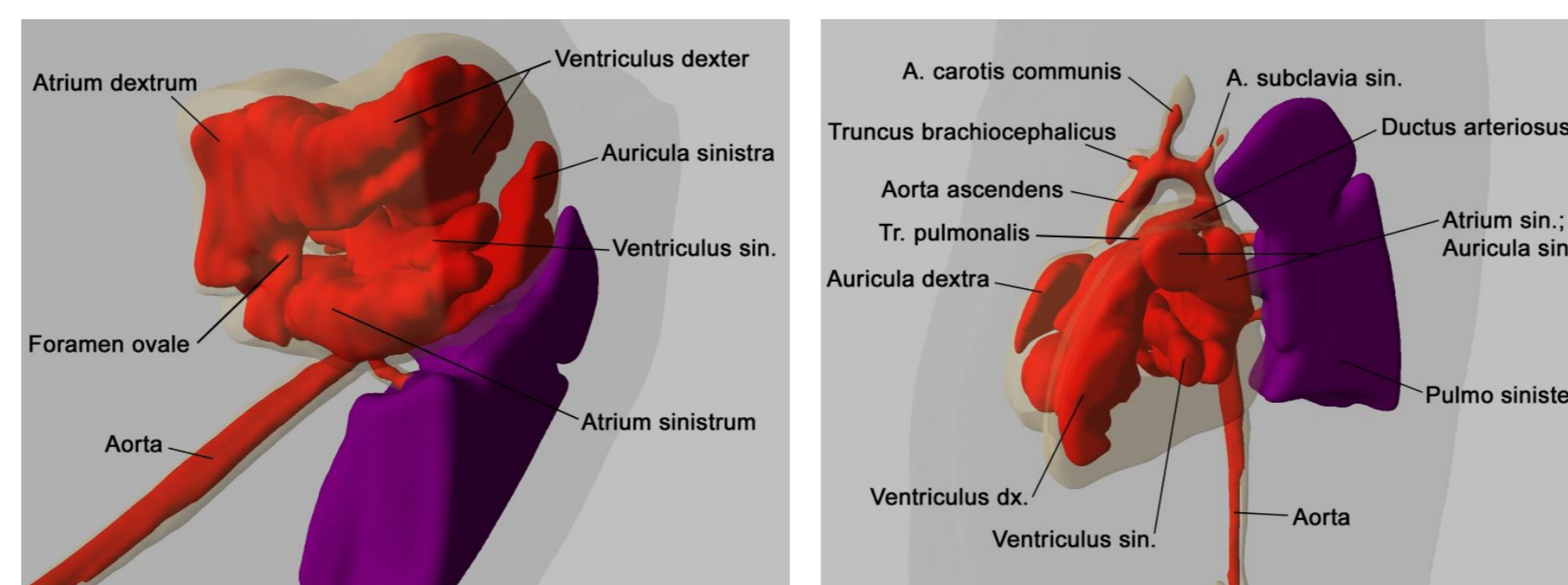
Obr. 11: Žena 58 mm TK, rekonstrukce vnitřku srdečních oddílů.

Obr. 12: Dto.



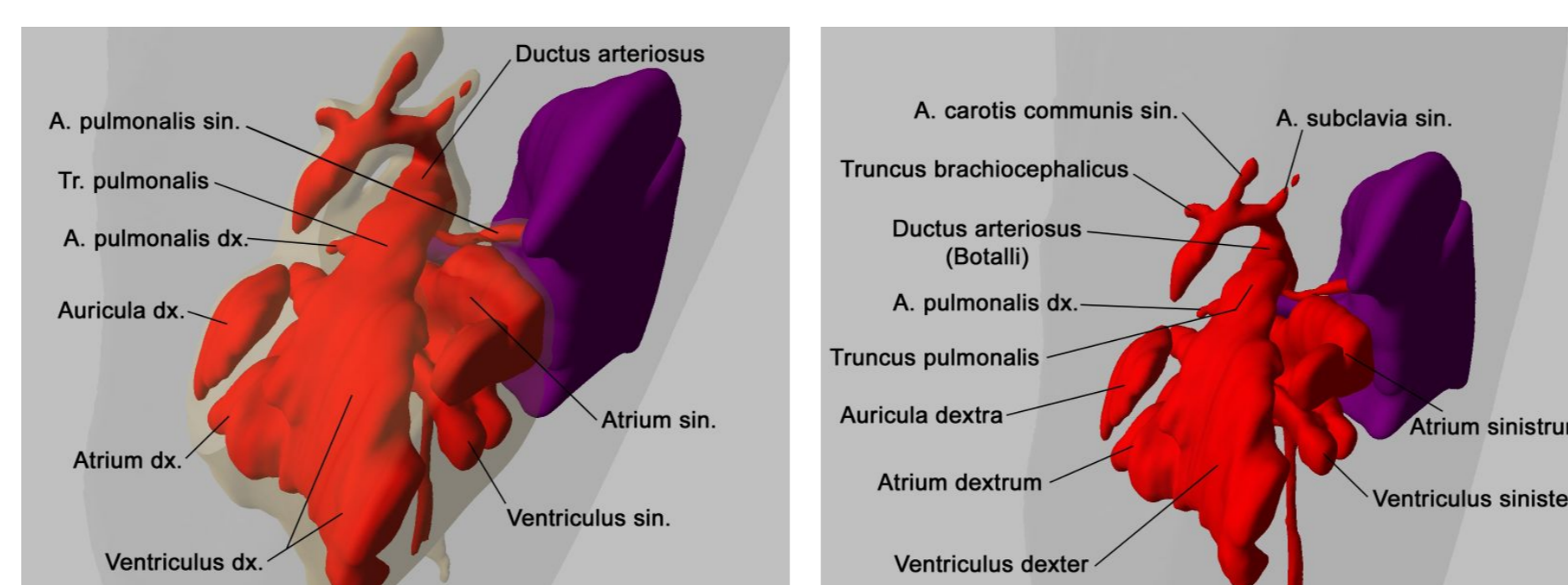
Obr. 13: Žena 58 mm TK, dorzolaterální pohled na sagitální řez.

Obr. 14: Ventrolaterální pohled.



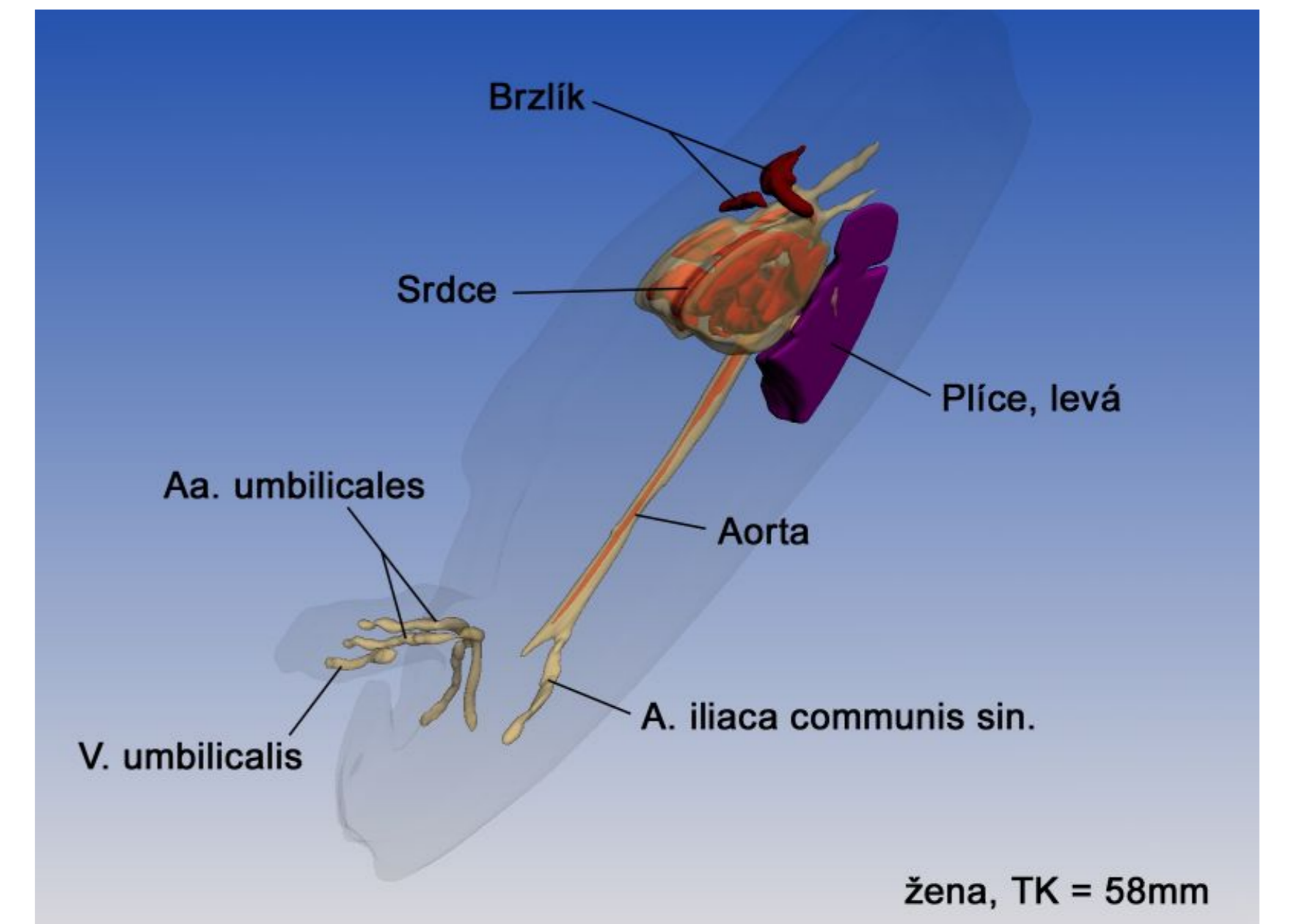
Obr. 15: Žena 58 mm TK.

Obr. 16: Dto.

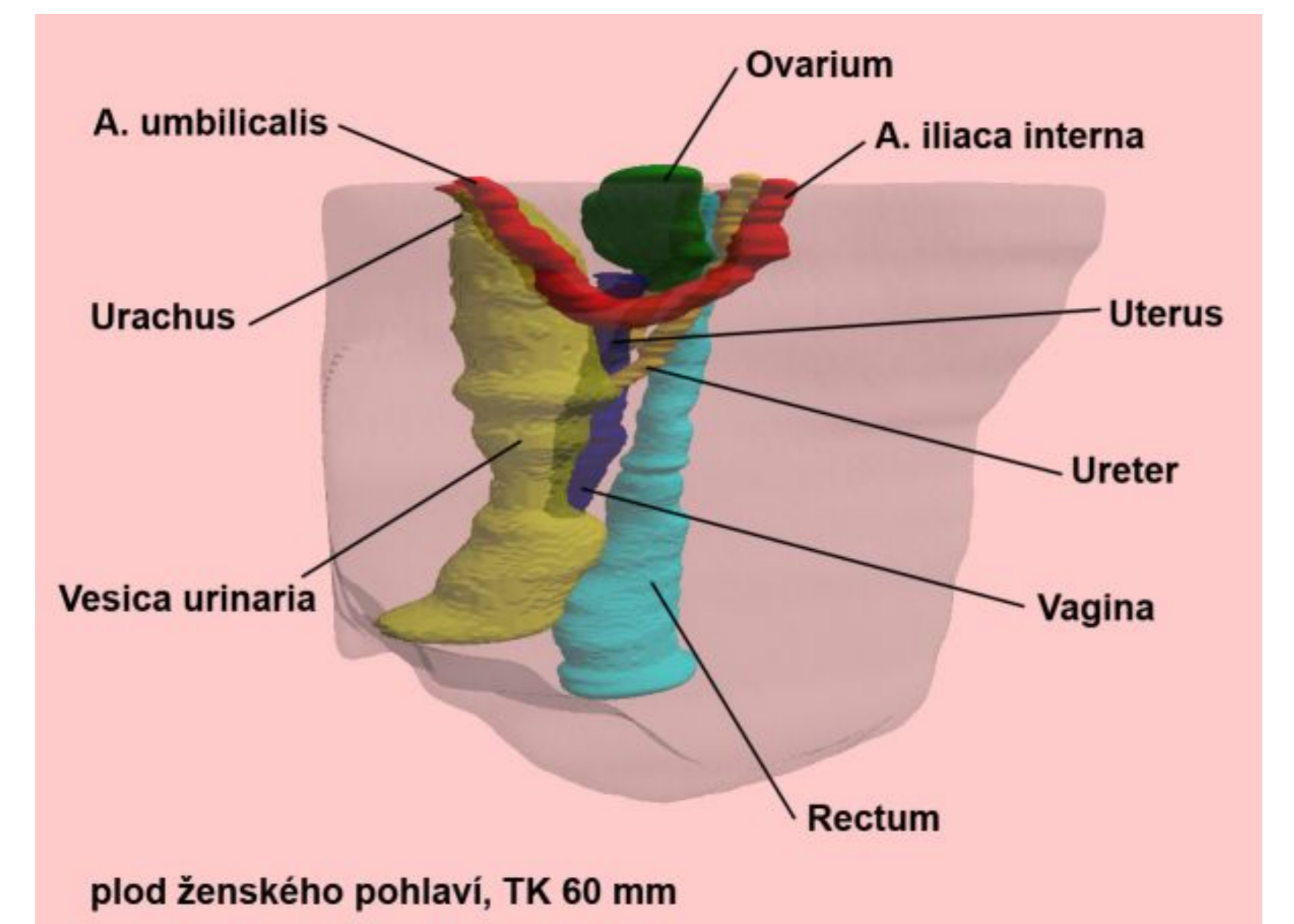


Obr. 17: Žena 58 mm TK, pohled dorzokaudálním směrem.

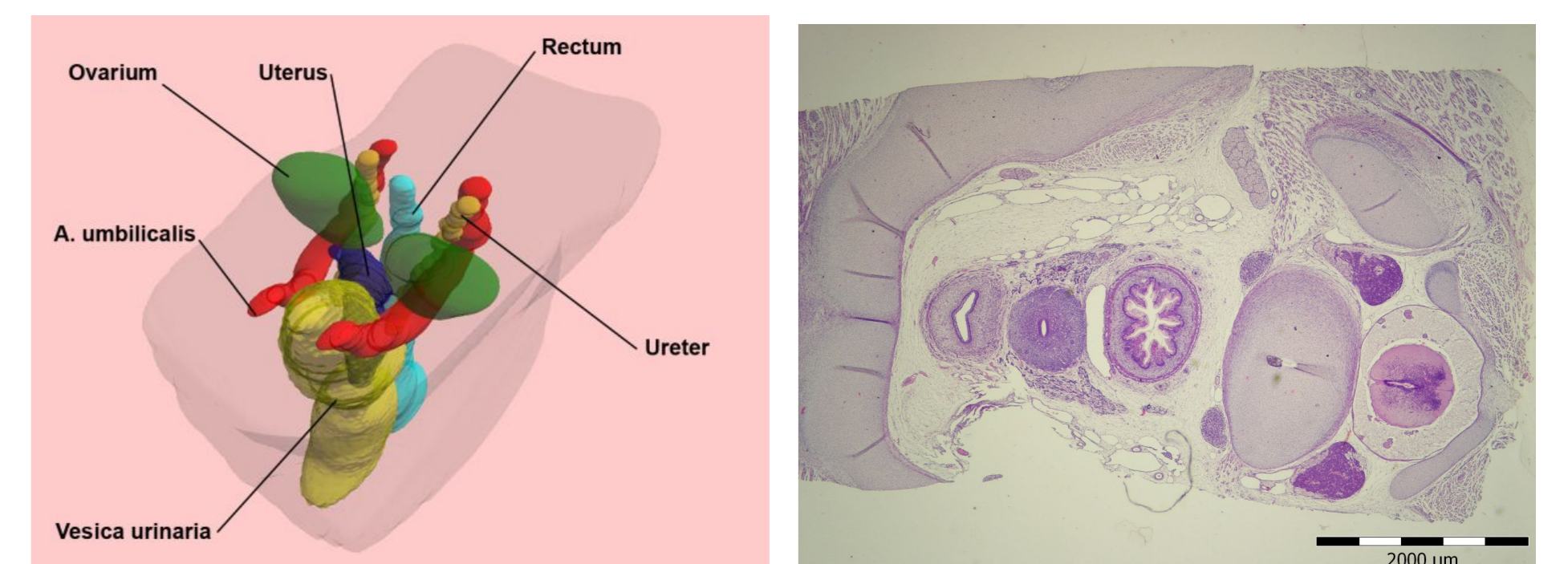
Obr. 18: Dto.



Obr. 19: Celkový pohled na rekonstrukci plodu ženského pohlaví, 58 mm.

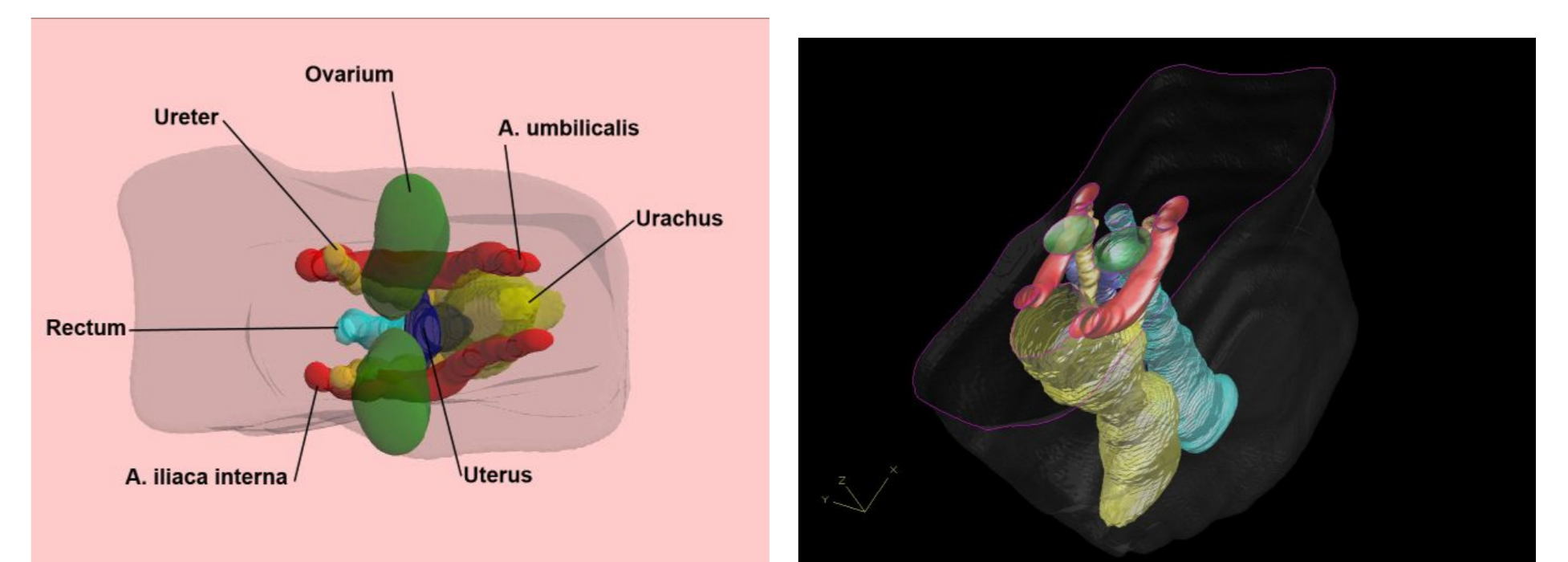


Obr. 20: Laterální pohled na rekonstrukci pánve plodu ženského pohlaví (58 mm TK) založenou na 762 řezech.



Obr. 21: Pohled směrem dorzokaudálním.

Obr. 22: Histologický transverzální řez.



Obr. 23: Pohled kadální směrem na rekonstrukci téhož plodu.

Obr. 24: Simulace axiálního řezu.

Diskuse

• Není nutné vždy rekonstruovat celé tělo zárodku/plodu. Kompromisem mezi kvalitou a pracností může být někdy rekonstrukce např. převážně jen pravé či levé poloviny těla (u sagitálních sérií) s přesahem na druhou stranu.

• 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.

• Demonstrováný postup využívá v maximální možné míře volně dostupný software. Pro segmentaci a rendering byl použit komerčně dostupný program a PC parametry běžné pracovní stanice.

Závěr

Výsledky těchto a dalších rekonstrukcí budou studentům i odborné veřejnosti přístupné na webových stránkách pracoviště na <http://www.lfp.cuni.cz/histologie> v sekci „Výuka“ nejpozději v prosinci 2006.

Poděkování:

Studie byla podpořena grantem FRVŠ G3/893 2006.