Radioterapie v oblasti implantátů



Procházka T.^{1,2}, Cienciala J.³, Garčic J.¹, Šťavík M.¹

- 1) Klinika radiační onkologie, Masarykův onkologický ústav
- 2) Lékařská fakulta, Masarykova univerzita
- 3) Ortopedická klinika, Fakultní nemocnice Brno

Úvod

- Problematika kovových implantátů
 - Artefakty zhoršují čitelnost CT – přesnost zakreslení cílových objemů a kritických struktur
 - Ovlivnění správnosti výpočtu dávkové distribuce (artefakty, kov samotný)
 - V praxi nejčastěji TEP kyčelních kloubů a stabilizace páteře



Liang Y, Xu H, Tang W, Du X. The impact of metal implants on the dose and clinical outcome of radiotherapy (Review). Mol Clin Oncol. 2024 Jul 18;21(4):66. doi: 10.3892/mco.2024.2764. PMID: 39091418; PMCID: PMC11289751.

CT kalibrační křivka a plánovací systém

- Primárním zobrazovacím parametrem v CT obrazu je lineární součinitel zeslabení.
- Ten je v každém voxelu CT obrazu vyjádřen hodnotou CT čísla (HU).
- Běžný rozsah CT čísel pro biologické tkáně je -1000 HU až +1000 HU.
- Plánovací systémy (TPS) pro radioterapii využívají plánovací CT nejen k určení "topologie", ale také k určení složení.
- Součástí plánovacího systému je naměřená CT kalibrační křivka, která převádí hodnoty CT čísla na elektronovou hustotu, případně fyzikální hustotu.
- Výpočetní algoritmy pak s těmito hodnotami pracují při výpočtu dávkové distribuce.







Bilaterální TEP



- I v případě, že jsou artefakty v CT obraze "ošetřeny", problémem zůstává přítomnost samotného kovu.
- Zvýšená nejistota správnosti výpočtu.
- Pokud to lze, volíme geometrii plánu tak, aby svazky záření neprocházely kovem. Typický příklad je radioterapie prostaty.



Páteř

- V případě ozařování páteře je stabilizace součástí plánovacího cílového objemu (PTV) – není možnost přes kov nezářit.
- Často SBRT (Stereotactic Body Radiation Therapy) technika – vysoká dávka na frakci, malý počet frakcí
- Mícha jako kritická struktura – strmý gradient dávky.
- Toto je "výzva" i bez stabilizace.







Měření v minulosti

 Dozimetrické ověření TPS pro výpočty dávky s přítomností titanu.



PDD 6MV 5 cm x 5 cm, LU3, SSD = 100 cm



AAA AXB m AXB w × Measurement avg











Nová práce – srovnání kovové a karbonové fixace



Zimmer Biomet Titanová slitina Ti₆Al₄V



Carbofix Uhlík (+0,05 mm titanová skořápka)

Titanová fixace



| Point To | ol: 1 | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|--------|--|
| Dose | Physical Properties | | | | |
| | CT Valu | ie: | 3071 HU | I | |
| Assigned CT Value: | | ie: | HU | | |
| Mass Density: | | ty: | 2.408 g/cm3 | | |
| Relative Electron Density: | | ty: | 2.141 | | |
| F | Relative Proton Stoppin Powe | ng er: | 2.543 | | |
| Physical Material Composition: | | | | | |
| Bone [ID: Bone] | | | | | |
| | Location [cm]: | -2.35 | 0.65 | -11.00 | |
| | | | Clos | se | |

Lineární součinitel zeslabení je funkcí hustoty, Z, energie svazku.

Ti₆Al₄V Hustota ~ 4430 kg/m³ Z_{eff} ~ 19 - 20

Voda Hustota ~ 1000 kg/m³ Z_{eff} ~ 7,42 3071 HU je "falešná" hodnota (kost). 12-bitová reprezentace CT škály, tedy 2¹² = 4096 hodnot HU (-1024 až 3071) Využití extended CT scale hodnota 9610 HU, nutno přiřadit materiál.

| Point Tool: 1 | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------|--|--|--|
| Dose | Physical Properties | | | | |
| | CT Value: | 9610 HU | | | |
| | Assigned CT Value: | HU | | | |
| | Mass Density: | 4.831 g/cm3 | | | |
| R | elative Electron Density: | 3.997 | | | |
| R | elative Proton Stopping Power: | N/A | | | |
| Physical Material Composition: | | | | | |
| ? | | | | | |
| | Location [cm]: | -2.29 4.38 -11.00 | | | |
| | | Close | | | |

Titanová vs karbonová fixace

CT sken, bone window, voda jako obklopující medium



Hustota ~ 4430 kg/m³ Z_{eff} ~ 19<u>-20</u>____ Uhlík Hustota ~ 1500 - 2000 kg/m³ Z = 6

With a state of the state

... dejte tam třeba vepřové!



Ověření dávkové distribuce v sagitální Experiment proveden ve třech fantomech: rovině Titanová fixace



- Karbonová fixace 2)
- 3) Bez fixace



filmu.



"In-house" fantom V sagitální rovině detektor (EBT 3 gafchromický film)

CT sken a zakreslení struktur TPS

Algoritmus experimentu



Ozařovací plán, 3D dávková distribuce



Ozáření plánu, filmový detektor

Naměřená dávková distribuce



Vypočtená dávková distribuce

Sken filmů Epson V750 Photo



Zpracování dat



Srovnání vypočtené a naměřené dávkové distribuce OmniPro ImRT

Vizualizace fixace ve vyhodnocovacím SW



6 MV TITAN

AXB







15 MV TITAN

AXB







6 MV BEZ FIXACE

AXB





15 MV BEZ FIXACE

AXB

AAA



Srovnání výpočtu AXB vs AAA pro 6 MV (bez fixace)

AXB (výpočet)



Nejedná se o porovnání měření (film) vs výpočet. Jde o srovnání dvou výpočetních algoritmů. Identický plán.

AAA (výpočet)

Retrospektivní výpočty v TPS a porovnání

Deset klinických plánů (obratle) přepočteno v TPS Eclipse (15.6) algoritmy AXB a AAA. Srovnáno také SNC DoseCHECK (CCC) veze 3.2.1.29216. Srovnání průměrné dávky na míchu [Gy]

| Plán | AXB | AAA | CCC |
|------|-------|-------|-------|
| 1 | 7,87 | 8,20 | 8,15 |
| 2 | 9,02 | 9,36 | 9,18 |
| 3 | 16,78 | 17,05 | 16,87 |
| 4 | 9,36 | 9,67 | 9,64 |
| 5 | 9,20 | 9,46 | 9,42 |
| 6 | 9,95 | 10,41 | 9,98 |
| 7 | 7,18 | 7,38 | 7,71 |
| 8 | 5,77 | 5,98 | 5,87 |
| 9 | 9,05 | 9,41 | 9,40 |
| 10 | 11,61 | 11,71 | 11,86 |



| Porovnání | p-hodnota | Statistická významnost |
|------------|-----------|---------------------------|
| AXB vs AAA | 0,00195 | významný rozdíl |
| AXB vs CCC | 0,00195 | významný rozdíl |
| AAA vc CCC | 0,23242 | bez významného rozdílu |

Byly provedeny tři párové porovnání mezi algoritmy (AXB, AAA, CCC) pomocí Wilcoxonova testu. Pro korekci na vícenásobné testování byla použita Bonferroniho korekce (α = 0,05 / 3 = 0,0167)

Nalezeno v literatuře

> Med Phys. 2021 Oct;48(10):6184-6197. doi: 10.1002/mp.15123. Epub 2021 Aug 18.

Calculation algorithms and penumbra: Underestimation of dose in organs at risk in dosimetry audits

Jeremy Hughes ^{1 2}, Jessica Elizabeth Lye ^{1 3}, Fayz Kadeer ¹, Andrew Alves ¹, Maddison Shaw ^{1 4}, Jeremy Supple ¹, Stephanie Keehan ^{1 5}, Francis Gibbons ^{1 6}, Joerg Lehmann ^{4 7 8 9}, Tomas Kron ^{2 4}

Affiliations + expand PMID: 34287963 DOI: 10.1002/mp.15123

- Nedokonalé modelování polostínu u MC a LBTE algoritmů vede k podhodnocení dávky v OAR. (fotonový a elektronový cut-off)
- Algoritmus AXB vykazuje nižší dávky než AAA v oblastech blízko okrajům svazku.
- Tento rozdíl je způsoben výpočetními zjednodušeními v modelování rozptylu (polostínu).
- Efekt je výraznější tam, kde se překrývá více polostínů např. v míše u SBRT páteře.
- Výpočetní algoritmus AAA v těchto oblastech odpovídá více reálnému měření.
- Horší výsledky pro menší výpočetní voxel (1 mm)
- Acuros XB verze 15.6 používá hodnoty P_{cut} 1 keV a E_{cut (kinetic)} 200 keV.

Australian Clinical Dosimetry Service (ACDS)

Výsledky dosimetrických auditů ukazují, že v případě SBRT páteře byly dávky vypočtené pomocí AXB nižší než změřené dávky v míše o 5–10 %.

Výsledky klinických pacientských plánů ukázaly, že AXB vykazuje v průměru o 7,4 % nižší dávku než AAA při srovnání minimální dávky v oblasti míchy (OAR).

Tento průměrný rozdíl mezi AXB a AAA se snížil na 4,5 %, pokud se použil klinicky významnější parametr – maximální dávka do míchy.

Eclipse users have the option for SBRT spine cases to plan and optimise the dose using AXB and then verify that the dose to the spinal cord is within dose constraints by recalculating the plan using an AAA algorithm. If the spinal cord is over tolerance when calculated with AAA then the plan should be reoptimised using AXB with stronger dose constraints on the spinal cord, or an increased expansion on the spinal cord for optimisation.

Srovnání dávkových distribucí 6 MV



BEZ FIXACE

AAA GAMMA 3 % / 3 mm GAMMA SCORE 99,78

GAMMA 2 % / 2 mm GAMMA SCORE 94,83

Srovnání dávkových distribucí 6 MV



TITAN

AAA GAMMA 3 % / 3 mm GAMMA SCORE 96,81

GAMMA 2 % / 2 mm GAMMA SCORE 83,02



Srovnání dávkových distribucí 6 MV



KARBON

AAA GAMMA 3 % / 3 mm GAMMA SCORE 99,83

GAMMA 2 % / 2 mm GAMMA SCORE 95,40



Vyhodnocení



6 MV gamma 3 % / 3 mm

AXB AAA



6 MV gamma 2 % / 2 mm

AXB AAA

| | 6 MV | | 15 MV | | 10 FFF | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | AXB | ΑΑΑ | AXB | ΑΑΑ | AXB | ΑΑΑ |
| TITAN | 59,31 | 83,02 | 65,84 | 77,81 | 75,19 | 89,89 |
| BEZ FIXACE | 87,30 | 94,83 | 93,78 | 98,81 | 94,56 | 95,15 |
| KARBON | 84,17 | 95,40 | 97,03 | 99,95 | 98,74 | 98,81 |

Gamma analýza 2 % / 2 mm

Závěr

- Karbonová fixace ve srovnání s titanovou působí méně artefaktů v plánovacím CT
- Ověření správnosti výpočtu dávkové distribuce u RT plánů na páteř s karbonovou fixací ukazuje výsledky srovnatelné s plány bez fixace – důležité zejména v oblasti míchy
- Ve specifických případech (šetření míchy u SBRT) nemusí být (jinak superiorní) AXB lepší volbou

