



Onkologický ústav
sv. Alžbety



ÚSKALIA PRI PLÁNOVANÍ SRS A FSRT

www.ousa.sk

Grežďo Jozef, Ústav klinickej fyziky SZU a OÚSA

6.konferencia Slovenskej spoločnosti radiačnej onkológie 16.-17. máj 2024

Vyhlásenie o konflikte záujmov autora



- ☒ Nemám potenciálny konflikt záujmov
- ☐ Deklarujem nasledujúci konflikt záujmov

Forma finančného prepojenia	Spoločnosť
Participácia na klinických štúdiách/firemnom grante	
Nepeňažné plnenie (v zmysle zákona)	
Prednášajúci	
Akcionár	
Konzultant/odborný poradca	
Ostatné príjmy (špecifikovať)	

Definovať úskalia pri plánovaní SRS a fSRT za 10min.

- To by nedokázali spolu MS Copilot + ChatGPT + Perplexity.ai
- Našťastie na workshope bolo trochu viac priestoru, aby sme si ukázali zákutia aspoň v jednej časti (intracranialne mts)
- Cieľ tejto prednášky bude akési stručné zosumarizovanie úskalí pre viaceré, principiálne rozdielne lokality

Takto si predstavuje AI (Stablediffusion)

“fyzika pripravujúceho prednášku o úskaliach intracraniálnej stereotaktickej rádiochirurgii“



Pozrime sa na jednotlivé úskalia z hľadiska nehomogenít (presnosť výpočtu)

- Intrakraniálna SRS
 - Intrakraniálna fSRT
 - SBRT v nehomogénnych oblastiach (pľúca, kosti)
 - SBRT v relatívne homogénnych oblastiach
- Každé z nich má svoje vlastné špecifiká takže neznamená, že keď sme v niečom aj vynikajúci, že to apriori platí pre všetky lokality



Zakresľovanie cieľových objemov a OR

SRS

Intrakr.fSRT

SBRT pľúca

SBRT h.I.

- Extrémne dôležité 1mm správne definované sekvencie (scanovacie protokoly)
- Detailne zanalyzované artefakty
- Registrácia obrazu (rigidná, elastická, ako ju overujem správnosť?)
- Pri použití fixačnej masky nezabúdať na správnu definíciu margin
- Pri ožarovaní mimo izocentra (napr. viaceré lézie, brať do úvahy aj väčšiu neistotu ožarovania)
- Dôsledne robiť QA všetkých zobrazovacích metód
- Extrémne náročné Machine QA

- Optimálne zvolený spôsob sledovania dýchania resp. minimalizácia pohybu pri ožiarení
- Definovanie správnych marginov (zmapovaný pohyb)
- Registrácia obrazu môže byť pri niektorých lokalitách zložitejšia → väčšia neistota → väčší lem
- Pri rýchlo reagujúcich tumoroch uvažovať o možnosti adaptívneho plánovania

Plánovanie

SRS

Intrakr.fSRT

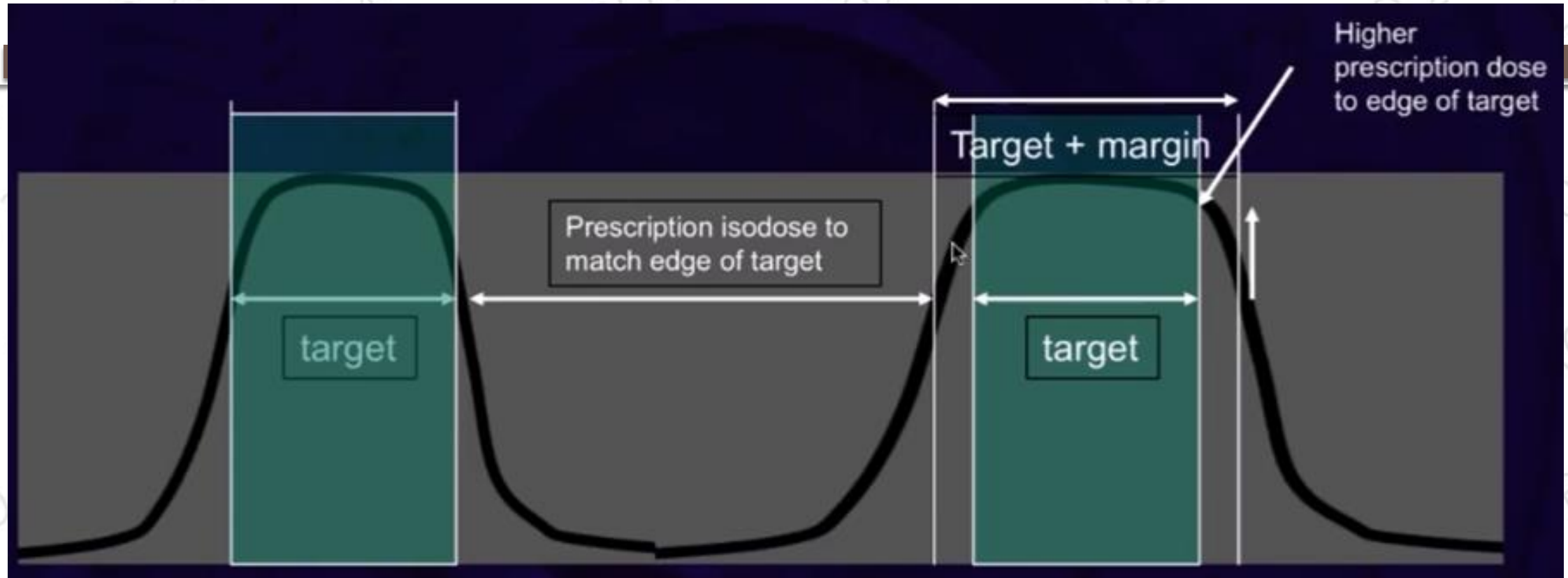
- Viac nekoplanárnych kyvov, optimálne využiť možnosť ožiarenia z celého polpriestoru
- Veľmi strmý gradient
- Pri malých léziách nelimitovať maximá naopak definovať interný ring s predpisom navýšenej dávky
- Pri viacerých targetoch pozor na spájanie izodóz
- Pri optimalizácii jednoznačné odporúčania využívať pomocné ringové štruktúry
- Hodnotenie objemu s vyššími dávkami 8Gy, 10Gy, 12Gy, 14Gy
- Kritéria na počet MU/dávka na frakciu

SBRT pľúca

SBRT h.I.

- Nemožnosť rozloženia dávky v priestore ako pri nekoplanárnych kyvoch pri intrakraniálnom ožarovaní
- Ale v drvivej väčšine sa jedná o pohyblivý target, kde je strmý gradient práve nevýhodou
- Odporúča sa pozvoľný prechod 2-3mm
- Dbáť na robustnosť plánu
- Pozor na plánovanie v nehomogénnych oblastiach
- Premyslený postup pre adaptívne plánovanie

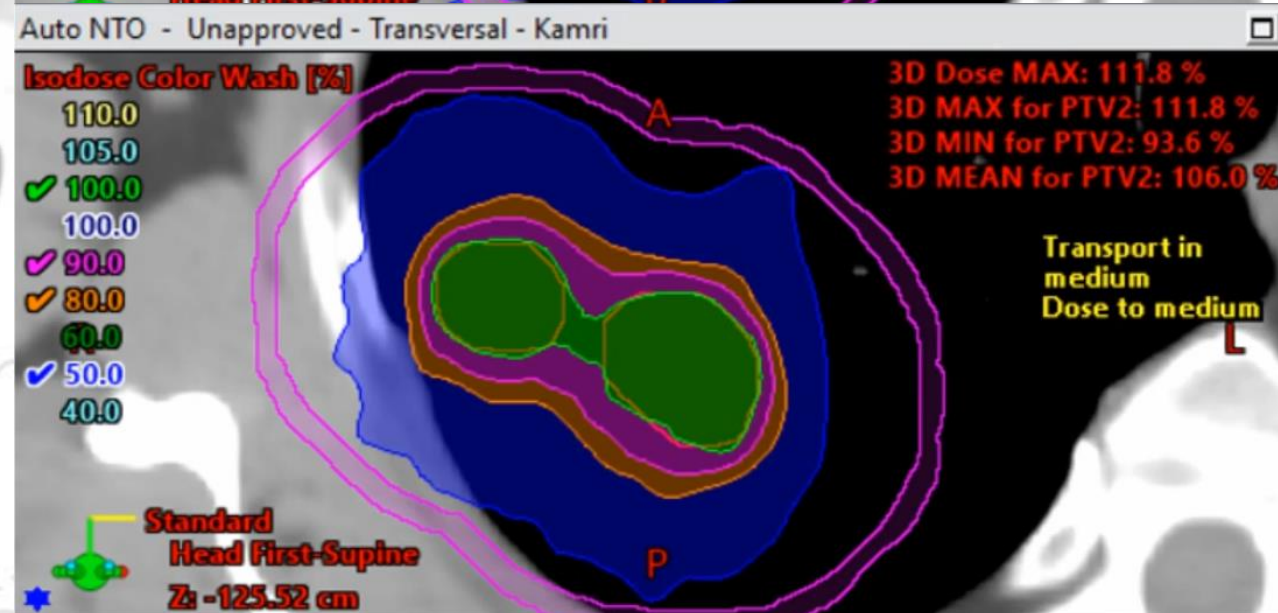
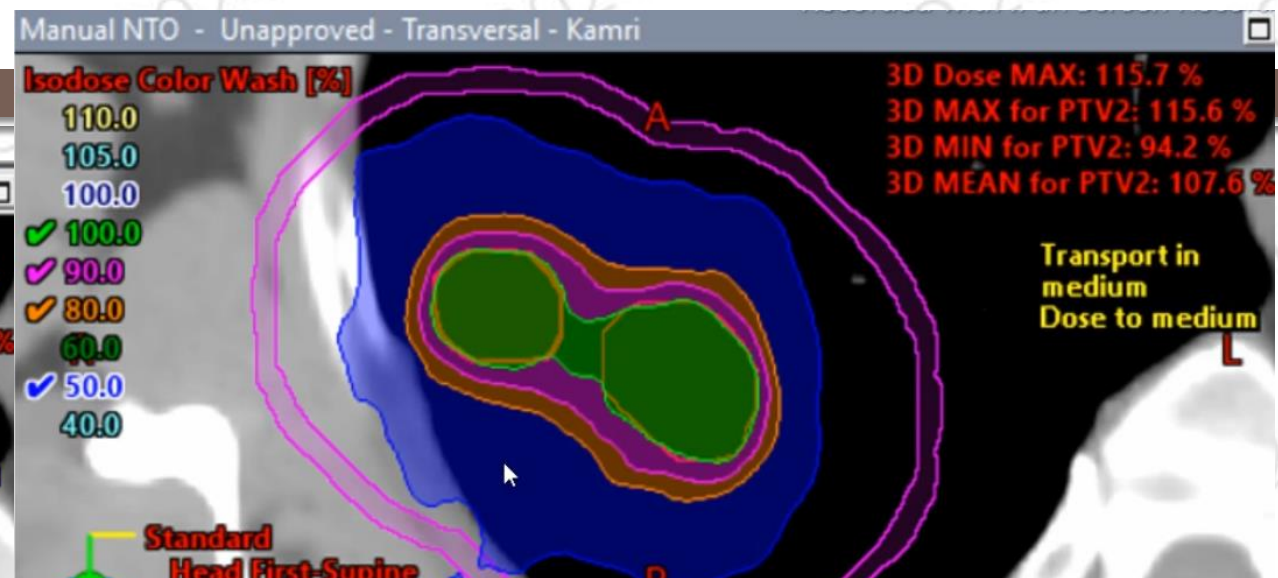
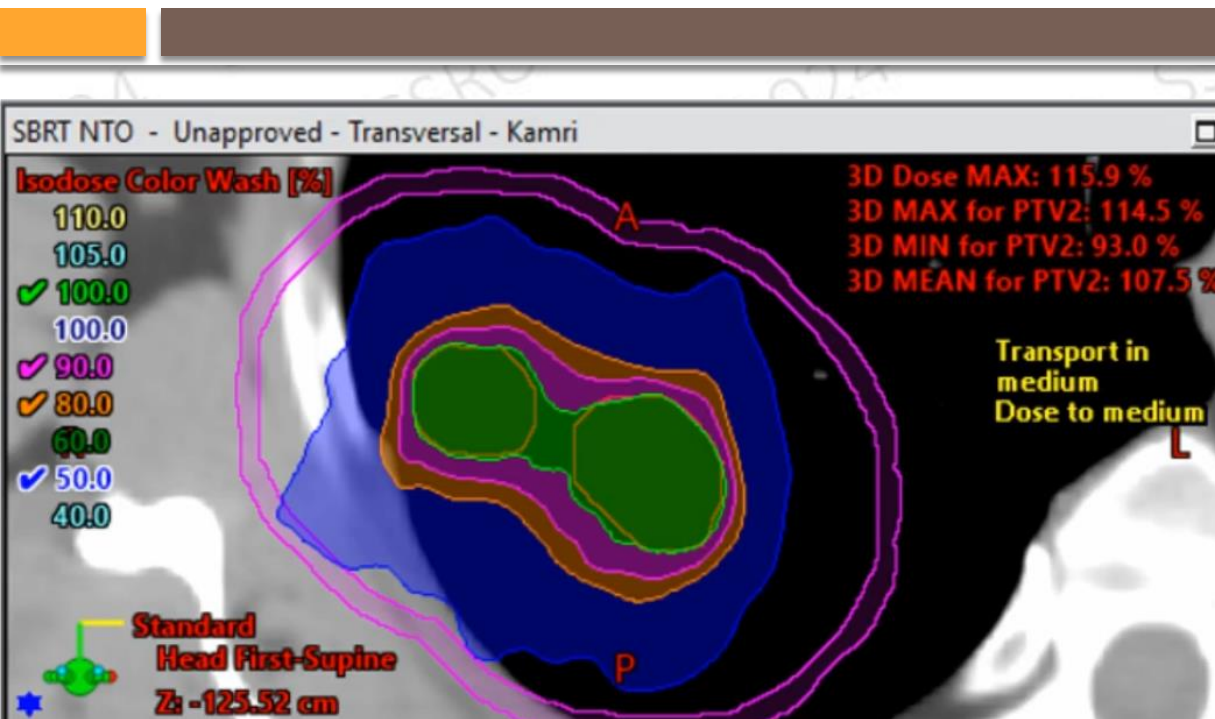
Plánovanie



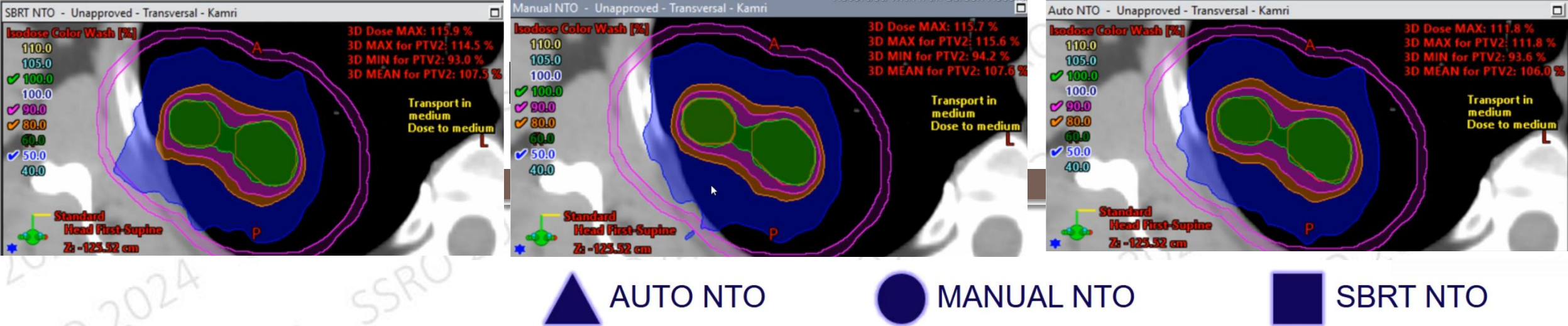
➤ Prescription dose definition - GammaKnife

- dôležité a jednoznačne odporúčané používať **indexy pre hodnotenie kvality plánu**
- Pozor nie sú univerzálne – hodnotím/porovnávam iba rôzne plány na tom istom pacientovi
- **Nutné vedieť ako, prečo, na čo kedy normovať**

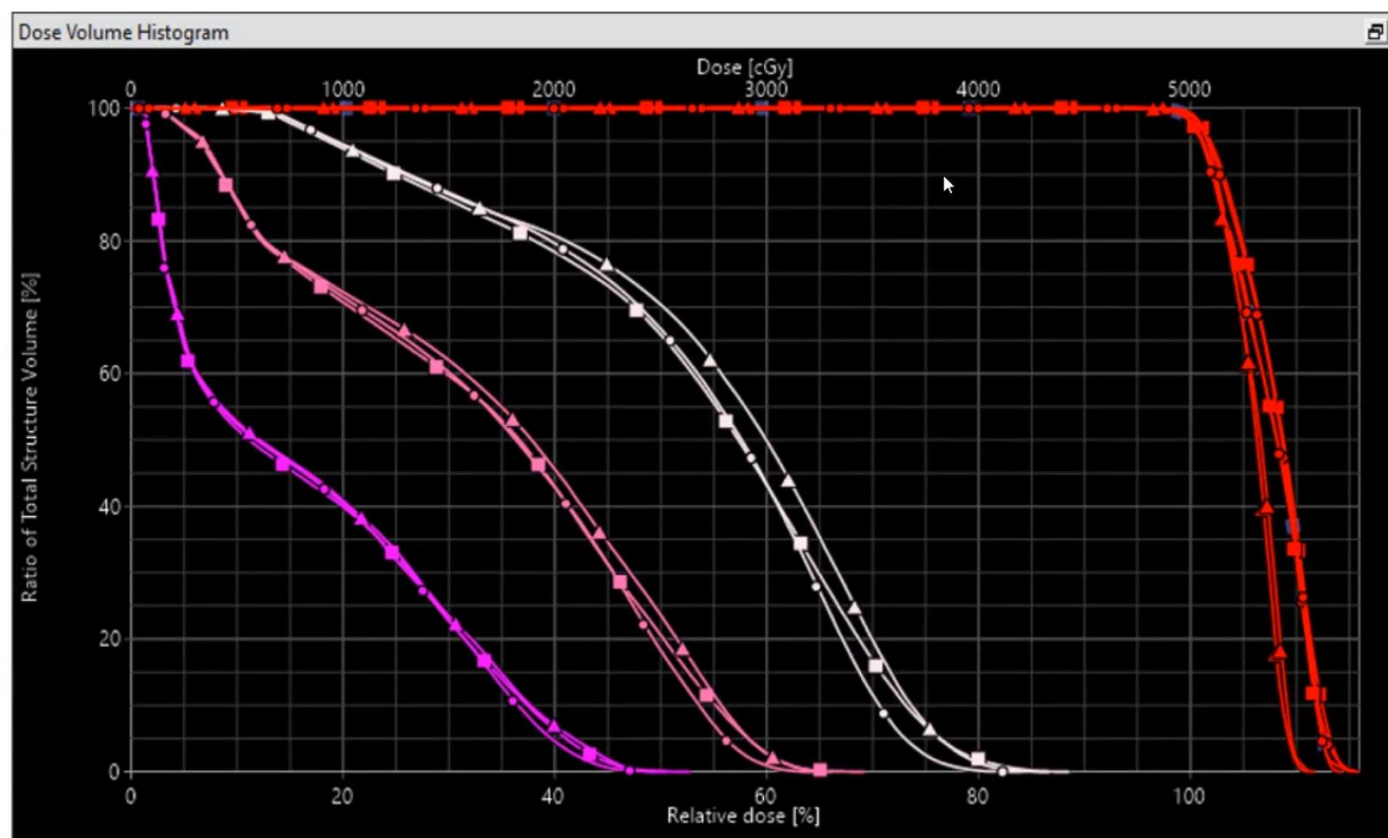
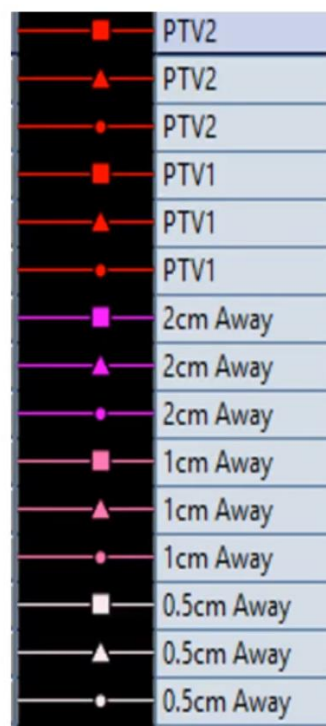
Hodnotenie plánu



- Vidíme rozdiel v týchto 3 plánoch?
- Izodózy naozaj veľmi podobné
- Constrains na OR neprekročené



- Kritické OR relatívne ďaleko
- Ale podstatný rozdiel vidíme na pomocných ringových štruktúrach



Výpočet dávky

SRS

Intrakr.fSRT

SBRT pľúca

SBRT h.I.

- Veľmi malé polia, pri ktorých nemožno použiť štandardný algoritmus ako pri väčších poliach
- Analýza výpočtu dávky mimo izocentra (nemusí správne počítať a my sme tam commisiong z veľkou pravdepodobnosťou nerobili)
- Extrémny vplyv správnej definície tvaru lamiel
- Aj tu sú nehomogenity a výpočet v týchto oblastiach môže byť zaťažený veľkou chybou

- Okrem pľúc, kde môžu byť taktiež využívané aj malé polia a hoci sú väčšie ako pri SRS (takže presná definícia lamiel a output faktora už nie je extrémne dôležitá)
- Ale kombinácia malých polí a nehomogenít (pľúca kosť) môže viesť aj k značne nesprávnemu výpočtu
- Správnosť výpočtu dozimetricky overiť je veľký problém
- Adaptívne plánovanie – prepočet na meniaci sa stav

- **Špeciálne odladený algoritmus výpočtu pre SRS a špeciálny pre SBRT**
- **Ideálne algoritmy blízke výpočtom MC (pozor na ich správne nastavenie)**
- **V žiadnom prípade nepoužívať jeden druh algoritmu výpočtu pre všetky (bežné) lokality**
- **Nevyhnutné mať rovnako odladenú aj nezávislú kalkuláciu pre SRS a SBRT**

Rádiobiológia

SRS

Intrakr.fSRT

SBRT pľúca

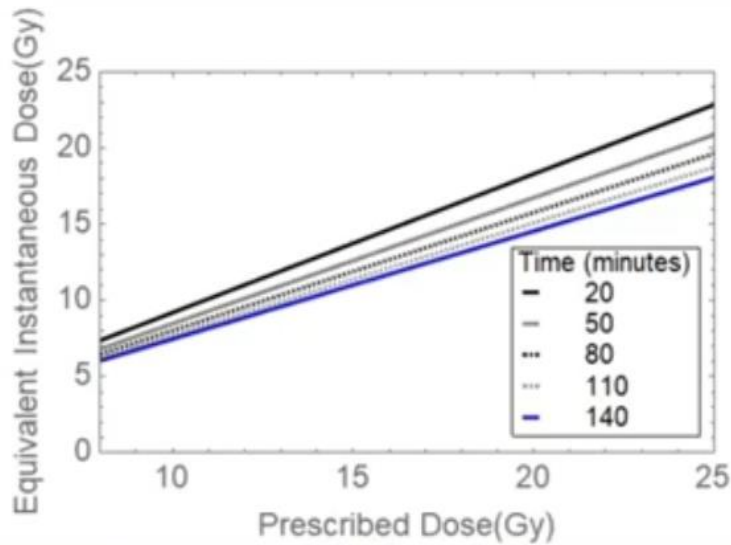
SBRT h.I.

- Vždy pamätajte na dáta, z ktorých čerpáme, či pre tumor alebo rizikové orgány, detailne prečítajte všetky podrobnosti, ako autori dáta získali
 - Vychádzali z dát z LGK alebo linac?
 - Homogenizujeme dávku, alebo navyšujeme dávku v strede tumoru?
 - Ako postupovať v prípade aktívneho ložiska z PET?
 - Meníme predpísanú dávku podľa druhu mts (podľa primárneho tumoru, patogenézy, genomiky)?
 - Je nutné korigovať dávku na dĺžku frakcie?
-
- V literatúre veľmi široké spektrum frakcionálnych schém
 - Ak zoberiem z článkov definíciu pre constrainy na OR, viem ako ich získali, akú frakcionáciu používali ?
 - S akým algoritmom počítali? (v staršej literatúre mnohé algoritmy dávky extrémne nadhodnocovali, pričom tí, ktorí ich používali to vedeli/acceptovali. Vieme to aj my?)
 - Môj algoritmus podhodnocuje, či nadhodnocuje dávku v pľúcach resp. kosti resp. v ich blízkosti?
-
- Niekedy nenájdeme všetko presne podľa našich predstáv, preto je dôležité na každom pracovisku
 - Dlhodobé sledovanie a prehodnocovanie odporúčaných dozimetrických parametrov vs výsledky

SRS RT Dose Considerations: Tumor Volume

SRS Target Volume	Dose (Gy)	# of fractions
< 10 cm ³	22	1
> 10 cm ³	18	1

SRS Target Volume	Dose (Gy)	# of fractions
<4.0cc	20	1
4.0-14.0cc	18	1
14.1-33.0cc	15	1
>33cc	Ineligible for SRS	



Correction Table for treatment time

Overall treatment time (mins)	Physical Dose Prescribed						
	10Gy	12.5Gy	15Gy	17.5Gy	20Gy	22.5Gy	25Gy
20	0.9	0.9	0.9	0.9	0.89	0.89	0.89
30	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92
40	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
50	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
70	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
80	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
90	1.05	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06
100	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
110	1.08	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.09

10% navýšenie dávky?
Prípadne aj viac?

Ak by sme si chceli vypočítať aj najjednoduchší prípad pri 1 frakcii, čo sa týka napr. času....



- With this paper, estimating a BED with physical dose and TOTAL treatment time (inclusive of gaps) is finally accessible. However, the full equation

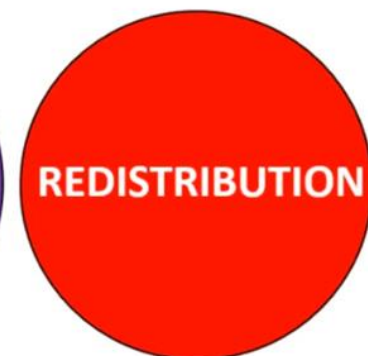
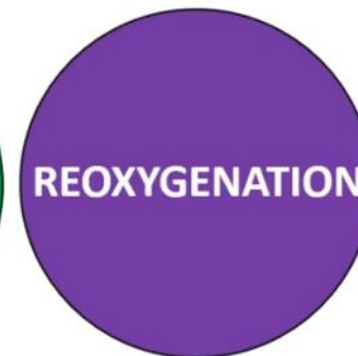
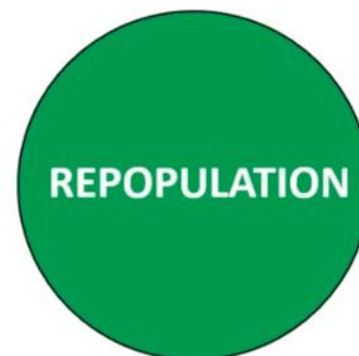
$$BED = D_T + \frac{1}{\alpha/\beta} \left[\frac{\phi(\Xi, \mu_1) + c\phi(\Xi, \mu_2)}{1+c} \right] \sum_{i=1}^n d_i^2$$

is still be required to show the variation in BED on the present planned iso-surface and is essential for the development of algorithms for BED treatment planning.

$$BED = x.nd \left(1 + \left(\frac{nd}{k} - \frac{d}{k} \right) f(\mu_1 T) + \frac{d}{k} f(\mu_1 t) \right) + (1-x).nd \left(1 + \left(\frac{nd}{k} - \frac{d}{k} \right) f(\mu_2 T) + \frac{d}{k} f(\mu_2 t) \right), \quad [A9]$$

- Assumes a continuous exposure for the repair function and equal fractions
- nd = total dose
- k =alpha/beta ratio (2.47)
- T =total treatment time
- $f(\mu T)$ represents the increasing repair of sub-lethal damage with treatment time and contains the repair coefficient (μ)
- x is used to represent the partition of the fast (x) and slow ($1-x$) mechanisms

A čo už pri fSRT...



Dozimetrická verifikácia dávky

SRS

Intrakr.fSRT

SBRT pľúca

SBRT h.I.

- V žiadnom prípade nestačí používať jeden univerzálny dozimetrický systém s gamma analýzou (pod 1mm sa nedostaneme a to je naša definovaná presnosť)
- 2D array je výborná vec, ale sama osebe nepostačujúca
- Nikdy neodhalí chybu nehomogenít (či to je blízkosť povrchu, alebo v blízkosti inej hustoty)
- Nutná verifikácia v nehomogénnych fantómoch (niektoré štandardné, komerčne predávané sú síce certifikované, ale pre svoju univerzálnosť tiež nepostačujúce 😊)
- Verifikácia dávky v stavcoch – jeden z najkomplikovanejších problémov
- Pri malých políach znalosť IAEA 483
- Nezabudnime že kombinácia malé polia a nehomogenity je veľmi silná
- Commisioning viacerých ložísk
- Nutné nehomogénne fantómy pre commissioning
- Rovnako pri malých poliach v pľúcach alebo stavcoch zložitá dozimetria, prepočty DwT, DTw
- Pravidelne robiť End to End pre **všetky** používané prípady

Machine QA

SRS

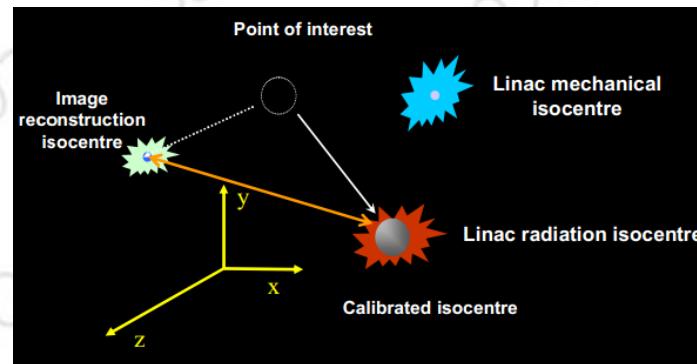
- Veľmi náročné sústavne dodržiavať požadované, veľmi prísne kritéria s celkovou nepresnosťou procesu do 1mm resp. 1,25mm
- Ožarovač treba mať na úrovni do 0,5mm (súhlas všetkých izocentier!)
- Pravidelné dolad'ovanie IZO
- Mať zverifikovanú dávku aj mimo izocentra, otáčanie stola spôsobuje neznámu nepresnosť, ktorá sa štandardne neverifikuje, takže pri viacerých ložiskách z jedného izo je to nutnosť

Intrakr.fSRT

SBRT pľúca

- Nie je až také náročné na presnosť ako SRS, ale
- Fixácia targetu nie je ako pri intrakraniálnej SRT
- Nutná pravidelná verifikácia sledovania dýchania
- End to End proces na pohyblivom targete

SBRT h.I.



Limitácie ožarovača

SRS

Intrakr.fSRT

SBRT pľúca

SBRT h.I.

LIMITÁCIE na LATERÁLNY posun v závislosti od VRT

Limitácie stola

bez PATIENT PROTECTION

V prípade, ak je hlava uchytená v identickom držiaku, ako na (bočné fixačné lišty ako na CT)

LNG hodnota stola cca 80.0cm

Gantry - 0

Výška stola	Maximálny LAT posun
10.0	8.0
15.0	7.0
20.0	5.0
22.0	5.0

rameno CBCT má fixnú vzdialenosť, ale limitujúcim faktorom je Gantry

V prípade, ak je hlava uchytená v SRCH nastavci

(limitujúcim faktorom pri Gantry 0 sú fixačné uchytky na nastavci)

LNG hodnota stola cca 22.0cm

Gantry - 0

Výška stola	Maximálny LAT posun
10.0	8.0
15.0	7.0
20.0	4.0
22.0	3.0

t.j. paradoxne nastavca na hlavu má vďaka fixácii na stôl väčšie limity

hodnoty boli stanovené limitne t.j. v našom prípade caudal. ložiská (Swanom) v prípade cranialnejšie uložených ložísk je už jednoznačný benefit vzhľadom na individuálne nasadenie kruhu pacienta sa však nedajú predikovať a samozrejme pri rotácii stola už je nastavca na SRCH benefitom

SUMMARY									
Treatment Delivery Angles (deg)Field-Target Coincidence (mm)									
T Gan...	T Cou...	T Colli...	T iso	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	
0	0	0	0.14	0.13	0.13	0.36	0.71	0.88	
0	0	90	0.23	0.30	0.04	0.33	0.56	0.73	
0	0	270	0.74	0.15	0.18	0.42	0.48	0.88	
0	315	45	0.41	0.65	0.54	0.15	0.33	0.51	
0	315	225	0.25	0.42	0.41	0.22	0.55	0.79	
0	270	0	0.45	0.69	0.66	0.29	0.24	0.32	
0	90	0	0.41	0.40	0.57	0.47	0.77	0.71	
0	45	135	0.31	0.10	0.18	0.57	1.18	1.20	
0	45	315	0.35	0.32	0.50	0.45	0.71	0.86	
90	0	90	0.41	0.60	0.54	0.37	0.32	0.26	
90	0	270	0.24	0.35	0.37	0.31	0.37	0.24	
180	0	0	0.49	0.57	0.64	0.39	0.43	0.43	
180	0	90	0.37	0.37	0.50	0.38	0.48	0.78	
270	0	90	0.15	0.38	0.37	0.08	0.25	0.10	
270	0	270	0.34	0.45	0.36	0.20	0.35	0.07	

1257 MULTIMET-WL

- Pri vychýlení stola na 90 resp. 270 je vyššia excentricita stola (síce v rámci do 0,5mm) ale naše limitácie do 60st.
- Pri laterálnych a frontálnych targetoch môže byť izocentrum umiestnené v strede targetu limitujúce – kolízia Gantry-stôl
- Vďaka relatívne malým ožarovniam pri použití nastavca na hlavu Encompass – možné určité limitácie pre rotáciu stola

➤ ...

QA IGRT, SGRT

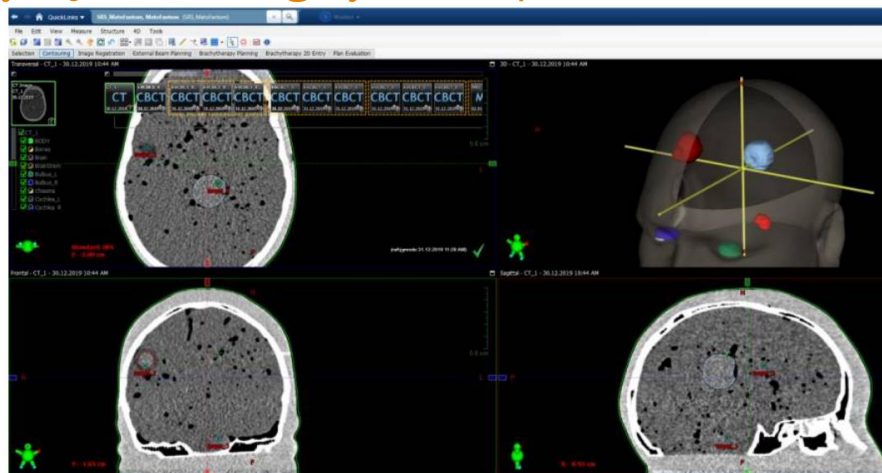
SRS

Intrakr.fSRT

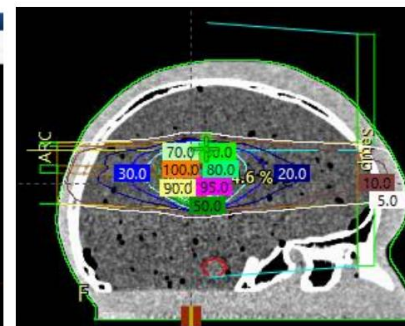
SBRT pľúca

SBRT h.l.

- Poznať limity a presnosť používaného IGRT
- Možností na obrazovú verifikáciu polohy či sledovania pohybu pacienta je v súčasnosti viac
- Bez ohľadu na to, či používame frame alebo frameless techniky, bez ohľadu na časnosť ich používania, musia byť detailne skontrolovaná ich funkčnosť podľa odporúčaní výrobcu
- A kontrola správnosti (presnosti) registrácie podľa požiadaviek pracoviska, na to už musí mať pracovisko vypracované svoje vlastné postupy
- QA pre pohybujúce sa targety, „site-specific“

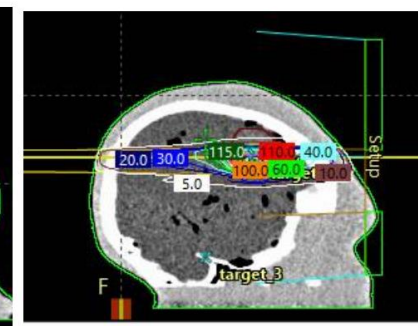


Target 1



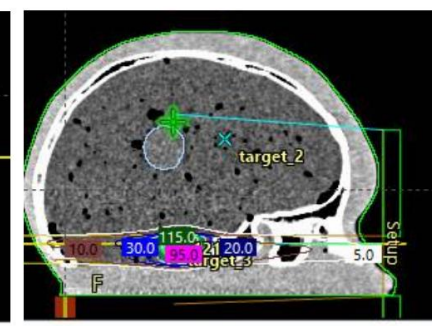
	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
5	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00

Target 2



	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
5	-6.00	-3.00	-1.00
5	-6.00	-3.00	-1.00

Target 3



	X [cm]	Y [cm]	Z [cm]
5	0.00	0.00	-7.00
5	0.00	0.00	-7.00

Záver I.

- Cieľom prednášky bolo veľmi stručne zosumarizovať základné úskalia pri plánovaní SRS, fSRT a SBRT
- Každá z týchto techník má svoje špecifiká
- Každá z nich je relatívne veľmi zložitá
- Každá z nich si vyžaduje
 - Množstvo vedľajšej, na prvý pohľad neviditeľnej práce
 - Precízne, časovo náročné Machine QA,
 - Špecifické vybavenie pre Patient QA
 - Hlboké, detailné znalosti problematiky
- Napriek tomu, že ožarovač môže teoreticky spĺňať kritéria pre tieto špeciálne techniky, sám osebe nestačí
- Odladenie a commisioning nutné spraviť pre všetky používané postupy (samozrejmosťou je tiež E2E test)
- Stačí jedno slabé ohnivko v zložitom procese a výsledok ožiarenia môže byť nesprávny (no my si môžeme žiť v sladkom presvedčení, že všetko je úplne v poriadku)

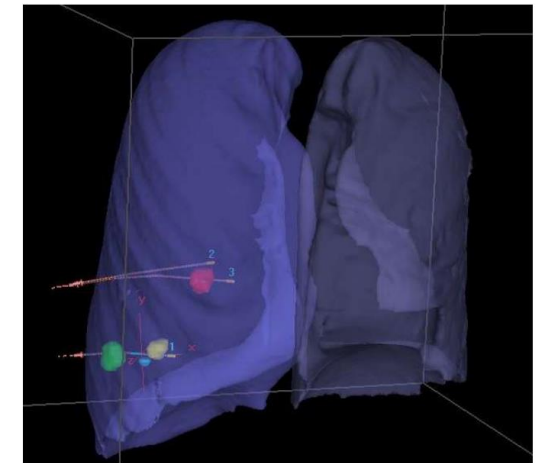
Záver II.

- Na Slovensku máme v súčasnosti ešte stále veľmi dobré HW vybavenie
- To čo však chýba sú skúsenosti a predovšetkým nezávislé posúdenie niekým skúseným (audit)
- Nezabudnime, že SR je malá krajina a keď si rozdelíme takéto zložité špeciálne techniky medzi viacej pracovísk, budú sa robiť zriedka t.j. budú chýbať skúsenosti (a zbytočne sa bude robiť/nerobiť extrémne veľa zložitých kontrol pre zopár pacientov)
- Pacienti by mali byť centralizovaný max. do 2-3 špecializovaných pracovísk, ináč si sami sebe budeme robiť zle

- Určite nie je hanba to nechať tomu, kto to vie 😊

LMU Munich
Lung metastases

Radiotherapy of 11
lesions



07/2021: BT of 4 Lesions right lung- BT in single fraction with 1x20 Gy



Ďakujem
za pozornosť !