

Cílení stereotaktické radioterapie komorových tachykardií pomocí fúze elektroanatomických map a CT modelů

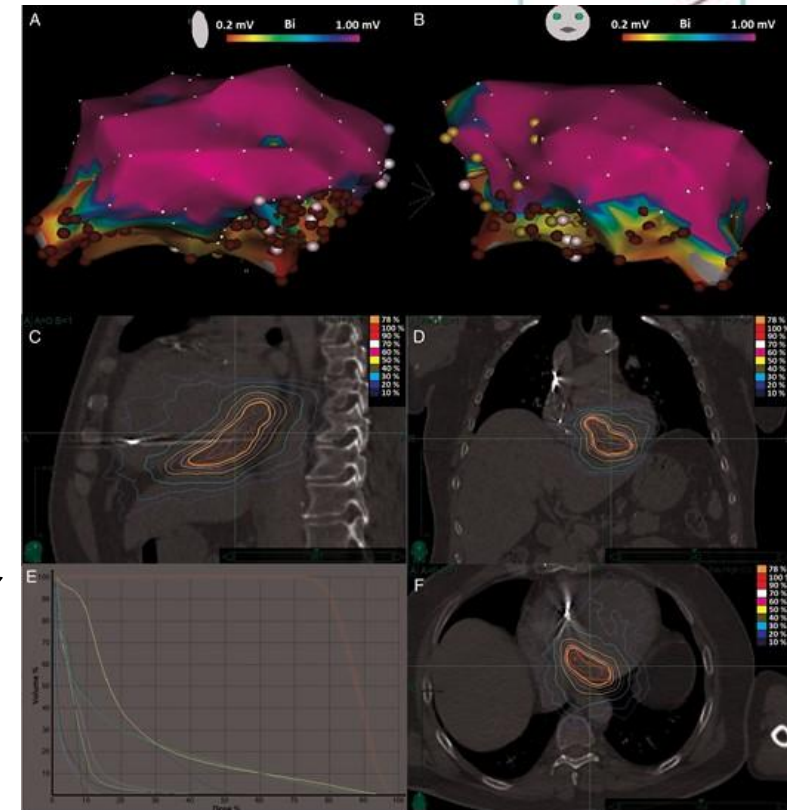
Jan Hečko

Cíle disertační práce

- Analýza současného stavu vyznačování finálního substrátu při SBRT.
- Návrh vlastní metodiky lokalizace arytmogenního substrátu.
- Vytvoření převodního algoritmu pro export dat z elektroanatomického software s aplikací do vlastního řešení.
- Segmentace a spojení 3D dat s následným vyznačením finální arytmogenního objemu.
- Analýza a srovnání původních zaměřovacích plánů a vyznačených objemů dle metodiky.
- Vyhodnocení dosažených výsledků a návrh dalšího postupu vývoje řešené problematiky.

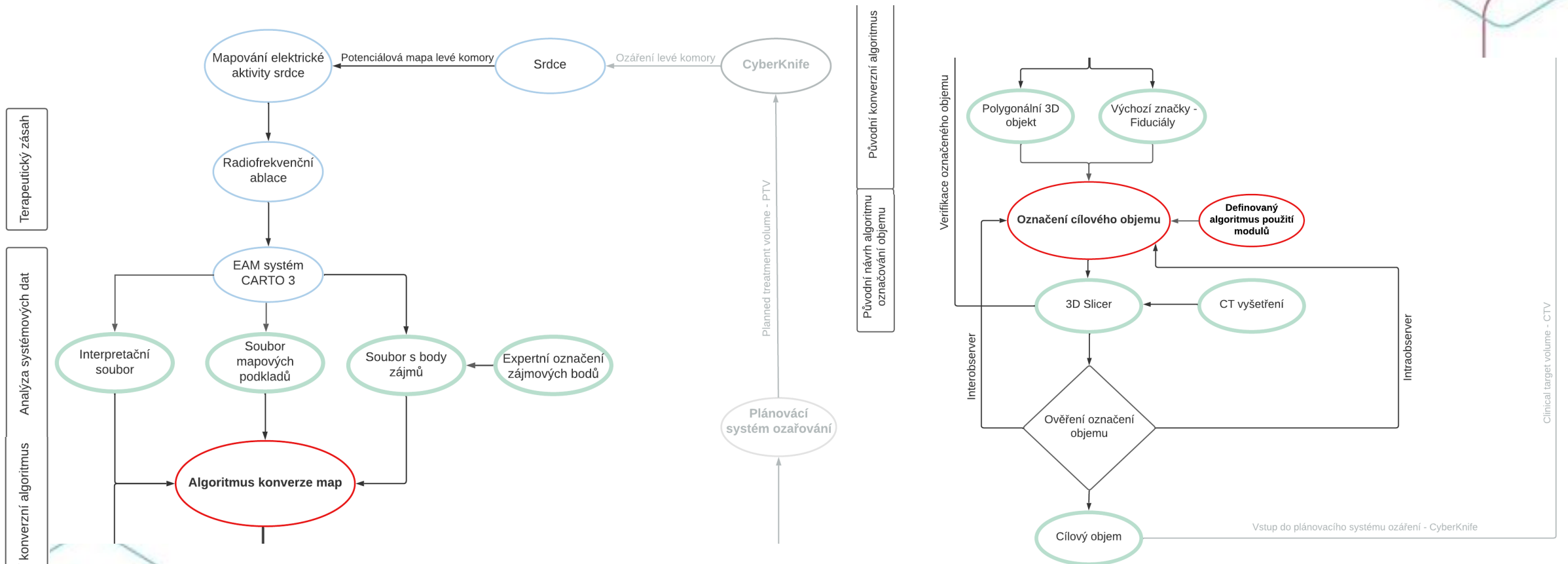
Úvod do dané problematiky

- Léčba komorových tachykardií
 - Léčba odstranitelných příčin
 - Impulsoterapie
 - Farmakologická
 - Nefarmakologická léčba
 - Katetrizační ablace, Chirurgická ablace, Mechanická podpora, HTx
- Stereotaktická radioterapie pro léčbu komorových tachykardií
 - Pilotní studie – původní označování
 - Vstupní data
 - DICOM snímky, EAM studie
 - Kohorta 10 pacientů



Obr. 1 – Původní plánování radioterapie

Návrh vlastní metodiky označování arytmogenního substrátu



Obr. 2 – Vývojový diagram návrhu a realizace metodiky označování finálních objemů do CT

Návrh převodního algoritmu

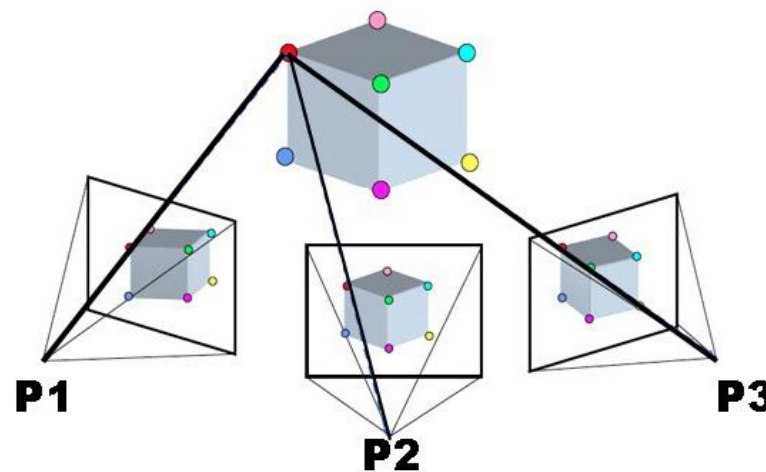
Zkoumání možností:

Fotogrammetrie – nevhodné

- Bez měřítkový model
- Ignorování zkosení pohledů
- Chybějící informace o hloubce, a jiné.

Export RAW (systémových dat)

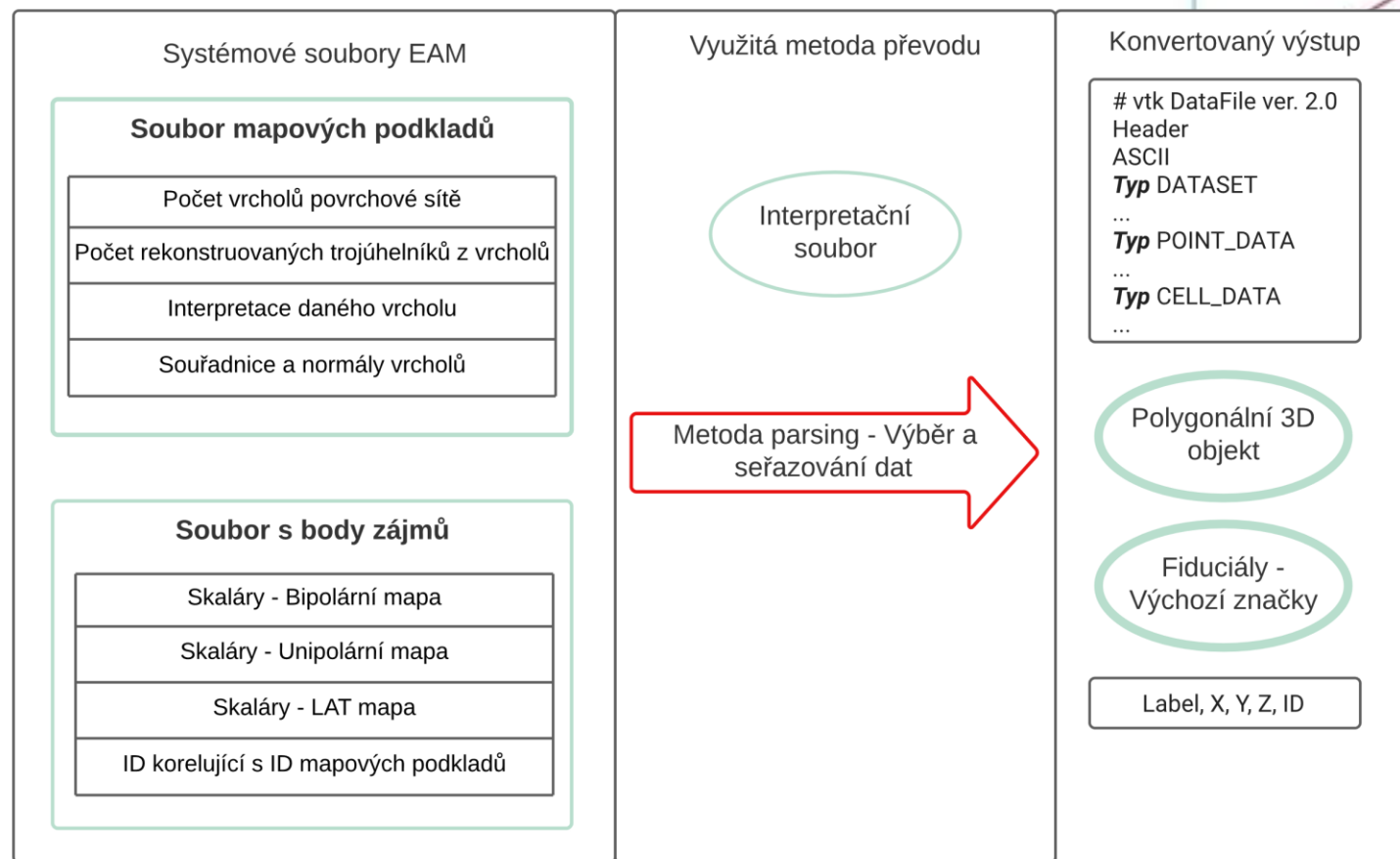
- Interpretační soubor
- Soubor mapových podkladů
- Soubor s body zájmů



Obr. 3 – Princip fotogrammetrie

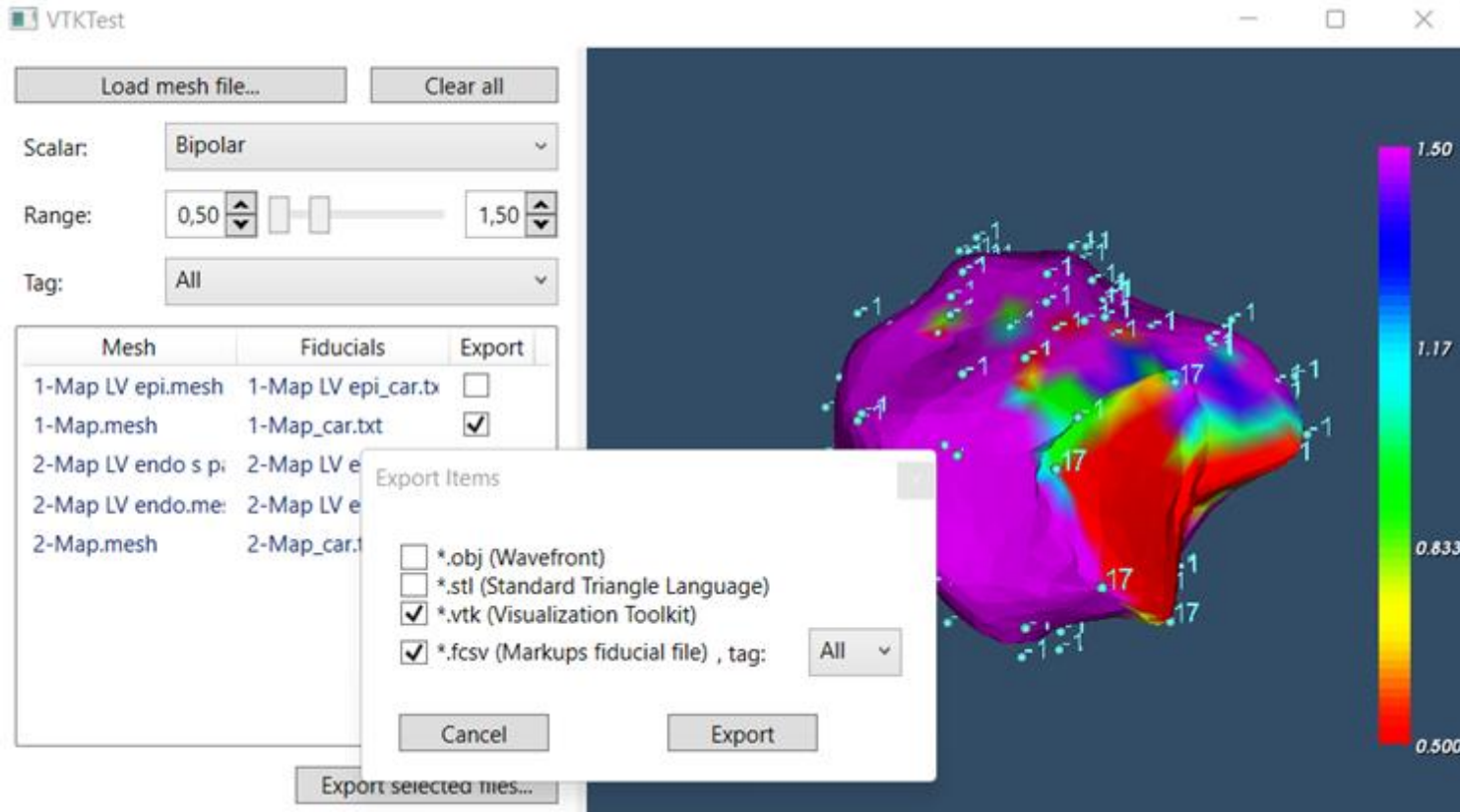
Realizace převodního algoritmu

- Export systémových souborů
- Manuální ověření funkce
- Metoda *parse*
- Výstupní soubory

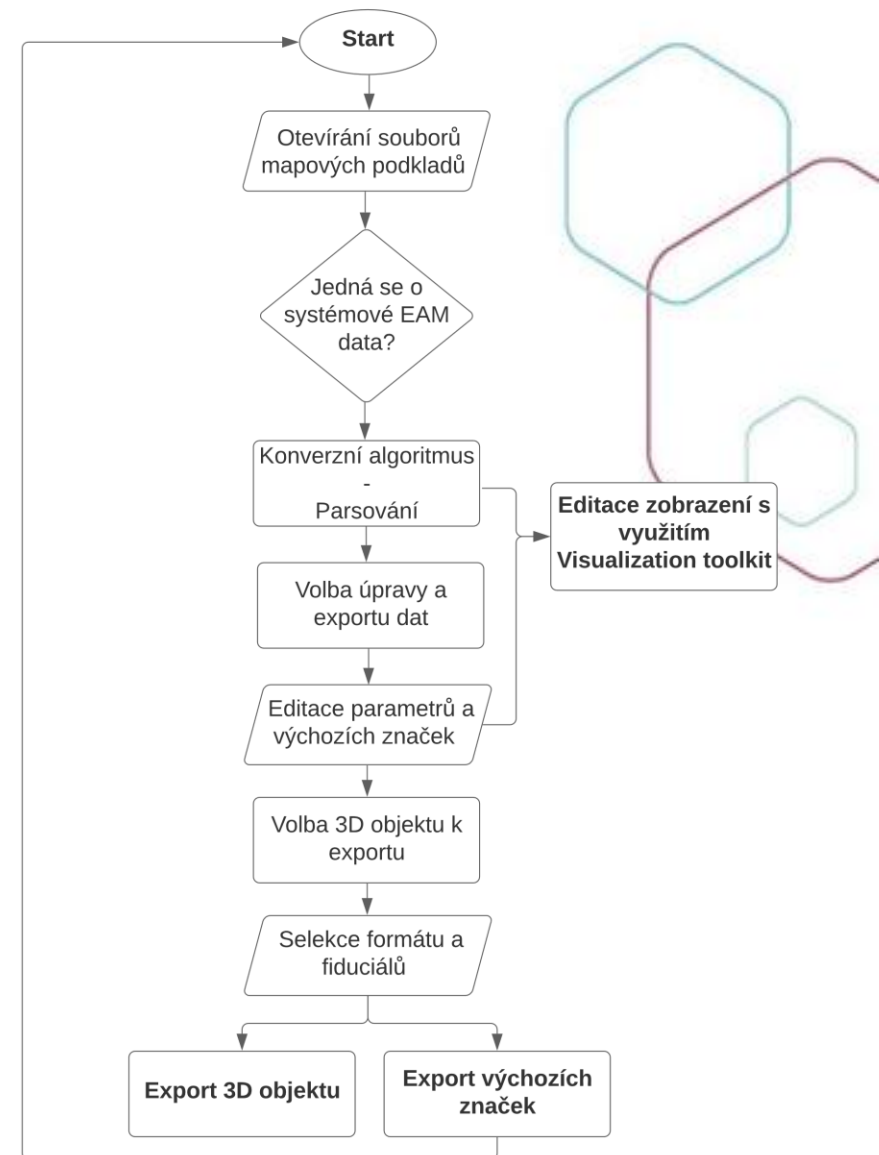


Obr. 4 – Návrh konverzního algoritmu

Implementace převodního algoritmu do vyvinutého SW



Obr. 5 – Vzhled finálního software s implementací konverzního algoritmu pro převod mapových podkladů

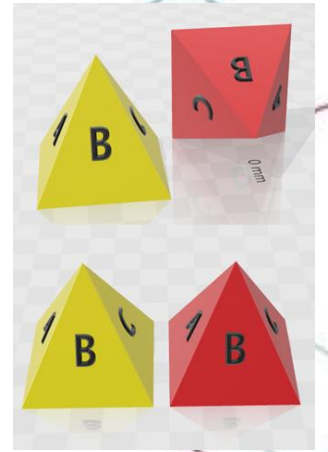


Obr. 8 – Diagram funkce SW

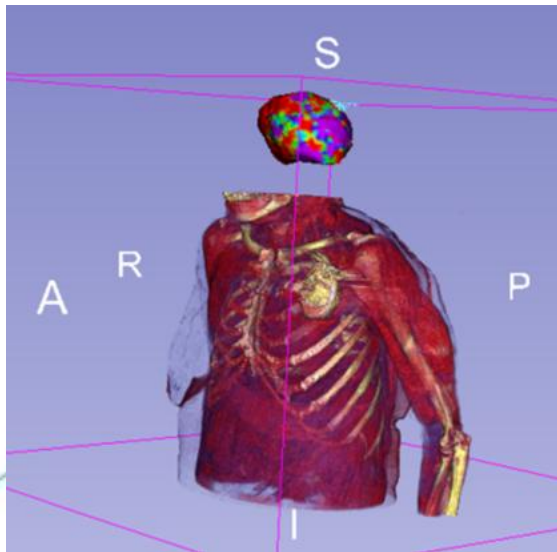
Návrh označování finálního ozařovaného objemu

- Expertní nastavení inicializace - korekce souřadnicových systémů.
- Sekvence ověřených kroků v systému 3D Slicer.
- Vyznačení cílového objemu CTV.

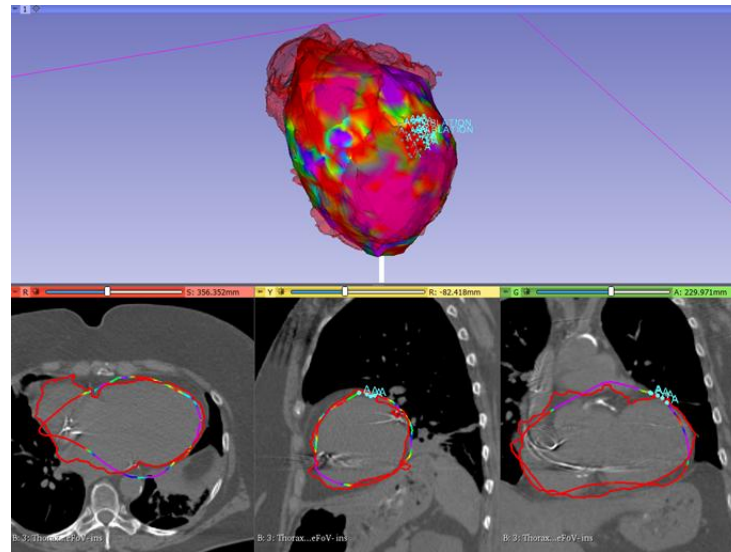
$$EAM_{final} = (-90LR, 180PA, IS)$$



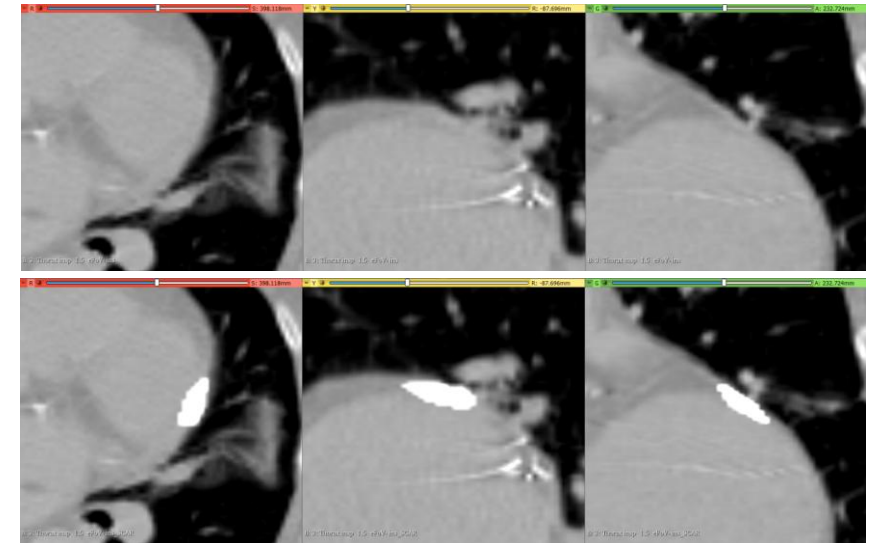
Obr. 9 – Problematika rozdílných souřadnicových systémů



Obr. 6 – Rozdíl poloh CT a EAM mapy



Obr. 7 – Spojení EAM a CT



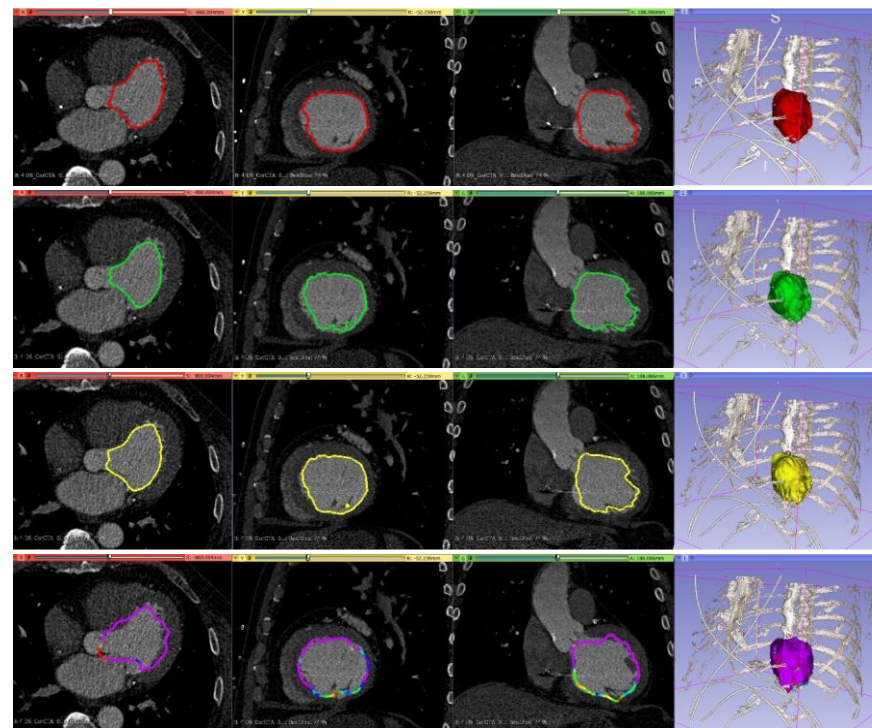
Obr. 8 – Finální vyznačení CTV

Intraobserver variabilita – CT LVx vs EAM LV

- Porovnávání segmentovaných LK se spojenou EAM – 3 měření (provedení metodiky) s odstupem 8 hodin od pozorovatele 1.

Intraobserver porovnání - CT LV vs EAM LV							
					Rozdíl souřadnic těžiště (mm)		
Pacient	DSC*	SD	Průměrná Hausdorffova vzdálenost (mm)*	SD	X**	Y**	Z**
1	0,86	0,03	2,88	0,43	1,63	1,50	0,17
2	0,83	0,01	3,43	0,12	0,83	1,15	1,19
3	0,82	0,02	3,23	0,27	0,34	0,39	0,80
4	0,88	0,01	2,63	0,23	0,69	1,09	0,66
5	0,88	0,00	2,53	0,08	0,80	1,07	1,07
6	0,76	0,02	4,71	0,60	2,51	1,92	1,32
7	0,85	0,01	3,11	0,15	0,71	0,98	1,24
8	0,86	0,02	3,08	0,50	1,29	1,56	1,18
9	0,80	0,01	3,73	0,13	1,50	0,76	1,20
10	0,85	0,02	3,04	0,58	2,10	1,19	1,04
Průměr	0,84	0,01	3,24	0,31	1,24	1,16	0,99

* průměrná hodnota ze 3 segmentací, ** střední hodnota absolutní hodnoty souřadnice ze 3 segmentací

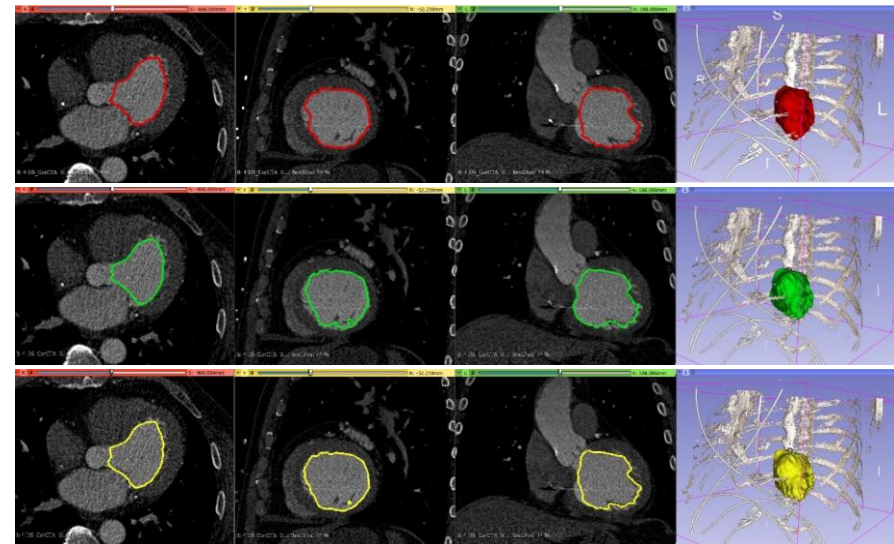


Obr. 13 – Náhled 3D dat k intraobserver analýze (CT LV x EAM LV)

Intraobserver variabilita – CT LVx

- Porovnávání vytvořených segmentovaných LK (1-2, 1-3 a 2-3) – 3 měření (provedení metodiky) s odstupem 8 hodin od pozorovatele 1.

Intraobserver porovnání CT LV							
Pacient	DSC*	SD	Střední Hausforffova vzdálenost (mm)*	SD	Rozdíl souřadnic těžiště (mm)		
					X**	Y**	Z**
1	0,94	0,02	1,26	0,26	1,24	1,09	0,63
2	0,93	0,01	1,39	0,25	0,77	1,63	0,73
3	0,92	0,01	1,12	0,10	1,34	1,27	1,04
4	0,94	0,01	1,22	0,08	0,18	0,78	0,20
5	0,94	0,01	1,38	0,10	1,47	1,28	0,50
6	0,89	0,03	2,16	0,64	2,21	2,64	1,20
7	0,95	0,01	0,98	0,17	0,75	0,23	0,50
8	0,89	0,01	2,41	0,15	2,56	0,79	2,79
9	0,94	0,01	1,08	0,18	0,56	0,93	1,36
10	0,90	0,02	1,88	0,38	2,31	1,29	1,16
Průměr	0,92	0,01	1,49	0,23	1,34	1,19	1,01



Obr. 14 – Náhled 3D dat k intraobserver analýze (CT LVx)

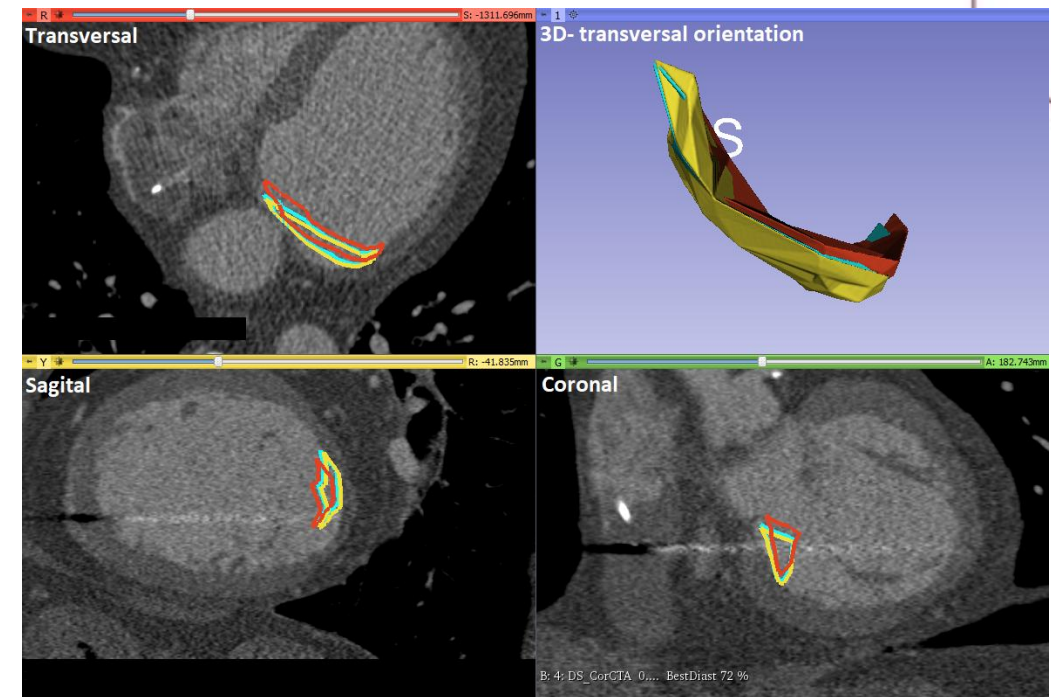
* průměrná hodnota ze 3 segmentací, ** střední hodnota absolutní hodnoty souřadnice ze 3 segmentací

Intraobserver variabilita – CTVx

- Porovnávání vytvořených finálních objemů (1-2, 1-3 a 2-3) – 3 měření (provedení metodiky) s odstupem 8 hodin od pozorovatele 1.

Intraobserver porovnání CTV							
Pacient	DSC*	SD	Průměrná Hausdorffova vzdálenost (mm)*	SD	X**	Y**	Z**
1	0,84	0,03	0,37	0,07	0,80	0,59	0,25
2	0,91	0,02	0,51	0,07	0,21	0,78	0,57
3	0,90	0,02	0,73	0,13	0,81	0,98	0,21
4	0,60	0,19	1,19	0,59	1,10	1,04	1,69
5	0,88	0,03	0,82	0,24	1,27	1,87	0,40
6	0,71	0,09	0,51	0,15	0,72	0,75	0,58
7	0,87	0,05	0,77	0,28	0,60	1,22	1,07
8	0,71	0,10	1,23	0,45	0,42	0,93	1,77
9	0,93	0,02	0,50	0,08	0,13	0,51	0,42
10	0,89	0,02	0,50	0,09	0,32	0,87	0,81
Průměr	0,82	0,06	0,71	0,22	0,64	0,95	0,78

* průměrná hodnota ze 3 segmentací, ** střední hodnota absolutní hodnoty souřadnice ze 3 segmentací



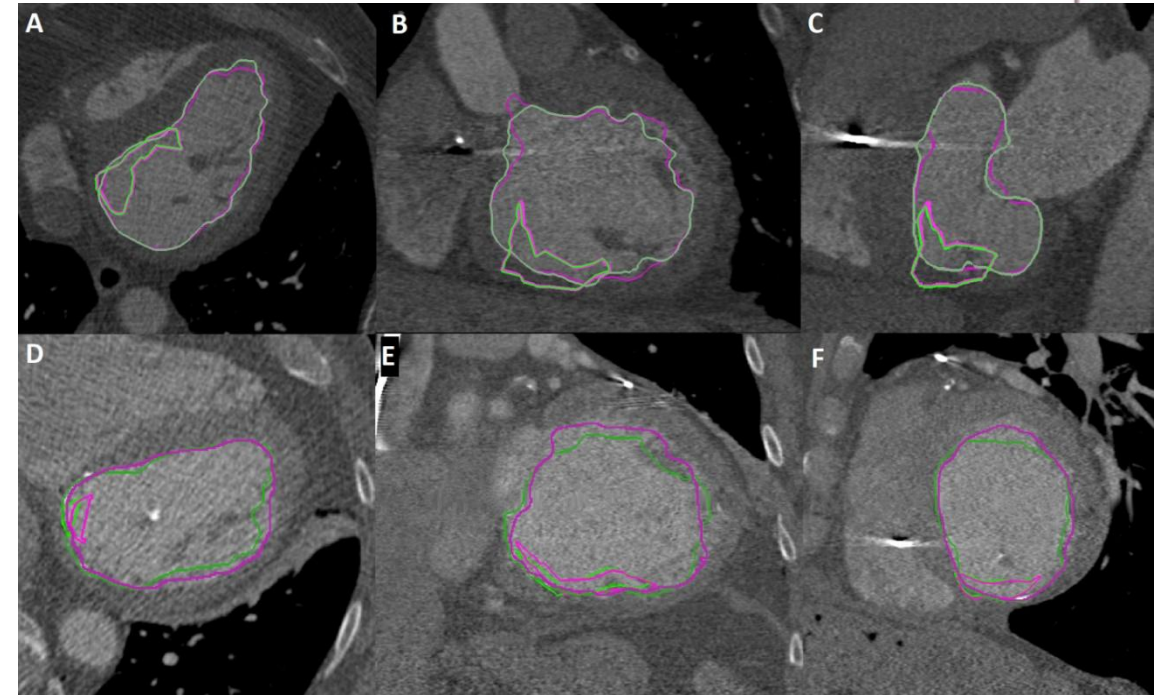
Obr. 15 – Náhled 3D dat k intraobserver analýze (CTVx)

Interobserver variabilita – CT LVx vs CT LVy

- Porovnávání vytvořených segmentovaných LK od pozorovatele 1 a pozorovatele 2.

Interobserver variabilita CT LV						
Srovnání CT LV obou pozorovatelů						
Pacient	DSC	Střední Hausdorffova vzdálenost (mm)	X*	Y*	Z*	Δ Objem CT LV*(cm ³)
1	0,92	1,67	0,49	0,40	0,22	24,88
2	0,92	1,79	0,54	1,39	0,21	27,48
3	0,88	1,98	0,18	1,80	1,89	2,12
4	0,93	1,45	0,74	0,26	0,37	9,54
5	0,93	1,52	0,29	0,08	0,13	3,56
6	0,92	1,93	0,49	2,64	0,53	28,73
7	0,94	1,33	1,00	0,66	0,62	13,39
8	0,89	2,65	1,46	1,93	1,60	38,40
9	0,92	1,57	2,87	2,68	0,72	2,04
10	0,88	2,66	0,18	2,76	1,41	43,32
Průměr	0,91	1,86	0,82	1,46	0,77	

* Absolutní hodnota rozdílu souřadnic



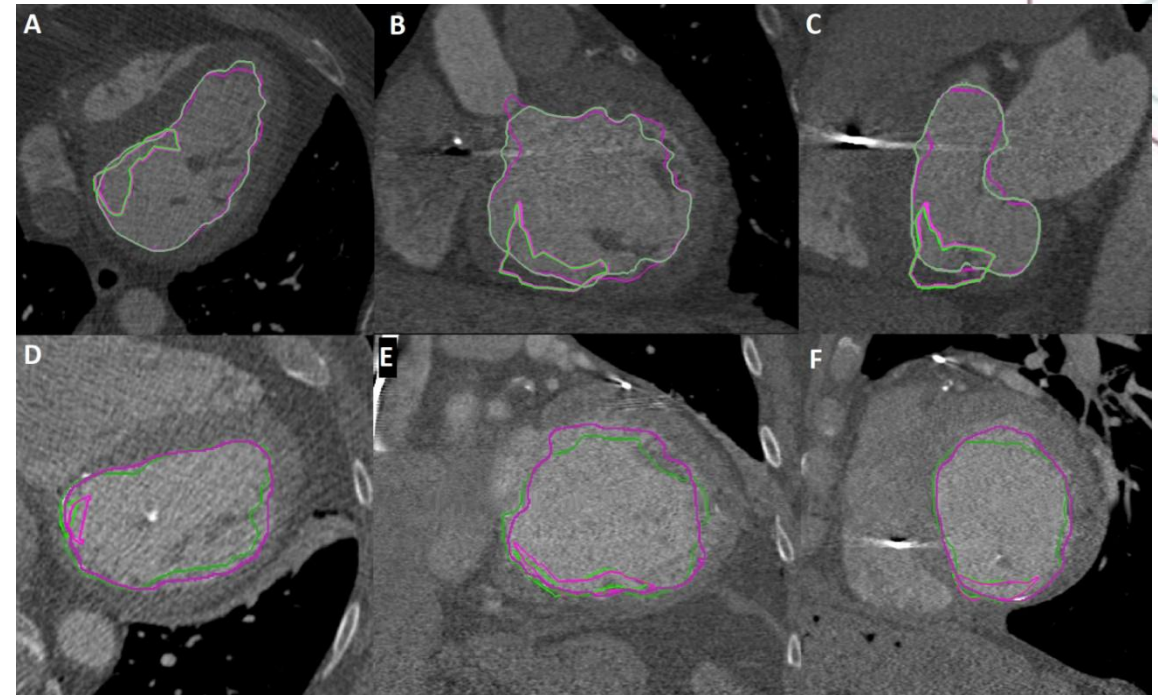
Obr. 16 – Náhled 3D dat k interobserver analýze (CT LVx vs CT LVy)

Interobserver variabilita – CTVx vs CTVy

- Porovnávání vytvořených segmentovaných LK od pozorovatele 1 a pozorovatele 2

Interobserver variabilita CTV					
Pacient	DSC	Střední Hausdorffova vzdálenost (mm)	X*	Y*	Z*
1	0,68	0,80	2,07	0,58	1,28
2	0,71	1,59	0,05	3,26	0,81
3	0,89	0,85	0,21	0,75	1,79
4	0,89	0,39	0,51	0,11	0,12
5	0,94	0,48	1,23	0,27	0,16
6	0,78	0,46	0,14	0,70	1,36
7	0,95	0,32	0,22	0,07	0,15
8	0,66	1,29	3,02	1,27	0,34
9	0,84	1,17	1,75	2,01	1,60
10	0,74	1,31	2,60	2,31	2,11
Průměr	0,81	0,87	1,18	1,13	0,97

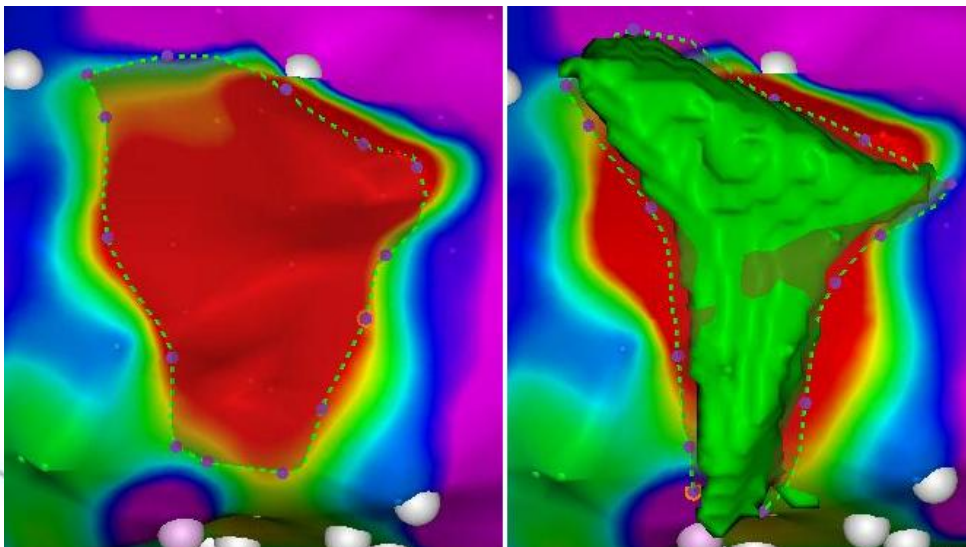
* Absolutní hodnota rozdílu souřadnic



Obr. 17 – Náhled 3D dat k interobserver analýze (CTVx vs CTVy)

Manuální měření obsahů ploch

- Dvou pohledové planární měření – Inside a Outside
- Menší vypovídající hodnota
- Pro využití v klinice
- Zpětnovazebný proces – **Ověření konverzního algoritmu**

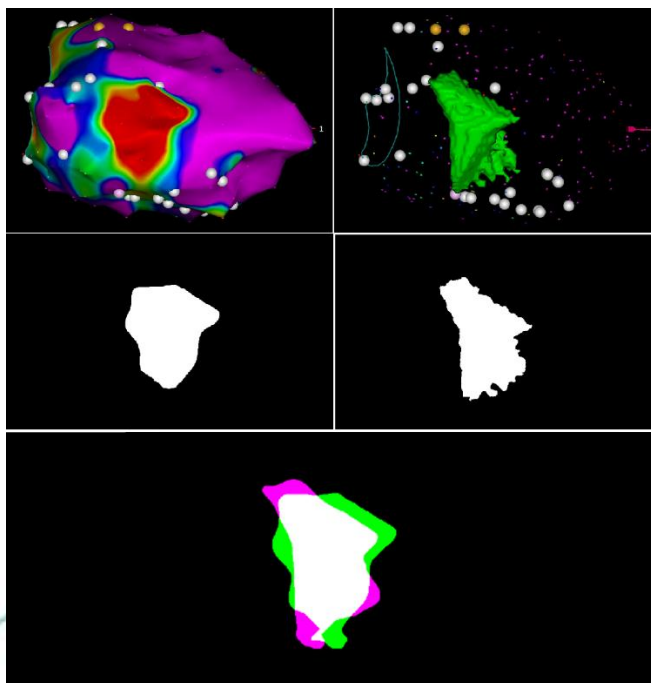


Obr. 18 – Náhled v EAM systému po zpětném exportu

Procentuální poměry a výsledky Outside				
	Procentuální poměr jizva/celý obsah EAM	Procentuální poměr jizva/celý obsah SCAR	Absolutní rozdíl procentuálních poměrů	Absolutní rozdíl perimetrů
Pacient	(%)	(%)	(%)	(cm)
1	4,14	3,55	0,58	3,00
2	8,50	7,24	1,26	2,80
3	6,53	5,28	1,25	0,00
4	10,27	8,03	2,24	0,60
5	15,89	16,74	0,85	1,60
6	2,23	2,54	0,31	0,40
7	11,76	10,63	1,14	0,80
8	19,56	16,41	3,15	1,30
9	18,62	15,98	2,64	0,60
10	5,67	6,06	0,38	2,20
		Průměr	1,07	
Procentuální poměry a výsledky Inside				
	Procentuální poměr jizva/celý obsah EAM	Procentuální poměr jizva/celý obsah SCAR	Absolutní rozdíl procentuálních poměrů	Absolutní rozdíl perimetrů
Pacient	(%)	(%)	(%)	(cm)
1	4,19	3,60	0,58	4,50
2	9,20	8,39	0,80	1,00
3	6,17	5,04	1,13	1,60
4	9,10	8,59	0,51	1,40
5	15,08	15,93	0,85	3,10
6	1,93	2,54	0,62	1,10
7	10,26	10,76	0,50	1,00
8	19,89	14,62	5,27	3,10
9	18,98	18,50	0,48	1,10
10	5,62	7,75	2,13	3,60
		Průměr	0,47	

Analýza v Matlabu

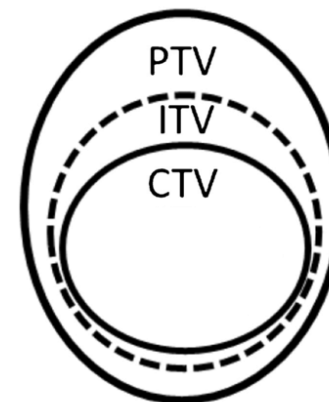
- Algoritmus pro segmentaci a porovnání 2D obrazu – segmentace na principu aktivních kontur
- Využití běžných hodnotících parametrů obrazů – corr_coef, DICE a SSIM



Obr. 19 – Náhled procesu hodnocení v MATLAB

Outside				Inside			
Pacient	Korelační koeficient	DSC	SSIM	Pacient	Korelační koeficient	DSC	SSIM
1	0,82	0,83	0,98	1	0,81	0,81	0,98
2	0,84	0,84	0,97	2	0,85	0,85	0,98
3	0,78	0,77	0,98	3	0,73	0,73	0,98
4	0,72	0,69	0,95	4	0,69	0,72	0,94
5	0,79	0,8	0,96	5	0,75	0,76	0,95
6	0,79	0,78	0,99	6	0,8	0,79	0,99
7	0,84	0,85	0,97	7	0,78	0,82	0,97
8	0,83	0,84	0,96	8	0,84	0,86	0,96
9	0,85	0,86	0,97	9	0,83	0,84	0,97
10	0,74	0,74	0,98	10	0,69	0,7	0,98
Průměr	0,8	0,8	0,971	Průměr	0,777	0,788	0,97

Retrospektivní porovnání



- Porovnání s původními ozařovacími plány okulometrickou metodou.

Pacientc	Objem vytvoření jizvy dle metodiky	Objem průniku původního PTV a vytvořené jizvy	Ozářeno plochy jizvy	DSC	Počet shocků po léčbě
(-)	(ml)	(ml)	(%)	(-)	(počet)
1	3,7	3,3	89,19	0,946	0
2	8,54	2,95	34,54	0,513	1
3	4,59	3,1	67,54	0,799	1
4	8,875	3,81	42,93	0,6	0
5	29,599	9,99	33,75	0,505	1
6	0,728	0,725	99,59	0,998	0
7	15,05	4,36	28,97	0,449	0
8	11,05	6,17	55,84	0,72	3
9	20,25	2,47	12,20	0,22	8
10	5,6	1,89	33,75	0,51	4

Obr. 20 – Schéma ozařovacího plánu s bezpečnostními lemy



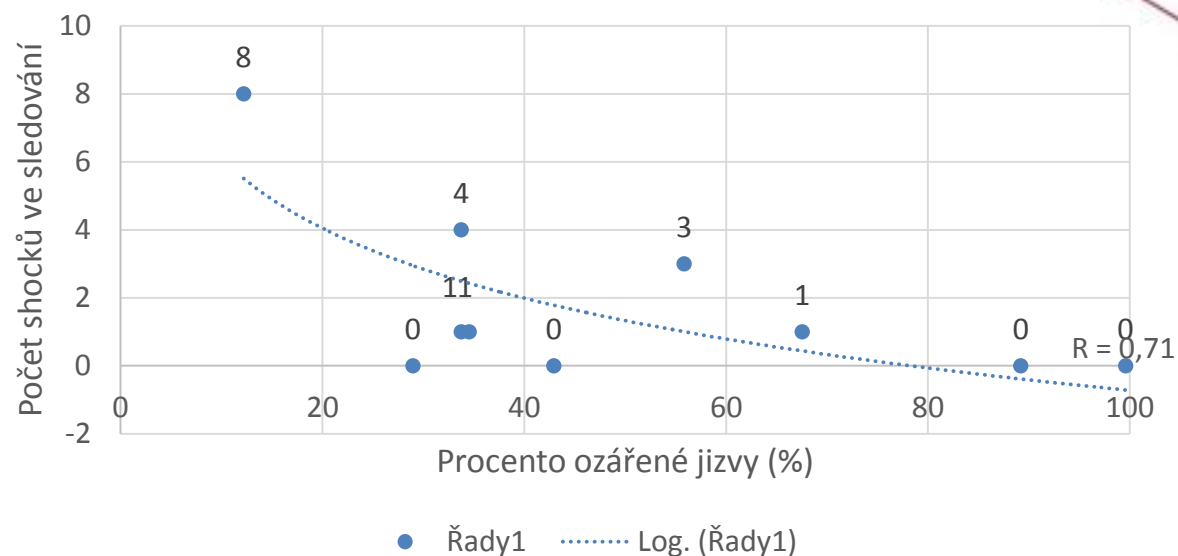
Obr. 21 – Náhled 3D dat k retrospektivní analýze (CTV x PTV)

Retrospektivní porovnání – jiná data

- Potvrzení účinnost zásahu finálního objemu okulometrickou metodou

Pacientc	Objem vytvoření jizvy dle metodiky	Objem průniku původního PTV a vytvořené jizvy	Ozářeno plochy jizvy	DSC	Počet shocků po léčbě
(-)	(ml)	(ml)	(%)	(-)	(počet)
1	3,7	3,3	89,19	0,946	0
2	8,54	2,95	34,54	0,513	1
3	4,59	3,1	67,54	0,799	1
4	8,875	3,81	42,93	0,6	0
5	29,599	9,99	33,75	0,505	1
6	0,728	0,725	99,59	0,998	0
7	15,05	4,36	28,97	0,449	0
8	11,05	6,17	55,84	0,72	3
9	20,25	2,47	12,20	0,22	8
10	5,6	1,89	33,75	0,51	4

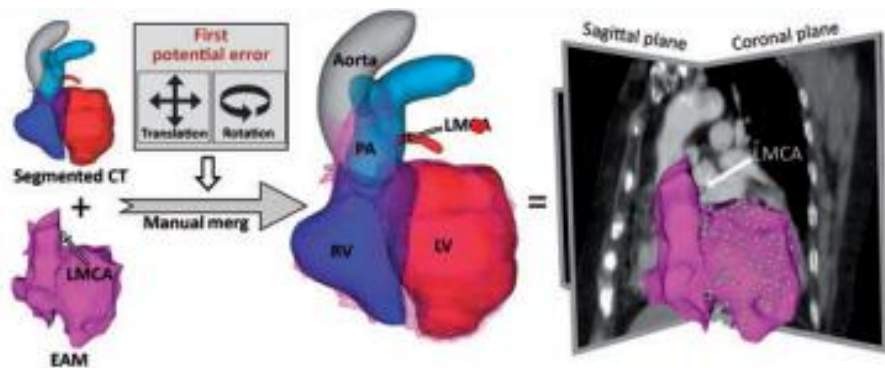
Logaritmická závislost počtu shocků na % ozářené jizvy



Obr. 22 – Logaritmická závislost počtu shocků k procentuálnímu ozáření jizvy

Shrnutí

1. EAM systém Carto 3 v6 vs. v7
2. 3D Slicer vs. Standalone systém
3. Kritická místa procesu označování – Expertní nastavení inicializace, **segmentace**, 3D filtrace, typ registrace
4. Porovnání s metodami sloučení EAM – Kafi a kol.

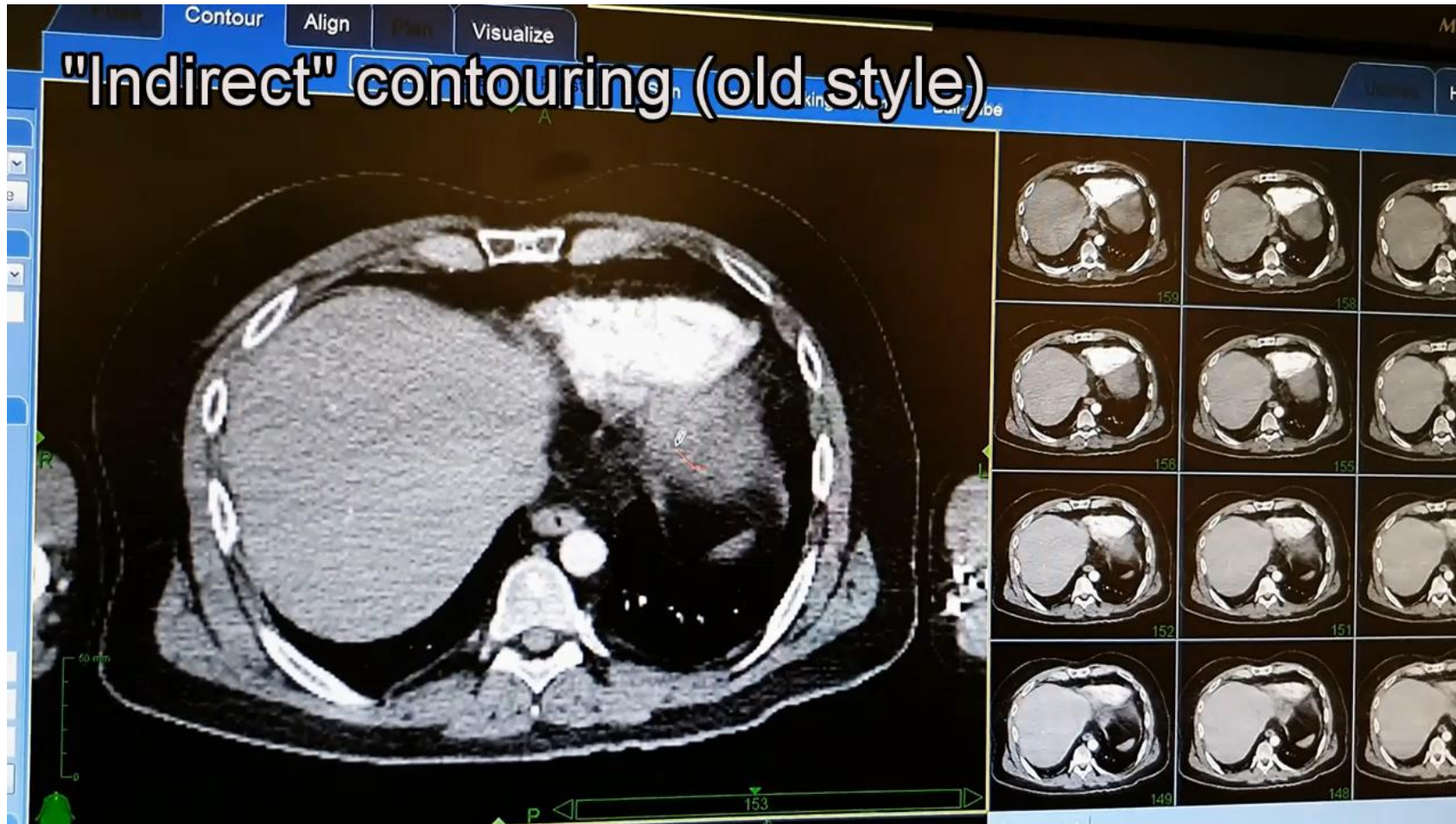


Obr. 16 – Manuální spojení

5. Retrospektivní porovnání
 - Nejedná se o porovnání stejných dat

Oblast	Výhody	Nevýhody
Segmentace oddílů	Zpracování zkušenými odborníky, jde o kvalitně vytvořené modely.	Variabilita dle iniciálního označení zrna, což může způsobit rozdíl ve výsledných segmentech.
Registrace (spojení)	Využití klinických znalostí a více kontrolních bodů.	Manuální, které může být zatíženo velkou variabilitou.
Vyznačení cílového objemu	Označení celé stěny myokardu.	Manuální, které může být zatíženo velkou variabilitou.
Čas	-	Vzhledem k nutnosti segmentace vyššího počtu oddílů a manuální práce, dochází k nárustu času k finálnímu vyznačení

Příloha I – porovnání vyznačování cílového objemu



Příloha II – Manuscript (proofediting)

REPORTS OF PRACTICAL ONCOLOGY AND RADIOTHERAPY

Home Author Review

Author Dashboard

Author Dashboard

- 2 Manuscripts I Have Co-Authored >
- Start New Submission >
- 5 Most Recent E-mails >
- English Language Editing Service >

Manuscripts I Have Co-Authored

STATUS	ID	TITLE	CREATED	SUBMITTED
Contact Journal	RPOR-2023-0182.R1	Optimized target delineation procedure for the radiosurgery treatment of ventricular tachycardia: observer-independent accuracy View Submission Submitting Author: Knybel, Lukas	13-Feb-2024	13-Feb-2024
		<ul style="list-style-type: none">Accept (23-Apr-2024)Awaiting Assignment to Batch		

Závěr

- Spolupráce se specialisty pracoviště elektrofyzologie Nemocnice AGEL Třinec-Podlesí a onkologie FNO.
- STOPSTORM konsorcium
- Metodika je využívána v klinické praxi.
- **Přínosy:**
 - Jednotná (semi)automatizovaná ověřená metodika
 - Zpřesnění vyznačování finálního místa
 - Zefektivnění časové náročnosti přípravy
 - Reprodukovatelnost
 - Edukace dalších pracovníků