

Adaptivní radioterapie ve FN Motol

Petra Osmančíková

Zuzana Rožánková

Jan Štika

Petra Sýkorová

Anna Kindlová



FN MOTOL

Tradiční radioterapie

- Použití jednoho identického ozařovacího plánu pro celou ozařovací sérii



Adaptivní radioterapie (ART)

- Modifikace původního ozařovacího plánu (replanning) na základě změn objemu nebo topografie cílového objemu nebo rizikových orgánů

Cíl adaptivní radioterapie:

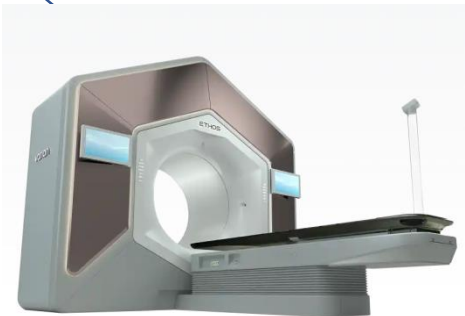
Co nejpřesnější dodání předepsané dávky do cílového objemu a minimalizace dávky do okolní zdravé tkáně s ohledem na dynamické anatomické změny v průběhu ozařování

Adaptivní radioterapie

On-line adaptivní RT

adaptace ozařovacího plánu přímo před vlastní ozařovací frakcí

- pacient uložen na ozařovacím stole
- provedeno zobrazení
- okamžité přeplánování
- ozáření pacienta dle aktuálního plánu



<https://www.varian.com/products/adaptiv-e-therapy/ethos>



<https://www.elekta.com/products/radiation-therapy/unity/>

Off-line adaptivní RT

adaptace ozařovacího plánu mezi jednotlivými ozařovacími frakcemi

- výsledek registrace aktuálního zobrazení a plánovacího (referenčního) zobrazení vyhodnocen po ozáření
- v případě potřeby proveden replanning
- nový plán (replan) použit od následující ozařovací frakce

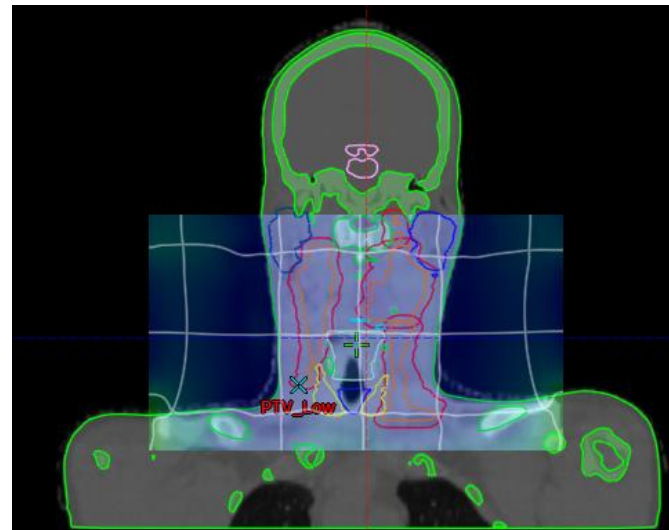
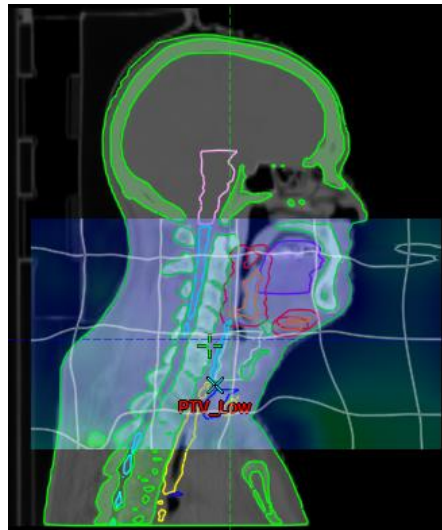
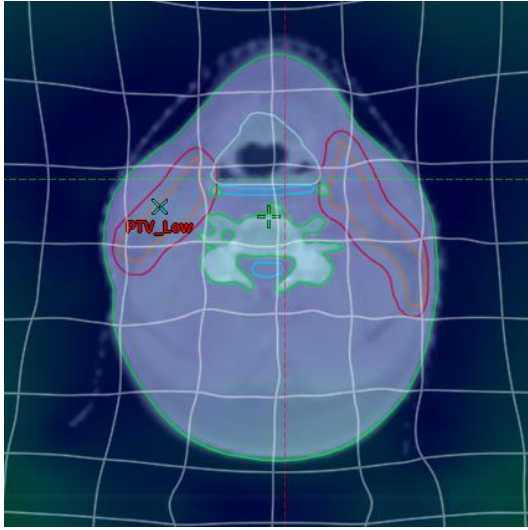
Vybavení pro off-line adaptivní radioterapii ve FN Motol



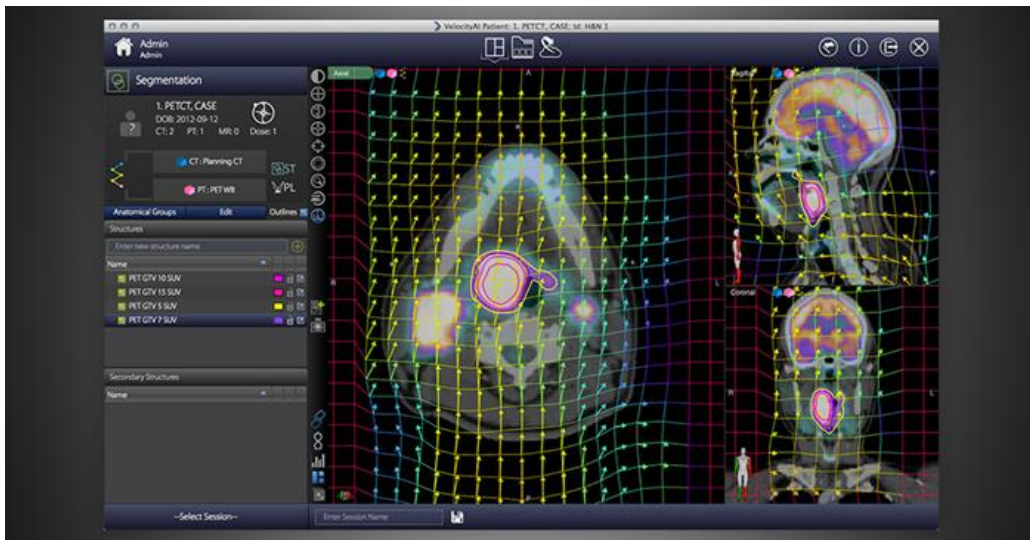
- 3 lineární urychlovače Truebeam (Varian)
- megavoltážní (MV) a kilovoltážní (kV) zobrazovací systémy
- kV systém umožňuje 3D zobrazení – CT kuželovým svazkem – cone-beam CT (CBCT) – na jeho základě se provádí deformace referenčního (plánovacího) CT
- ozařovací stůl Exact Couch se 4 stupni volnosti



Vybavení pro off-line adaptivní radioterapii ve FN Motol



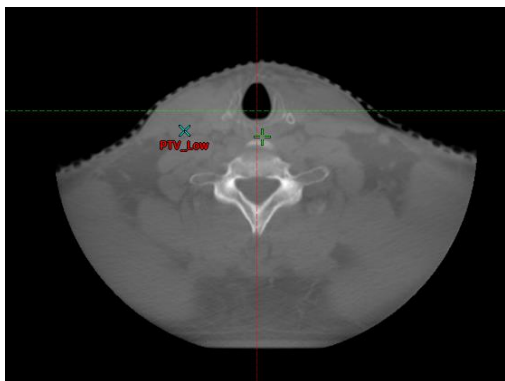
- onkologický informační systém ARIA verze 15.6
- plánovací systém Eclipse verze 15.6



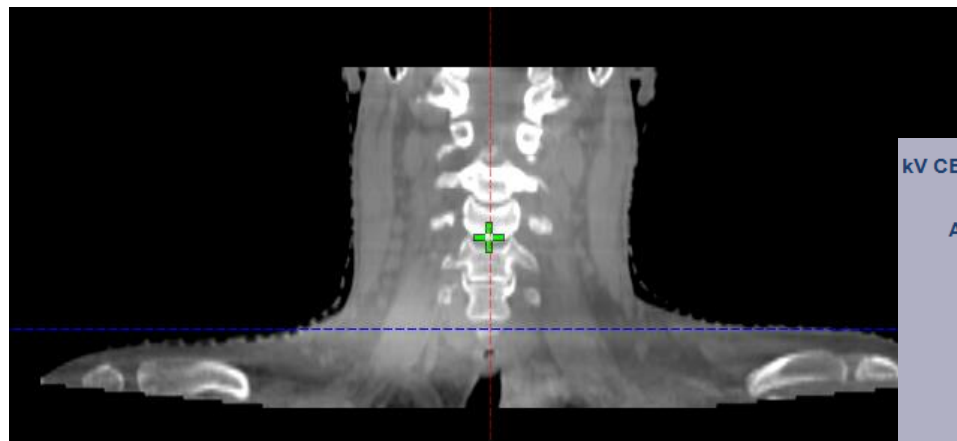
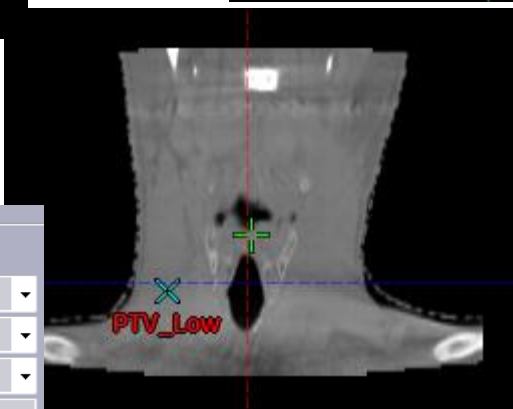
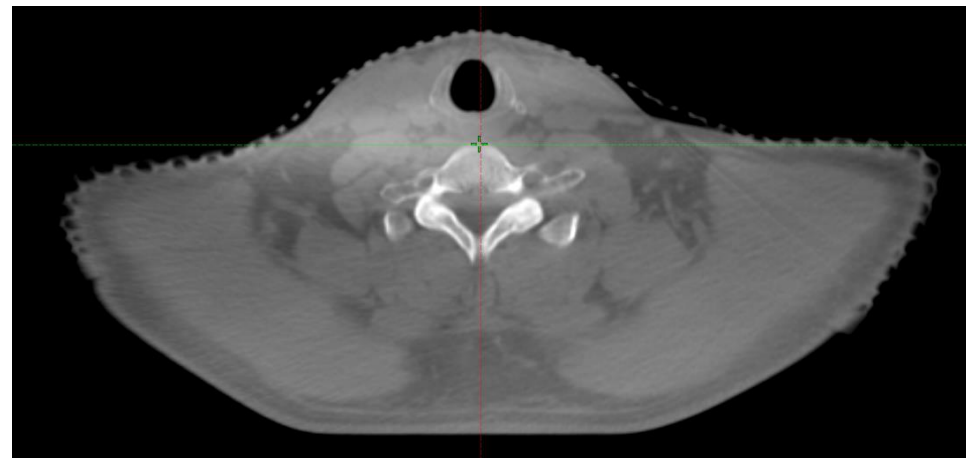
- software určený pro adaptivní radioterapii **Velocity** verze 4.0 - deformabilní registrace obrazových dat

CBCT pro deformabilní registraci

- každodenní CBCT pro kontrolu polohy pacienta, cílových objemů a rizikových orgánů



- CBCT pro deformabilní registraci – v plné šíři včetně ramen



kV CBCT Parameters

Acquisition Type	3D CBCT
CBCT Mode	Spotlight
Reconstruction	Standard
Fan Type	Full
Trajectory	Half
kV	125
mAs	750.00
CTDIvol	12.30 mGy
DLP	263.2 mGy * cm

kV CBCT Parameters

Acquisition Type	3D CBCT
CBCT Mode	Pelvis
Reconstruction	Standard
Fan Type	Half
Trajectory	Full
kV	125
mAs	1080.00
CTDIvol	15.98 mGy
DLP	342.1 mGy * cm

Proces adaptivní radioterapie pro H&N

U všech pacientů s nádory ORL provádíme od dubna 2023 adaptivní plán (QA plán) pomocí Velocity 4.0

Jednou týdně mají pacienti CBCT s velkým FOV (tak aby se vešla ramena), kromě posledního týdne ozařování

V roce 2023

- 326 QA plánů u ORL pacientů
- 144 replanů u 67 ORL pacientů
 - z toho u 50 pacientů 2 replany,
 - u 10 pacientů 3 replany v průběhu RT

Jednou týdně CBCT pro QA plán

Deformace plánovacího CT a objemů podle aktuálního CBCT pomocí Velocity

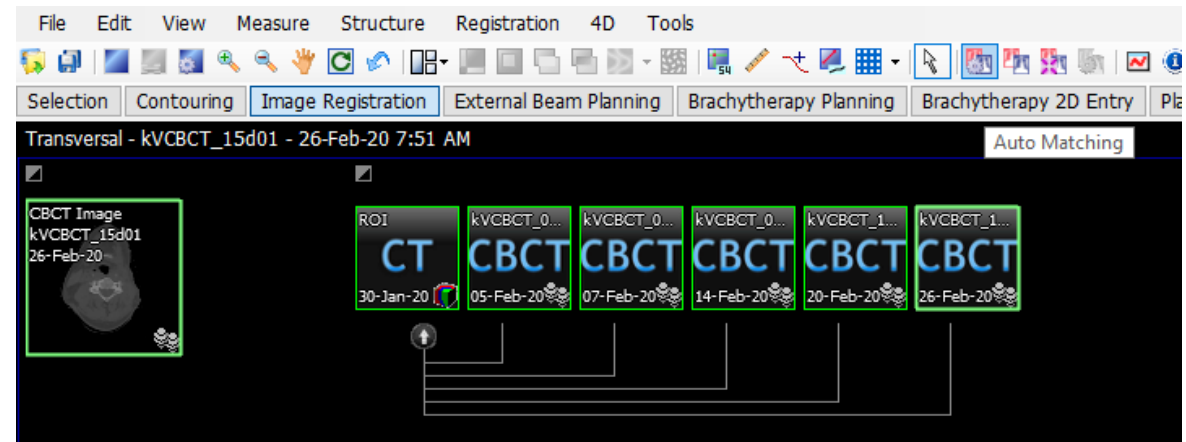
Výpočet dávkové distribuce na deformované CT (aCT = adaptivní CT)

Vyhodnocení QA plánu, předvedení plánu na vizitě, rozhodnutí zda má být proveden replan

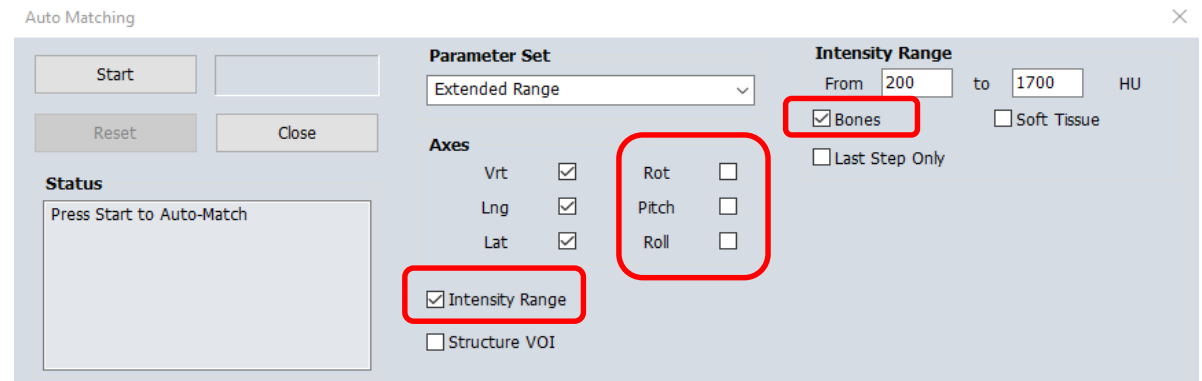
Je-li indikován replan → nové plánovací CT

Adaptivní radioterapie pomocí Eclipse

- Do března 2023 jsme používali pro adaptivní RT Eclipse
- 1. Rigidní registrace

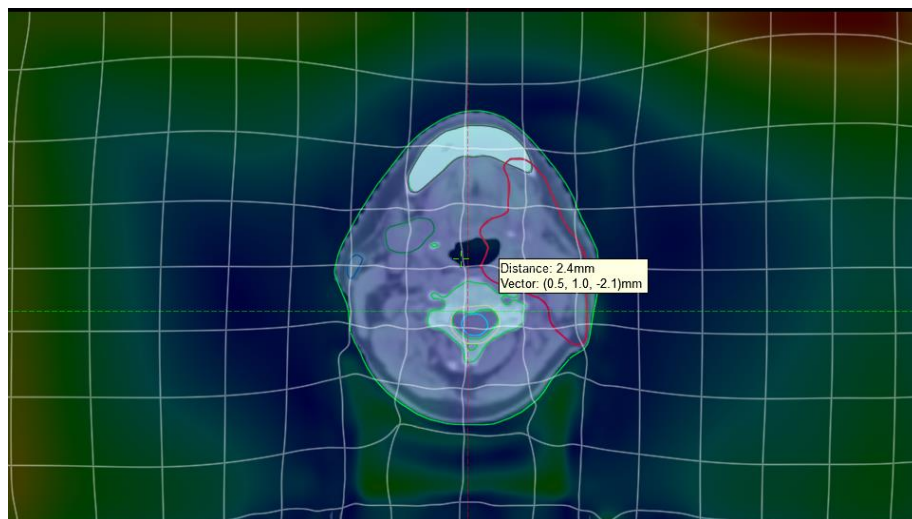


- Vhodné je využít online registraci z nastavení pacienta na ozařovně, ale pokud nebyla použita rotace
- Jinak musíme provést vlastní registraci (nezohledňuje skutečné nastavení pacienta)

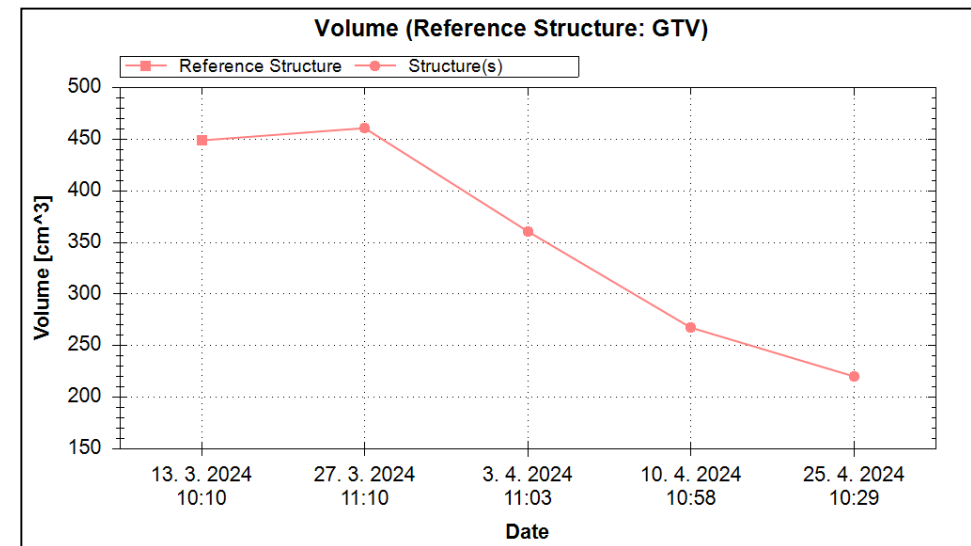
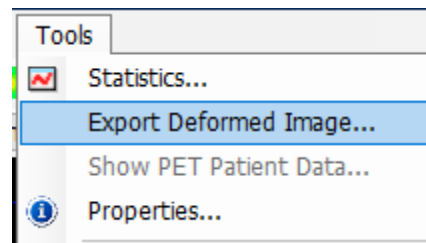


Adaptivní radioterapie pomocí Eclipse

- 2. Deformabilní registrace



- 3. Export deformovaného CT a deformovaných struktur

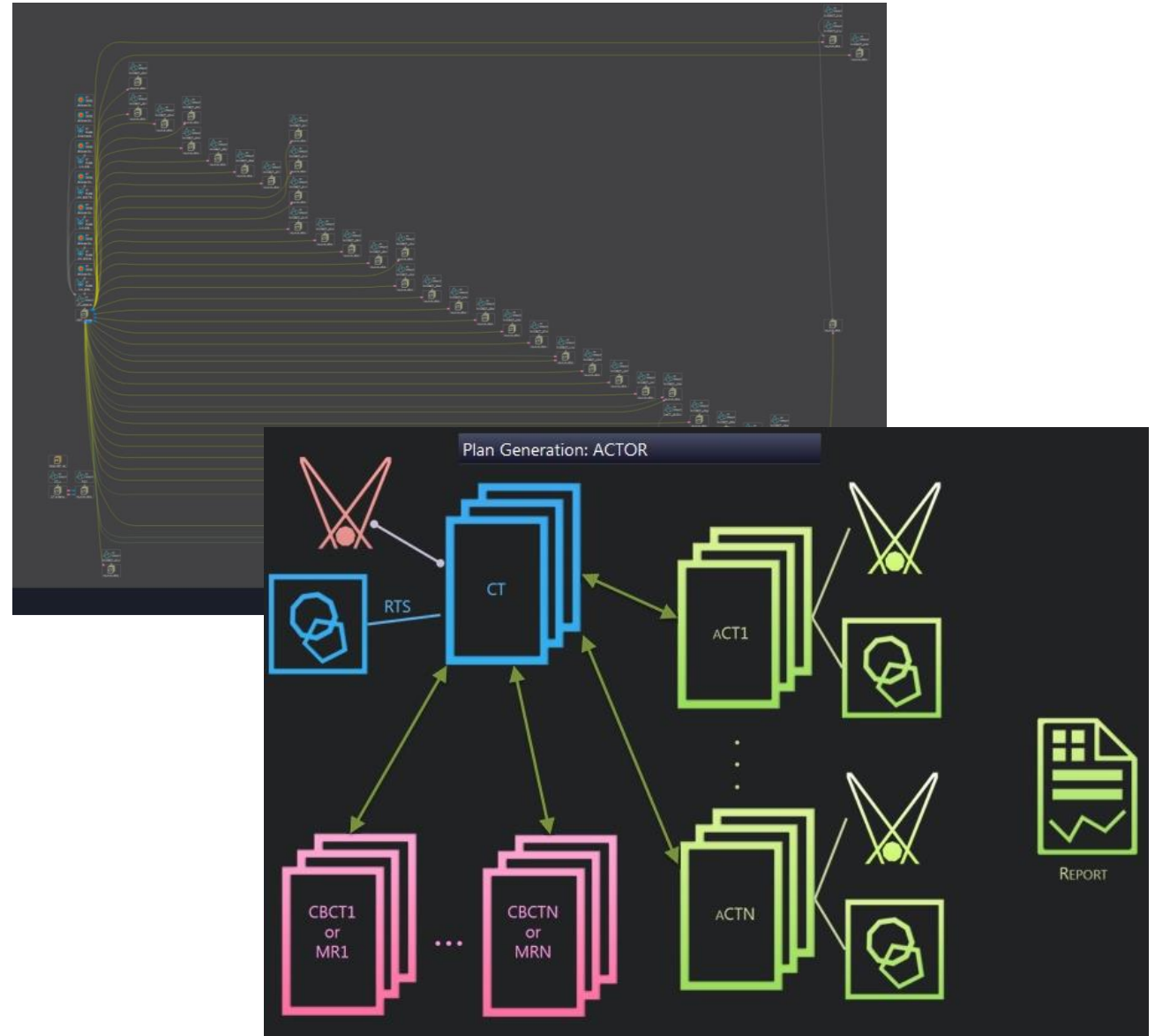


Structure ID / Image ID (Image Date)	Volume [cm ³]	Volume Change [cm ³]	Center of Mass Shift x-Direction [cm]	Center of Mass Shift y-Direction [cm]	Center of Mass Shift z-Direction [cm]	Dice Similarity Coefficient
Parotid_L / DefE13.2.2024 (10. 1. 2024 08:45)	16.8					
Parotid_L / aCT_20240213_01 (10. 1. 2024 08:45)	17.0	0.1	0.05	-0.14	-0.18	0.81
Parotid_R / DefE13.2.2024 (10. 1. 2024 08:45)	18.1					
Parotid_R / aCT_20240213_01 (10. 1. 2024 08:45)	20.9	2.8	0.29	-0.09	0.02	0.77
CTV_High / DefE13.2.2024 (10. 1. 2024 08:45)	124.0					
CTV_High / aCT_20240213_01 (10. 1. 2024 08:45)	124.6	0.6	-0.08	-0.29	0.44	0.87
GTV / DefE13.2.2024 (10. 1. 2024 08:45)	27.1					
GTV / aCT_20240213_01 (10. 1. 2024 08:45)	34.8	7.7	0.01	-0.12	0.28	0.76
Musc_Constrict / DefE13.2.2024 (10. 1. 2024 08:45)	7.5					
Musc_Constrict / aCT_20240213_01 (10. 1. 2024 08:45)	8.1	0.7	0.18	-0.02	0.27	0.54
Glottis / DefE13.2.2024 (10. 1. 2024 08:45)	5.8					
Glottis / aCT_20240213_01 (10. 1. 2024 08:45)	5.6	-0.2	0.19	-0.06	0.32	0.67

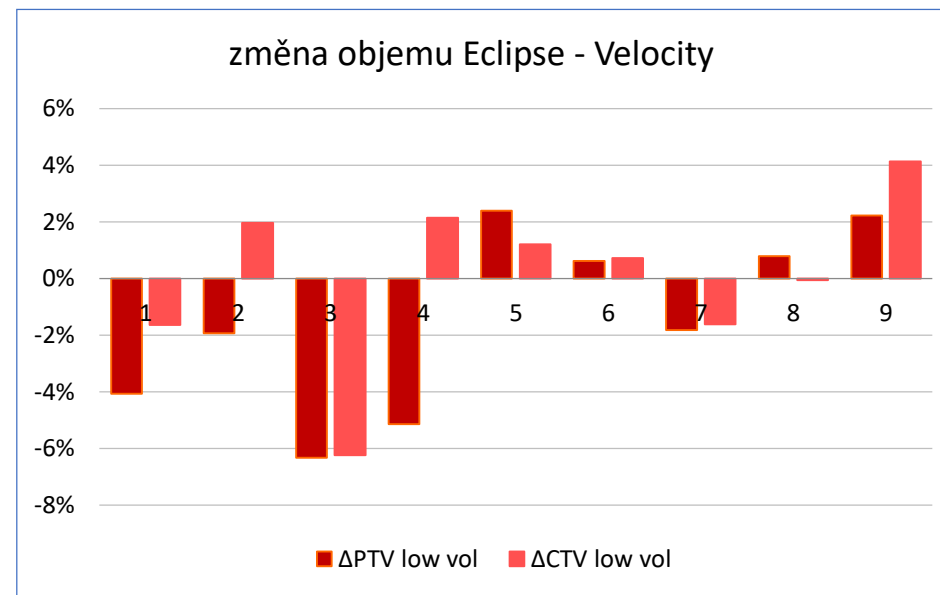
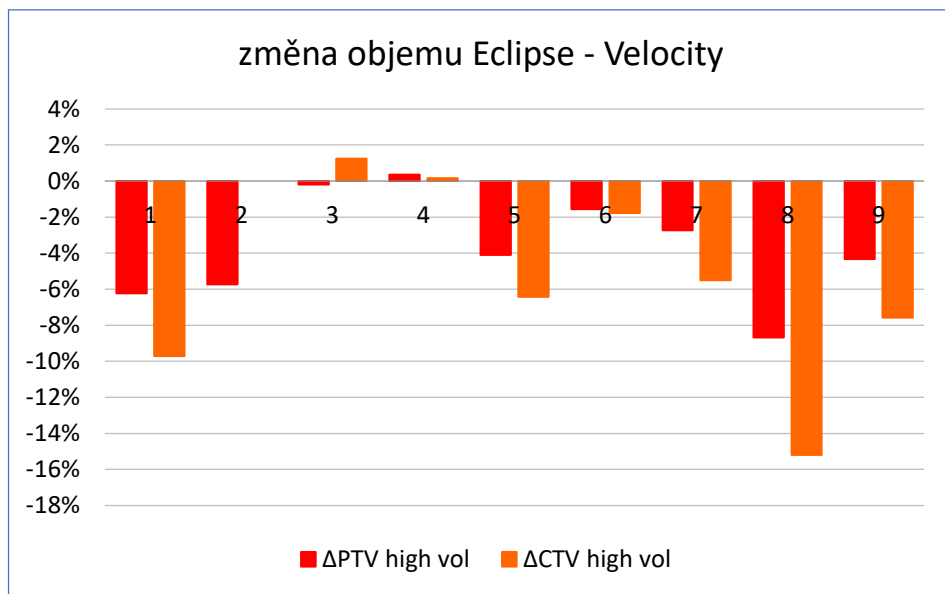
- 4. Import deformovaného CT a výpočet dávkové distribuce na deformované CT

Adaptivní radioterapie pomocí Velocity

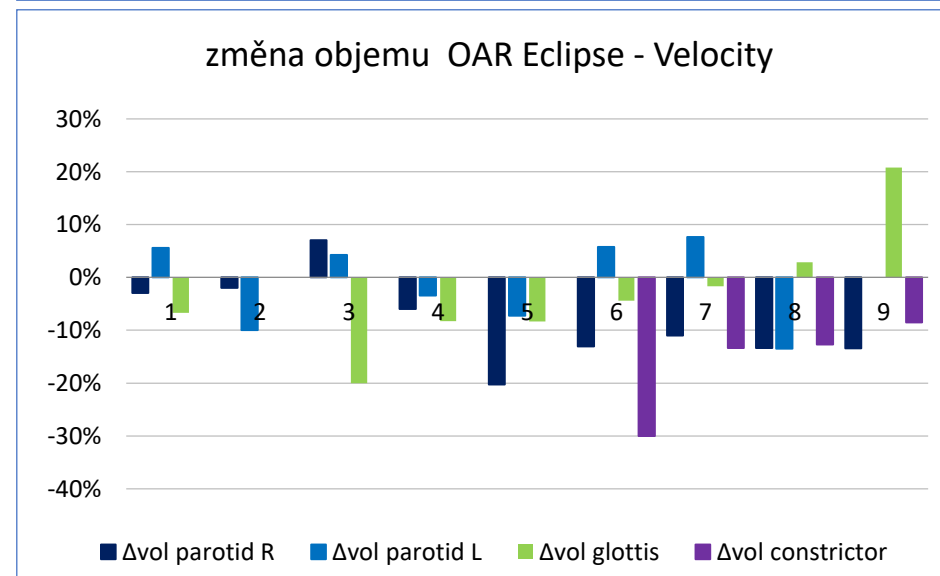
- Import pacienta pomocí Query (SmartQuery)
- Využijeme Navigátor a provedeme deformabilní fúzi mezi plánovacím CT a CBCT
- Jako rigidní registraci používáme online match z ozařovny, ve Velocity 4.0 lze k deformaci vybrat pouze 6 struktur + BODY
- Po kontrole výsledné deformace odešleme do Eclipse
- Používání Velocity není příliš uživatelsky přívětivé



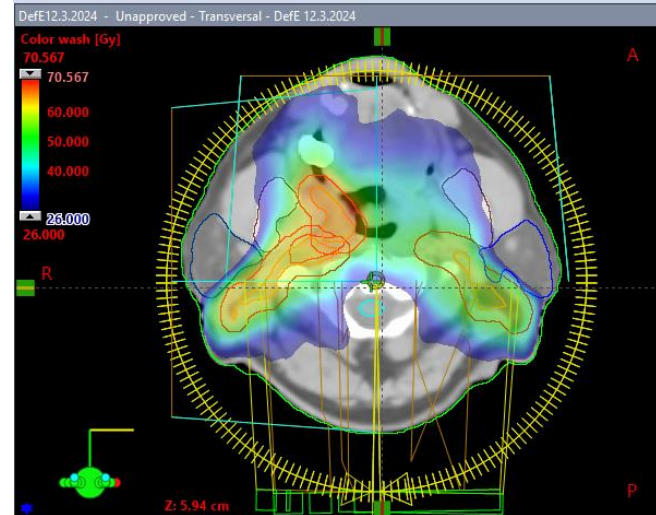
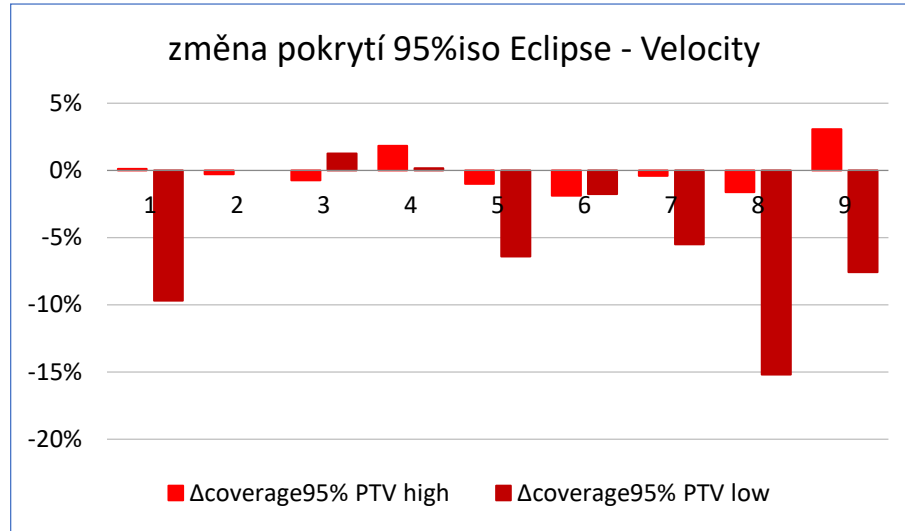
Porovnání změny objemu Eclipse vs Velocity



- Deformované PTV je vytvořeno přidáním bezpečnostního lemu k deformovanému CTV a crop 2mm od povrchu body
- Většina objemů deformovaných podle CBCT vytvořených pomocí Velocity je větší než z Eclipse

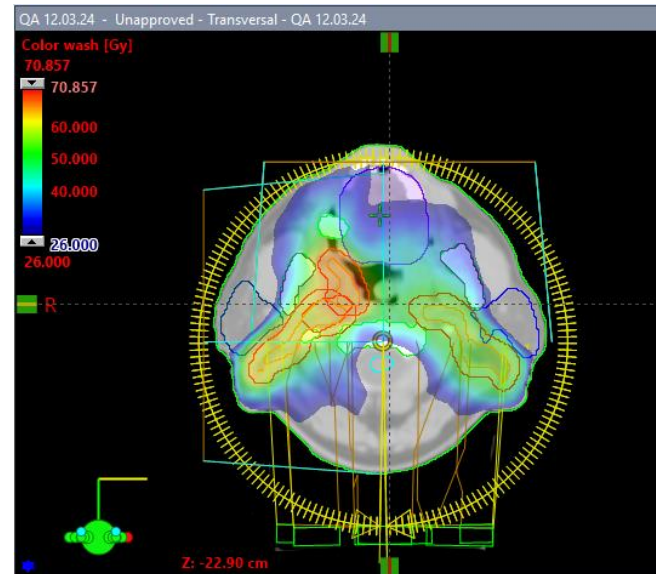
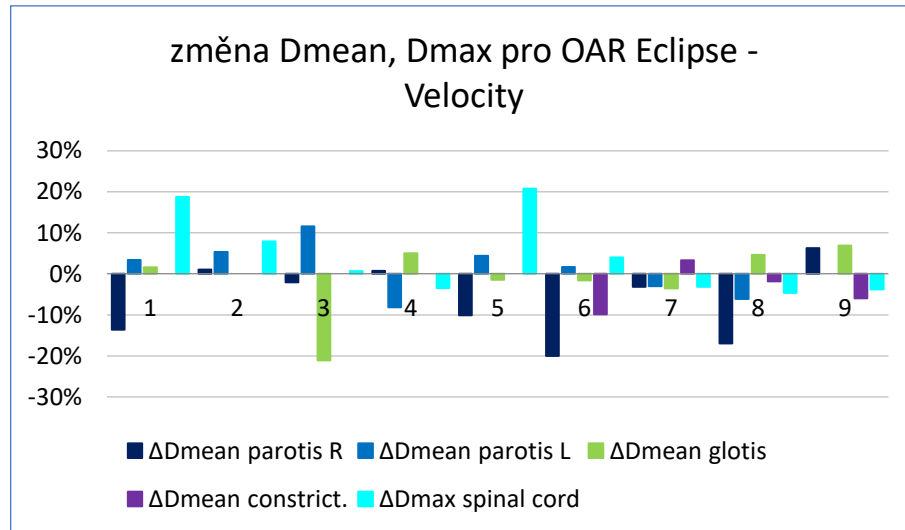


Porovnání změny v pokrytí a dávce na OAR Eclipse vs Velocity



QA plán na základě deformabilní registrace v Eclipse

Malý objem dat pro porovnání



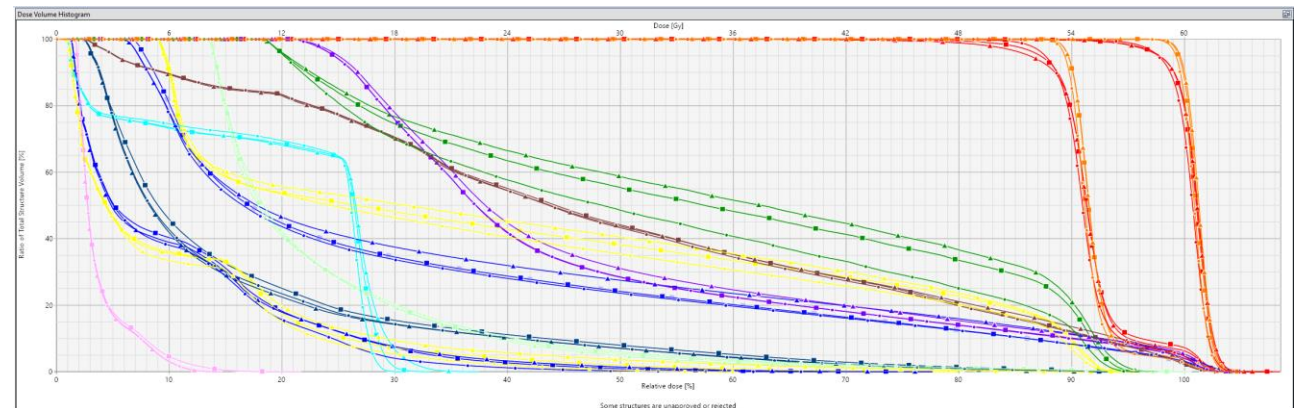
QA plán na základě deformabilní registrace ve Velocity

Vyhodnocení QA plánu

QA plány předváděny na vizitě

Stanovená kritéria (constraints, porovnání s referenčním plánem) nejsou jediným způsobem hodnocení QA plánu – porovnáváme také tvar křivek v DVH a dávkovou distribuci v jednotlivých řezech

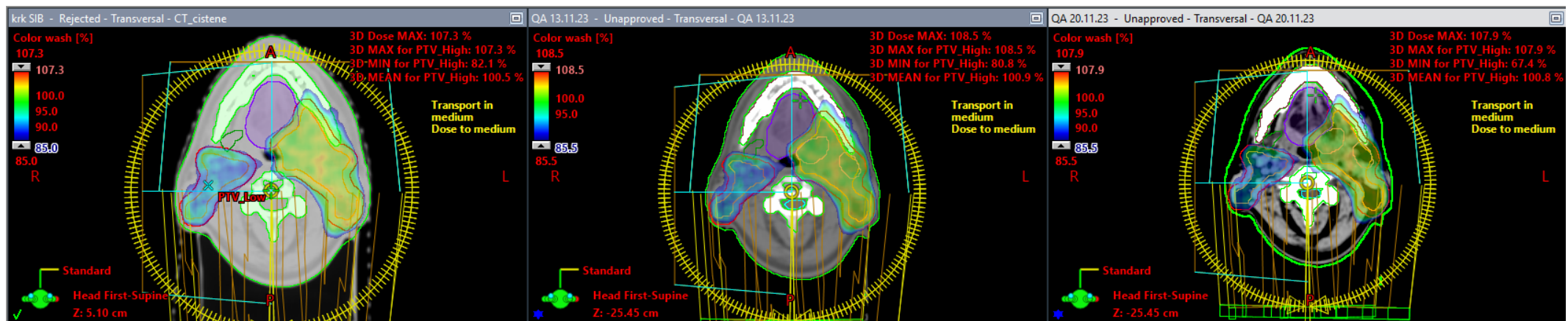
Struktura	Parametr	Kritérium absolutní	Kritérium relativní
CTV high risk	D98%	$\geq 95\%$	\geq plán
CTV low risk	D98%	$\geq 95\%$	\geq plán
PTV high risk	D95%	$\geq 95\%$	
PTV high risk	Dmax	$< 111\%$	
PTV low risk	D95%	$\geq 95\%$	
Parotid_L	Dmean	< 26 Gy	
Parotid_R	Dmean	< 26 Gy	
Spinal Cord	Dmax	< 45 Gy	



Vyhodnocení QA plánu

Sledujeme

- změnu v pokrytí PTV a CTV
- změnu v dávce na OAR (parotidy, glotis, musc. constrictor, mícha, jícen, event. jiné)
- změnu ve velikosti struktur
- kontura těla



Pokud radiologičtí asistenti indikují, že pacient je obtížně nastavitelný, nesedí mu fixační maska

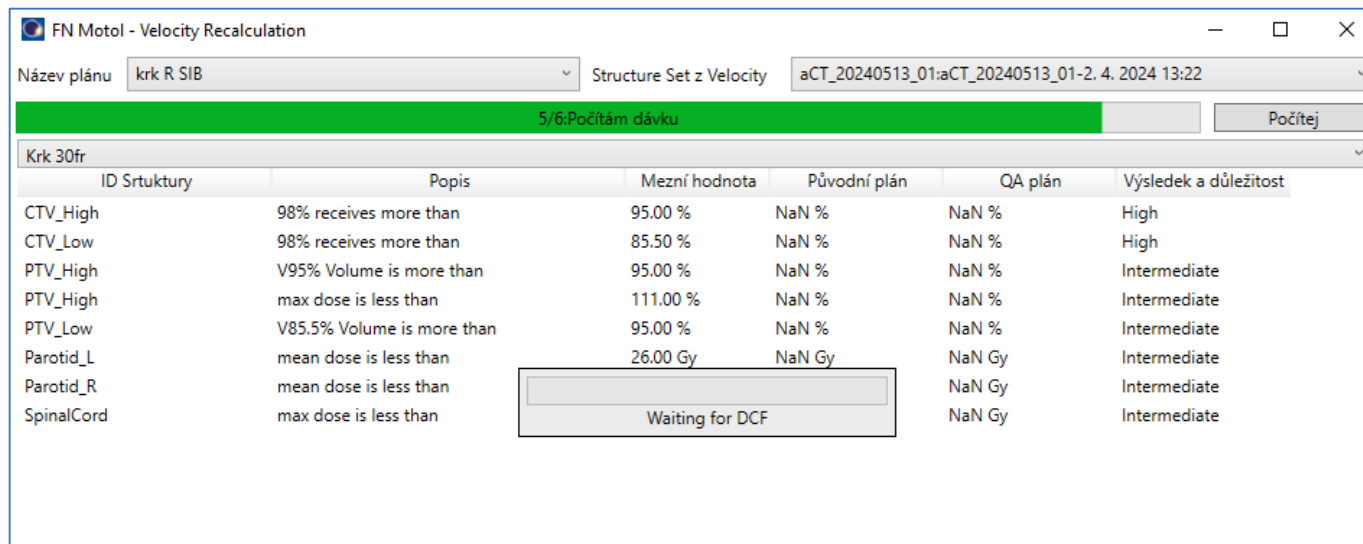
→ Replan i když QA plán vychází dobře

Velocity ESAPI skript

- Přepočítání dávky na deformované plánovací CT z Velocity
 - Vytvoření/nalezení QA (Quality assurance) kurzu
 - Vytvoření kopie plánu
 - Oprava deformovaného stolu
 - Korekce artefaktů
 - Generování PTV objemů z deformovaných objemů CTV
 - Výpočet dávky

ESAPI = Eclipse Scripting API
= Eclipse Scripting Application
Programming Interface

- Výpočetní kroky zatím neměnné, v budoucnu podle šablon



FN Motol - Velocity Recalculation

Název plánu: krk R SIB | Structure Set z Velocity: aCT_20240513_01:aCT_20240513_01-2. 4. 2024 13:22

5/6: Počítám dávku [Počítej]

ID Srtuktury	Popis	Mezní hodnota	Původní plán	QA plán	Výsledek a důležitost
CTV_High	98% receives more than	95.00 %	NaN %	NaN %	High
CTV_Low	98% receives more than	85.50 %	NaN %	NaN %	High
PTV_High	V95% Volume is more than	95.00 %	NaN %	NaN %	Intermediate
PTV_High	max dose is less than	111.00 %	NaN %	NaN %	Intermediate
PTV_Low	V85.5% Volume is more than	95.00 %	NaN %	NaN %	Intermediate
Parotid_L	mean dose is less than	26.00 Gy	NaN Gy	NaN Gy	Intermediate
Parotid_R	mean dose is less than			NaN Gy	Intermediate
SpinalCord	max dose is less than			NaN Gy	Intermediate

Waiting for DCF

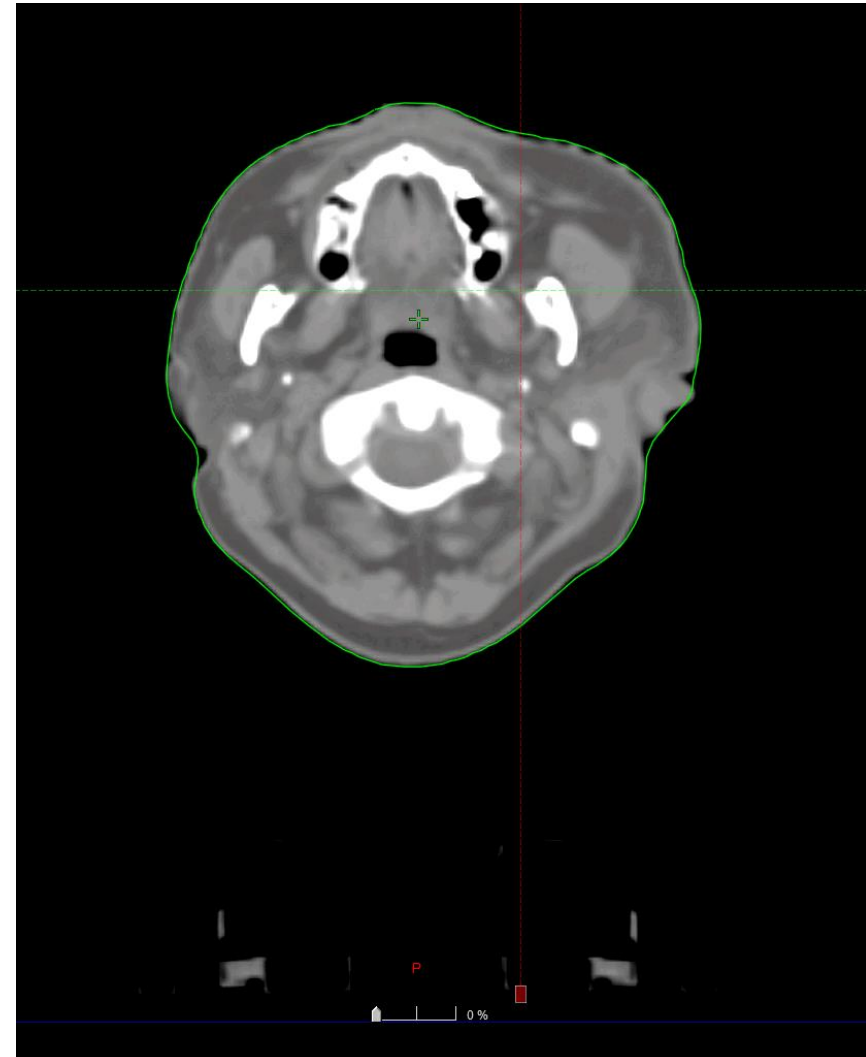
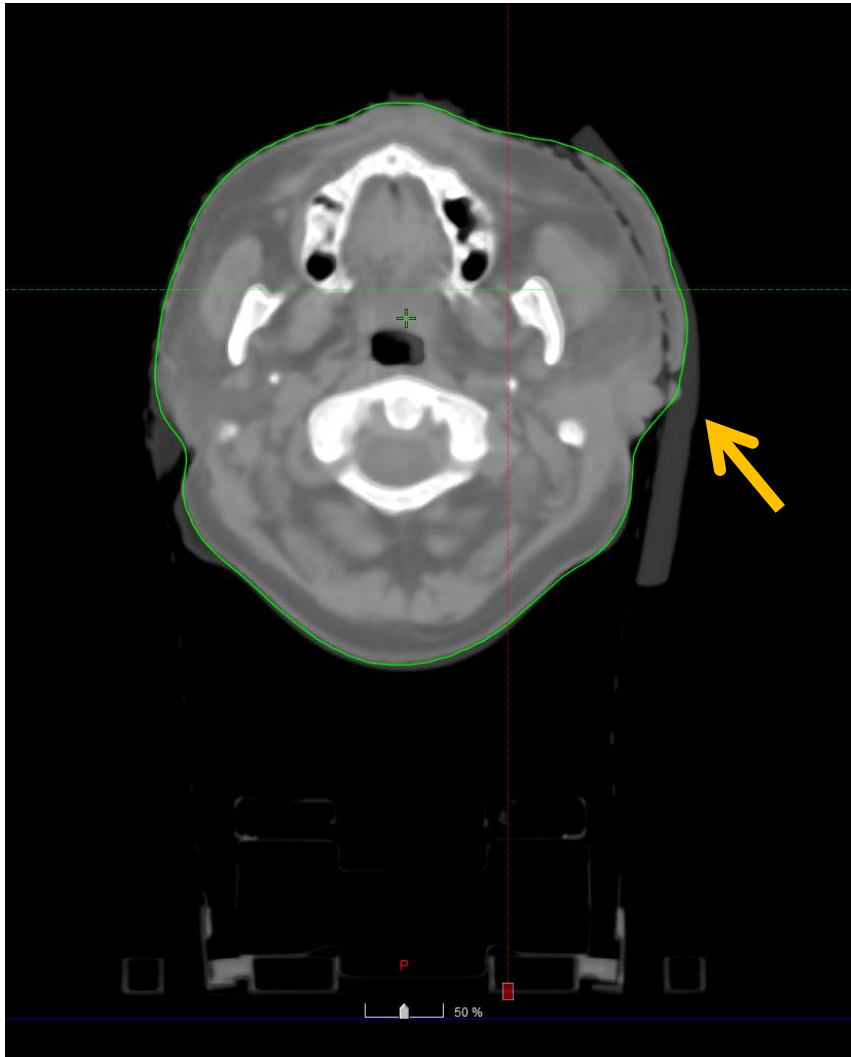
Velocity ESAPI skript (2)

- Porovnání DVH kritérií z původního a QA plánu
 - Kritéria ze zadaného templatu
 - Kritéria z klinického protokolu
 - Upozorní na změny
- Do budoucna přidání i jiných metrik než jen z DVH

ID Srtuktury	Popis	Mezní hodnota	Původní plán	QA plán	Výsledek a důležitost
CTV_High	98% receives more than	95.00 %	98.65 %	98.56 %	High
CTV_Low	98% receives more than	85.50 %	89.45 %	89.94 %	High
PTV_High	V95% Volume is more than	95.00 %	99.21 %	97.89 %	Intermediate
PTV_High	max dose is less than	111.00 %	107.63 %	109.66 %	Intermediate
PTV_Low	V85.5% Volume is more than	95.00 %	99.49 %	96.80 %	Intermediate
Parotid_L	mean dose is less than	26.00 Gy	4.10 Gy	4.16 Gy	Intermediate
SpinalCord	max dose is less than	45.00 Gy	15.87 Gy	15.58 Gy	Intermediate
Brain	D1ccm Dose is less than	58.00 Gy	55.27 Gy	55.33 Gy	None
Lungs	V20Gy Volume is less than	30.00 %	1.35 %	1.34 %	None
PTV_High	V95% Volume is more than	95.00 %	99.21 %	97.89 %	None
CTV_High	V95% Volume is more than	99.00 %	99.74 %	99.45 %	None
PTV_Low	V85.5% Volume is more than	95.00 %	99.49 %	96.80 %	None
CTV_Low	V85.5% Volume is more than	99.00 %	100.00 %	100.00 %	None
PTV_High	max dose is more than	60.00 Gy	60.61 Gy	60.61 Gy	None

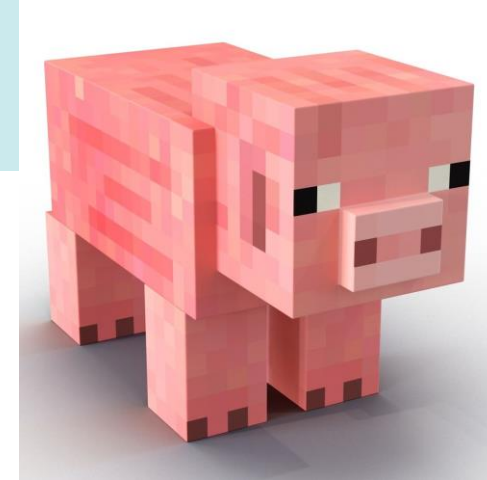
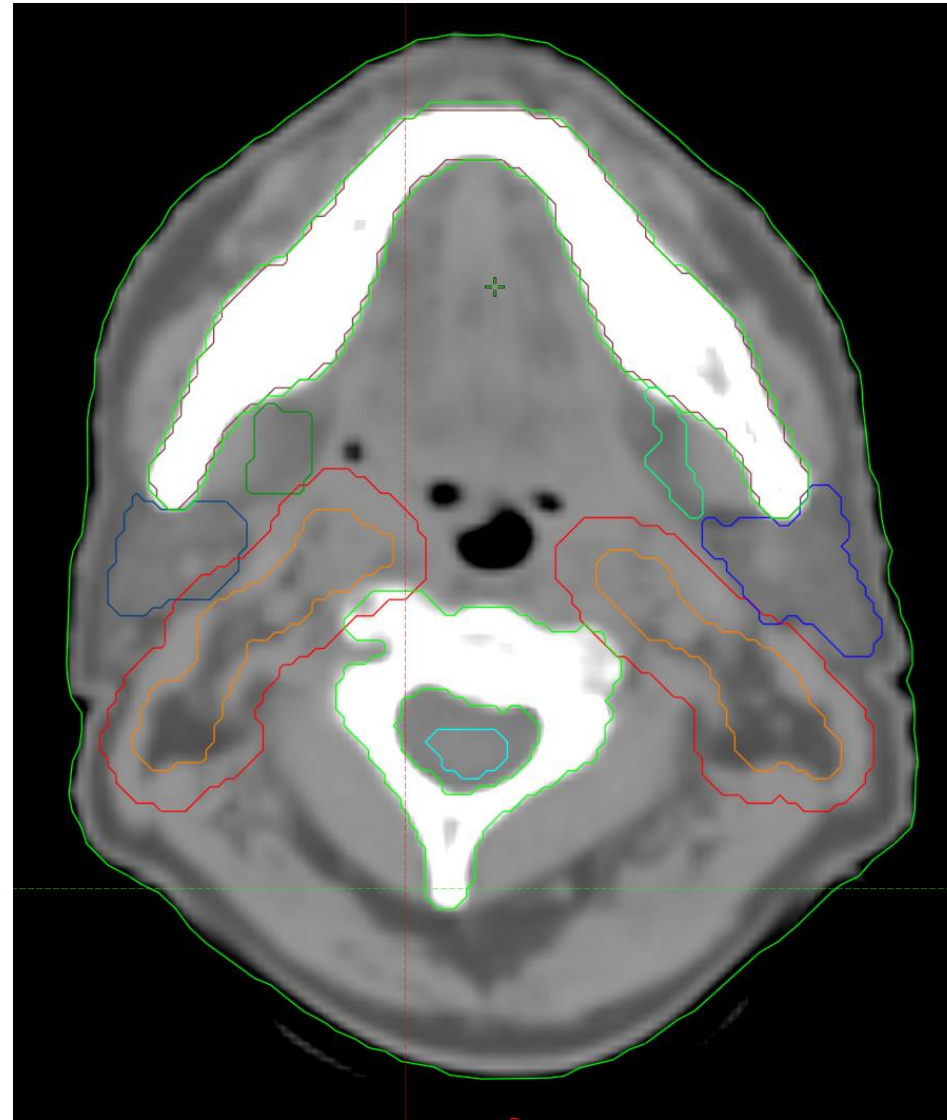
Problém 1) - virtuální bolus

Je-li bolus přidán při plánování, nelze provést správně deformabilní registraci a QA plan

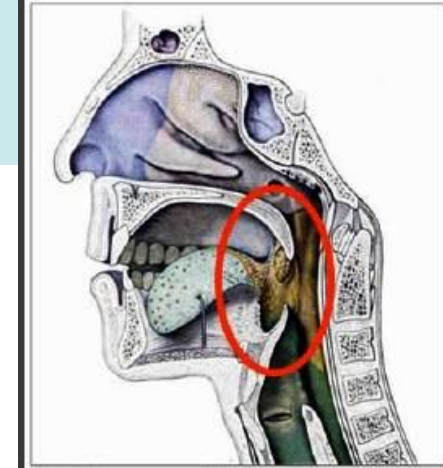


Problém 2) - nevyhlazené kontury

- Deformované struktury, které vytváří Velocity, jsou nevyhlazené
- Výsledek pokrytí a dávky je pak významně ovlivněn u struktur s malým objemem



Problém 3) - deformace při větší změně objemu



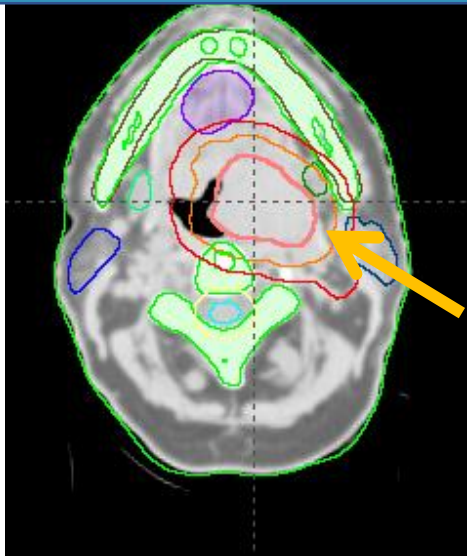
Pacientka 80 let s karcinomem orofaryngu

Radikální radioterapie: VMAT, SIB 33frakcí PTV high 70 Gy, PTV low 54,12 Gy

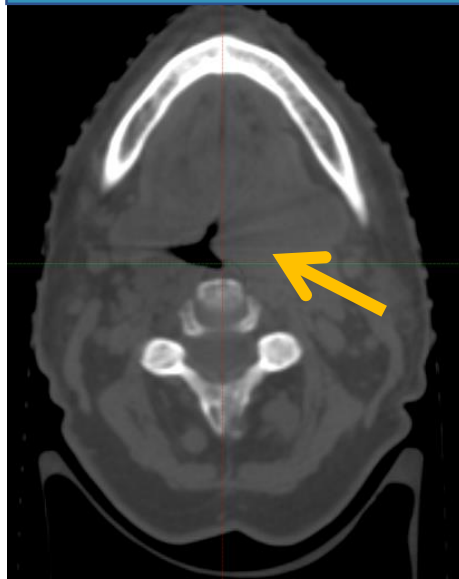
Rychlé zmenšení primárního tumoru během radioterapie

Plánovací CT - 10.1.2024
objem GTV 36,2 cc

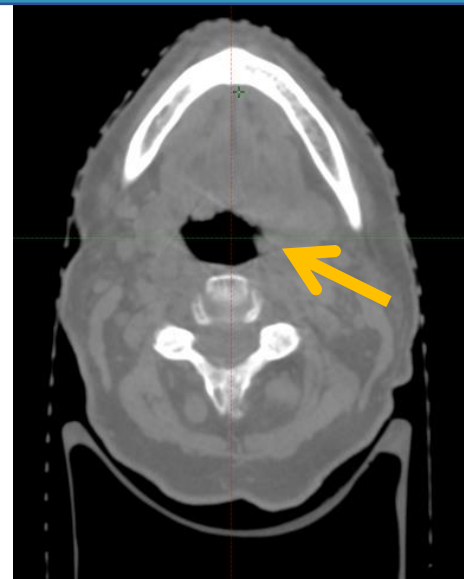
- tumor (GTV) vyznačen růžovou
barvou – obstrukce polykacích a
dýchacích cest



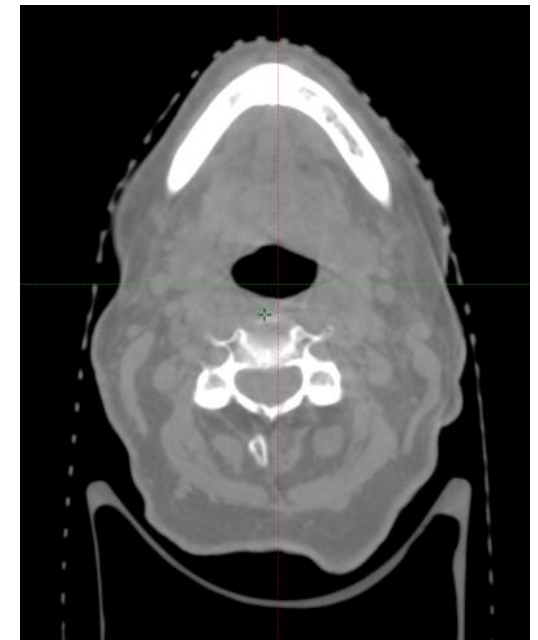
CBCT – zahájení RT
22.1.2024 – rozsah
tumoru odpovídá
plánovacímu CT



CBCT – 12.2.2024 – 16. frakce
(v polovině RT) – je vidět
výrazná regrese primárního
tumoru



CBCT – 6.3.2024 – 33. frakce
(poslední frakce RT)

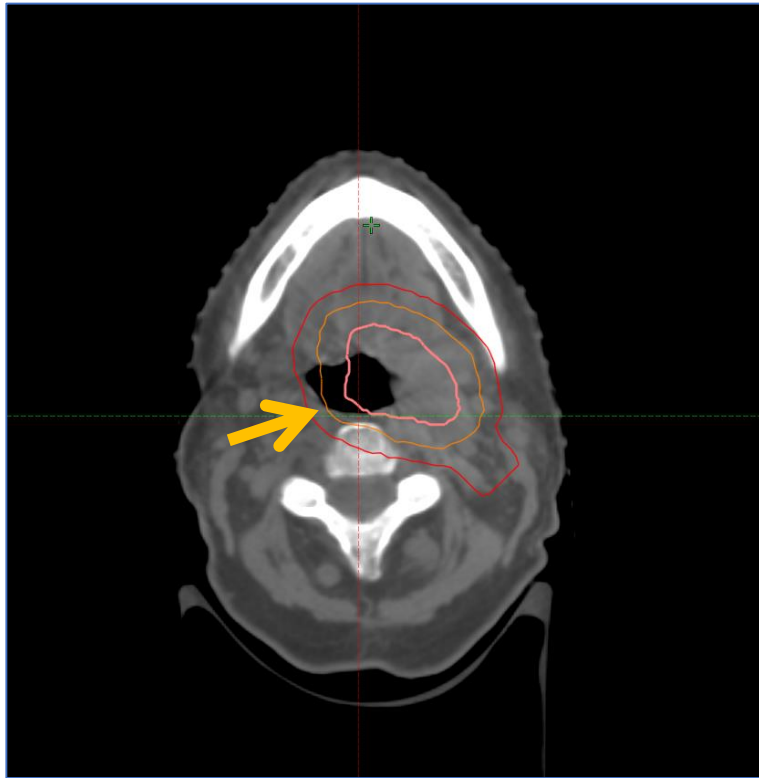


Problém s deformací při větší změně objemu

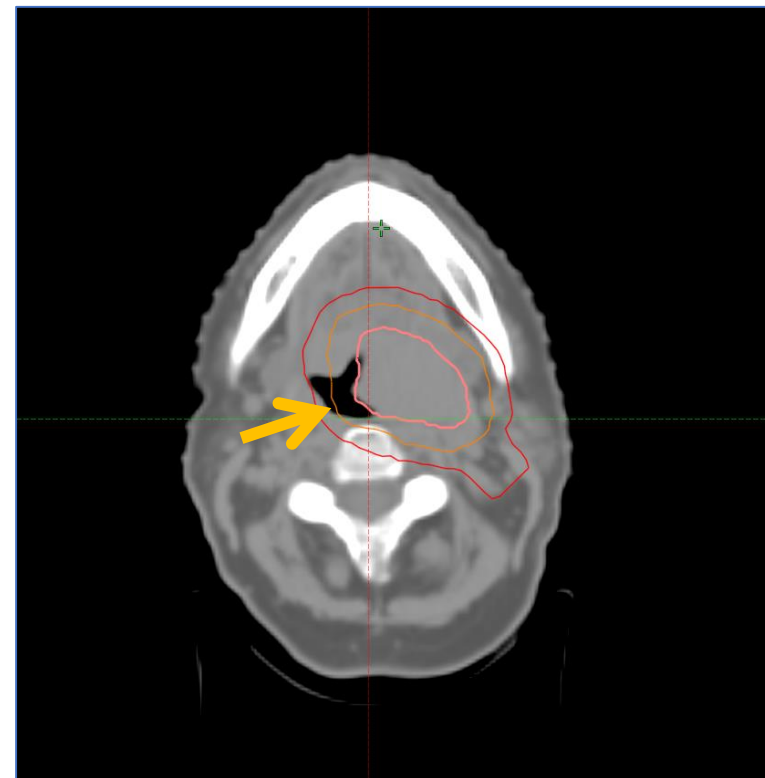
Rychlé zmenšení primárního tumoru během prvních frakcí RT

- viditelné na CBCT, ale ve Velocity chybná deformace (ponechán původní rozsah GTV)

CBCT 12.2.2024



Deformované plánovací CT pomocí Velocity

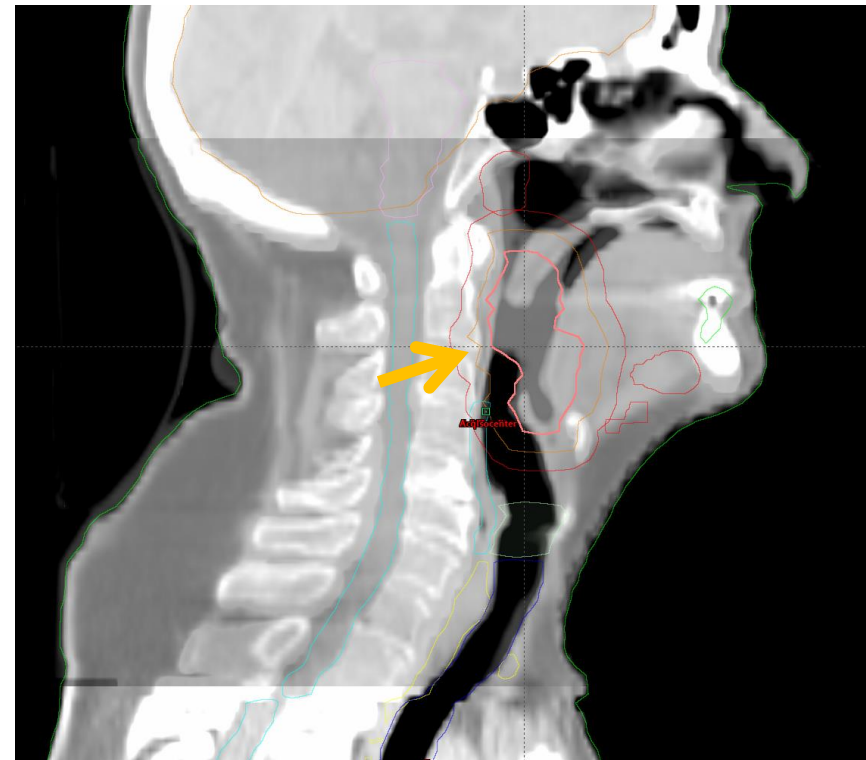
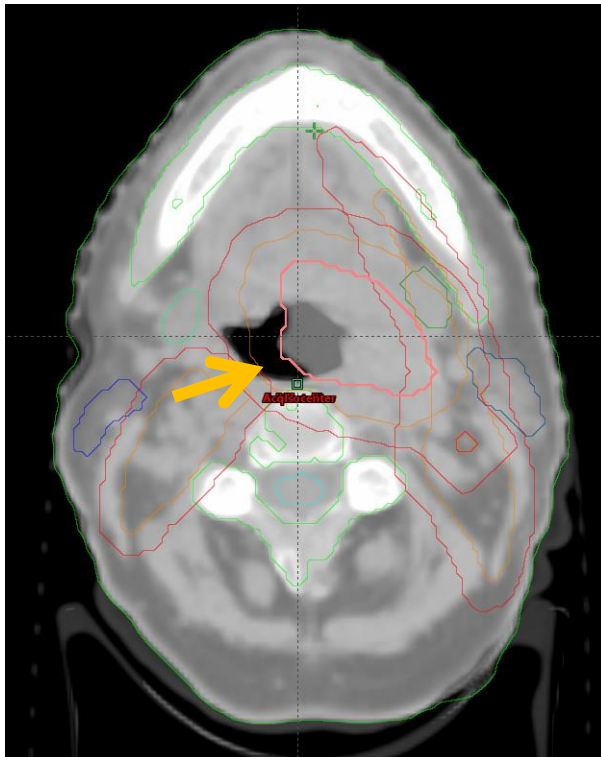


Problém s deformací při větší změně objemu

Rychlé zmenšení primárního tumoru během prvních frakcí RT

Ve Velocity chybná deformace GTV a CTV

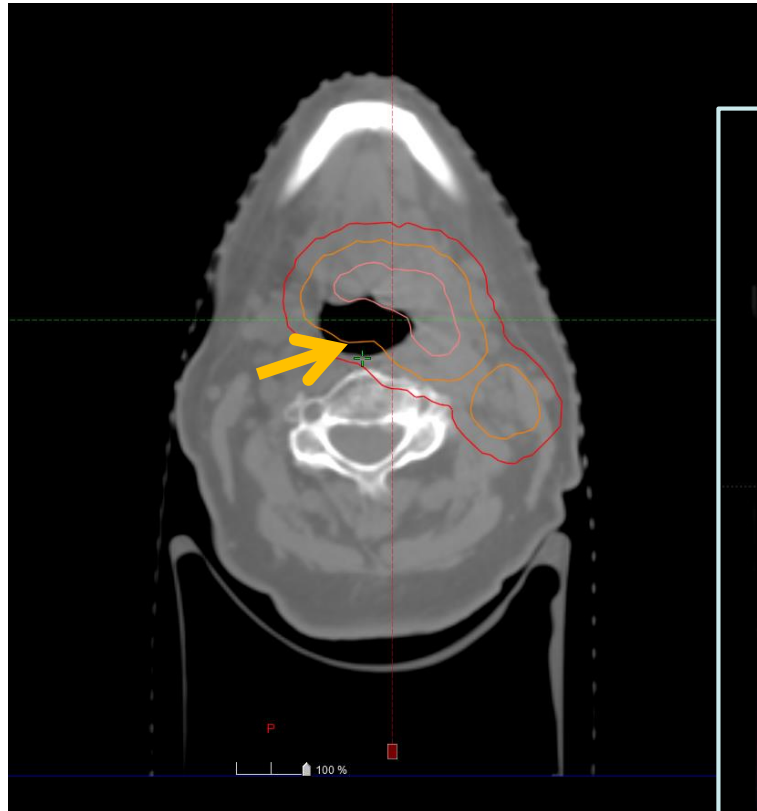
Registrace CBCT (z 16. frakce RT) a deformovaného CT
– deformované CT, GTV ani CTV neodpovídají aktuálním anatomickým poměrům



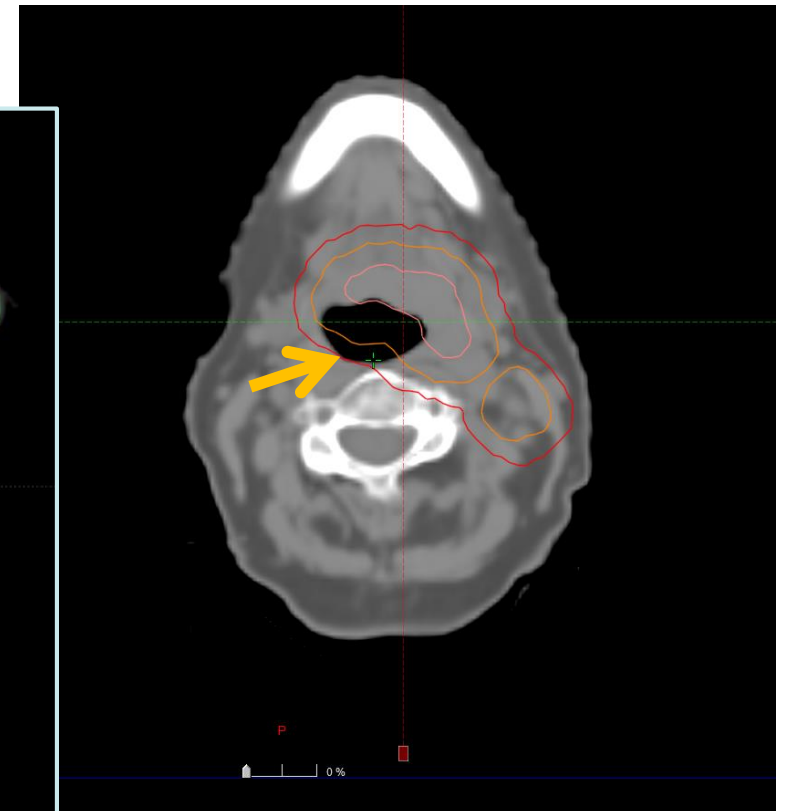
Problém s deformací při větší změně objemu

Pomocí Eclipse – správná deformace GTV, ale stále chybná deformace CTV (selhává v oblastech zakreslení struktury do vzduchu)

CBCT

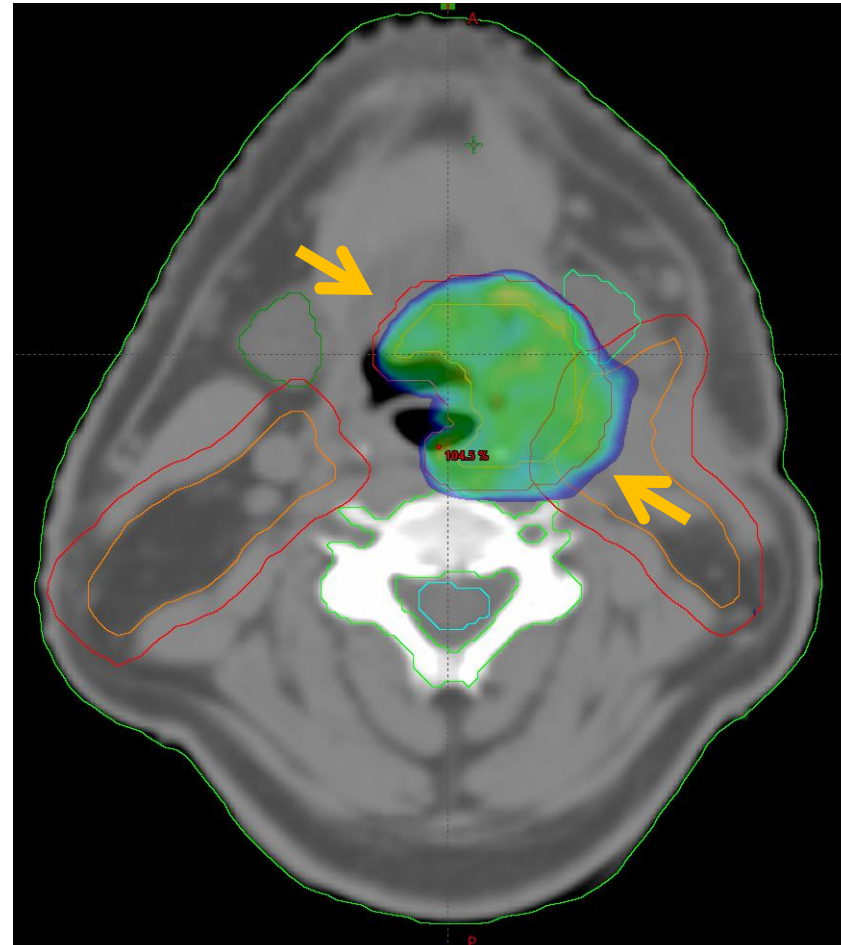


Deformované CT pomocí Eclipse



Co může adaptivní RT odhalit - nesprávné nastavení pacienta

- Při QA plánu se projeví špatné nastavení pacienta
- Může být důvod k replanu, pokud je pacienta obtížné nastavit do plánované pozice

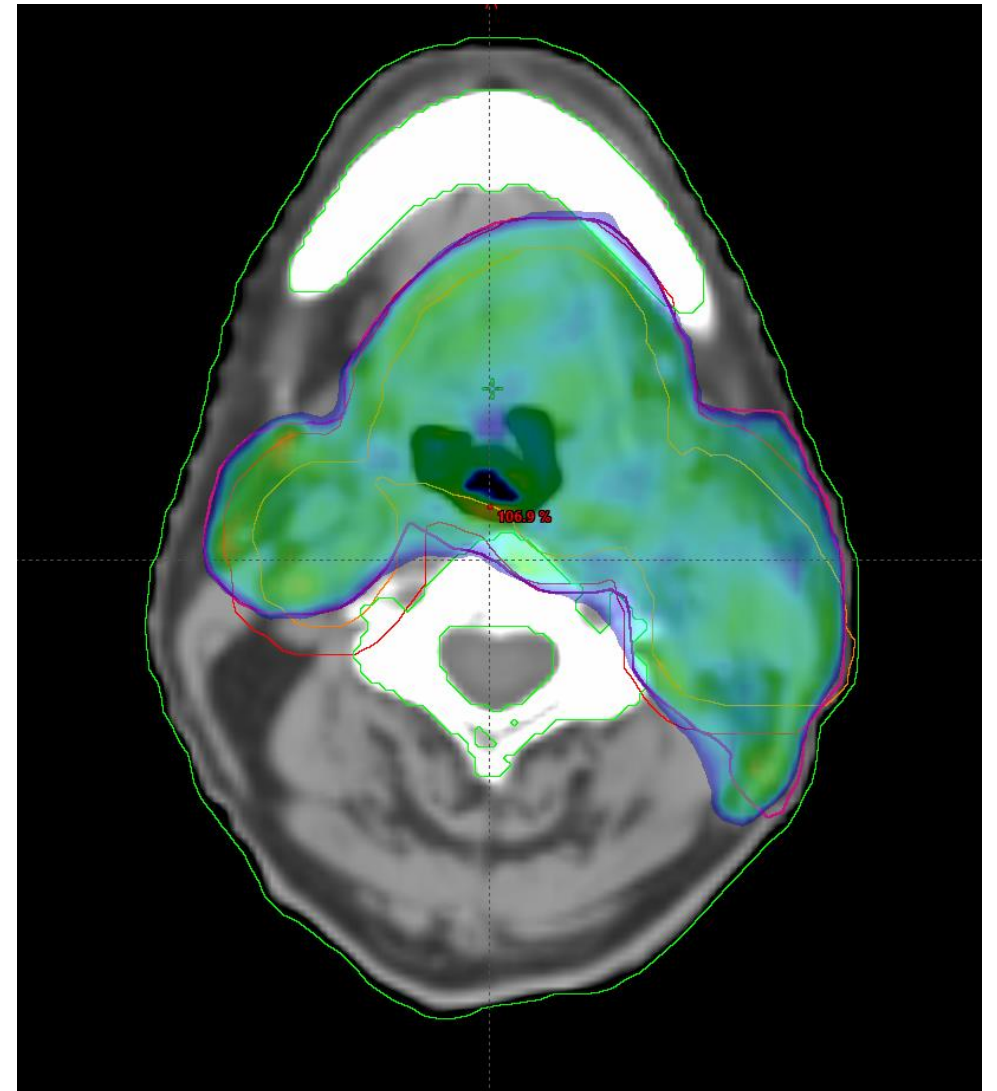


Co může adaptivní RT odhalit (a způsobit) - radiologická událost

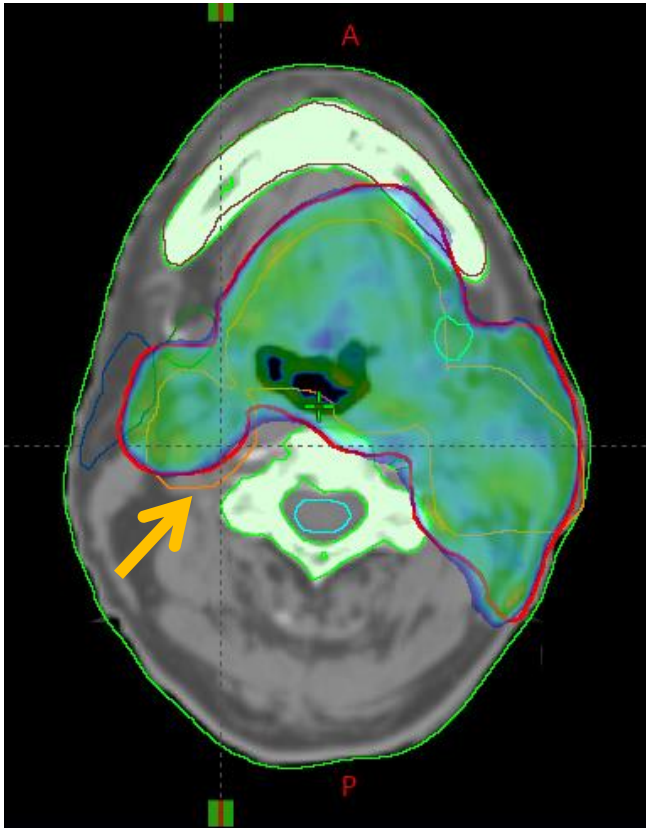
- Při pravidelném vyhodnocení QA plánu bylo zjištěno, že došlo k poklesu pokrytí PTV High.

Ukázalo se, že při konturování replanu (na nové plánovací CT), nebyl vytvořen nový lem z CTV High na PTV High, ale PTV High bylo ponecháno z deformabilní registrace a zkopírováno.

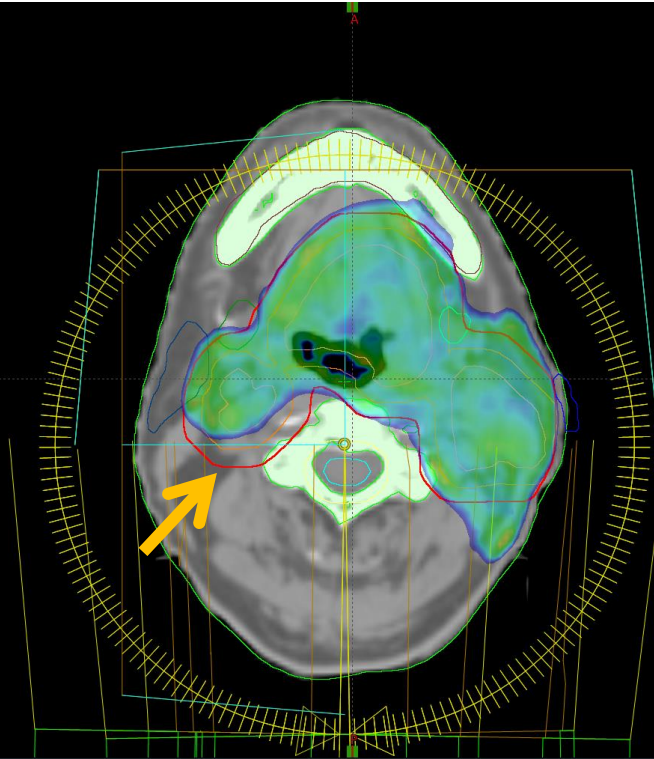
Pacient byl ozářen v 8mi frakcích replanem se špatně zakresleným PTV High.



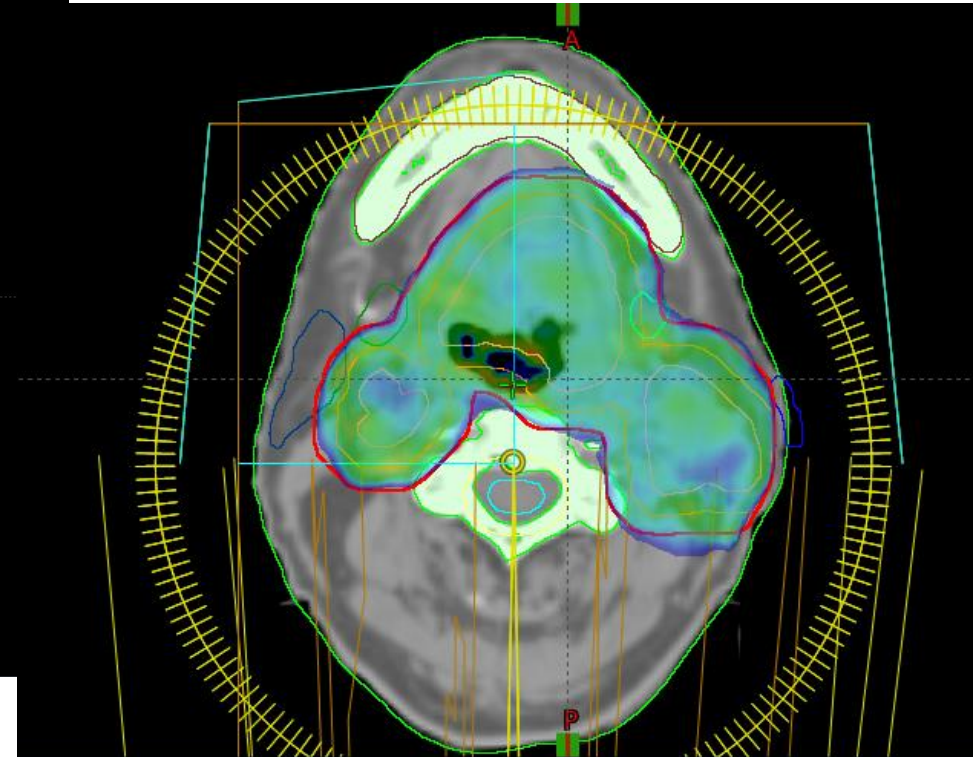
Co může adaptivní RT odhalit (a způsobit) - radiologická událost



- chybně zakreslené PTV (červeně)
- je vidět, že CTV (oranžové) přesahuje přes PTV a není pokryto předepsanou dávkou (zobrazeno 95% předepsané dávky)



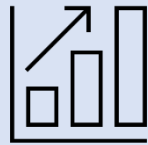
- již správně zakreslené PTV (vytvořením lemu k CTV)
- je vidět, že nově – správně vytvořené PTV není pokryto předepsanou dávkou



- opravený ozařovací plán – správné PTV a správná dávková distribuce

Adaptivní radioterapie

- je nesporně moderním trendem v radioterapii
- má přínos pro přesnější dodání dávky do cílového objemu a šetření okolní tkáně
- v některých případech umožňuje zvýšit dávku do cílového objemu
- posiluje týmovou spolupráci



Adaptivní radioterapie

- vyžaduje investice do vybavení
- je časově náročná pro lékaře, fyziky, radiologické asistenty
- stanovení přesnosti deformabilní registrace – výzva pro fyziky



Use of image registration and fusion algorithms and techniques in radiotherapy: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 132



Děkuji za pozornost