



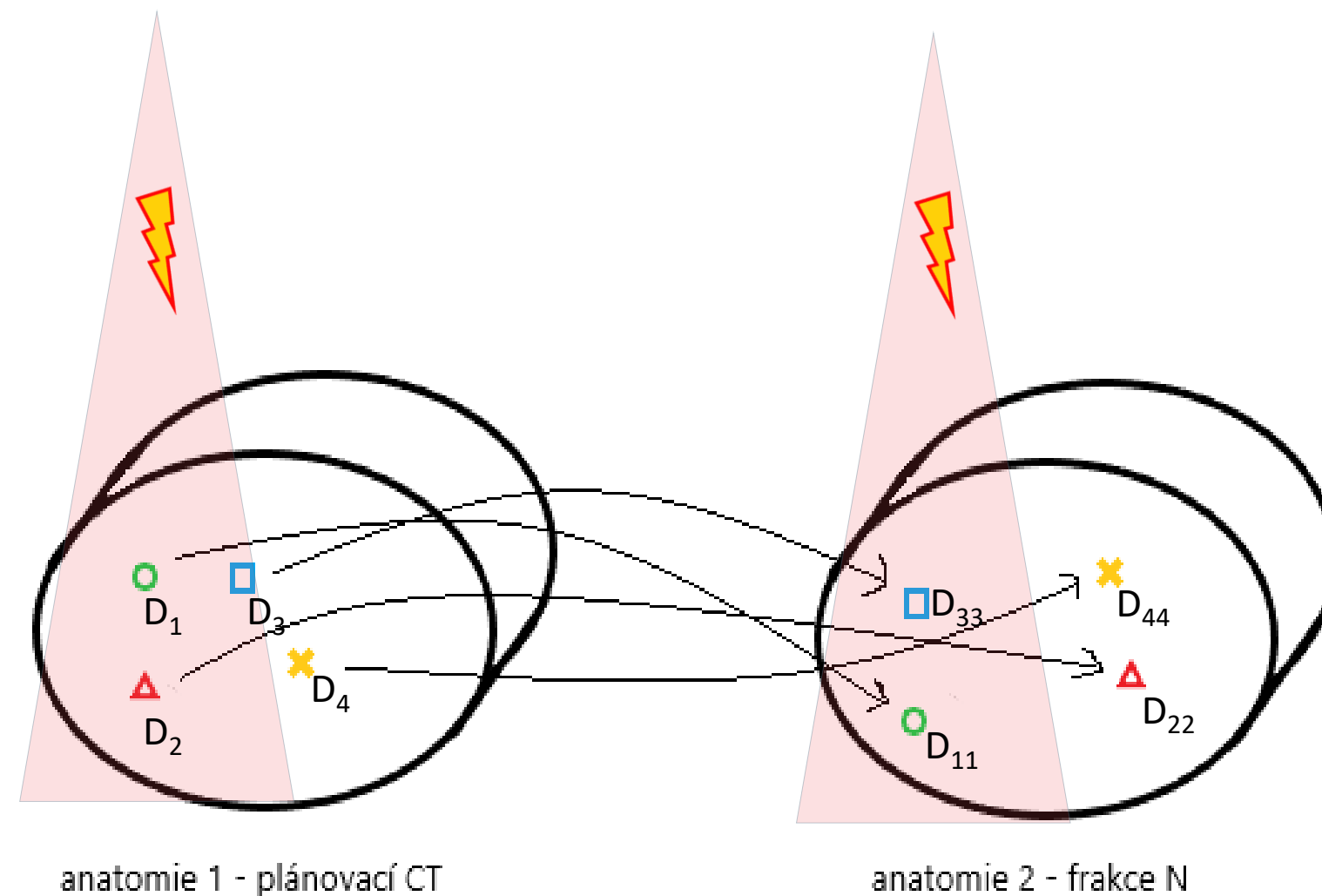
FAKULTNÍ NEMOCNICE®
OLOMOUC

Východiska adaptivní radioterapie

Václav Novák
Oddělení lékařské fyziky a radiační ochrany
FAKULTNÍ NEMOCNICE OLOMOUC
vaclav.novak@fnol.cz

Proč adaptivní radioterapie?

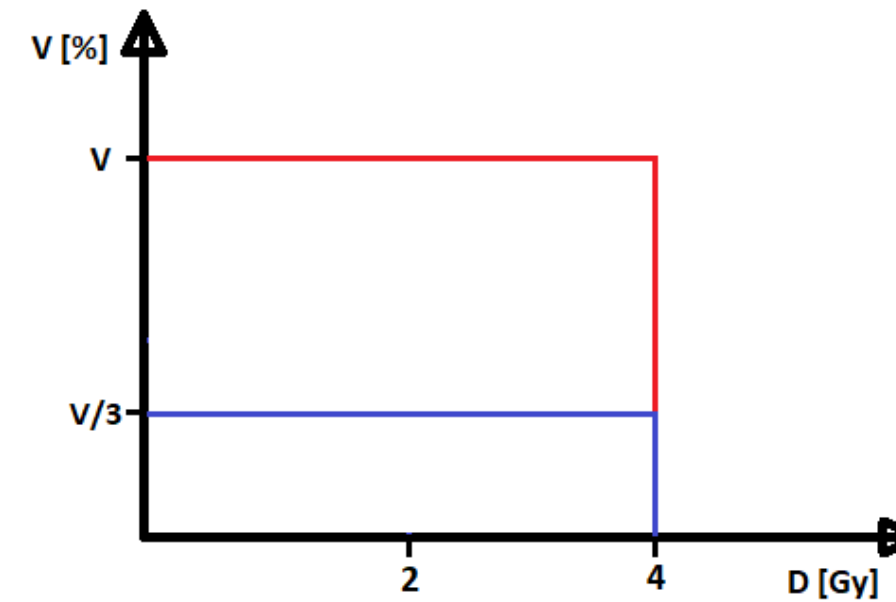
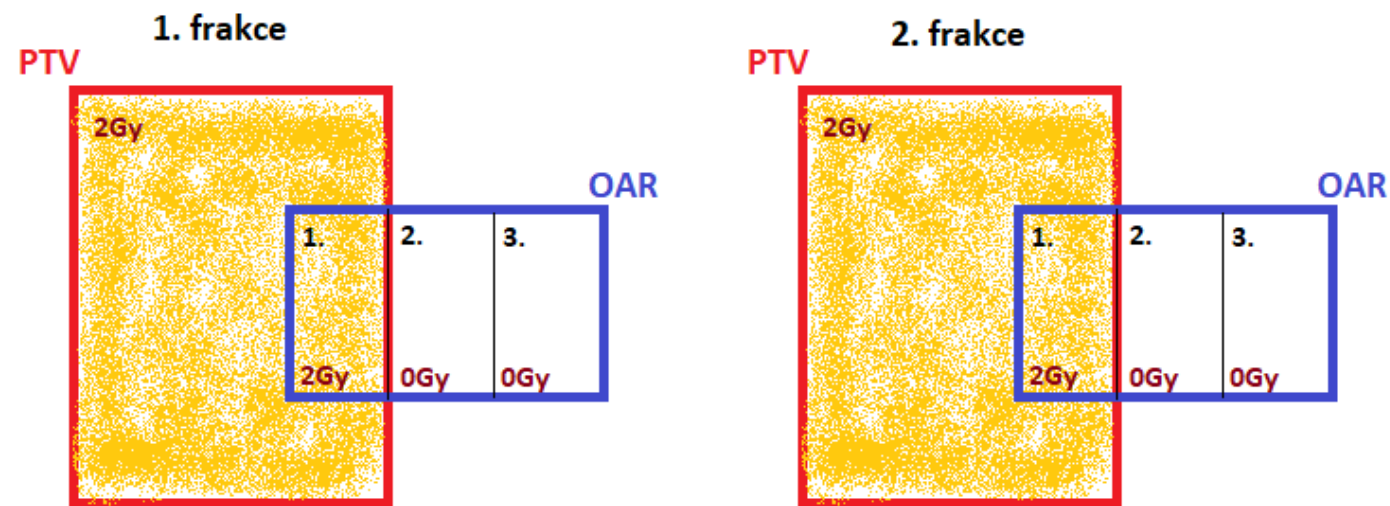
- Plánovací CT → ozařovací plán
- Frakcionace léčby → délka ozařovací série ~ týdny (+ příprava plánu)
- Pohyby a deformace tkání, váha pacienta ↓↑, objemy tkání ↓↑
(u orofaryngeálních karcinomů se primární nádor v průběhu 3. týdne zmenšuje o 41% a na konci 6. týdne až o 70%)
[Šlampa a kol., Radiační onkologie, 2021]



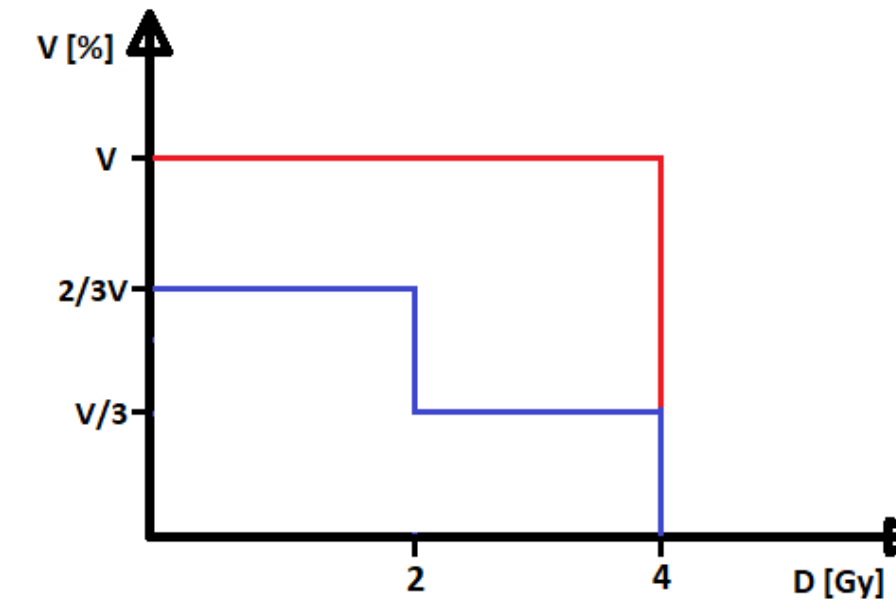
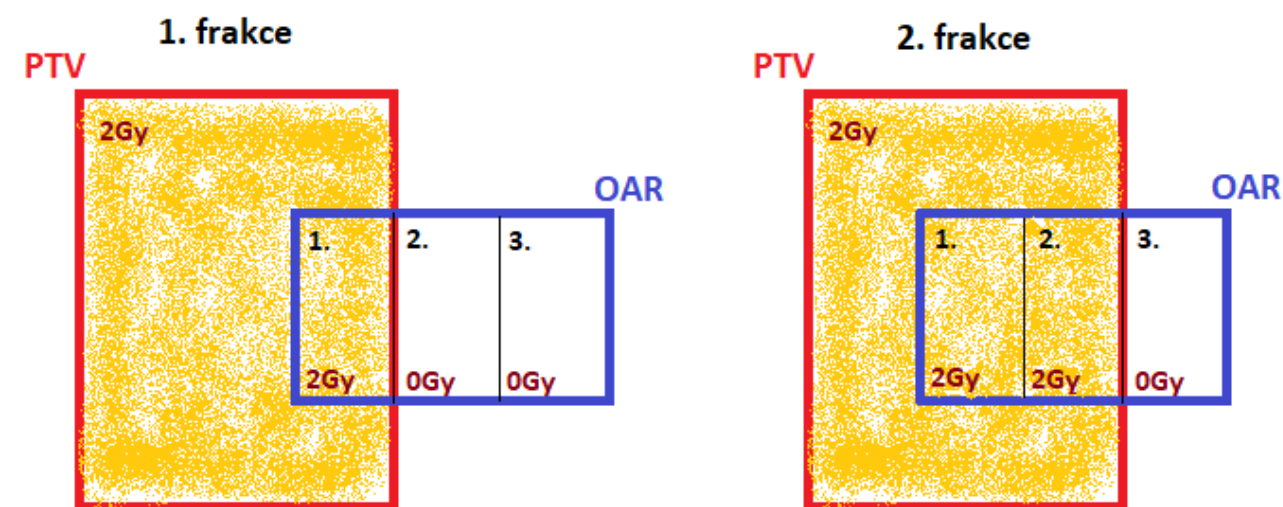
Proč adaptivní radioterapie?

- Hodnocení DVH - posouzení kvality plánu/léčby

Plán:

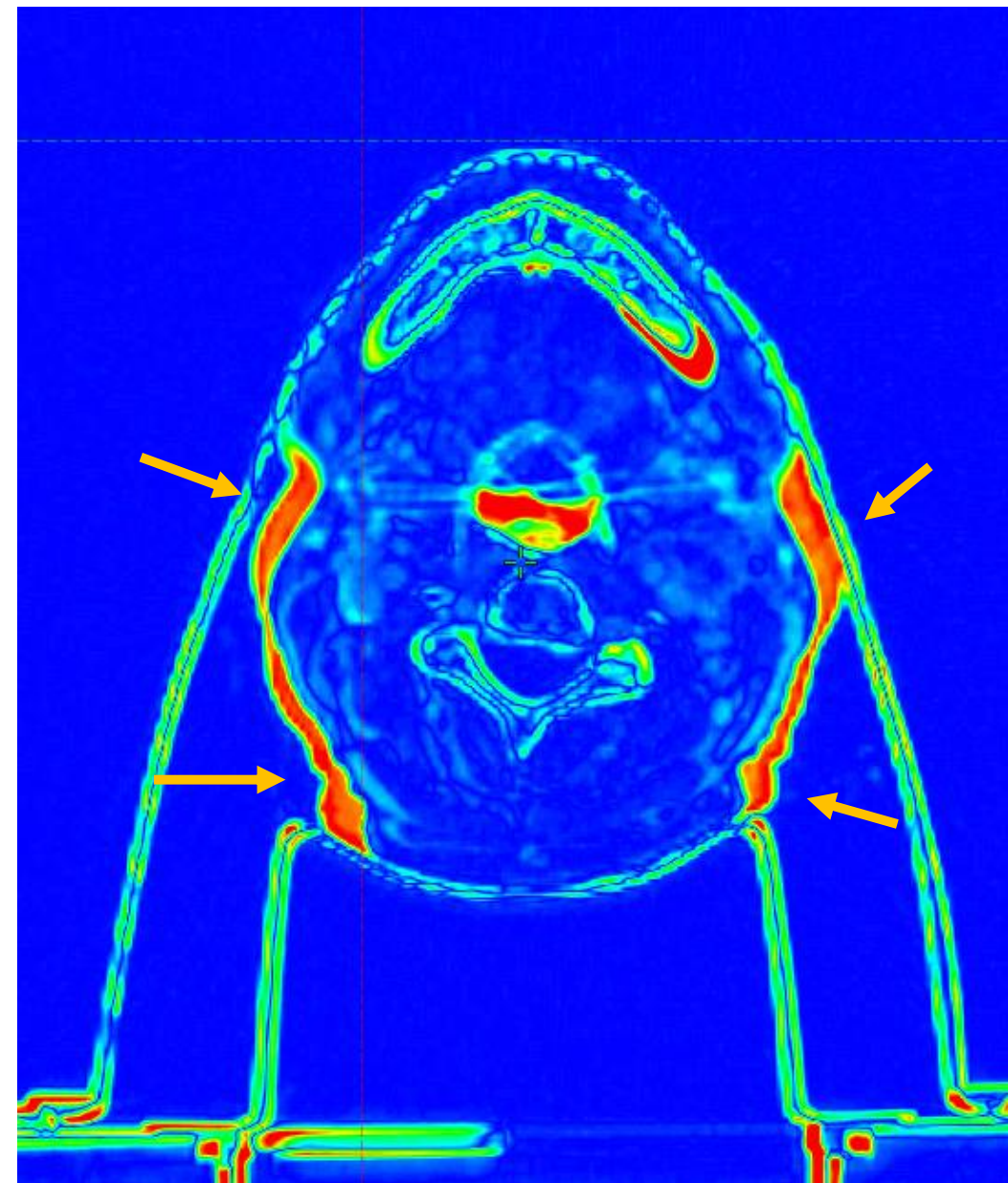


Reálné ozáření? :



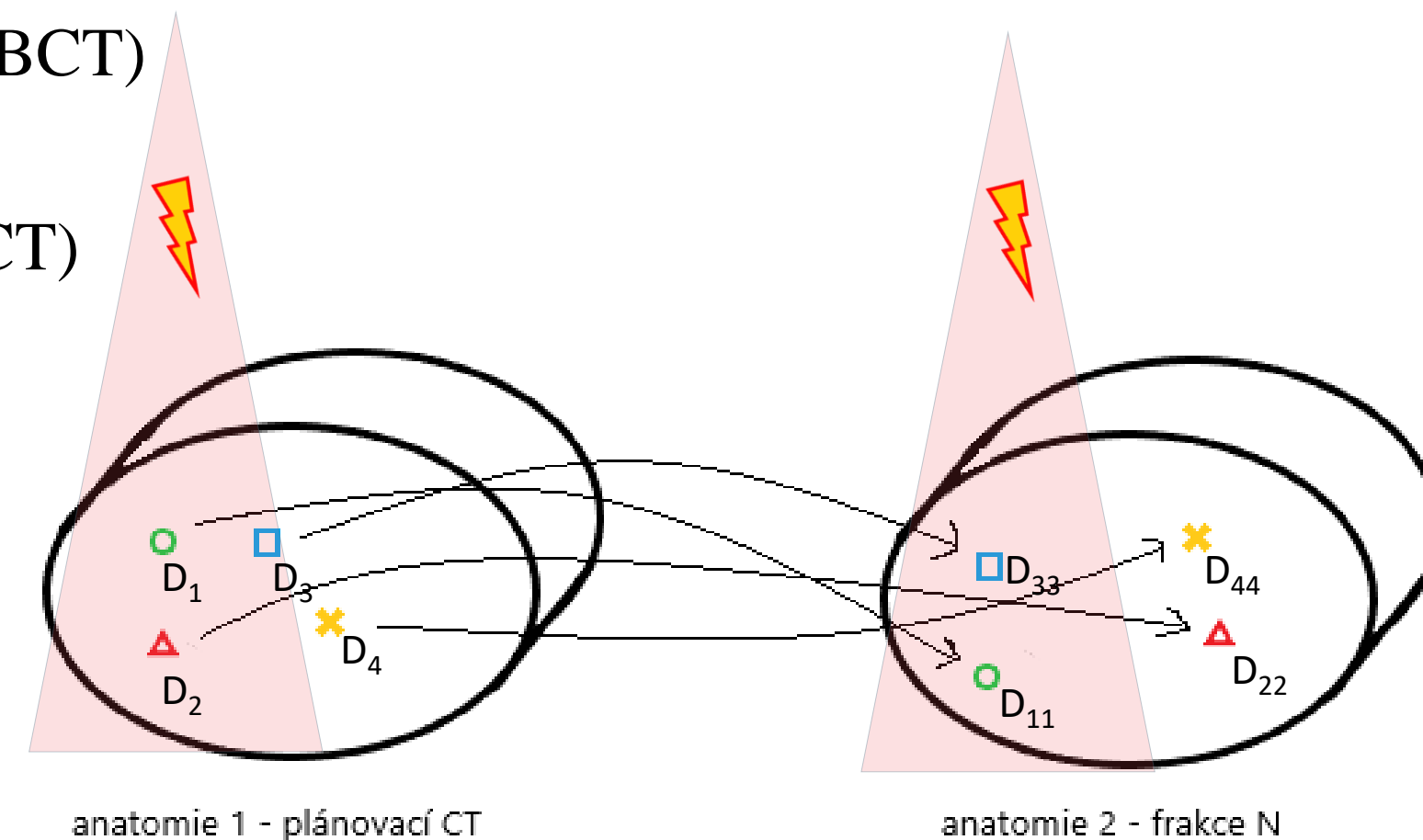
Proč adaptivní radioterapie?

- Sledování změn v anatomii pacienta (ve FNOL změny zachyceny pomocí denních CBCT)



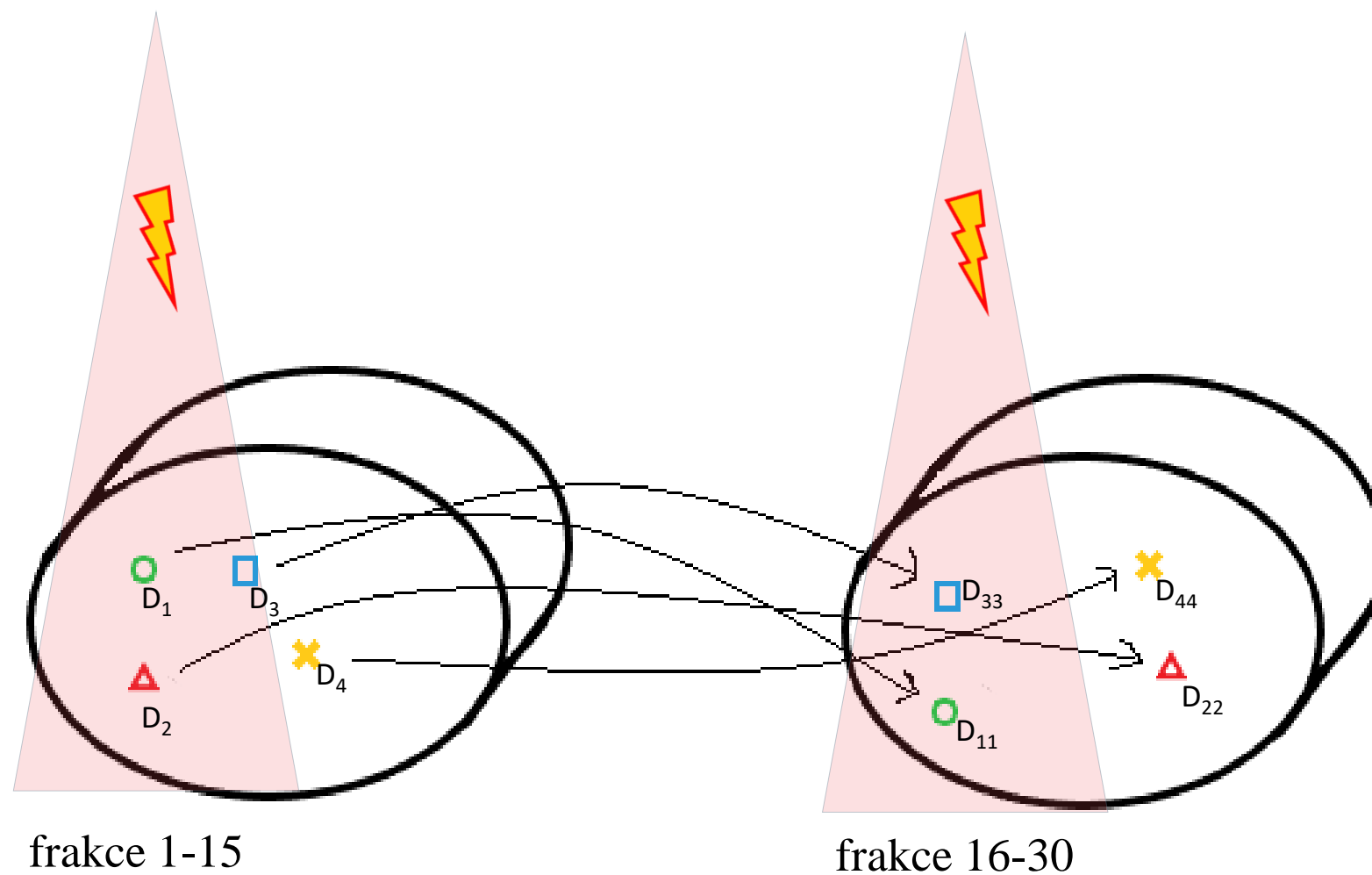
Proč adaptivní radioterapie?

- Sledování změn v anatomii pacienta (ve FNOL změny zachyceny pomocí denních CBCT)
→ jak rozhodnout, zda je změna OK nebo ne?
- 2 možnosti :
 - a) Přenesení originální dávkové distribuce do nové anatomie aktuálního CBCT (problém zvětšujících/zmenšujících se orgánů)
 - b) Přepočítání originálního plánu do nové anatomie (aktuálního CBCT)
 - nová/aktuální/reálná dávková distribuce
 - porovnání dávkových distribucí (plánovacím CT vs. CBCT)
 - plan evaluation
 - při nesplnění kritérií přijatelnosti dávkové distribuce v aktuální anatomii → nové CT a nový plán
= **adaptivní radioterapie**



Sčítání dávkových distribucí

- Několik různých plánů (dávkových distribucí) v různých anatomických (různých CT) stejného pacienta
- Hodnocení celé ozařovací série?
- Jak sečíst dávky v stejných tkáních?

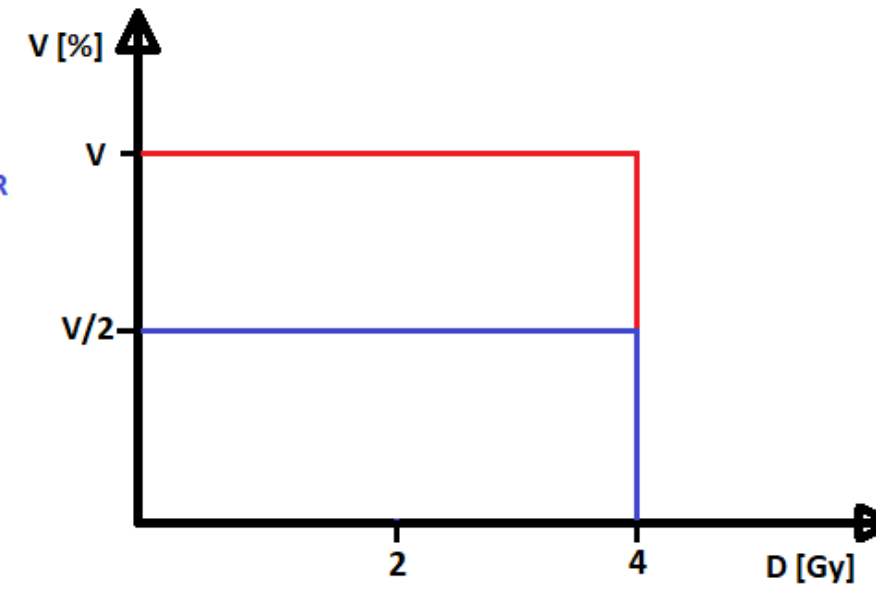
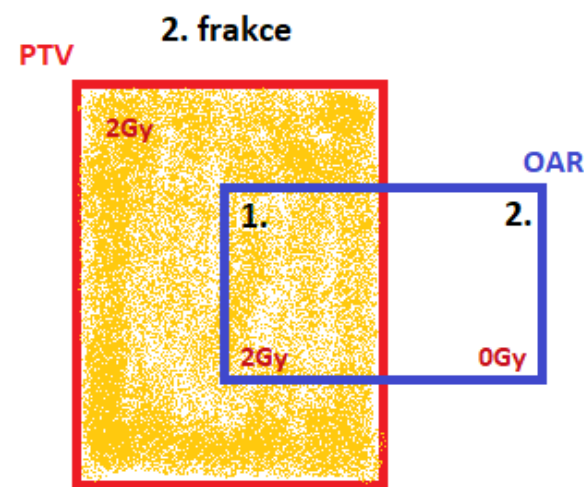
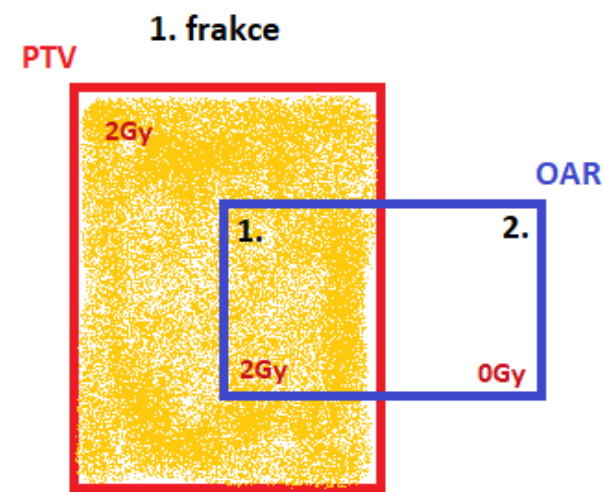


$$\begin{aligned} D_1 + D_{11} &= ? \\ D_2 + D_{22} &= ? \\ D_3 + D_{33} &= ? \\ D_4 + D_{44} &= ? \end{aligned}$$

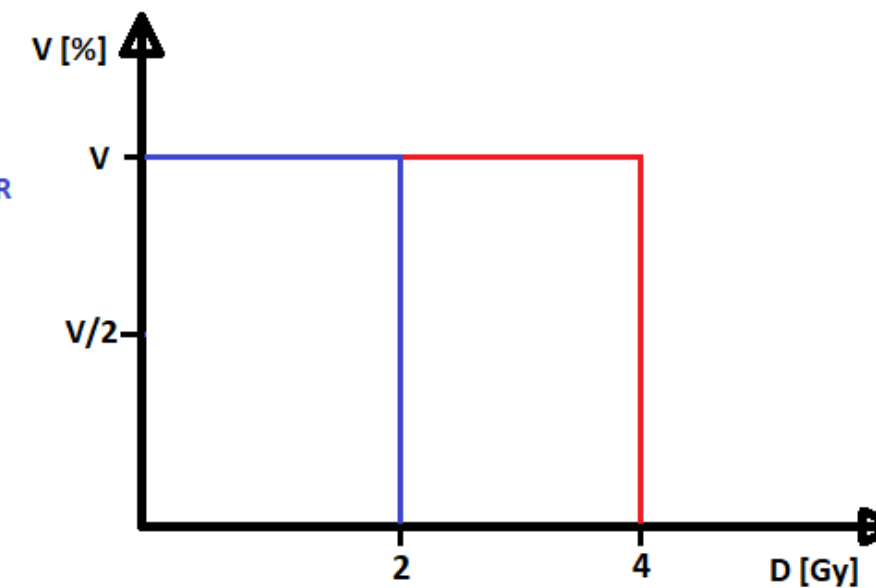
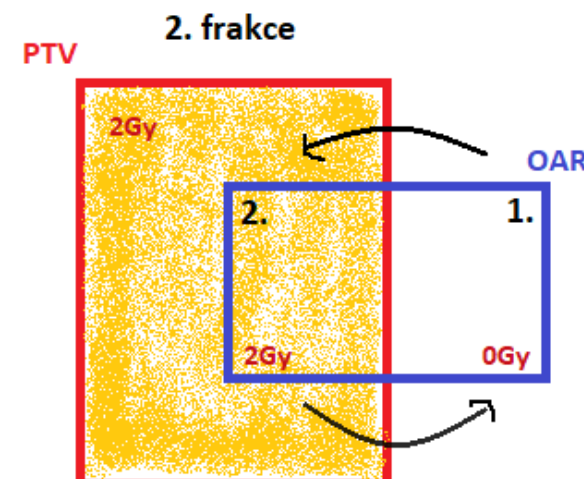
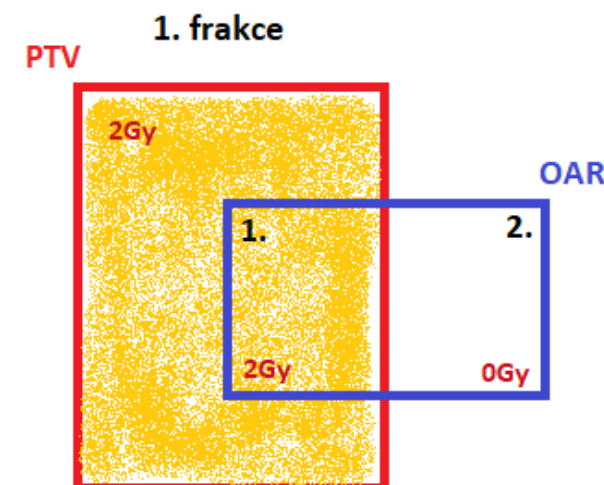
Sčítání dávkových distribucí

- Jak sečíst dávky v stejných tkáních?

Plán:

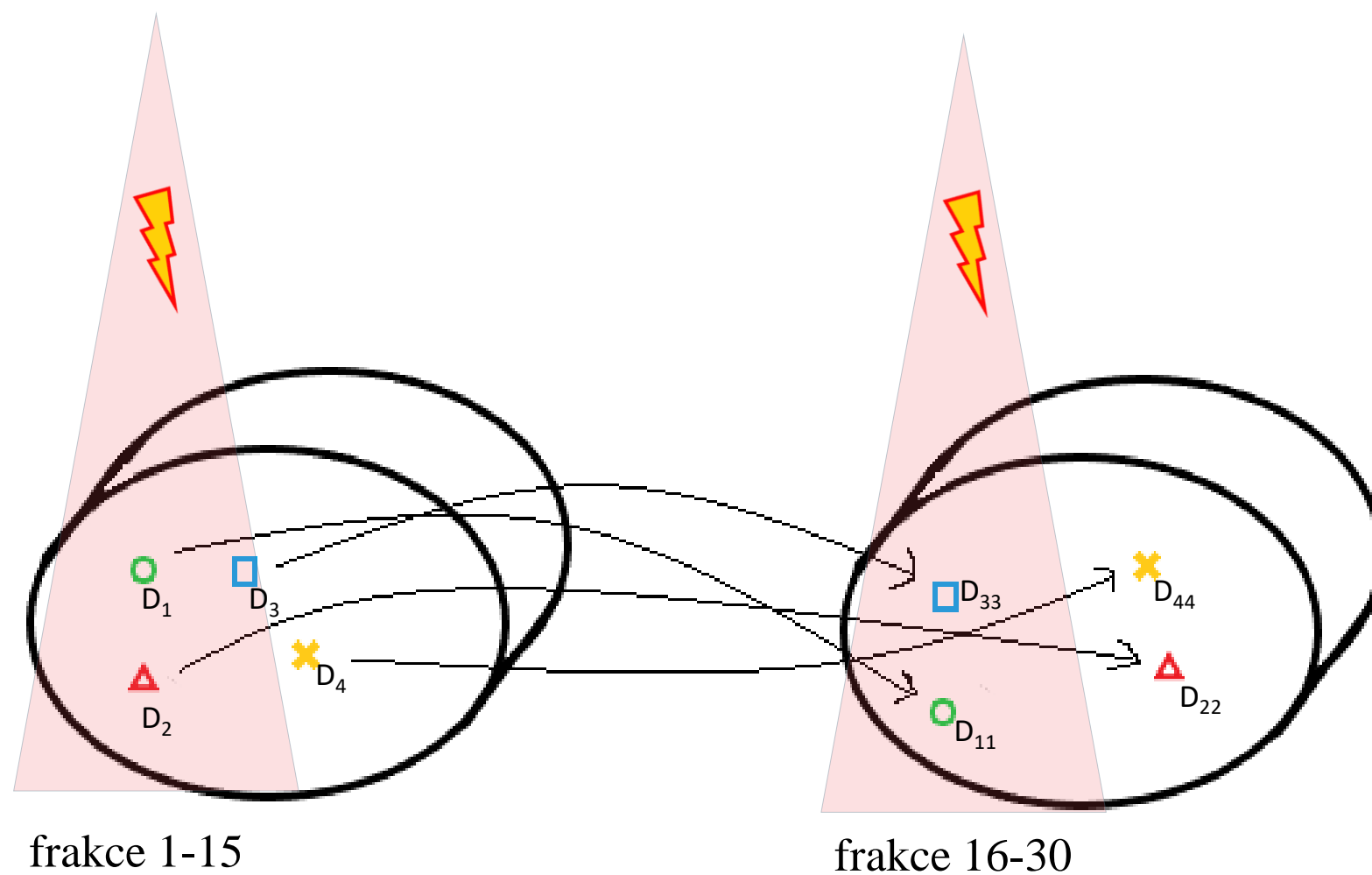


Reálné ozáření? :



Sčítání dávkových distribucí

- Rigidní (pouze posuny a rotace) vs. deformabilní registrace dat

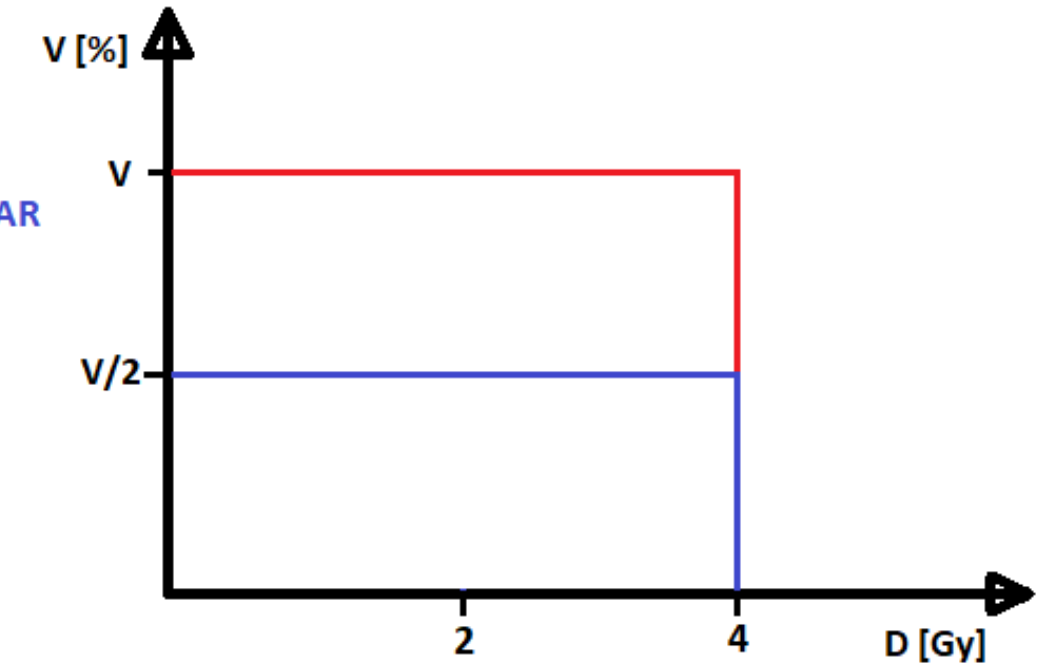
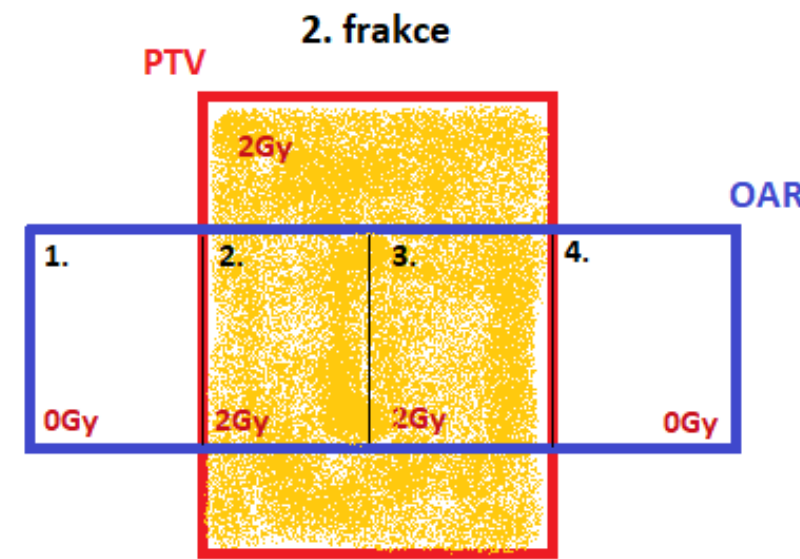
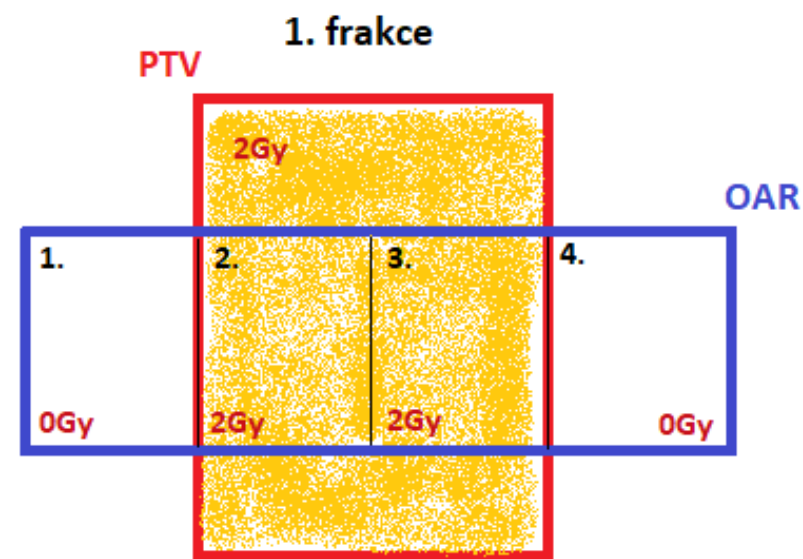


$$\begin{aligned} D_1 + D_{11} &=? \\ D_2 + D_{22} &=? \\ D_3 + D_{33} &=? \\ D_4 + D_{44} &=? \end{aligned}$$

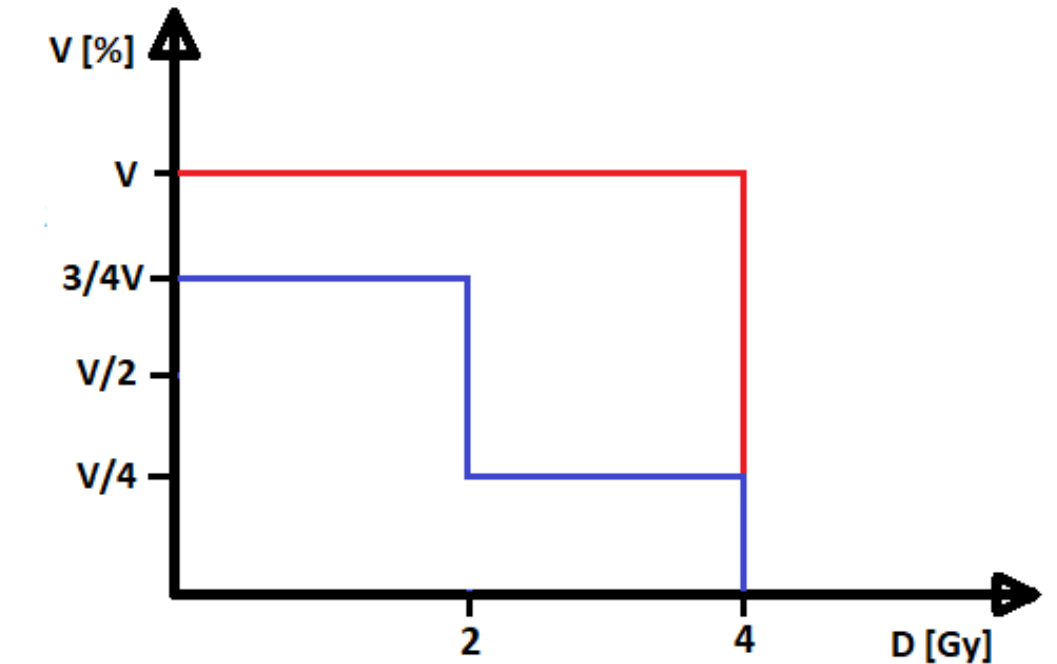
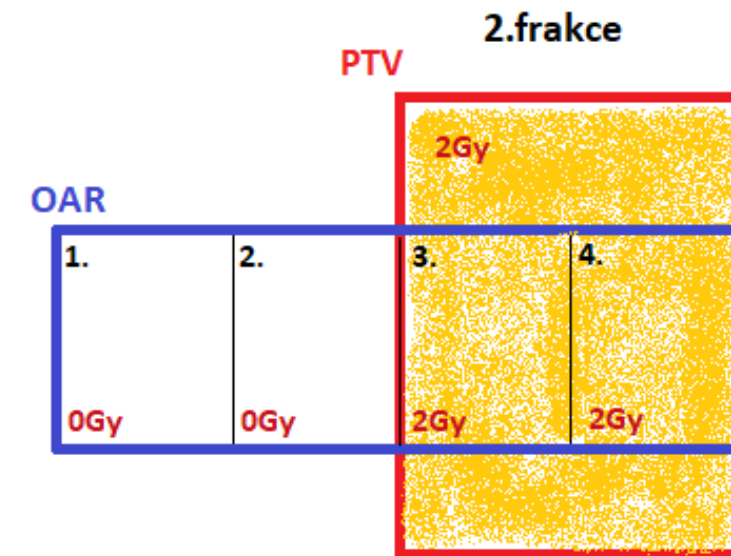
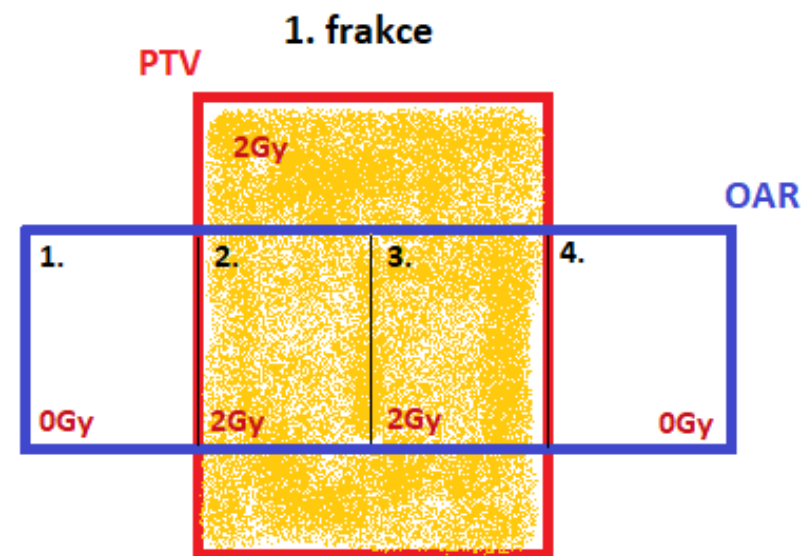
Sčítání dávkových distribucí

- Jak sečíst dávky v stejných tkáních?

Plán:

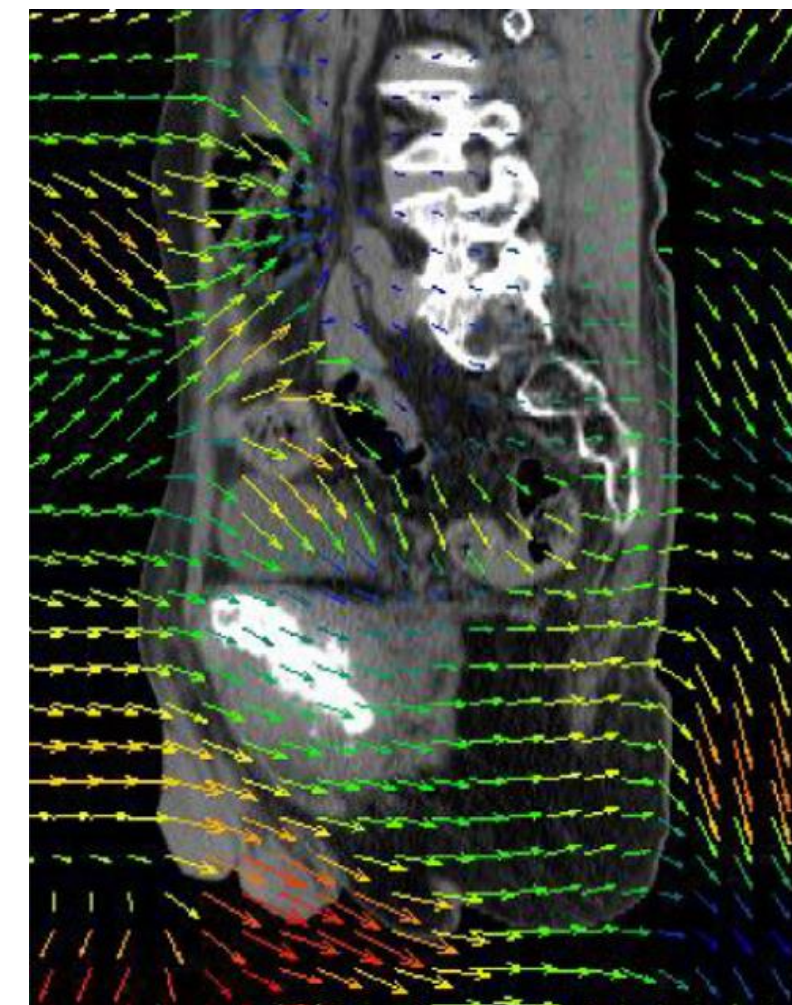
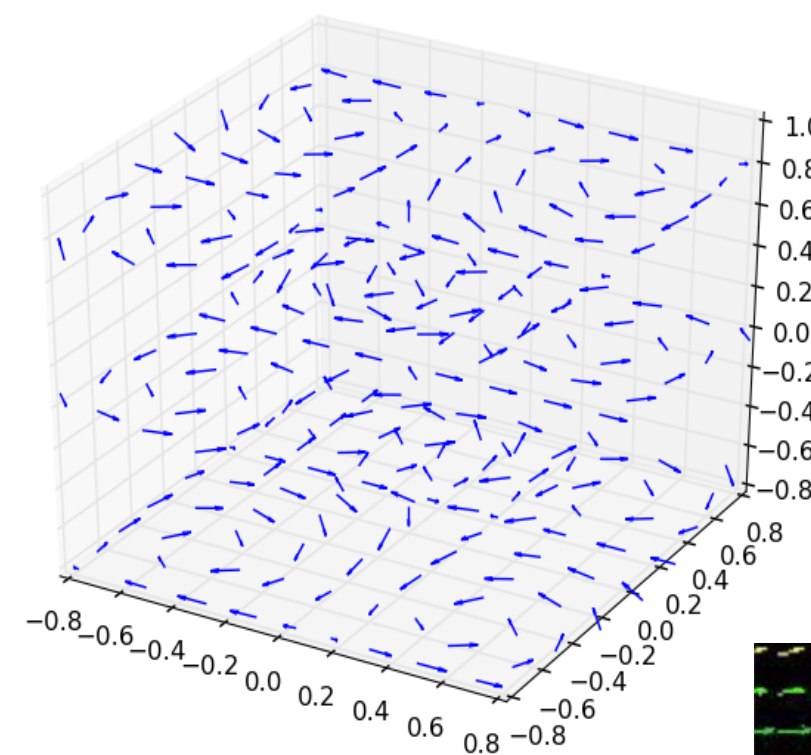
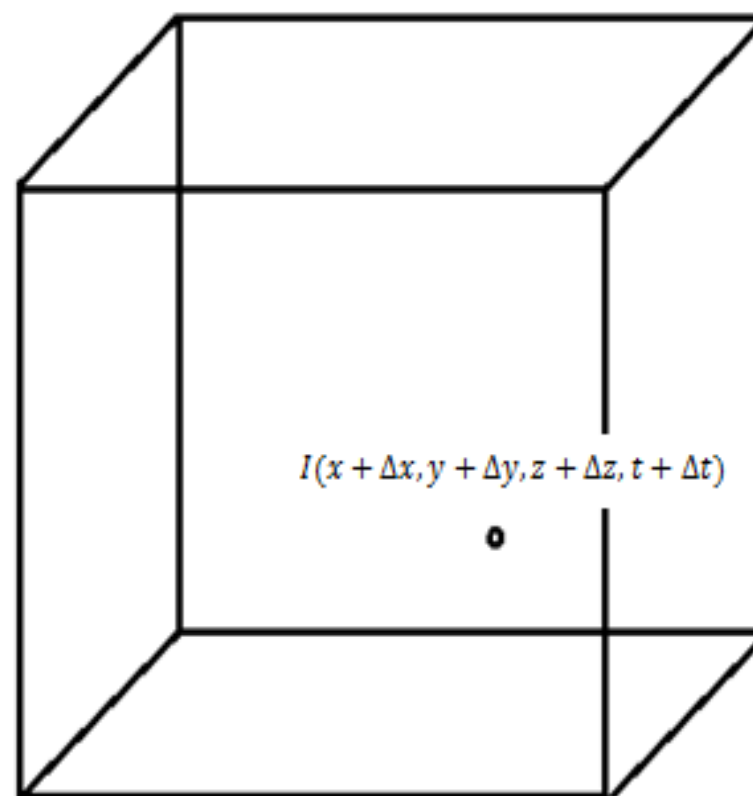
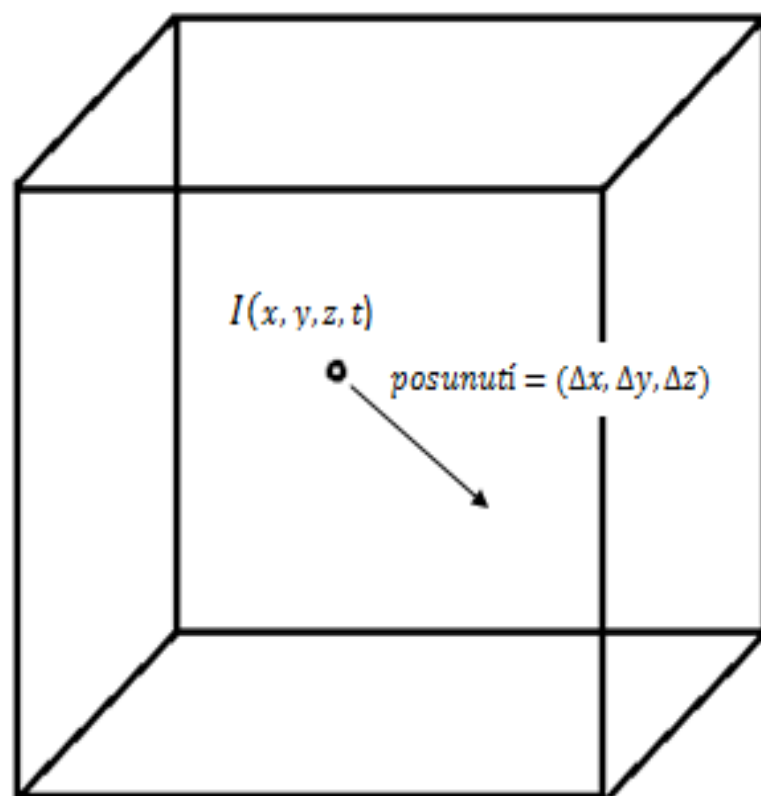
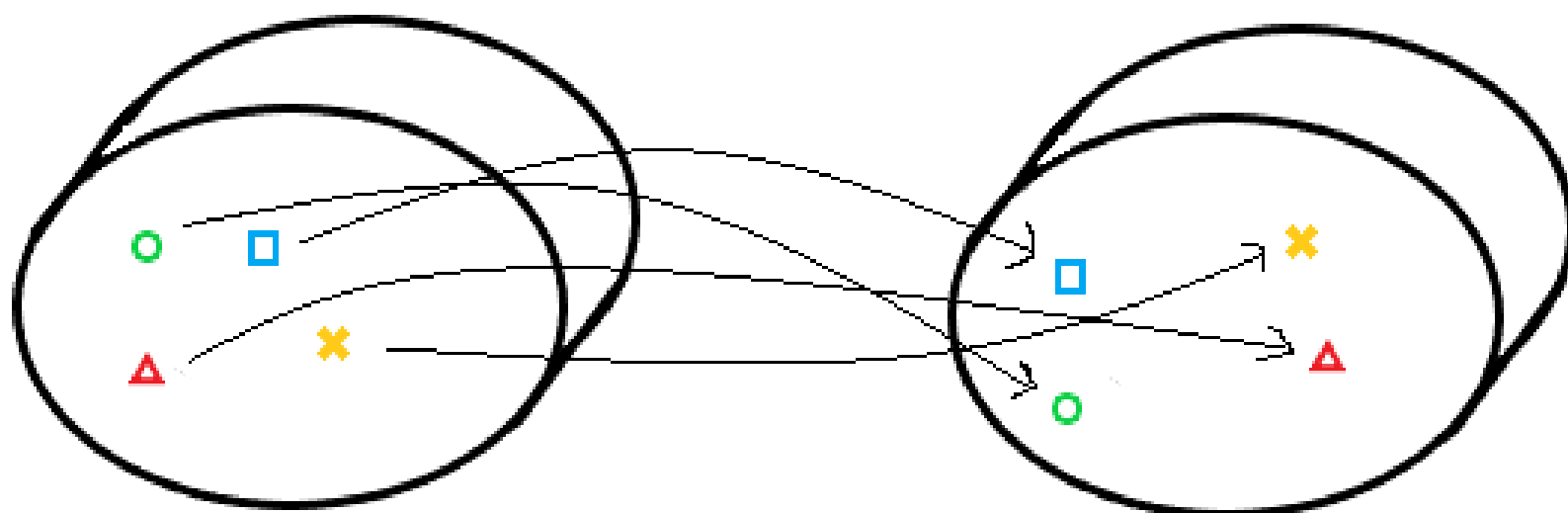


Reálné ozáření? :



Sčítání dávkových distribucí

- Deformační vektorové pole



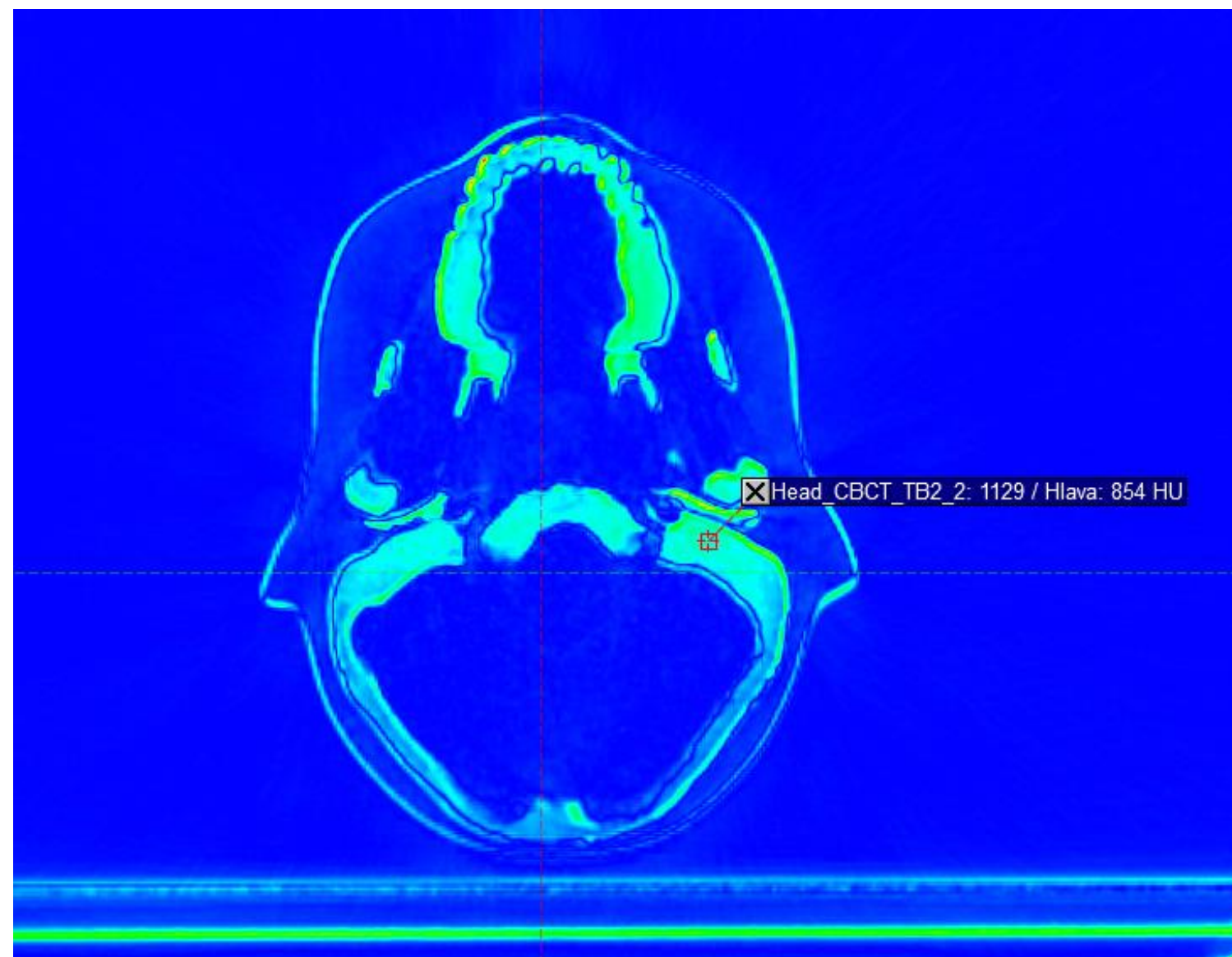
Co mi to přinese?

- ☺ Lepší představa o kumulaci dávky v konkrétním místě dané tkáně
- ☺ Možnost optimalizace dávky na základě předchozích ozáření
- ☺ Výpočet kumulovaného DVH (EQD_2 v případě součtu plánů s různou frakcionací)

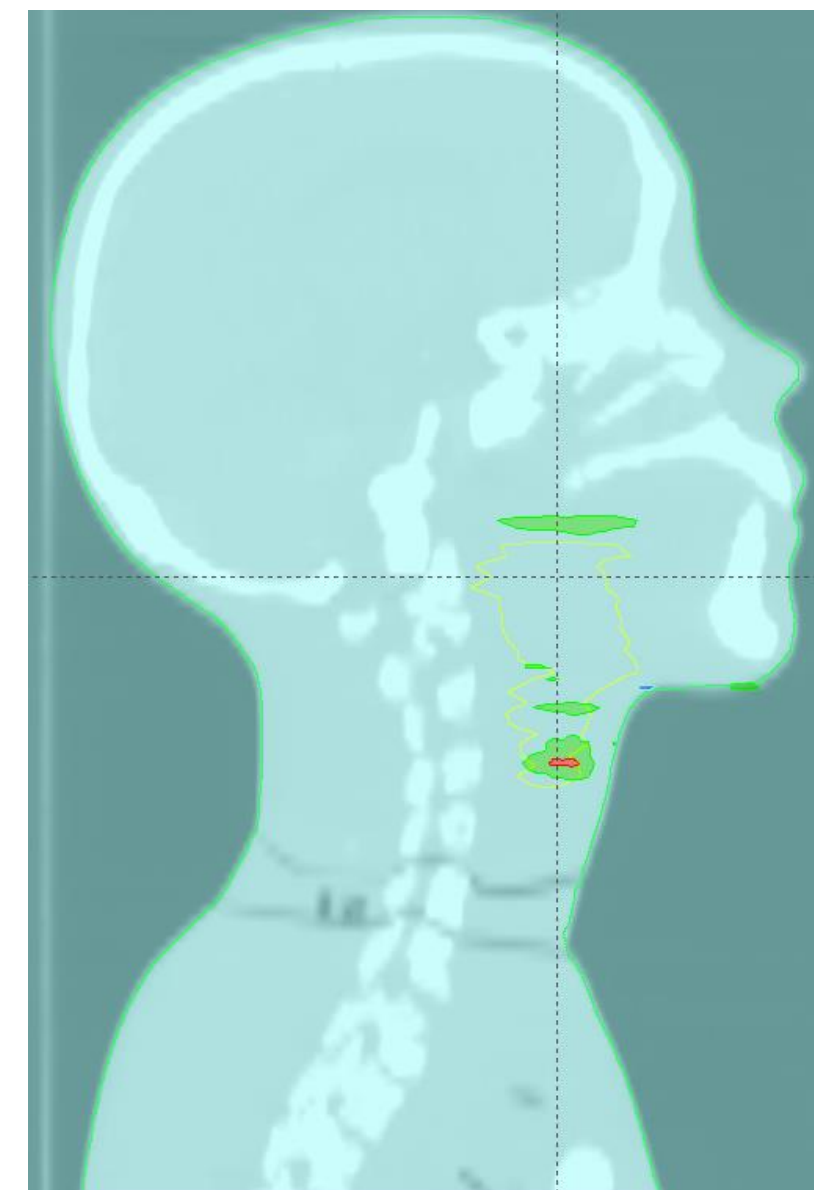
Tak kde je problém?

?? Výpočet dávky do CBCT ??

- Rozdíl mezi planCT a CBCT až 350HU (v kostech)



- Max. rozdíly v dávce (tj. bodově) pro VMAT plány do planCT a CBCT do 0,15Gy při $D_p=2\text{Gy}$ (2,6Gy v izocentru)



Tak kde je problém?

?? Výpočet dávky do CBCT ??

- Vytvoření adaptivního/syntetického aCT pomocí deformabilní registrace planCT a CBCT
 - Deformace kontur z planCT do aCT
- ☹ Špatné/chybné výsledky bez použití rigidní předregistrace
- ☹ U pacientů s velmi rozdílnou pozicí/anatomií během jednotlivých frakcí radioterapie nižší přesnost
- ☹ Registrace dat/tkání přítomných jen v jednom obraze?

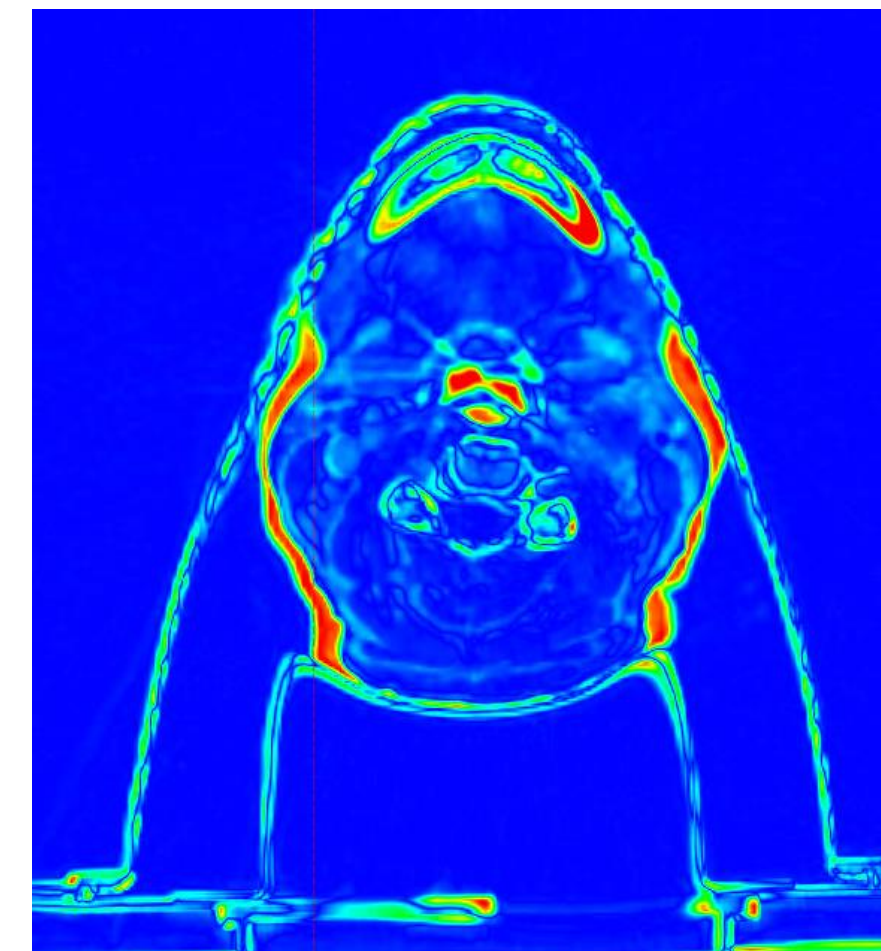
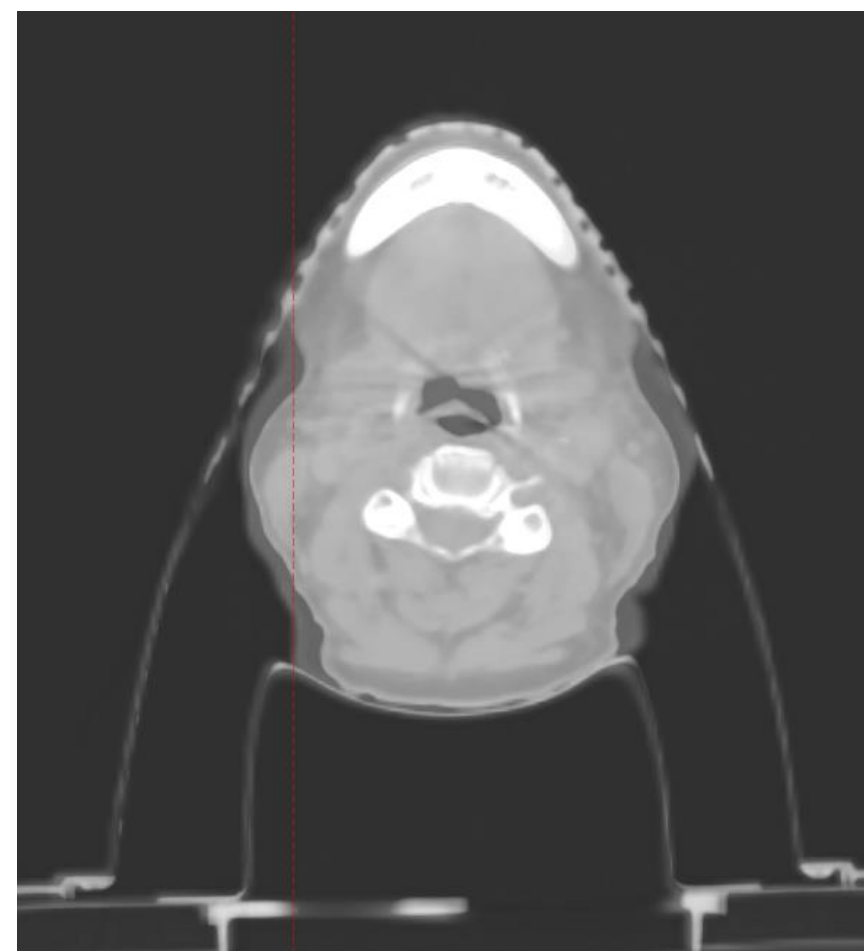
Tak kde je problém?

- ☹ Špatné/chybné výsledky bez použití rigidní předregistrace
- ☹ U pacientů s velmi rozdílnou pozicí/anatomií během jednotlivých frakcí radioterapie nižší přesnost
- ☹ Registrace dat/tkání přítomných jen v jednom obraze?

?? Jak hodnotit přesnost deformace ??

Velocity:

- Dice coefficient: $DSC(A, B) = \frac{2 \cdot |A \cap B|}{|A| + |B|}$
- Hausdorff distance
- TRE – target registration error
- Vector map/mřížka – nereálné deformace
- Jacobian
- Consistency



Tak kde je problém?

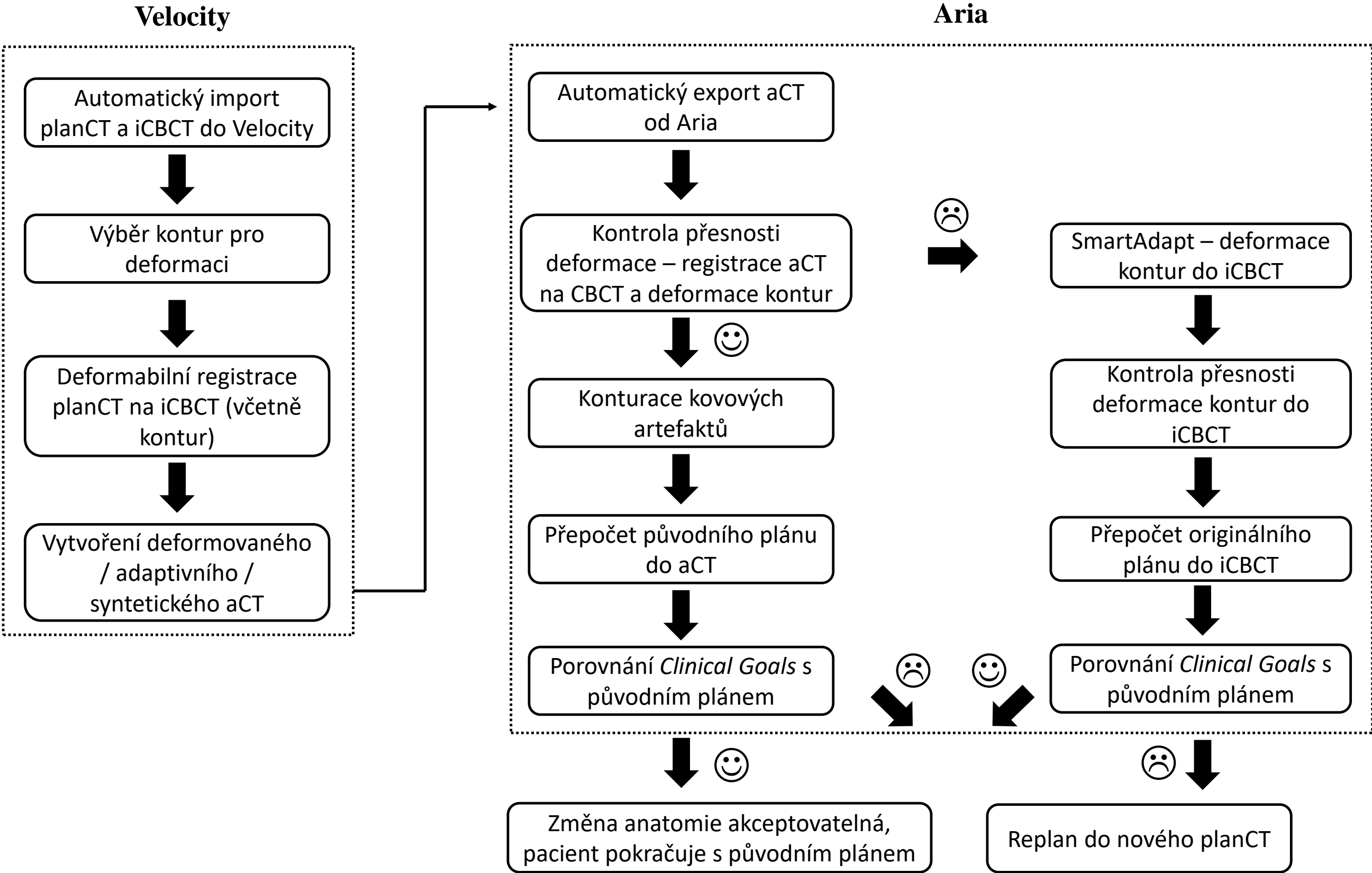
Pukala J., *Benchmarking of five commercial deformable image registration algorithms for head and neck patients*, 2016

Wahlstedt I., *Interfractional dose accumulation for MR-guided liver SBRT: Variation among algorithms is highly patient- and fraction-dependent*, 2023

Murr M., *A multi-institutional comparison of retrospective deformable dose accumulation for online adaptive magnetic resonance-guided radiotherapy*, 2024

- není žádný nejlepší algoritmus
- přesnost deformace je silně individuální
- složité předpovědět vliv chyb v deformabilní registraci na dávkovou distribuci/DVH

Co FN Olomouc?



Co FN Olomouc?

- Velocity 4.6 – B-Spline algoritmus
- Multi Pass deformace (příp. extended Multi Pass)

Rigid

Deformable

CBCT Corrected Single Pass Deformable

CBCT Corrected Multi Pass Deformable

Deformable Multi Pass

Rigid + Deformable Multi Pass

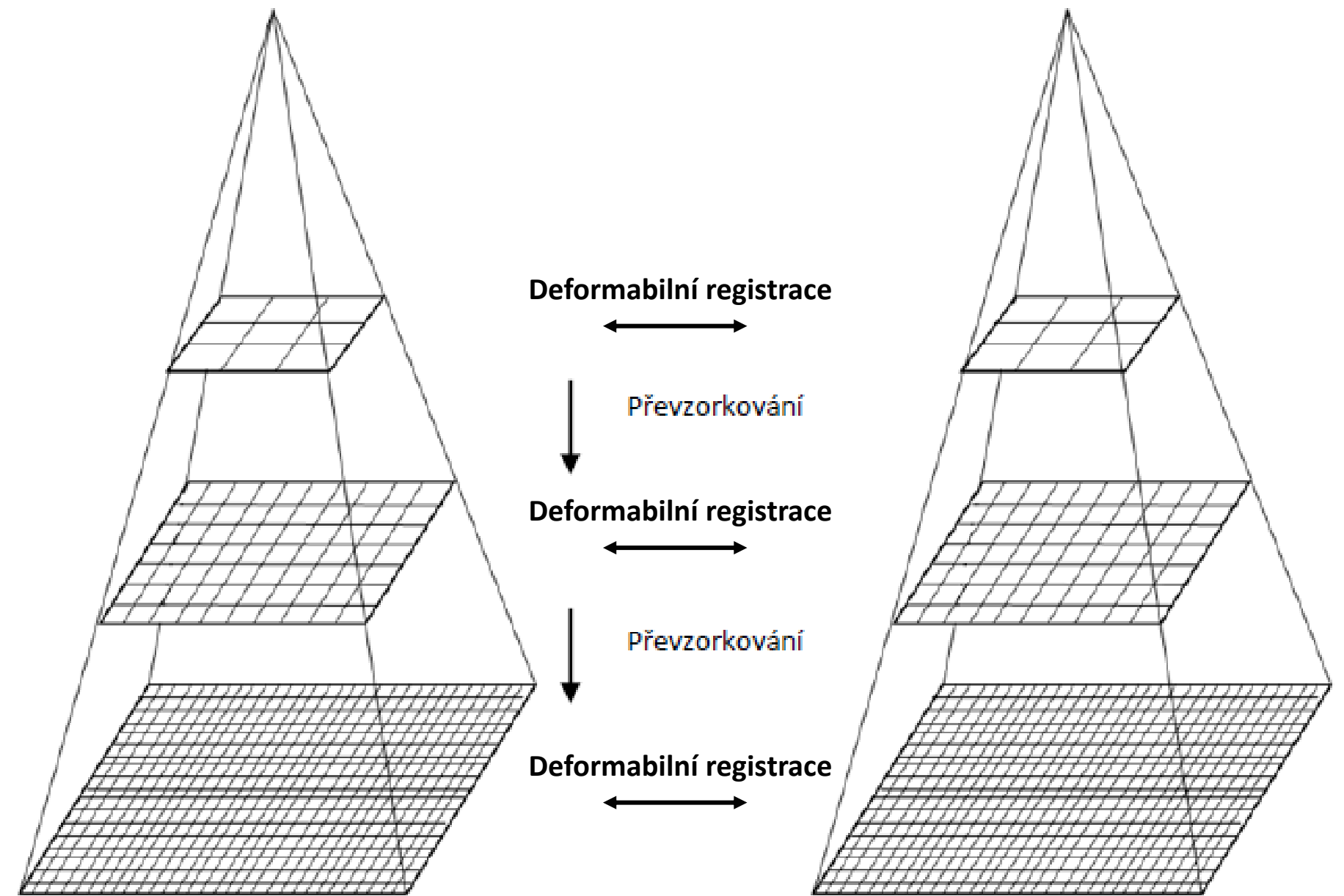
Extended Deformable Multi Pass

Structure Guided Deformable

Stupeň 2
Rozlišení CT řezů:
128x128

Stupeň 1
Rozlišení CT řezů:
256x256

Stupeň 0
Rozlišení CT řezů:
512x512



Pyramidová reprezentace CT1

Pyramidová reprezentace CT2

Co FN Olomouc?

- Hodnocení adaptivního plánu
- Kritéria pro replan
- Zatím jen H&N, každá 5. frakce

Clinical Goals ×

Plan			CBCT_rep21...
Total Dose			69.960 Gy
Clinical Goal Summary			4 5 9
● CTV_54eval	P1	Dmean ≥ 55.52 Gy	56.45 Gy
	P1	V 51.41 Gy ≥ 100.0 %	100.00 %
● CTV_70	P1	Dmean ≥ 101.2 %	102.59 %
	P1	V 95.0 % ≥ 100.0 %	99.85 %
● PTV_54	P1	Dmean ≥ 55.06 Gy	55.95 Gy
	P1	V 51.41 Gy ≥ 98.9 %	97.12 %
● PTV_70	P1	Dmean ≥ 100.0 %	101.13 %
	P1	Dmax ≤ 107.4 %	109.88 %
	P1	V 95.0 % ≥ 96.9 %	95.04 %
● Brainstem	P2	Dmax ≤ 18.85 Gy	25.75 Gy
● Eye_L	P2	Dmax ≤ 1.39 Gy	1.40 Gy
● Eye_R	P2	Dmax ≤ 1.49 Gy	1.49 Gy
● Lens_L	P2	Dmax ≤ 1.21 Gy	1.21 Gy
● Lens_R	P2	Dmax ≤ 1.14 Gy	1.13 Gy
● Parotid_L	P2	Dmean < 31.91 Gy	38.22 Gy
● Parotid_R	P2	Dmean < 21.47 Gy	20.25 Gy
● SpinalCanal	P2	Dmax ≤ 31.38 Gy	32.19 Gy
● SpinalCanal_PRV	P2	Dmax ≤ 33.91 Gy	35.73 Gy



DĚKUJEME ZA POZORNOST

FAKULTNÍ NEMOCNICE OLOMOUC



FAKULTNÍ NEMOCNICE[®]
OLOMOUC