

Jak správně používat gama analýzu?



ING. TEREZA HANUŠOVÁ

**FJFI ČVUT
THOMAYEROVA NEMOCNICE**

Gama analýza



$$\Gamma(r_m, r_c) = \sqrt{\frac{(r_m - r_c)^2}{\Delta d_m^2} + \frac{(D_m(r_m) - D_c(r_c))^2}{\Delta D_M^2}}$$

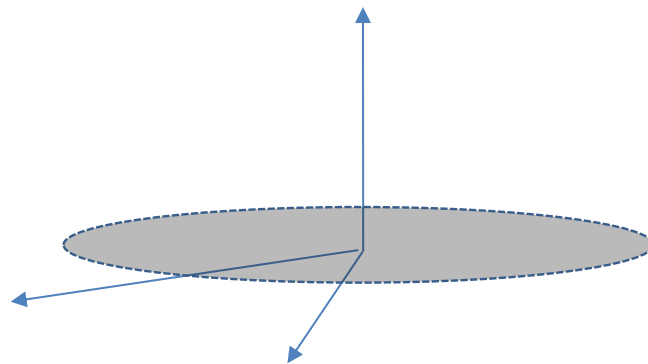
$$\gamma(r_c) = \min\{\Gamma(r_m, r_c)\} \forall \{r_m\}$$

Nejnovější poznatky



- **J.J.Kruse**

- DD a DTA má smysl při verifikaci celkového plánu, ne v jednotlivých rovinách – nevíme, jak to vypadá ve třetím rozměru



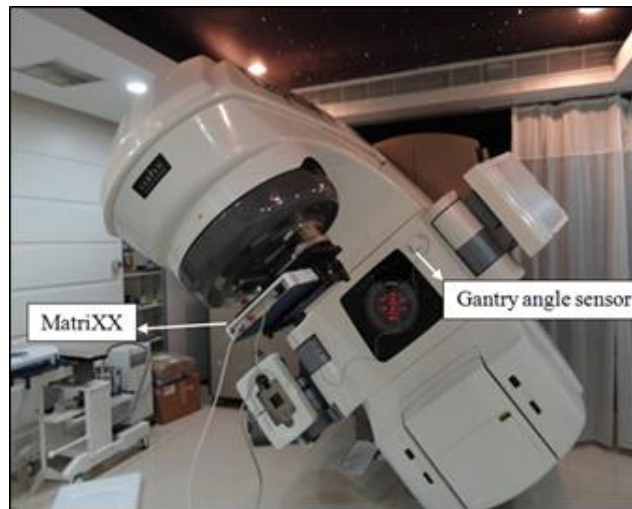
- **Hailemann et al.**

- Dozimetrické chyby u RapidArc, které se projeví při zpětné rekonstrukci DVH, nejsou odhaleny gama analýzou 3%/3mm (PTW Seven-29, Delta4)

Nejnovější poznatky



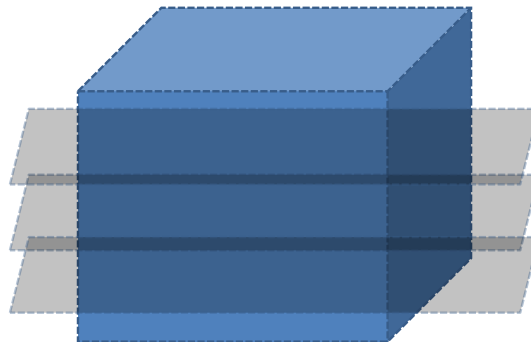
- Young et al. (IC₃DDose 2014)
 - Collapsed arc technika (měření dávkové distribuce pomocí EPID v rovině kolmé ke svazku během VMAT) neodhalí některé chyby v dávce
 - Doporučuje kritérium alespoň 2%/2mm



Nejnovější poznatky



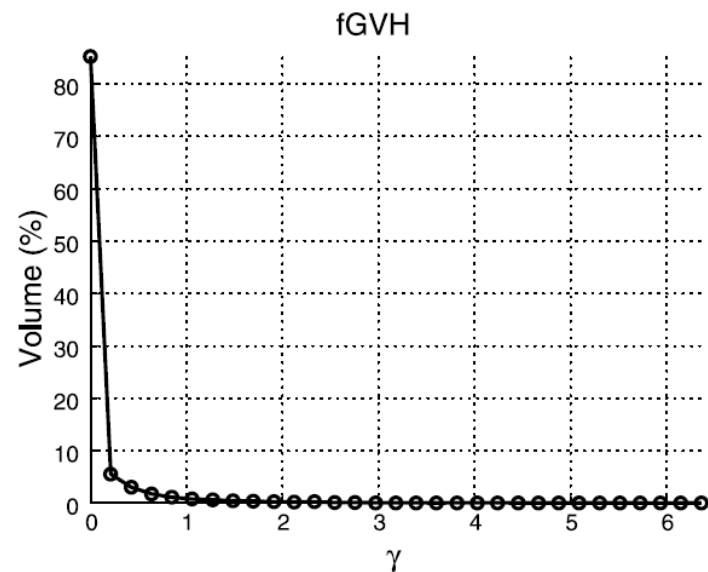
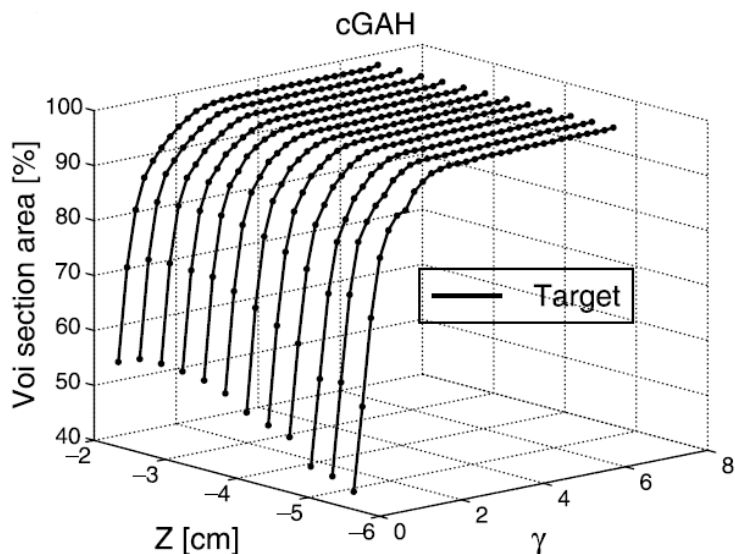
- Další autoři
 - Koronální rovina málo citlivá k dozimetrickým chybám
 - Korelace mezi gama analýzou s 2D polem a chybami v rekonstruovaném DVH neexistuje
 - 3D gama analýza lepší než 2,5 D (více rovin)
 - ✦ vychází nižší area gamma, nejsou falešně pozitivní a falešně negativní výsledky



Nejnovější poznatky



- Použití jediného parametru pro celé pole nezohledňuje malé chyby na důležitém místě
- Gama histogramy
 - ✦ střední hodnota γ , střední hodnota $\gamma + 1,5$ násobek standardní odchylky, procento bodů s $\gamma < 1$, $\gamma < 1,5$ a $\gamma > 2$
- *Kumulativní Gamma Area Histogram*
- *Frekvenční Gamma Volume Histogram*



3D možnosti verifikace dnes

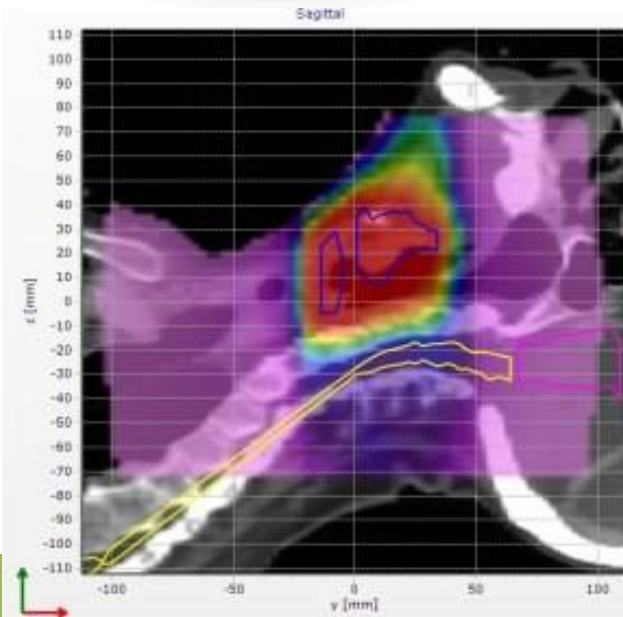
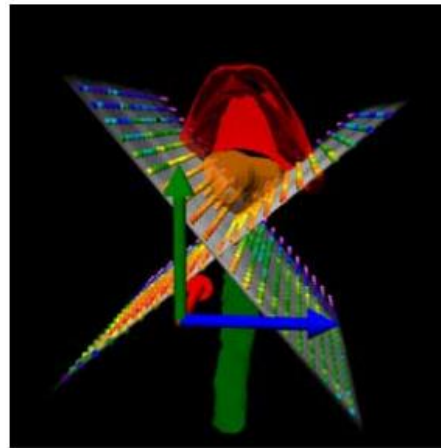


- Gely
 - end-to-end testy
- Další 3D možnosti
 - 3D fantomy/ „3D“ pole detektorů
 - software pro 3D gama analýzu
 - software pro rekonstrukci dávky v CT pacienta
 - Delta4 fantom, Delta4DVH Anatomy (ScandiDos)
 - ArcCHECK, 3DVH (Sun Nuclear)
 - OCTAVIUS 4D + VeriSoft (PTW)
- Software pro (in vivo) EPID dozimetrii
 - Dosimetry Check (Math Resolutions)

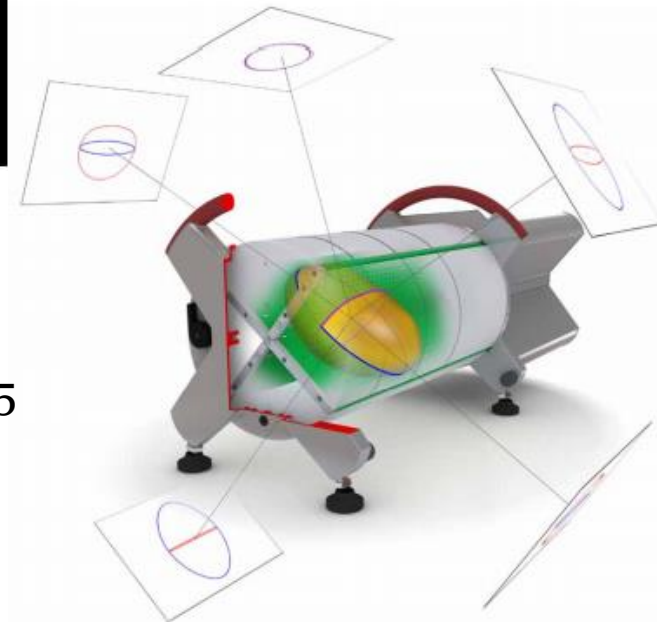
3D možnosti verifikace dnes



- Delta4 fantom, Delta4DVH Anatomy software (ScandiDos)



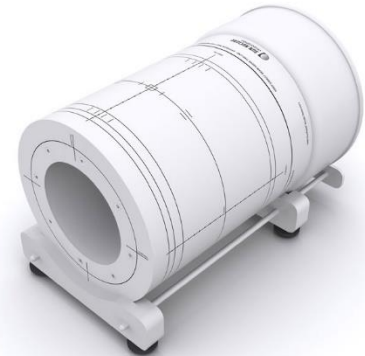
- Polovodičové detektory p-typu
- Rozlišení 5 mm (interpolace na 2.5 mm) až 1 cm
- 3D dávková distribuce v CT pacienta



3D možnosti verifikace dnes

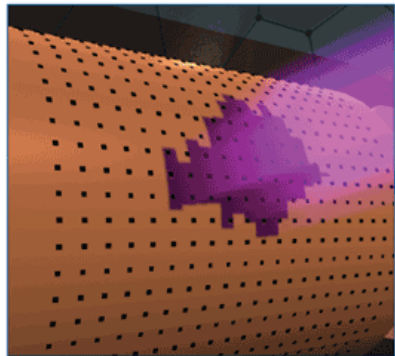


- ArcCHECK, 3DVH software (Sun Nuclear)
 - ✦ Polovodičové detektory rozmístěné na povrchu válce, z BEV se nepřekrývají
 - ✦ Rozlišení 1 cm
 - ✦ Dutina uvnitř – váha jen 16 kg 😊
 - ✦ Gamma pass rate jen 85.0% x 3DVH software indikuje konzistenci s původním plánem

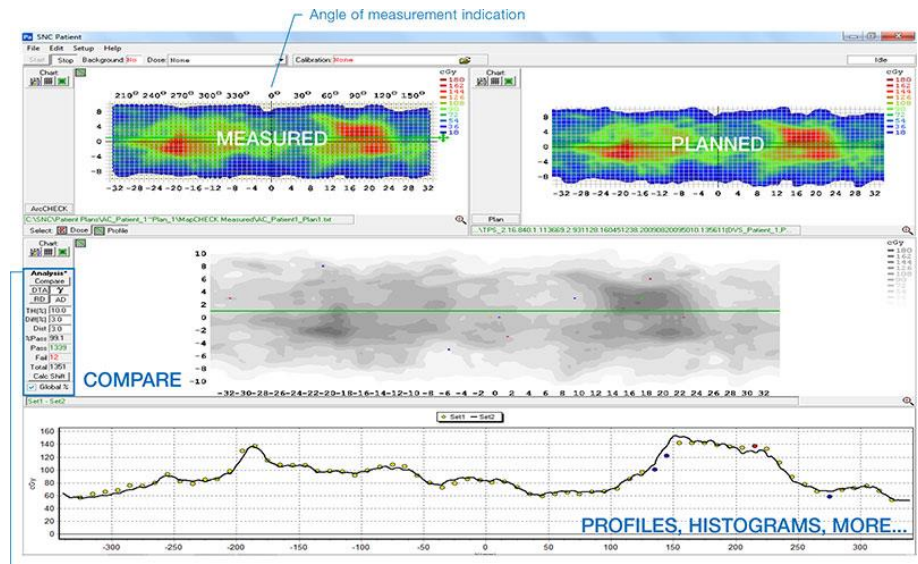
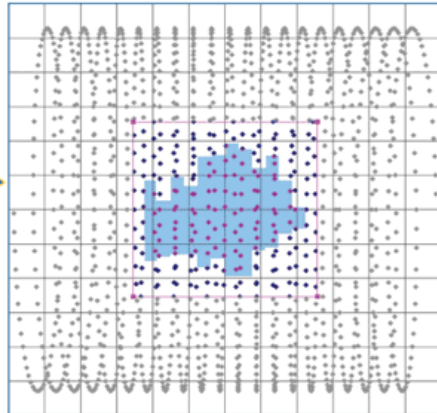


ArcCHECK®

Beam Simulation



ArcCHECK HeliGrid BEV



3D možnosti verifikace dnes

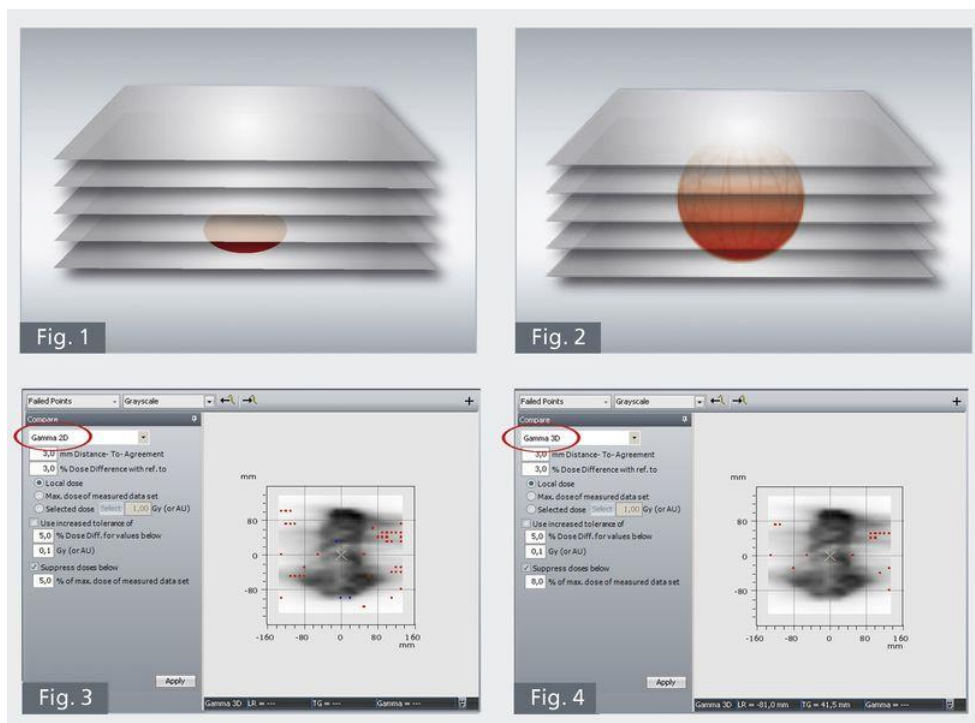


○ OCTAVIUS 4D + VeriSoft (PTW)



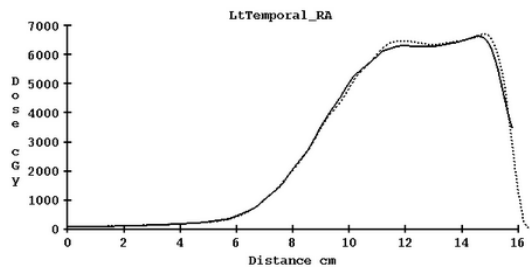
- 3D Volume Analysis
- Patient CT Overlay
- DVH 4D

- Composite or Control Point Analysis
- Slice-by-Slice Analysis
- 3D Gamma Index Analysis

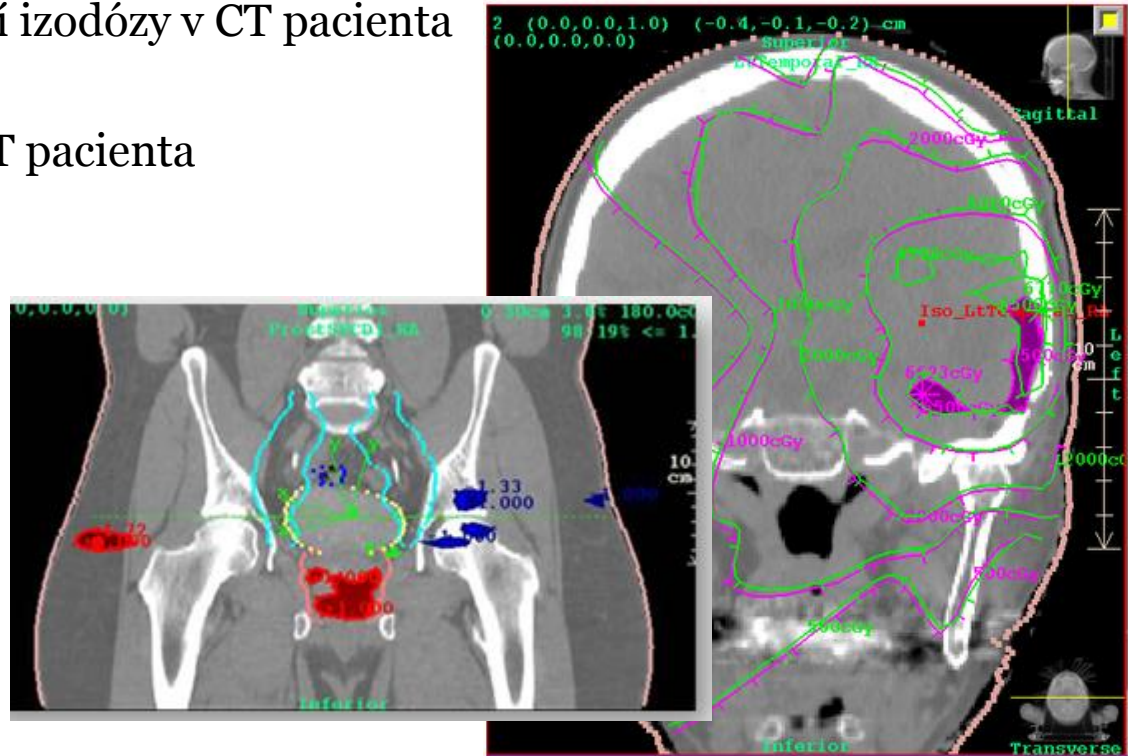
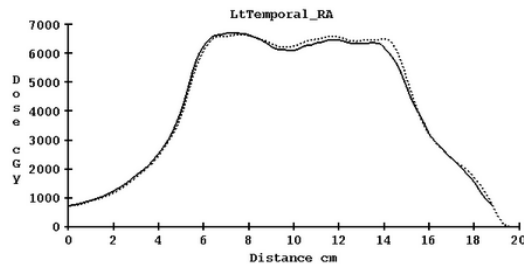


3D možnosti verifikace dnes

- Software pro (in vivo) EPID dozimetrii
 - Dosimetry Check (Math Resolutions, Standard Imaging)
 - Transmisní EPID dozimetrie:
 - ✦ Původní a aktuální izodózy v CT pacienta
 - ✦ Dávkové profily
 - ✦ Gama analýza v CT pacienta



Next below is the profile along the Z axis, patient posterior to anterior, through isocenter.



„3D“ pole detektorů



- Žádný ze systémů neměří 3D dávku
 - Ta se musí rekonstruovat z relativně malého počtu měřených bodů
- Myšlenka dobrá
 - Je potřeba znát klinické důsledky naměřených chyb
 - Zpětná rekonstrukce 3D dávky v pacientovi, srovnání DVH
- Výsledky však zatím závisí na přesnosti měření a na správnosti rekonstrukčních algoritmů



Konkrétní příklady

PTW VeriSoft versus Sun Nuclear 3DVH



- *V gamma pass rates se liší až o 11%*
- V obou implementována 3D gama analýza
- Výběr globální či lokální normalizace
 - Globální = výpočet DD z D_{\max} nebo předepsané D
 - ✦ V oblasti nízkých dávek velká tolerance (oblast OAR)
 - Lokální = výpočet DD z daného bodu
 - ✦ Jiná tolerance v oblasti vysokých a nízkých dávek
- PTW VeriSoft
 - Interpolace nahraných matic na 1 mm v rovině detektoru, ale zachovává vzdálenost řezů
- 3DVH
 - Interpolce matic na 1 mm ve všech směrech

PTW VeriSoft versus Sun Nuclear 3DVH



- Např. (Xing et al. IC3DDose 2014)

Gamma Criteria	3%/3mm		2%/2mm		3%/2mm		2%/3mm	
	Global	Local	Global	Local	Global	Local	Global	Local
3DVH (%)	99.7	94.7	96	72.8	99.3	79.6	98.2	91
VeriSoft (%)	99.9	97.9	98.6	80.3	99.9	91.3	99.9	93.8
Difference (%)	-0.2	-3.2	-2.6	-7.5	-0.6	-11.7	-1.7	-2.8

- 3D gama index pro jednoduchou distribuci stejný u obou softwarových nástrojů, shoda s manuálním výpočtem
- Gamma pass rates se liší - závisí např. na:
 - Způsobu interpolace matic
 - Implementaci algoritmu pro vyhledávání nejbližších bodů
 - Výpočtu gamma pass rates – počet hodnocených voxelů se liší dle nastaveného prahu

Delta4 (Scandidos)

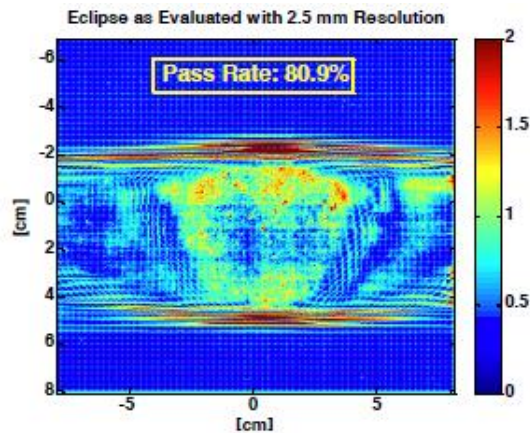


- 2 kolmé matice diod s rozlišením 0.5 cm ve středu
- Software umožňuje oddělit oblast s vysokými gradienty a vyhodnocovat jen podle DTA
- Umožňuje interpolaci k získání hodnot v celém objemu
- Vyhodnocení gama analýzou probíhá jen ve dvou rovinách, kde jsou přítomny detektory
- Nilsson et al.:
 - Při měření s detektorem Delta4 od firmy ScandiDos jsou výsledky gama analýzy v pořádku, přestože plány obsahují chybu klinicky významnou z hlediska DVH

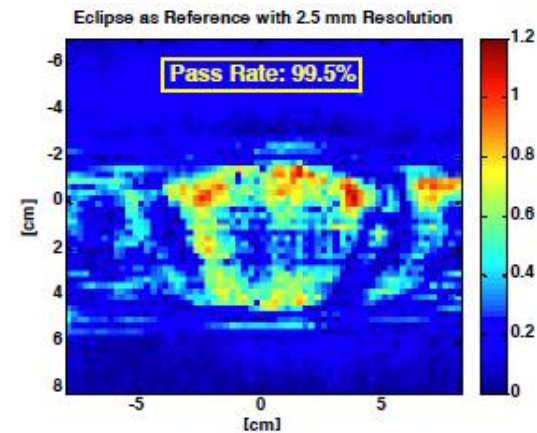
Další aspekty gama analýzy



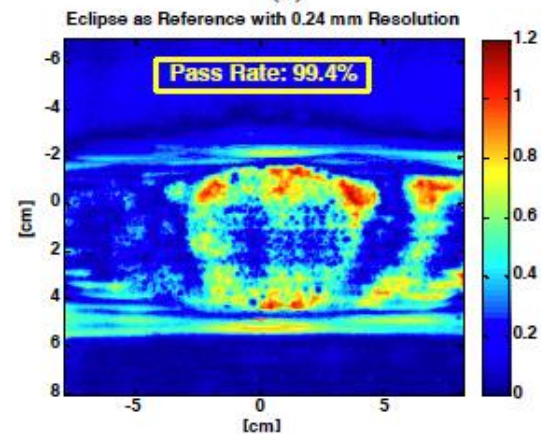
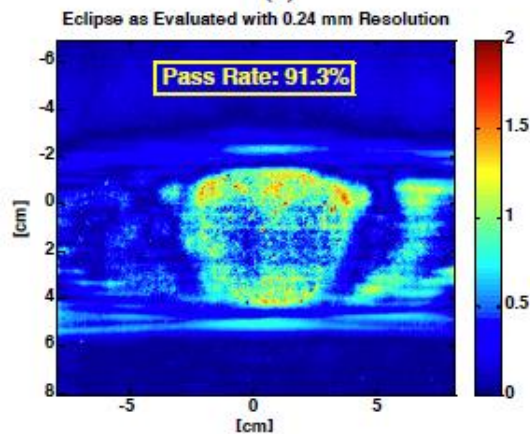
- Záleží, která distribuce je referenční a jaké má rozlišení
- Např. Schreiner et al. (IC3DDose 2012) – srovnání s filmem:



(c)



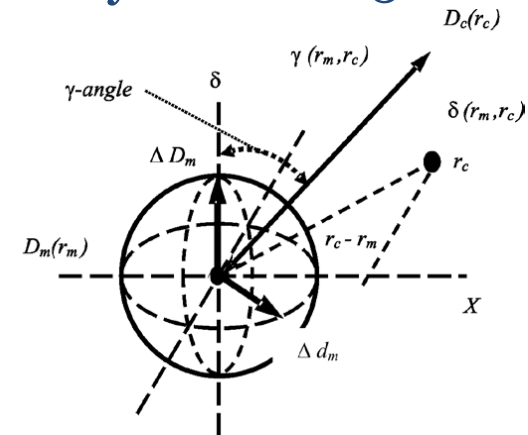
(d)



Další aspekty gama analýzy



- Záleží, kolik šumu obsahuje hodnocená distribuce
 - film obsahuje více šumu než distribuce exportovaná z TPS
 - šum = více různých hodnot dávky, které jsou srovnávány s referenčním bodem
- Lze odhadnout chybu
 - Např. $\gamma = 1.5$ znamená chybu 50 % - tj. nevychází o 1.5% nebo 1.5 mm pro kritéria 3%/3 mm
 - Gama úhel indikuje, zda má větší vliv DD nebo DTA



ICRU 83



- Vyhodnocovat jinak oblasti malých a velkých gradientů
 - u malých gradientů používat DD
 - u velkých gradientů používat DTA
- Nebo použít konzervativní přístup
 - pokud software neumožňuje rozlišit tyto oblasti
 - vyhodnocovat jako dosud (např. všude 3 %/3 mm)
 - zajistí splnění požadavku „85 % bodů splňuje kritérium 5%/5mm“ - viz ICRU 83

Závěry



- Gama analýza sama o sobě ok
- Záleží na detektoru
- Záleží na softwaru
- Výběr DD a DTA, threshold, potlačení malých dávek
- Lokální versus globální gama
- Jak daleko vyhledává bod pro výpočet gama indexu
- Způsob interpolace matic, rozlišení, která je referenční

Závěry

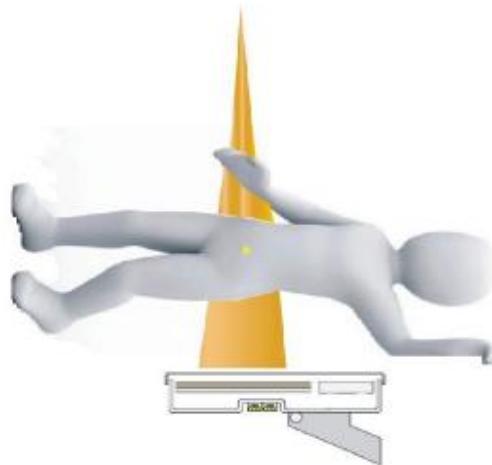


- Problém: uživatel nemá dost informací o komerčním software a jeho algoritmech
- Často některé z parametrů nejsou volitelné
- Software neumožňuje oddělit oblasti vysokých a nízkých gradientů a vyhodnocovat jen podle DTA či DD dle ICRU 83
- Důležité porozumět limitům svého detektoru a softwaru (vlastní experimenty, literatura) a přizpůsobit tomu způsob měření a vyhodnocení verifikací

Alternativní přístupy



- Nezávislý výpočet dávky, měření plánů vůbec a nebo jen složitější plány
- Jiný TPS, Monte Carlo
- Častější a detailnější QA linacu, omezit QA plánů
- In vivo transmisní portálová dozimetrie



Alternativní přístupy



- Mijnheer et al. - používají rutinně
 - vlastní algoritmus pro zpětnou projekci naměřené 2D dávkové distribuce
 - porovnání s TPS 3D dávkou pomocí gama analýzy
 - Méně časově náročné než předléčebná verifikace
 - Detekuje chyby způsobené anatomickými změnami
 - Klinicky užitečnější než předléčebná verifikace

Alternativní přístupy



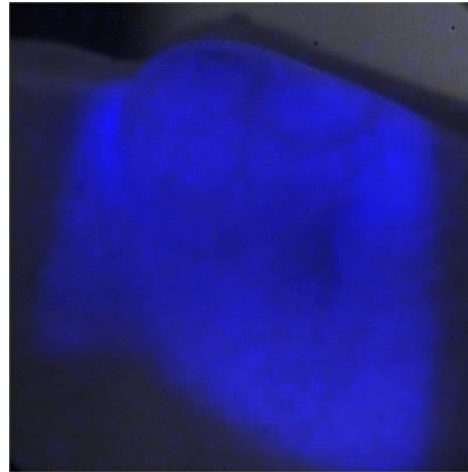
- 3D dozimetrie pomocí Čerenkovova záření
 - V reálném čase, opravdu 3D – rotace kamery kolem fantomu
 - Vodní fantom
 - ✦ černé stěny kvůli odrazům
 - ✦ voda + 1 g/l sulfátu $C_{20}H_{26}N_2O_6S$ – zvyšuje detekovaný signál (UV/modré světlo emitované pod úhlem převádí pomocí scintilací na izotropní emisi modrého světla)
 - CMOS kamera
 - ✦ Gating:
 - Průměrná intenzita emise: $\sim 10x \text{ nW/cm}^2$
 - Okamžitá intenzita emise: $\sim 10x \text{ mW/cm}^2$
 - Odpovídá pulsnímu záření linacu: $3 \mu\text{s}$, repetice cca 200 Hz
 - ✦ Lepší rotovat vodní fantom spolu s kamerou, než kameru kolem fantomu – kvůli lomu světla na hladině



Alternativní přístupy



- Závislost emitovaného světla a dávky je lineární jen v některých případech
 - ✦ velké povrchy, nízké energie, symetrické plány
 - ✦ kalibrace pomocí Monte Carlo simulací nebo měření
- V současné době možno zobrazit pouze planárně z 1 úhlu
- Výhoda: dynamické zobrazení děje v reálném čase



Zdroj: **Brian W Pogue**,
Dartmouth College, Hanover
NH USA

Literatura



- Přednášky IC3DDose 2014 a IC3DDose 2012
- Manuály výrobců detektorů a software

Děkuji za pozornost