JIHOČESKÁ UNIVERZITA

ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

KATEDRA RADIOLOGIE A TOXIKOLOGIE

Bakalářská práce

Téma: Ověřování IMRT plánů

Obor: Radiologický asistent

Autor : Michaela Lošková
Vedoucí bakalářské práce : Mgr. Petr Malecha

Datum odevzdání : 9.5.2008

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Ověřování IMRT plánů vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích, 9. května 2008

……

Podpis studenta

Poděkování:

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému vedoucímu práce Mgr. Petru Malechovi za věnovaný čas, trpělivost, odborný dohled a pomoc při zpracovávání bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Aleně Studýnkové a RNDr. Petru Berkovskému za odborné rady a spolupráci.

Abstract:

Quality assurance of the IMRT plans

Key words: IMRT, quality assurance, portal dosimetry, Seven29 2D field

We may regard the Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) as a break-through and progress concerning the treatment of oncogenous diseases. In practice, this new method experienced an extensive development as early as at the end of 1990s. At the present time, the IMRT is a medical treatment used in an increasingly frequent manner. It concerns predominantly such oncogenous diseases, the treatment of which based on the above-mentioned method is applicable due to the localization of the disease.

The IMRT enables a more effective distribution of a dose in the target volume than in case of the conventional radiotherapy. It is also possible to realize maximum treatment of the surrounding healthy tissues. For the purpose of clinical use of the IMRT, however, it is necessary to verify the correspondence between the dose planned and the dose actually realized in the target volume.

From the large quantity of correspondence verification methods available, I decided to select the three following ones to be covered in this paper:

- portal dosimetry method
- measurement using special phantom
- measurement using 2D filed of the Seven29 detectors.

The goal of my work was to compare these three methods of verification of the IMRT plans and in addition, to verify the applicability of the 3% tolerance criterion for all the above-mentioned methods of verification.

The portal dosimetry method is applicable for verification of fluency; it is fully sufficient and not time-consuming for the purpose of clinical use. The measurement using 2D field provides for sufficiently accurate information on a dose's distribution in

the modulated field, however, it is more time-consuming and the measuring device is not integrated in the system of the radiation apparatus. Verification using special phantom is considerably time-consuming and it provides for information on a dose's distribution in a small quantity of points. The DD=3% criterion I selected is applicable to all three methods with the exception of areas with extensive modulation of the dose and areas on the verge of the field.

Obsah:

Úvod…….7
Historie……11
Stručně z historie IMRT……...11
Začátky používání IMRT v klinické praxi……...12
Současný stav dané problematiky……14
Plánování IMRT plánů…….16
Cíl práce…….18
Ověřování IMRT plánů……19
Hypotéza…….20
Metodika…….21
Metoda měření portálovou dozimetrií……..21
Metoda měření ve speciálním fantomu……31
Metoda měření 2D polem Seven29……..31
Diskuze……42
Závěr……44
Klíčová slova……....45
Literatura…….46
Obrazová příloha……48

Úvod:

Bakalářskou práci na téma Ověřování IMRT plánů jsem si zvolila pro jeho zajímavost, coby nové metody v oboru radioterapie.

Nádorová onemocnění jsou druhou hlavní příčinou úmrtí jak v Evropě, tak i v České Republice. I přes snahu o jejich prevenci je počet těchto onemocnění stále vysoký. V roce 2006 bylo v České Republice nově diagnostikováno téměř 52 000 nádorových a 31 00 nenádorových onemocnění. V roce 2005 to bylo téměř 59 000 nádorových a 41 500 nenádorových onemocnění. Celková úmrtnost na zhoubné novotvary v roce 2005 byla cca 28 000 nemocných.

V současné době se daří vyléčit přibližně asi 45% všech pacientů, u nichž bylo nádorové onemocnění diagnostikováno. Za vyléčení se přitom považuje pětileté přežití bez příznaků choroby.

Při léčbě těchto onemocnění se uplatňují především chirurgické a radioterapeutické postupy. Chirurgickým odstraněním nádoru se daří vyléčit 22%. Pomocí radioterapie 12% a kombinací obou metod 6% všech diagnostikovaných onemocnění. Zbylých 5% úspěšné léčby je výsledkem chemoterapie, případně v kombinaci s dalšími dvěma metodami. U 18% pacientů dochází k selhání lokální léčby. U cca 37% onemocnění (diagnostikovaných v pozdějším stadiu) je pacientům poskytována paliativní léčba, která sice nevede k vyléčení, ale dokáže pacientovi ulevit od bolestí a často mu umožní i dlouhodobé pokračování v aktivním způsobu života.

Terapie zhoubných nádorů zahrnuje diagnostiku, chirurgii, radioterapii, chemoterapii, endokrinní a biologickou terapii, poléčebné sledování a rehabilitaci.

Během posledních několika desetiletí došlo k dalšímu rozvoji radioterapie i k rozvoji diagnostických metod, které nám umožňují lépe určit hranice nádoru. Diagnostické přístroje jako CT, MR i přístroje pro nukleární medicínu se neustále vyvíjejí a informace, které nám poskytují umožňují spolehlivě lokalizovat uložení nádoru.

Díky počítačovému plánování je možné připravit na pořízené diagnostické obrazy přesné ozařovací plány. Zlepšila se i přesnost, s kterou můžeme pacienta ozářit a

to hlavně díky počítačově kontrolním systémům, které dohlížejí na nastavení ozařovacích podmínek.

Užití radioterapie s jinými léčebnými postupy je stále častější a lze tak dosáhnout lepších výsledků léčby.

(citace Benešová S.)

Kraj	***Nádorové onemocnění*** *(absolutní počet)*		***Nenádorové onemocnění*** *(absolutní počet)*	
	2005	***2006***	***2005***	***2006***
Hl. m. Praha	11 110	8 109	10 776	6 606
Středočeský	3 458	3 400	1 538	1 951
Jihočeský	2 283	2 544	1 590	1 610
Plzeňský	1 509	1 271	1 417	1 355
Karlovarský	963	909	392	351
Ústecký	6 025	3 354	2 159	1 000
Liberecký	2 125	2 128	2 068	1 148
Královéhradecký	4 006	4 053	1 938	2 028
Pardubický	2 406	2 323	1 056	1 110
Vysočina	2 953	2 673	2 159	1 580
Jihomoravský	9 590	8 346	3 787	4 323
Olomoucký	2 427	2 355	5 646	1 581
Zlínský	3 200	2 931	3 034	3 510
Moravskoslezský	6 869	7 280	3 874	2 420
ČR	**58 924**	**51 676**	**41 434**	**30 573**

tab.1 Počet nově přijatých pacientů s nádorovým a s nenádorovým onemocněním radiační onkologie, klinická onkologie

Kraj	Radioterapie	Chemoterapie	Jiná	Celkem
Hl. m. Praha	9 228	21 814	23 259	46 346
Středočeský	1 289	8 523	13 814	25 339
Jihočeský	2 188	4 847	3 685	12 745
Plzeňský	943	1 045	843	6 089
Karlovarský	470	797	766	2 008
Ústecký	2 825	4 931	3 008	9 361
Liberecký	978	1 364	2 153	4 462
Královéhradecký	3 602	3 681	2 505	9 369
Pardubický	821	3 125	854	4 800
Vysočina	952	2 561	2 070	5 432
Jihomoravský	5 567	5 213	34 825	44 950
Olomoucký	1 250	832	5 341	7 002
Zlínský	957	3 288	6 241	10 184
Moravskoslezský	5 199	9 880	16 407	30 538
ČR	**36 269**	**71 901**	**115 771**	**218 625**

Tab.2 Přehled léčených pacientů pro nádorová (zhoubná i nezhoubná) onemocnění radiační onkologie, klinická onkologie (2006)

Historie:

Stručně z historie IMRT:

Od 1895 kdy byly objeveny a v léčbě poprvé použity paprsky X zůstává snaha dodat co nejvyšší dávky do cílového objemu při co nejmenším poškozování zdravých tkání.

Rozvoj technických možností radioterapie v minulém století zkvalitnil fyzikální úroveň léčby. Důležité pro rozvoj IMRT bylo zavedení lineárních urychlovačů s vílelamelovým kolimátorem, zavedení moderních dozimetrických metod a inverzního plánování.

- do r. 1960 - primitivní kompenzátory a bloky
- 1960 - pohyblivé bloky u rotační terapie
- 1982 - návrh IMRT pomoci klínů a bloků
- 1988 - návrh inverzního plánování
- 1991 - princip techniky IMRT s použitím více statických polí
- 1992 - návrh techniky IMRT s použitím tvarování polí v dynamickém modu
- 1993 - princip tomoterapie
- 1994 - zdokonalení techniky a zahájení komerčního využívání IMRT

Začátky používání IMRT v klinické praxi:

Všeobecně se rozvoj IMRT datuje od roku 1982 díky vlivné publikaci Anderse Brahmeho a jeho kolegů z Karolínského institutu ve Stockholmu. Tato práce ukázala, že pro 2D inverzní plánování s kompletní kruhovou souměrností by bylo možné vytvořit prstenec jednotné uniformní dávky kolem zcela blokovaného středového kruhu, rotací profilu modulovaného svazku.

Tato první práce o IMRT ukázala, že je potřeba začít s požadovaným rozložením dávky a přejít k specifikaci požadované modulaci fluence. Dnes tomuto procesu říkáme inverzní plánování. Práce ukázala, jak dostat uniformní prstenec dávky D s vnějším poloměrem R obklopující střední kruh o poloměru r_0 s nulovou primární dávkou. Bylo zjištěno, že by toho bylo dosaženo rotační technikou s kterou by fluence byla nulová od počátku směrem do vnitřního poloměru prstence r_0, který by pak náhle rostl do nekonečna (nebo v praxi do „velkého čísla“) následován snížením vzdálenosti $x > r_0$ podle vztahu:

$$\mathbf{F(x) = \exp\left[\mu(R^2 - x^2)^{0,5}\right] D x \cos\left[\mu(x^2 - r_0^2)^{0,5}\right] / (x^2 - r_0^2)^{0,5}}$$

kde μ je lineárním zeslabovacím koeficientem rentgenového paprsku

Další krok dopředu v inverzním plánování učinil opět Brahme v roce 1988. Byl vysvětlen pojem vytvoření fluenčních profilů z distribucí dávek, tak že nejprve se prozkoumá dávková distribuce v dávkovém objemu a potom se z nich rozvine bodové rozložení dávky, tak aby se vytvořila požadovaná hustota fluence.

Dalším krokem bylo zpětné vyprojektování hustoty fluence, tak aby se vytvořily fluenční profily. Potom z takto vytvořených profilů, metodou zpětné projekce, mohlo být zformováno distribuční rozložení dávek do dávkového objemu. Jak proces projekce, tak proces zpětné projekce zahrnovaly exponenciální hloubkové operace. Avšak projekce i zpětná projekce nejsou inverzními (převrácenými) procesy, a proto byla tato technika pouze přibližná. Tato práce byla mezníkem, protože zavedla myšlenku tohoto

druhu plánování vnímaného jako formu inverzní výpočetní tomografie, pojem, který byl nějakou dobu používán, ale později byl opuštěn.

V roce 1988 neexistovalo žádné zařízení schopné ozařovat pomocí modulovaného svazku (přesněji, jinak než pomocí kompenzátoru). Počítačově kontrolované mnohostranné kolimátory v té době teprve začínaly být dostupné a trvalo ještě dalších 6 let než vešly ve známost translační rovnice přiřazující modulovanou fluenci k tvaru polí. A potom trvalo ještě další tři roky než se staly dostupným komerčním zařízením.

Dále existovala pouze jediná technika inverzního plánování. Také neexistovaly žádné komerční algoritmy nebo zařízení pro inverzní plánování. A v neposlední řadě bylo toto téma obecně pokládáno za výzkumné téma pro fyziky.

Na konci osmdesátých let bylo pouze málo fyziků zabývajících se inverzním plánováním pro účely IMRT. V roce 1989 vyvinul profesor Steve Webb v londýnské nemocnici Royal Marsden Hospital inverzní plánování IMRT simulovaným ochlazováním. V newyorském centru Memorial Sloan Kettering Center prodělali nezávisle podobný vývoj Mageras a Mohan. V DKFZ Heidelbergu vyvíjel Bortfeld spolu se Schlegelem analytickou techniku stoupání klesání, která napodobovala inverzní počítačovou tomografii. Jeho první práce se objevila v roce 1990. Tyto techniky vytvořily 2D - distribuci dávky z jednorozměrně modulovaných polí.

Začátkem devadesátých let byly tyto techniky rozšířeny o vytvoření 3D - distribuci dávky z dvourozměrně modulovaných polí.

(citace Benešová S.)

Stav současné problematiky IMRT:

V klinické praxi se nejvíce uplatňují dvě metody, které k modifikaci intenzity svazku používají vícelamelový kolimátor MLC. (obr.2)

Technika mnoha statických polí (multiple-static-field MSF), označována taky jako step-and-shoot technika, je postavena na superpozici několika dílčích polí (segmentů) rozdílně tvarovaných pomocí MLC, složením se dosáhne požadované modulace svazku. Při daném úhlu gantry je nejprve ozářen první segment. Následně se lamely MLC automaticky posunou a ozáří se druhý segment. Opět se posunou lamely a následuje třetí segment atd. Po odzáření posledního plánovaného segmentu se změní úhel gantry a celý proces se opakuje pro další pole.

Technika sliding windows spočívá v tom, že lamely MLC se během ozáření plynule pohybují napříč svazkem. Software určuje sekvenci a rychlost pohybu lamel, měnící se rychlostí jednotlivých párů lamel je svazek modulován.

Součástí lineárního urychlovače a současně podmínkou pro užití IMRT techniky je zařízení pro portálové zobrazení (EPID), které umožňuje použití fotonového záření lineárního urychlovače k zobrazení struktur v ozařovaném objemu při reálných ozařovacích podmínkách. Vyhodnocovací systém spojený s tímto zařízením pak dovoluje srovnání obrazů získaných pomocí EPID s obrazy pořízenými na simulátoru nebo s obrazy získanými diagnostickými metodami.

IMRT je v klinickém používání asi od druhé poloviny 90. let. Na rozdíl od konformní terapie můžeme pomocí IMRT dosáhnout optimální dávkové distribuce kolem cílového objemu konkávního tvaru. Jako nejvhodnější indikace se jeví nádory CNS, nádory nosohltanu, nádory paranasálních dutin, karcinom prostaty a obecně všechny nádory uložené v bezprostřední blízkosti kritických struktur. Kromě toho skýtá IMRT potenciál pro další stupňování dávky záření (ve srovnání s CRT) u vhodných nádorových lokalit.

Metoda IMRT je však spojena s řadou dozimetrických problémů zejména s dozimetrickou verifikací plánu. Dosud nebyla vypracována mezinárodní ani národní doporučení pro verifikaci techniky a zajištění kvality (quality assurance, QA).

Můžeme říci, že jednotlivá pracoviště teprve hledají optimální indikace a techniky IMRT, ačkoliv předběžné klinické výsledky se jeví jako velmi slibné. Řada prací je teprve preklinických, které se zabývají základními fyzikálními parametry IMRT plánů. IMRT techniky jsou porovnávány s technikami konvenčními a především s konformní radioterapií, která je pokládána za metodu referenční.

Velkou výhodou IMRT je rychlý spád dávky mimo cílový objem. Dochází tak k šetření zdravých tkání a přilehlých kritických orgánů.

Do nevýhod IMRT můžeme zahrnout vysoké technické nároky na lineární urychlovač i plánovací software. Dále technika IMRT vyžaduje velmi přesnou specifikaci jednotlivých objemů v diagnostických obrazech a vhodné programy potřebné k fúzi těchto obrazů v plánovacím systému. Další nevýhodou je časová náročnost celého procesu a verifikace u každého pacienta. Ovšem zásadní nevýhodou je vysoká cena přístrojového, softwarového i dozimetrického vybavení.

Plánování IMRT:

Postup plánování IMRT se od klasického plánovacího postupu neliší nijak zásadně, je však složitější. Algoritmus je stejný, liší se pouze několik detailů, které jsou však pro výsledek důležité. Pomocí vhodné zobrazovací techniky (CT, MR, PET) provedeme lokalizaci cílového objemu, zvolíme a vyrobíme fixační pomůcky a přistoupíme k plánovacímu CT.

První rozdíl je v posunu stolu mezi jednotlivými řezy a tloušťce řezů. Nejčastěji je tloušťka řezu 3 mm. Posun stolu mezi řezy volíme tak, aby řezy na sebe plynule navazovaly. Ideální je spirální CT. Většinou se navíc provádí některá z dalších radiodiagnostických metod (PET, MR) a její fůze s plánovacím CT. Pozitronová emisní tomografie dokáže lépe odhalit metabolicky aktivní ložiska a tím lepší zacílení dávky v cílovém objemu, magnetická rezonance zase lépe zobrazí měkké tkáně, což opět vede k přesnějšímu zakreslení cílového objemu, popřípadě okolních rizikových orgánů.

Po zakreslení cílových objemů a rizikových orgánů jsou zakreslené a dostáváme se tak k vlastnímu plánování. Počet polí se volí o něco větší než u klasické radioterapie, poněkud odlišně se přistupuje i k uspořádání polí. Dbáme na to, aby pole nebyla protilehlá, a plánovací systém měl možnost vyhnout se kritickým orgánům. Pole se snažíme umístit tak, aby svazek neprocházel kritickým orgánem. Ne vždy je to ale možné, a proto se přidáním polí z dalších směrů snažíme pomoci plánovacímu systému k dosažení optimálního rozložení dávky. Pokud jsme s rozmístěním polí spokojeni, přikročíme k optimalizaci.

Zde nastává zásadní rozdíl oproti konvenčnímu plánování a tím je takzvané inverzní plánování. U konvenčního plánování se snažíme navrhnout takový plán, kterým dosáhneme požadovanou dávku. Postupujeme často metodou pokus-omyl, provedeme výpočet a pomocí dose volume histogram (DVH) (obr.5) vyhodnotíme pokrytí cílového objemu, případný *„hot-spot“* (místo s nejvyšší dávkou) a zatížení okolních orgánů. Postup opakujeme tak dlouho dokud nejsme s výsledkem spokojeni.

Při inverzním plánování postupujeme, jak už název napovídá, opačně. Nejprve definujeme pomocí tzv. limitů minimální a maximální požadovanou dávku pro příslušný objem a stanovíme jeho prioritu. Priorita určuje relativní důležitost dodržení

požadované dávky. Požadované rozložení dávky s definovanými limity a prioritou je tak jedním ze vstupů pro výpočet a systém se pak snaží k těmto zadaným hodnotám přiblížit vytvořením optimálního profilu svazku záření. Ve většině případů má nejvyšší váhu oblast tumoru, někdy však i kritické orgány mohou mít vyšší váhu, pokud jejich poškození může mít závažné negativní následky jako je např. slepota nebo transverzální léze míchy.

Riziko poškození je obvykle funkcí nejen velikosti dávky, ale i objemu, který je dávkou zatížen. Proto optimalizace dovoluje i stanovení maximálního objemu daného orgánu, který může být zatížen zvolenou dávkou. Pro cílové objemy lze stanovit minimální a maximální dávku. Platí například doporučení, že cílový objem byl měl obdržet 95-107% z celkové předepsané dávky. Tento postup dovoluje porovnávat kvalitu plánů a tím i hodnotit případný zisk použití techniky IMRT. Stanovené limity musí být reálně dosažitelné, i když v některých případech může dojít k jejich překročení. Jedná se zejména o složitě tvarované tumory obklopené kritickými orgány. Pak je nutné bud' redukovat předepsanou dávku nebo akceptovat její překročení. Během optimalizace lze ale tyto limity průběžně upravovat, tak jak se vyvíjí optimální dávková fluence. Po dosažení požadované optimální fluence provede systém výpočet pohybu lamel MLC a následně přepočítá fluenci optimální na fluenci aktuální. Aktuální fluence by pak ideálně měla vést k dosažení požadované dávkové distribuce. Po výpočtu vyhodnotíme na základě DVH výsledný plán a v případě potřeby provedeme novou optimalizaci s pozměněnými podmínkami (počet polí, úhel gantry, limity).

Před prvním ozářením ještě pomocí CT simulátoru, či klasického simulátoru ověříme polohu izocentra. Tu pak ještě kontrolujeme portálovým zobrazováním jak při prvním nastavení, tak periodicky v celé sérii. Než však přikročíme k vlastnímu ozařování, je potřeba provést dozimetrickou verifikaci plánu.

Cíl práce:

Cílem práce bylo navrhnout postupy pro ověřování IMRT plánů pomocí následujících metod:

- metodou portálové dozimetrie
- měřením ve speciálním fantomu
- měřením pomocí 2D pole Seven29

Ověřování IMRT plánů:

Dozimetrické ověřování IMRT plánů je jednou z nejdůležitějších součástí kontroly této ozařovací techniky, která se musí provádět vždy před ozářením pacienta.

Pro tuto práci jsem vybrala tři metody ověřování IMRT plánů.

- metodu ověřování pomocí portálové dozimetrie
- metodu měření pomocí ionizační komory
- metodu měření 2D polem Seven29

Portálová dozimetrie ověřuje fluenci v ozařovaném poli, ionizační komora měří absorbovanou dávku v definovaném bodě a 2D pole nám poskytuje informace o rozložení dávky v modulovaném poli i o rozložení fluence.

Hypotéza:

Tříprocentní toleranční kriteria jsou vhodná pro posouzení shody dávkové distribuce IMRT plánů v podmínkách onkologického oddělení Nemocnice České Budějovice a.s..

Metodika:

Výběr měřících metod a pacientů:

Ke zpracování této práce jsem použila tři již zmiňované metody ověřování IMRT plánů. V závěru jsem mohla zhodnotit jak je která metoda časově náročná, uživatelsky příjemná a zda vyhovuje v praxi z hlediska přesnosti. K ověřování jsem použila plány pacientů s nádory prostaty, krku a CNS.

Jednotlivá měření:

Jako první jsem prováděla ověřování IMRT plánů pomocí portálové dozimetrie. (obr.6) Ačkoliv název metody „Portálová dozimetrie“ by naznačoval, že se jedná o měření dávky, případně jejího rozložení, jedná se pouze o pracovní označení metody pro ověřování IMRT plánů, kterou se ověřuje souhlas předpokládaného a realizovaného rozložení fluence.

Práce s portálovou dozimetrií je časově nenáročná a uživatelsky velmi snadná. Měření pomocí této metody se téměř shoduje s běžným ozařováním na lineárním urychlovači a proto ji lze snadno zařadit do běžného provozu. Výhodou je integrace zařízení pro portálovou dozimetrii do systému ozařovače. Systém pracuje v reálném čase a všechny jeho jednotlivé komponenty jsou mezi sebou on-line propojeny.

Vypočtený a lékařem schválený ozařovací plán je z plánovací konzole převeden na kontrolní plán, do kterého jsou přesunuta všechna pole z původního plánu včetně fluencí a počtu monitorovacích jednotek (MU). Pro daný počet MU se spočítá v aktivní vrstvě portálové kazety „očekávaný průběh fluence“. Tyto spočítané průběhy jsou uloženy a přiřazeny ke každému poli jako referenční hodnoty. Plán je poté přenesen do databáze pacientů k ozáření.

Na pracovišti s lineárním urychlovačem je otevřen kontrolní plán. Lineární urychlovač s měřící kazetou nastavíme do předepsané polohy a provedeme ozáření kontrolního plánu bez pacienta, přičemž pro každé kontrolované pole je tímto zařízením naměřeno rozložení fluence, které je automaticky uloženo do databáze k údajům o ověřovaném plánu.

K hodnocení naměřených údajů je na pracovní stanici SomaVision určen modul dosimetrie. Nejprve je nutné kontrolní plán otevřít a vybrat ozařované pole, které budeme hodnotit. Modul dosimetrie nabízí řadu různých hodnotících nástrojů, mezi které se řadí především: bodové měření fluence, vytvoření profilu fluence libovolným směrem a měření vzdálenosti mezi dvěma body. (obr.7)

Systém nám umožňuje také srovnání referenčích a naměřených hodnot. Pro každé ozařované pole jsou změřeny odchylky u dvou vybraných profilů. Měření se provádí minimálně v 5 různých bodech rovnoměrně rozmístěných podél každého z profilů. Do protokolu jsou pak zaznamenány průměrné odchylky pro každé ozařované pole. Pro hodnocení jsou zvolena 3% pro průměrnou odchylku a 3 mm pro odchylku vzdálenosti.

Jednou z možností je i kvantitativní hodnocení naměřených dat volbou funkce „dose evalution“. Pro porovnání rozložení dávky v ozařovaném poli lze využít gama analýzy nebo rozdílu fluencí.

Dávkové matice jsou uchopeny a přetaženy do příslušných okének, následuje volba hodnotící funkce a případně zadání kritérií pro Gama analýzu (odchylka distance to agreement –DTA- je 3 mm a odchylka dose difference – DD- je 3%). Hodnotící funkce pro rozdíl dávek spočítá maximální a minimální odchylku v kladném i záporném směru. Gama analýza zobrazí maximální a střední hodnotu Gamma Indexu a skóre. (obr.8)

	Plán	Daum ověření	Pole 1			Pole 2			Pole 3			Pole 4			Pole 5		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
1	IMRT-25x2Gy	1.6.2007	2,107	0,224	0,998	2,486	0,268	0,999	2,932	0,293	0,994	2,429	0,221	0,996	2,718	0,267	0,997
2	IMRT 1 boost	31.5.2007	6,527	0,196	0,998	10	0,315	0,994	4,303	0,193	0,994	3,639	0,183	0,994	5,789	0,308	0,995
3	IMRT 1 boost	31.5.2007	3,747	0,205	0,998	4,455	0,258	0,998	4,748	0,243	0,995	4,401	0,229	0,998	5,897	0,31	0,999
4	IMRT 2 boost	31.5.2007	3,799	0,18	0,999	3,745	0,163	0,999	3,644	0,164	0,999	3,993	0,171	0,999	5,789	0,259	0,999
5	IMRT 1 boost	29.5.2007	7,297	0,223	0,998	6,73	0,182	0,999	6,662	0,208	0,998	6,403	0,203	0,998	9,603	0,252	0,999
6	IMRT 1 25x2Gy	25.5.2007	8,819	0,215	0,998	9,684	0,285	0,998	10	0,328	0,997	6,651	0,19	0,999	10	0,358	0,993
7	IMRT boost	25.5.2007	8,766	0,201	0,999	9,637	0,216	0,999	8,661	0,188	0,999	8,999	0,189	0,998	10	0,228	0,999
8	IMRT 1 boost	22.5.2007	1,709	0,124	0,999	1,918	0,137	0,999	1,936	0,12	0,999	2,007	0,104	0,999	1,523	0,179	0,999
9	IMRT boost	22.5.2007	1,875	0,13	0,998	2,203	0,127	0,999	2,299	0,15	0,998	2,217	0,112	0,998	2,427	0,189	0,998
10	IMRT 1	21.5.2007	1,838	0,158	0,999	2,03	0,233	0,999	1,267	0,217	0,999	1,636	0,172	0,999	1,892	0,254	0,999
11	IMRT 1 boost	26.4.2007	1,761	0,161	0,999	1,6	0,196	0,999	1,654	0,217	0,999	2,051	0,172	0,999	1,681	0,213	0,999
12	IMRT 2 boost	26.4.2007	1,706	0,172	0,999	1,843	0,253	0,999	2,162	0,218	0,999	1,826	0,175	0,999	1,996	0,241	0,999
13	IMRT 1 boost	3.5.2007	2,065	0,196	0,999	2,695	0,217	0,999	2,465	0,154	0,998	1,973	0,19	0,999	2,074	0,274	0,999
14	IMRT boost	8.6.2007	4,086	0,134	0,999	5,298	0,201	0,999	4,95	0,166	0,999	3,722	0,122	0,999	2,125	0,193	0,999
15	IMRT pánev	8.6.2007	2,205	0,168	0,999	3,173	0,321	0,998	5,896	0,303	0,998	2,268	0,14	0,999	1,821	0,22	0,999
16	IMRT pánev	13.6.2007	2,261	0,209	0,996	1,729	0,245	0,997	2,046	0,255	0,987	1,926	0,209	0,991	1,704	0,231	0,993
17	IMRT boost	13.6.2007	2,001	0,177	0,999	2,865	0,176	0,999	1,97	0,204	0,993	2,01	0,172	0,999	2,214	0,264	0,998
18	IMRT boost	13.6.2007	1,565	0,174	0,999	4,531	0,243	0,999	2,389	0,273	0,998	1,436	0,178	0,999	1,714	0,246	0,998
19	IMRT pánev	21.6.2007	4,3	0,173	0,998	3,561	0,174	0,998	2,97	0,144	0,998	3,383	0,151	0,999	3,847	0,153	0,999

	Plán	Daum ověření	Pole 1			Pole 2			Pole 3			Pole 4			Pole 5		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
20	IMRT boost	21.6.2007	4,508	0,123	0,999	4,2	0,142	0,998	3,999	0,223	0,999	2,534	0,142	0,999	3,045	0,229	0,999
21	IMRT 1 boost	2.7.2007	2,271	0,138	0,999	1,96	0,193	0,999	2,191	0,163	0,999	2,472	0,162	0,999	2,588	0,198	0,999
22	IMRT 2	2.7.2007	2,247	0,109	0,999	2,457	0,136	0,999	2,561	0,14	0,999	2,316	0,125	0,999	2,286	0,165	0,999
23	IMRT boost	10.7.2007	2,002	0,232	0,999	2,357	0,279	0,998	2,582	0,277	0,999	1,881	0,185	0,994	2,482	0,254	0,999
24	IMRT 1 boost	10.7.2007	2	0,156	0,999	1,806	0,202	0,998	1,899	0,178	0,999	2,028	0,155	0,999	1,668	0,205	0,999
25	IMRT 1 boost	12.7.2007	2,323	0,188	0,999	2,289	0,242	0,999	1,979	0,265	0,999	2,594	0,218	0,999	2,016	0,215	0,999
26	IMRT 2 boost	12.7.2007	2,13	0,185	0,999	2,231	0,17	0,999	1,875	0,217	0,999	2,341	0,187	0,999	1,755	0,236	0,999
27	IMRT pánev	13.7.2007	2,179	0,184	0,999	2,074	0,15	0,999	1,949	0,159	0,999	1,566	0,169	0,999	2,214	0,237	0,999
28	IMRT 1 boost	25.7.2007	2,119	0,174	0,999	2,088	0,206	0,999	2,046	0,174	0,999	2,14	0,162	0,999	2,126	0,194	0,999
29	IMRT 1 boost	30.7.2007	1,84	0,209	0,999	2,532	0,297	0,995	2,484	0,287	0,991	2,353	0,216	0,997	1,562	0,257	0,997
30	IMRT 1 boost	6.8.2007	1,69	0,177	0,999	1,485	0,189	0,999	1,296	0,18	0,999	2,243	0,183	0,999	2,048	0,264	0,999
31	IMRT 1 boost	2.8.2007	2,21	0,198	0,999	1,541	0,19	0,999	1,653	0,246	0,999	1,633	0,202	0,999	1,75	0,276	0,999
32	IMRT 2 boost	2.8.2007	1,361	0,169	0,999	1,425	0,122	0,999	1,832	0,143	0,999	1,624	0,182	0,999	1,547	0,241	0,999
33	IMRT pánev	7.8.2007	2,458	0,205	0,999	2,475	0,187	0,996	2,808	0,173	0,998	2,332	0,192	0,999	1,759	0,264	0,999
34	IMRT 1 boost	7.8.2007	2,327	0,192	0,998	2,681	0,204	0,994	2,949	0,187	0,996	1,772	0,177	0,999	1,978	0,263	0,999
35	IMRT pánev	8.10.2007	2,209	0,237	0,999	1,913	0,266	0,998	2,036	0,24	0,998	1,519	0,204	0,999	1,667	0,312	0,998
36	IMRT boost	8.10.2007	1,662	0,147	0,999	2,393	0,164	0,999	1,612	0,257	0,998	1,531	0,161	0,999	1,481	0,248	0,999
37	boost	2.10.2007	1,703	0,151	0,999	2,42	0,17	0,999	2,363	0,156	0,999	2,441	0,169	0,999	1,377	0,221	0,999

	Plán	Daum ověření	Pole 1			Pole 2			Pole 3			Pole 4			Pole 5		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
38	pánev	10.8.2007	1,804	0,157	0,999	1,995	0,137	0,999	1,857	0,214	0,999	1,999	0,157	0,999	1,331	0,23	0,999
39	boost	10.8.2007	2,138	0,114	0,999	2,645	0,13	0,999	2,324	0,135	0,999	2,041	0,12	0,999	2,305	0,207	0,999
40	pánev	25.9.2007	1,481	0,135	0,999	2,072	0,166	0,999	2,009	0,178	0,999	1,902	0,151	0,999	1,504	0,216	0,999
41	boost	25.9.2007	2,124	0,123	0,999	1,937	0,154	0,998	2,445	0,184	0,999	1,974	0,176	0,999	1,507	0,213	0,999
42	pánev	24.9.2007	1,746	0,147	0,999	2,035	0,28	0,999	2,207	0,227	0,999	1,329	0,149	0,998	1,801	0,224	0,999
43	boost	24.9.2007	2,067	0,138	0,999	2,337	0,118	0,999	2,309	0,12	0,999	2,083	0,151	0,998	1,812	0,223	0,999
44	boost	12.8.2007	1,883	0,149	0,999	1,905	0,134	0,999	1,841	0,109	0,999	2,769	0,137	0,998	1,831	0,205	0,999
45	pánev	26.9.2007	2,193	0,138	0,999	1,812	0,131	0,998	1,918	0,123	0,999	2,16	0,115	0,998	1,626	0,226	0,999
46	pánev	10.8.2007	2,743	0,186	0,999	1,814	0,163	0,999	2,238	0,196	0,999	1,649	0,208	0,999	2,023	0,246	0,999
47	boost	10.8.2007	2,151	0,14	0,999	1,825	0,149	0,999	1,981	0,147	0,999	2,129	0,156	0,999	1,536	0,142	0,999
48	pánev	18.7.2007	2,341	0,24	0,995	2,319	0,25	0,993	1,922	0,23	0,994	1,979	0,215	0,994	2,191	0,23	0,998
49	boost	18.7.2007	2,15	0,205	0,998	2,396	0,209	0,999	2,064	0,185	0,999	2,321	0,185	0,999	2,593	0,211	0,998
50	boost	12.8.2007	2,032	0,137	0,999	1,29	0,128	0,999	1,813	0,136	0,999	1,13	0,137	0,999	2,402	0,212	0,999
51	boost	7.9.2007	2,487	0,117	0,999	2,808	0,101	0,999	3,139	0,101	0,999	2,38	0,117	0,999	1,39	0,176	0,999
52	pánev	11.10.2007	2,055	0,169	0,999	2,191	0,168	0,999	2,412	0,21	0,999	1,344	0,169	0,999	1,691	0,236	0,999
53	boost	11.10.2007	1,698	0,185	0,999	1,75	0,214	0,999	3,374	0,228	0,999	2,274	0,163	0,999	1,287	0,159	0,999
54	pánev	26.10.2007	2,477	0,147	0,999	2,099	0,151	0,999	2,09	0,159	0,999	1,958	0,172	0,999	1,978	0,195	0,995
55	boost	26.10.2007	2,763	0,119	0,999	2,357	0,095	0,999	2,283	0,096	0,999	1,948	0,14	0,999	1,416	0,131	0,999
56	boost	20.11.2007	1,752	0,178	0,999	1,616	0,152	0,999	1,835	0,104	0,999	1,833	0,173	0,999	1,731	0,205	0,999
57	pánev	20.11.2007	1,945	0,16	0,998	2,211	0,215	0,999	1,867	0,211	0,999	2,245	0,17	0,999	1,635	0,247	0,999
58	boost	20.11.2007	2,082	0,13	0,999	2,234	0,097	0,999	2,342	0,092	0,999	1,479	0,115	0,999	1,622	0,193	0,999
59	pánev	21.11.2007	1,737	0,142	0,999	1,833	0,132	0,998	1,813	0,141	0,998	2,222	0,153	0,998	2,095	0,136	0,998
60	pánev	21.11.2007	2,613	0,14	0,999	1,707	0,091	0,999	1,738	0,108	0,999	1,893	0,15	0,999	2,171	0,21	0,999
61	pánev	29.11.2007	1,321	0,153	0,999	1,9	0,125	0,998	2,186	0,119	0,999	1,981	0,142	0,998	1,25	0,18	0,999
62	pánev	29.11.2007	1,84	0,187	0,999	2,301	0,179	0,998	2,186	0,204	0,999	1,306	0,164	0,998	1,682	0,252	0,999
63	pánev	12.12.2007	2,133	2,15	0,999	1,912	0,237	0,999	2,889	0,218	0,999	2,212	0,193	0,998	1,502	0,233	0,999
64	boost	12.12.2007	1,586	0,163	0,999	1,805	0,125	0,999	1,182	0,131	0,999	1,469	0,161	0,999	1,582	0,189	0,999

	Plán	Daum ověření	Pole 1			Pole 2			Pole 3			Pole 4			Pole 5		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
65	pánev	17.12.2007	1,741	0,141	0,999	1,713	0,23	0,999	1,852	0,197	0,999	1,75	0,138	0,999	2,039	0,193	0,999
66	boost	17.12.2007	1,407	0,124	0,999	1,587	0,108	0,999	2,13	0,112	0,999	1,31	0,127	0,999	1,755	0,208	0,999
67	pánev	10.1.2008	1,212	0,151	0,999	1,337	0,181	0,998	1,703	0,233	0,999	1,207	0,155	0,998	1,803	0,239	0,999
68	boost	10.1.2008	1,516	0,12	0,999	1,829	0,127	0,999	1,588	0,108	0,999	1,68	0,132	0,999	1,476	0,204	0,999
69	pánev	29.1.2008	2,113	0,163	0,999	2,147	0,18	0,998	1,873	0,175	0,999	2,089	0,17	0,998	1,667	0,211	0,999
70	pánev	29.1.2008	2,333	0,112	0,999	2,538	0,106	0,998	2,736	0,126	0,999	2,016	0,123	0,998	1,436	0,145	0,999
71	pánev	29.1.2008	2,412	0,112	0,999	2,783	0,101	0,998	2,628	0,1	0,999	2,291	0,113	0,998	2,416	0,114	0,999
72	pánev	5.2.2008	1,765	0,11	0,999	1,712	0,131	0,998	1,613	0,198	0,999	1,406	0,126	0,998	1,812	0,167	0,999
73	boost	5.2.2008	1,852	0,087	0,999	1,409	0,08	0,999	1,614	0,08	0,999	1,972	0,111	0,999	1,722	0,15	0,999
74	boost	13.2.2008	2,146	0,12	0,999	2,155	0,106	0,999	2,15	0,117	0,999	2,36	0,114	0,999	1,253	0,169	0,999
75	boost	14.2.2008	1,443	0,112	0,999	1,743	0,108	0,998	1,704	0,1	0,999	1,876	0,13	0,998	1,645	0,164	0,999
76	boost	21.2.2008	1,262	0,09	0,999	1,98	0,087	0,998	1,322	0,085	0,999	1,775	0,086	0,998	1,169	0,128	0,999
77	boost	29.2.2008	1,814	0,139	0,999	1,782	0,155	0,998	2,101	0,242	0,999	1,868	0,163	0,998	1,597	0,2	0,999
78	boost	11.3.2008	1,935	0,092	0,999	2,449	0,103	0,999	2,462	0,088	0,999	2,038	0,101	0,999	2,178	0,15	0,999
79	2boost	29.2.2008	2,54	0,109	0,999	2,437	0,104	0,999	2,34	0,112	0,999	2,719	0,116	0,999	2,308	0,115	0,999
80	pánev	7.4.2008	2,594	0,108	0,999	2,406	0,12	0,998	2,139	0,116	0,999	2,412	0,106	0,998	2,094	0,142	0,999
81	pánev	1.4.2008	1,603	0,122	0,999	2,245	0,134	0,999	2,479	0,144	0,999	1,655	0,147	0,999	1,949	0,216	0,999
82	boost	1.4.2008	1,563	0,109	0,999	1,58	0,101	0,999	1,79	0,122	0,999	1,98	0,127	0,999	1,717	0,17	0,999
83	pánev	11.3.2008	1,468	0,113	0,999	1,87	0,122	0,998	2,114	0,133	0,999	1,852	0,128	0,998	1,378	0,176	0,999
84	boost	11.3.2008	1,709	0,099	0,999	1,844	0,095	0,999	1,881	0,102	0,999	1,834	0,091	0,999	1,522	0,097	0,999
85	boost	11.3.2008	2,305	0,093	0,999	1,888	0,091	0,998	1,902	0,094	0,999	1,931	0,101	0,998	2,037	0,098	0,999
86	pánev	1.4.2008	1,481	0,135	0,999	2,072	0,166	0,998	2,009	0,178	0,999	1,902	0,151	0,998	1,504	0,216	0,999
87	boost	1.4.2008	2,305	0,135	0,999	2,262	0,161	0,999	1,93	0,141	0,999	2,062	0,135	0,999	2,258	0,162	0,998
88	pánev	15.4.2008	2,355	0,102	0,999	2,13	0,099	0,998	2,704	0,102	0,999	2,175	0,119	0,998	1,754	0,159	0,999
89	boost	15.4.2008	2,226	0,095	0,999	2,168	0,089	0,999	1,924	0,111	0,999	2,308	0,106	0,999	2,014	0,137	0,999
90	pánev	1.4.2008	1,5	0,137	0,999	1,453	0,141	0,999	2,246	0,141	0,999	2,014	0,153	0,998	2,012	0,165	0,998
91	boost	1.4.2008	1,769	0,147	0,999	1,73	0,108	0,999	1,801	0,099	0,999	1,738	0,102	0,999	1,482	0,132	0,999

	Plán	Daum ověření	Pole 1			Pole 2			Pole 3			Pole 4			Pole 5		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
92	pánev	10.4.2008	2,261	0,19	0,999	1,991	0,19	0,999	1,417	0,183	0,999	1,489	0,195	0,998	1,716	0,237	0,998
93	boost	10.4.2007	1,575	0,15	0,999	1,573	0,14	0,999	1,728	0,137	0,999	1,844	0,152	0,999	1,714	0,154	0,999
94	boost	1.4.2008	1,846	0,128	0,999	1,803	0,131	0,999	2,075	0,123	0,999	2,096	0,136	0,999	1,648	0,141	0,999
95	boost	16.4.2008	2,345	0,113	0,999	2,125	0,097	0,999	2,149	0,092	0,999	2,539	0,103	0,998	2,522	0,113	0,998
96	boost	16.4.2008	1,589	0,138	0,999	1,535	0,118	0,999	1,818	0,114	0,999	2,045	0,127	0,998	1,507	0,127	0,999

Výsledky gama analýzy ověřování IMRT plánů pro karcinom prostaty

		Daum ověření	Pole 1			Pole 2			Pole 3			Pole 4			Pole 5		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
1		25.9.2007	2,495	0,302	0,996	2,147	0,283	0,998	2,2997	0,278	0,996	3,18	0,187	0,997	4,177	0,344	0,998
2	krk	18.9.2007	1,732	0,238	0,999	2,595	0,248	0,998	2,237	0,218	0,999	2,142	0,189	0,999	2,287	0,241	0,998
3	CNS	10.8.2007	2,908	0,133	0,998	2,817	0,183	0,998	2,611	0,126	0,998	1,864	0,154	0,999	3,67	0,132	0,998
4	krk	31.7.2007	2,561	0,226	0,999	3,698	0,268	0,997	3,234	0,217	0,997	1,495	0,25	0,999	2,688	0,232	0,997
5	krk	23.10.2007	3,6	0,173	0,992	3,915	0,196	0,985	3,078	0,328	0,996	3,799	0,17	0,999	2,183	0,125	0,999
6	krk	10.10.2007	3,971	0,243	0,997	4,109	0,2	0,997	4,201	0,197	0,999	2,807	0,359	0,991	2,021	0,158	0,998
7	CNS	29.11.2007	2,639	0,196	0,998	1,757	0,154	0,998	2,52	0,253	0,997	2,258	0,143	0,998	1,824	0,129	0,999
8	CNS boost	29.11.2007	1,719	0,127	0,999	2,058	0,161	0,999	3,005	0,193	0,998	1,691	0,142	0,998	2,514	0,121	0,999
9	krk	22.1.2008	1,578	0,141	0,999	2,379	0,136	0,998	2,766	0,132	0,999	2,598	0,144	0,999	2,14	0,143	0,999
10	krk	5.2.2008	2,563	0,237	0,997	2,351	0,178	0,998	3,013	0,177	0,998	1,58	0,22	0,998	1,901	0,202	0,999
11	krk	20.2.2008	1,988	0,149	0,998	2,343	0,216	0,996	2,192	0,189	0,998	2,354	0,204	0,999	2,472	0,181	0,998
12	krk	5.3.2008	1,971	0,149	0,998	2,026	0,136	0,997	1,675	0,111	0,999	1,811	0,122	0,999	2,226	0,13	0,999
13	krk	14.3.2008	2,081	0,11	0,999	2,35	0,25	0,994	3,044	0,157	0,995	2,367	0,221	0,993	3,422	0,181	0,982
14	CNS	21.3.2008	2,008	0,144	0,999	3,448	0,149	0,996	2,493	0,172	0,998	3,144	0,165	0,997	2,061	0,168	0,998
15	CNS boost	21.3.2008	2,187	0,114	0,999	1,487	0,146	0,999	1,458	0,112	0,999	1,928	0,134	0,999	1,46	0,214	0,999
16	krk	1.4.2008	2,999	0,186	0,997	2,295	0,14	0,999	2,57	0,148	0,998	2,196	0,203	0,998	2,847	0,194	0,998
17	krk	1.4.2008	2,055	0,18	0,997	2,33	0,167	0,998	2,127	0,138	0,996	1,918	0,149	0,997	3,028	0,25	0,999

		Daum ověření	Pole 6			Pole 7			Pole 8			Pole 9			Pole 10		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
1		25.9.2007	2,987	0,194	0,997	2,19	0,263	0,998									
2	krk	18.9.2007	1,957	0,218	0,999	2,326	0,249	0,998									
3	CNS	10.8.2007	2,107	0,187	0,999	1,384	0,123	0,999									
4	krk	31.7.2007	2,749	0,249	0,998	2,684	0,241	0,999	1,737	0,134	0,999	2,241	0,188	0,998	2,75	0,22	0,996
5	krk	23.10.2007	4,295	0,186	0,998	2,01	0,137	0,999	2,451	0,193	0,998	3,679	0,187	0,998	1,975	0,142	0,999
6	krk	10.10.2007	3,4	0,344	0,996	3,795	0,214	0,998	3,184	0,173	0,999	2,518	0,247	0,998	2,853	0,219	0,998
7	CNS	29.11.2007	3,009	0,285	0,998	2,795	0,215	0,997	1,744	0,145	0,999						
8	CNS boost	29.11.2007	2,814	0,172	0,997	1,839	0,128	0,998									
9	krk	22.1.2008	1,625	0,178	0,999	1,723	0,129	0,999									
10	krk	5.2.2008	3,067	0,184	0,998	2,452	0,163	0,998	2,177	0,245	0,996	2,671	0,252	0,997	2,202	0,158	0,998
11	krk	20.2.2008	1,778	0,145	0,997	1,794	0,175	0,999	3,277	0,125	0,999	1,92	0,175	0,996	2,805	0,206	0,998
12	krk	5.3.2008	1,919	0,131	0,997	1,982	0,099	0,999	1,805	0,106	0,998	2,642	0,123	0,998	1,474	0,109	0,999
13	krk	14.3.2008	2,05	0,161	0,998	3,21	0,189	0,995	2,317	0,126	0,999	2,317	0,142	0,998	3,389	0,129	0,992
14	CNS	21.3.2008	3,115	0,172	0,997	3,303	0,133	0,995									
15	CNS boost	21.3.2008	2,005	0,157	0,999	1,577	0,114	0,999									
16	krk	1.4.2008	1,658	0,151	0,998	2	0,185	0,999	2,218	0,153	0,997	2,01	0,189	0,996	2,2	0,144	0,999
17	krk	1.4.2008	2,016	0,191	0,998	2,244	0,136	0,997	2,754	0,163	0,999	3,531	0,203	0,995	1,841	0,196	0,998

		Daum ověření	Pole 11			Pole 12			Pole 13			Pole 14		
			Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score	Max Gamma	avg Gamma	Score
1		25.9.2007												
2	krk	18.9.2007												
3	CNS	10.8.2007												
4	krk	31.7.2007	2,183	0,205	0,999	3,886	0,255	0,997	2,927	0,231	0,999			
5	krk	23.10.2007	4,344	0,138	0,999	3,008	0,392	0,993	2,871	0,164	0,999	2,44	0,193	0,998
6	krk	10.10.2007	2,396	0,26	0,998	2,135	0,229	0,999	2,64	0,257	0,997	2,001	0,142	0,999
7	CNS	29.11.2007												
8	CNS boost	29.11.2007												
9	krk	22.1.2008												
10	krk	5.2.2008	2,192	0,217	0,994	2,152	0,206	0,999						
11	krk	20.2.2008	1,935	0,156	0,999	1,35	0,151	0,999	1,411	0,113	0,998	2,246	0,193	0,999
12	krk	5.3.2008	1,977	0,146	0,999	1,36	0,155	0,999						
13	krk	14.3.2008	2,298	0,209	0,988	3,229	0,149	0,992	2,903	0,138	0,999	2,957	0,184	0,986
14	CNS	21.3.2008												
15	CNS boost	21.3.2008												
16	krk	1.4.2008	2,178	0,205	0,999	2,178	0,205	0,999	1,347	0,135	0,999			
17	krk	1.4.2008	1,848	0,198	0,997	1,415	0,141	0,999	1,429	0,162	0,999			

Výsledky gama analýzy ověřování IMRT plánů u nádorů krku a CNS

Jako další možnost jsem využila metodu měření ve speciálním fantomu. (obr.12) Kontrolu absorbované dávky v definovaném bodě provádíme měřením pomocí ionizační komory . V plánovacím systému je vytvořen verifikační plán, v němž je pacienta nahradíme vodě ekvivalentním fantomem. Tento fantom slouží k měření absorbované dávky v libovolném místě, protože umožňuje přesné polohování ionizační komory ve všech třech osách. Plánovací systém provede pro dané fluence jednotlivých polí a daný počet monitorovacích jednotek výpočet absorbované dávky.

Kontrolu ozařovacího plánu pomocí ionizační komory provádíme v pěti různých bodech. Spočítaná dávka v těchto bodech je v protokolu použita jako referenční hodnota. Tento plán je poté přenesen do databáze pacientů na lineárním urychlovači. V těchto pěti bodech se pomocí ionizační komory provede měření, kterým si ověříme správnost výpočtu plánovacím systémem. Měření provádíme pomocí IMRT fantomu a detektoru, který je umístěn postupně do všech námi určených pěti bodů. Všechny hodnoty měření se zaznamenají do protokolu.

Třetím možným postupem jak IMRT plány ověřit je pomocí pole 2D Seven29. (obr.13)

2D pole obsahuje 27 x 27 vzduchem plněných ionizačních komor. Maximální velikost pole, kterou tedy pokryje 729 komor je 27cm x 27cm. Okolní materiál je PMMA, což je vodě ekvivalentní materiál. 2D pole umožňuje absolutní měření dávky a dávkového příkonu pro fotony vysokých energií. Naměřená data jsou přenášena do softwaru VeriSoft.

2D pole se umístí 3 cm pod a 5 cm nad PTW RW3 desky. Efektivní měřící bod je umístěn ve středu plochy komory, 5 mm pod povrchem 2D pole. Tím se všechna verifikovaná pole automaticky umístí svým izocentrem do efektivního bodu měření centrální komory. Všechna pole se přenesou do jednoho verifikačního plánu. Úhel stolu, gantry a kolimátoru se nastaví na 0°. Pro kalibraci je 2D pole ozářeno 2 Gy. Způsob vyhodnocení měření je obdobný jako je tomu u metody měření pomocí portálové dozimetrie. Vyhodnocovací software poskytuje hodnoty DD a DTA a gamma indexu pro rozložení fluence. 2D pole navíc dovoluje měření v dávkovém režimu.

Lze využít kalibrace dodané výrobcem, nebo provést kalibraci vlastní. Oproti měření ve speciálním fantomu (měření dávky v pěti měřících bodech) je dávka měřená celkem v 729 bodech.

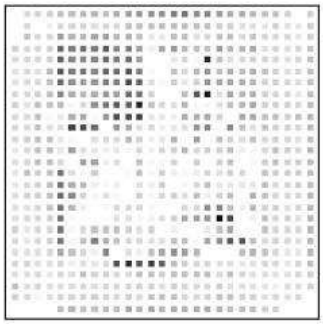
Metoda měření pomocí 2D pole můžeme použít k měření dávky i fluence. Vyhodnocovací systém Verisoft umožňuje porovnávat změřenou fluenci s fluencí s softwaru importovanou, případně porovnávat dvě importované fluence mezi sebou. Importované fluence nemusí být vytvořeny pouze v plánovacím systému, ale můžeme importovat i fluence změřené portálovou dozimetrií. Porovnáním fluence zjištěné měřením pomocí 2D pole s importovanou fluencí získanou metodou portálové dozimetrie ověřujeme správnou funkci zařízení pro portálovou dozimetrii.

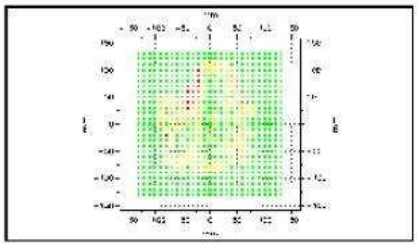
Na následující straně je ukázka protokolu 2D pole Seven29.

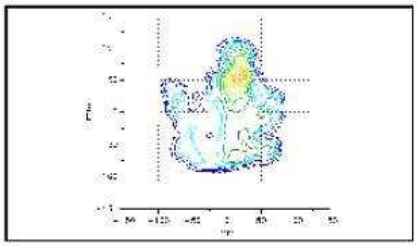
PTW - VeriSoft V 2.10-T07

Physicist: Bohsung
Protocl File: C:\Programme\PTW\Messungen_100304\schenk15.vpf
Date: [redacted]
Patient: [redacted]
Comment: Gamma > 1 only at doses below 10%

Difference:
Files: C:\Programme\PTW\Messungen_100304
[redacted]
C:\Programme\PTW\Messungen_100304
[redacted]
Name: Difference
ID: 07149171







Selected Compare Mode:
Local Percentage Difference
(Isodoses of Matrix B are shown dashed)

Charité Radiotherapy

	Plán	Daum ověření	Bod č. 1			Bod č. 2			Bod č. 3			Bod č. 4			Bod č. 5		
			D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]
1	IMRT-25x2Gy	1.6.2007	2,526	2,532	0,24	2,532	2,538	0,24			#DIV/0!	2,474	2,459	-0,61			#HODNOTA!
2	IMRT 1 boost	31.5.2007	2,558	2,542	-0,63	2,421	2,416	-0,21			#DIV/0!	2,455	2,424	-1,26			#DIV/0!
3	IMRT 1 boost	31.5.2007	2,634	2,607	-1,03	2,7	2,655	-1,67			#DIV/0!	2,658	2,606	-1,96			#DIV/0!
4	IMRT 2 boost	31.5.2007	2,634	2,6	-1,29	2,74	2,696	-1,61			#DIV/0!	2,665	2,611	-2,03			#DIV/0!
5	IMRT 1 boost	29.5.2007	2,604	2,594	-0,38	2,399	2,422	0,96			#DIV/0!	2,344	2,35	0,26			#DIV/0!
6	IMRT 1 25x2Gy	25.5.2007	2,408	2,396	-0,50	2,397	2,371	-1,08			#DIV/0!	2,496	2,454	-1,68			#DIV/0!
7	IMRT boost	25.5.2007	2,441	2,428	-0,53	2,38	2,397	0,71			#DIV/0!	2,463	2,477	0,57			#DIV/0!
8	IMRT 1 boost	22.5.2007	2,539	2,532	-0,28	2,713	2,713	0,00	1,998	2,11	5,61			#DIV/0!			#DIV/0!
9	IMRT boost	22.5.2007	2,659	2,671	0,45	2,614	2,635	0,80			#DIV/0!			#DIV/0!	2,013	2,03	0,84
10	IMRT 1	21.5.2007	2,601	2,595	-0,23	2,574	2,575	0,04			#DIV/0!			#DIV/0!			#DIV/0!
11	IMRT 1 boost	26.4.2007	2,542	2,512	-1,18			#DIV/0!	1,688	1,686	-0,12			#DIV/0!			#DIV/0!
12	IMRT 2 boost	26.4.2007	2,554	2,516	-1,49	2,573	2,542	-1,20			#DIV/0!	2,656	2,598	-2,18			#DIV/0!
13	IMRT 1 boost	3.5.2007	2,522	2,531	0,36			#DIV/0!	1,609	1,729	7,46			#DIV/0!	1,579	1,469	-6,97
14	IMRT boost	8.6.2007	2,499	2,494	-0,20	2,477	2,47	-0,28			#DIV/0!	2,707	2,689	-0,66	2,179	2,155	-1,10
15	IMRT pánev	8.6.2007	2,481	2,479	-0,08	2,373	2,365	-0,34			#DIV/0!	2,669	2,654	-0,56	2,183	2,169	-0,64
16	IMRT pánev	13.6.2007	2,404	2,397	-0,29	1,981	2,009	1,41			#DIV/0!	2,01	2,01	0,00			#DIV/0!
17	IMRT boost	13.6.2007	2,502	2,485	-0,68	1,984	2,001	0,86			#DIV/0!	1,992	1,984	-0,40			#DIV/0!
18	IMRT boost	13.6.2007	2,393	2,373	-0,84	2,1	2,132	1,52			#DIV/0!	2,153	2,09	-2,93			#DIV/0!
19	IMRT pánev	21.6.2007	2,483	2,472	-0,44	2,533	2,512	-0,83			#DIV/0!	2,49	2,464	-1,04	1,694	1,71	0,94
20	IMRT boost	21.6.2007	2,538	2,525	-0,51	2,75	2,749	-0,04			#DIV/0!	2,433	2,38	-2,18	1,7	1,68	-1,18
21	IMRT 1 boost	2.7.2007	2,548	2,541	-0,27	2,583	2,573	-0,39			#DIV/0!	2,614	2,593	-0,80			#DIV/0!
22	IMRT 2 boost	2.7.2007	2,623	2,616	-0,27	2,636	2,626	-0,38			#DIV/0!	2,675	2,652	-0,86			#DIV/0!
23	IMRT boost	10.7.2007	2,436	2,408	-1,15	2,433	2,421	-0,49			#DIV/0!	2,337	2,309	-1,20			#DIV/0!
24	IMRT 1 boost	10.7.2007	2,584	2,57	-0,54	2,592	2,582	-0,39			#DIV/0!	2,519	2,503	-0,64			#DIV/0!
25	IMRT 1 boost	12.7.2007	2,562	2,561	-0,04	2,569	2,569	0,00			#DIV/0!	2,639	2,626	-0,49			#DIV/0!

	Plán	Daum ověření	Bod č. 1			Bod č. 2			Bod č. 3			Bod č. 4			Bod č. 5		
			D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]
26	IMRT 2 boost	12.7.2007	2,575	2,574	-0,04	2,558	2,554	-0,16			#DIV/0!	2,655	2,633	-0,83			#DIV/0!
27	IMRT pánev	13.7.2007	2,47	2,4629	-0,29	2,476	2,481	0,20	1,292	1,3865	7,31	2,475	2,449	-1,05	1,302	1,418	8,91
28	IMRT 1 boost	25.7.2007	2,495	2,497	0,08	2,526	2,535	0,36			#DIV/0!	2,501	2,498	-0,12			#DIV/0!
29	IMRT 1 boost	30.7.2007	2,737	2,727	-0,37	2,678	2,681	0,11			#DIV/0!	2,672	2,65	-0,82			#DIV/0!
30	IMRT 1 boost	6.8.2007	2,507	2,504	-0,12	2,213	2,277	2,89			#DIV/0!	2,148	2,117	-1,44			#DIV/0!
31	IMRT 1 boost	2.8.2007	2,562	2,549	-0,51	2,537	2,524	-0,51			#DIV/0!	2,543	2,519	-0,94			#DIV/0!
32	IMRT 2 boost	2.8.2007	2,546	2,527	-0,75	2,56	2,54	-0,78			#DIV/0!	2,519	2,479	-1,59			#DIV/0!
33	IMRT pánev	7.8.2007	2,536	2,534	-0,08	2,498	2,495	-0,12			#DIV/0!	2,503	2,477	-1,04			#DIV/0!
34	IMRT 1 boost	7.8.2007	2,608	2,605	-0,12	2,578	2,567	-0,43			#DIV/0!	2,572	2,552	-0,78			#DIV/0!
35	IMRT pánev	8.10.2007	2,448	2,433	-0,61	2,638	2,658	0,76			#DIV/0!	2,162	2,149	-0,60	1,414	1,44	1,84
36	IMRT boost	8.10.2007	2,47	2,437	-1,34	2,682	2,703	0,78			#DIV/0!	2,092	2,038	-2,58	1,402	1,433	2,21
37	boost	2.10.2007	2,547	2,536	-0,43	2,462	2,518	2,27	1,288	1,33	3,26	2,344	2,344	0,00			#DIV/0!
38	pánev	10.8.2007	2,476	2,484	0,32	2,58	2,606	1,01	1,468	1,59	8,31	2,542	2,545	0,12	1,479	1,522	2,91
39	boost	10.8.2007	2,566	2,573	0,27	2,59	2,619	1,12	1,776	1,896	6,76	2,557	2,557	0,00	1,774	1,706	-3,83
40	pánev	25.9.2007	2,42	2,429	0,37	2,314	2,365	2,20			#DIV/0!	2,342	2,338	-0,17			#DIV/0!
41	boost	25.9.2007	2,462	2,473	0,45	2,274	2,335	2,68			#DIV/0!	2,26	2,237	-1,02			#DIV/0!
42	pánev	24.9.2007	2,445	2,446	0,04	2,372	2,39	0,76	1,925	1,96	1,82	2,499	2,495	-0,16			#DIV/0!
43	boost	24.9.2007	2,514	2,503	-0,44	2,43	2,436	0,25	1,479	1,548	4,67	2,58	2,57	-0,39			#DIV/0!
44	boost	12.8.2007	2,671	2,675	0,15	2,605	2,593	-0,46			#DIV/0!	2,612	2,581	-1,19			#DIV/0!
45	pánev	26.9.2007	2,45	2,45	0,00	2,156	2,178	1,02			#DIV/0!	2,234	2,205	-1,30			#DIV/0!
46	pánev	10.8.2007	2,46	2,422	-1,54	2,201	2,21	0,41			#DIV/0!	2,713	2,671	-1,55			#DIV/0!
47	boost	10.8.2007	2,581	2,594	0,50	2,132	2,12	-0,56			#DIV/0!	2,989	2,975	-0,47			#DIV/0!
48	pánev	18.7.2007	2,449	2,441	-0,33	2,398	2,4	0,08			#DIV/0!	2,39	2,378	-0,50	1,338	1,345	0,52
49	boost	18.7.2007	2,501	2,487	-0,56	2,477	2,496	0,77			#DIV/0!	2,468	2,453	-0,61	1,09	1,092	0,18
50	boost	12.8.2007	2,462	2,466	0,16	2,418	2,442	0,99			#DIV/0!	2,575	2,572	-0,12			#DIV/0!
51	boost	7.9.2007	2,47	2,467	-0,12	1,878	1,881	0,16			#DIV/0!	1,798	1,771	-1,50	1,254	1,215	-3,11
52	pánev	11.10.2007	2,544	2,54	-0,16	2,487	2,472	-0,60			#DIV/0!	2,535	2,526	-0,36			#DIV/0!

	Plán	Daum ověření	Bod č. 1			Bod č. 2			Bod č. 3			Bod č. 4			Bod č. 5		
			D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]
53	boost	11.10.2007	2,538	2,526	-0,47	2,498	2,47	-1,12			#DIV/0!	2,48	2,461	-0,77			#DIV/0!
54	pánev	26.10.2007	2,393	2,405	0,50	2,398	2,418	0,83	0,703	0,763	8,53	2,424	2,421	-0,12	0,608	0,747	22,86
55	boost	26.10.2007	2,385	2,393	0,34	2,459	2,487	1,14	0,705	0,766	8,65	2,45	2,46	0,41	0,632	0,79	25,00
56	boost	20.11.2007	2,454	2,432	-0,90	2,513	2,491	-0,88	0,915	0,869	-5,03	2,307	2,283	-1,04	0,987	1,007	2,03
57	pánev	20.11.2007	2,471	2,472	0,04	2,332	2,323	-0,39	0,943	0,958	1,59	2,588	2,59	0,08	0,558	0,588	5,38
58	boost	20.11.2007	2,523	2,538	0,59	2,433	2,441	0,33	0,878	0,887	1,03	2,604	2,627	0,88	0,595	0,636	6,89
59	pánev	21.11.2007	2,334	2,348	0,60	2,35	2,377	1,15	1,479	1,495	1,08	2,339	2,364	1,07	1,348	1,422	5,49
60	pánev	21.11.2007	2,592	2,593	0,04	2,477	2,493	0,65	1,624	1,659	2,16	2,674	2,683	0,34	1,545	1,519	-1,68
61	pánev	29.11.2007	2,689	2,721	1,19	2,698	2,724	0,96	1,335	1,311	-1,80	1,319	1,311	-0,61			#DIV/0!
62	pánev	29.11.2007	2,75	2,746	-0,15	2,914	2,912	-0,07	1,175	1,133	-3,57	2,441	2,43	-0,45	1,459	1,573	7,81
63	pánev	12.12.2007	2,38	2,42	1,68	2,196	2,24	2,00	0,971	1,047	7,83	2,13	2,171	1,92	0,875	0,978	11,77
64	boost	12.12.2007	2,38	2,416	1,51	2,252	2,301	2,18	0,868	0,955	10,02	2,183	2,244	2,79	0,765	0,862	12,68
65	pánev	17.12.2007	2,334	2,336	0,09	2,244	2,261	0,76	1,643	1,702	3,59	2,33	2,25	-3,43	1,226	1,349	10,03
66	boost	17.12.2007	2,341	2,353	0,51	2,206	2,225	0,86	1,344	1,413	5,13	2,314	2,317	0,13	1,042	1,171	12,38
67	pánev	10.1.2008	2,583	2,556	-1,05	2,599	2,538	-2,35	1,248	1,276	2,24	2,372	2,371	-0,04	1,406	1,439	2,35
68	boost	10.1.2008	2,489	2,55	2,45	2,567	2,601	1,32	1,16	1,243	7,16	2,291	2,341	2,18	1,316	1,406	6,84
69	pánev	29.1.2008	2,359	2,364	0,21	2,302	2,321	0,83	0,841	0,889	5,71	2,189	2,202	0,59	0,846	0,965	14,07
70	pánev	29.1.2008	2,591	2,6	0,35	2,529	2,567	1,50	1,45	1,493	2,97	2,439	2,471	1,31	1,371	1,452	5,91
71	pánev	29.1.2008	2,407	2,424	0,71	2,428	2,451	0,95	0,477	0,467	-2,10	2,336	2,351	0,64	0,474	0,522	10,13
72	pánev	5.2.2008	2,516	2,517	0,04	2,518	2,531	0,52	1,269	1,307	2,99	2,5	2,517	0,68	1,117	1,272	13,88
73	boost	5.2.2008	2,574	2,533	-1,59	2,554	2,57	0,63	0,439	0,382	-12,98	2,38	2,41	1,26	0,321	0,375	16,82
74	boost	13.2.2008	2,44	2,49	2,05	2,435	2,447	0,49	1,039	0,976	-6,06	2,41	2,419	0,37	0,808	0,917	13,49
75	boost	14.2.2008	2,553	2,567	0,55	2,407	2,44	1,37	1,191	1,234	3,61	2,313	2,387	3,20	1,151	1,268	10,17
76	boost	21.2.2008	2,501	2,567	2,64	2,246	2,271	1,11	2,047	2,143	4,69	2,35	2,399	2,09	2,021	2,052	1,53
77	boost	29.2.2008	2,494	2,493	-0,04	2,44	2,452	0,49	1,665	1,771	6,37	2,505	2,507	0,08	1,362	1,471	8,00

	Plán	Daum ověření	Bod č. 1			Bod č. 2			Bod č. 3			Bod č. 4			Bod č. 5		
			D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]
78	boost	11.3.2008	2,628	2,638	0,38	2,608	2,617	0,35	1,461	1,368	-6,37	2,58	2,593	0,50	1,303	1,565	20,11
79	2boost	29.2.2008	2,631	2,638	0,27	2,608	2,622	0,54	1,391	1,342	-3,52	2,629	2,646	0,65	1,262	1,581	25,28
80	pánev	7.4.2008	2,547	2,561	0,55	2,564	2,574	0,39	0,566	0,556	-1,77	2,561	2,577	0,62	0,465	0,507	9,03
81	pánev	1.4.2008	2,54	2,54	0,00	2,103	2,095	-0,38	0,696	0,703	1,01	2,024	2,058	1,68	0,926	1,015	9,61
82	boost	1.4.2008	2,581	2,587	0,23	2,122	2,124	0,09	0,886	0,917	3,50	2,071	2,112	1,98	0,97	1,071	10,41
83	pánev	11.3.2008	2,705	2,684	-0,78	2,574	2,557	-0,66	1,397	1,405	0,57	2,568	2,491	-3,00	1,464	1,282	-12,43
84	boost	11.3.2008	2,745	2,765	0,73	2,62	2,639	0,73	1,227	1,213	-1,14	2,603	2,665	2,38	1,167	1,368	17,22
85	boost	11.3.2008	2,736	2,757	0,77	2,724	2,73	0,22	0,84	0,733	-12,74	2,658	2,689	1,17	0,645	0,82	27,13
86	pánev	1.4.2008	2,516	2,54	0,95	2,503	2,52	0,68	2,015	2,055	1,99	2,515	2,539	0,95	0,568	0,64	12,68
87	boost	1.4.2008	2,566	2,589	0,90	2,489	2,508	0,76	0,567	0,592	4,41	2,456	2,471	0,61	0,447	0,525	17,45
88	pánev	15.4.2008	2,476	2,48	0,16	2,609	2,626	0,65	1,095	1,104	0,82	2,422	2,449	1,11	0,935	0,957	2,35
89	boost	15.4.2008	2,537	2,549	0,47	2,573	2,592	0,74	1,116	1,14	2,15	2,495	2,521	1,04	1,021	1,049	2,74
90	pánev	1.4.2008	2,6	2,621	0,81	2,652	2,669	0,64	0,625	0,632	1,12	2,481	2,502	0,85	0,562	0,619	10,14
91	boost	1.4.2008	2,627	2,638	0,42	2,611	2,63	0,73	0,652	0,643	-1,38	2,572	2,588	0,62	0,566	0,558	-1,41
92	pánev	10.4.2008	2,645	2,668	0,87	2,502	2,544	1,68	0,584	0,617	5,65	2,464	2,522	2,35	0,462	0,5	8,23
93	boost	10.4.2008	2,658	2,679	0,79	2,57	2,607	1,44	0,4	0,428	7,00	2,544	2,618	2,91	0,325	0,36	10,77
94	boost	1.4.2008	2,53	2,546	0,63	2,522	2,55	1,11	0,667	0,651	-2,40	2,399	2,437	1,58	0,517	0,55	6,38
95	boost	16.4.2008	2,646	2,674	1,06	2,669	2,684	0,56	1,019	1,113	9,22	2,599	2,627	1,08	0,937	1,012	8,00
96	boost	16.4.2008	2,518	2,533	0,60	2,485	2,5	0,60	0,698	0,76	8,88	2,413	2,432	0,79	0,58	0,648	11,72

Výsledky naměřených dávek pomocí ionizační komory a speciálního fantomu a 2D pole Seven29 u karcinomů prostaty

	Plán	Daum ověření	Bod č. 1			Bod č. 2			Bod č. 3			Bod č. 4			Bod č. 5		
			D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]	D_{ref} [Gy]	$D_{měř}$ [Gy]	Odchylka [%]
1	krk	25.9.2007	1,55	1,577	1,74	1,265	1,271	0,47			#DIV/0!	1,38	1,388	0,58			#DIV/0!
2	krk	18.9.2007	1,952	1,972	1,02	1,863	1,844	-1,02	1,093	1,076	-1,56	1,973	1,981	0,41			#DIV/0!
3	CNS	10.8.2007	2,216	2,124	-4,15	1,968	1,944	-1,22	0,294	0,303	3,06	1,97	1,869	-5,13			#DIV/0!
4	krk	31.7.2007	2,294	2,302	0,35	2,154	2,185	1,44	2,022	2,089	3,31	2,169	2,142	-1,24	1,746	1,737	-0,52
5	krk	23.10.2007	1,858	1,911	2,85	1,574	1,646	4,57	1,575	1,585	0,63	1,571	1,618	2,99	1,57	1,583	0,83
6	krk	10.10.2007	1,633	1,65	1,04	1,728	1,728	0,00			#DIV/0!	1,737	1,74	0,17			#DIV/0!
7	CNS	29.11.2007	2,289	2,29	0,04	2,481	2,492	0,44	1,934	1,95	0,83	2,123	2,128	0,24	2,435	2,526	3,74
8	CNS boost	29.11.2007	2,348	2,354	0,26	2,635	2,528	-4,06	1,916	1,864	-2,71	2,045	2,095	2,44	1,713	1,856	8,35
9	krk	22.1.2008	3,08	2,937	-4,64	2,403	2,326	-3,20	1,064	1,023	-3,85	3,079	3,068	-0,36	1,218	1,314	7,88
10	krk	5.2.2008	2,793	2,841	1,72	1,91	1,864	-2,41	1,598	1,578	-1,25	1,902	1,893	-0,47	1,47	1,505	2,38
11	krk	20.2.2008	2,501	2,567	2,64	2,246	2,271	1,11	2,047	2,143	4,69	2,305	2,399	4,08	2,021	2,052	1,53
12	krk	5.3.2008	2,275	2,301	1,14	1,951	1,958	0,36	1,832	1,842	0,55	1,903	1,921	0,95	1,752	1,763	0,63
13	krk	14.3.2008	2,002	1,998	-0,20	2,004	1,984	-1,00	1,812	1,89	4,30	1,904	1,971	3,52	1,605	1,624	1,18
14	CNS	21.3.2008	2,31	2,331	0,91	2,171	2,171	0,00	1,838	1,85	0,65	2,324	2,378	2,32	1,826	1,863	2,03
15	CNS boost	21.3.2008	2,31	2,331	0,91	2,171	2,171	0,00	1,838	1,85	0,65	2,324	2,378	2,32	1,826	1,863	2,03
16	krk	1.4.2008	1,857	1,931	3,98	1,756	1,778	1,90	1,898	1,939	2,16	1,707	1,757	2,93	1,773	1,776	0,17
17	krk	1.4.2008	1,876	1,975	5,28	1,8	1,815	0,83	1,747	1,789	2,40	1,637	1,689	3,18	1,705	1,702	-0,18

Výsledky naměřených dávek pomocí ionizační komory a speciálního fantomu a 2D pole Seven29 u nádorů krku a CNS

Ke každému IMRT plánu je vytvořen protokol ověření ozařovacího plánu, do kterého se zapisuje naměřená absorbovaná dávka v referenčních bodech u všech ozařovacích polí, vypočtené odchylky a hodnoty Gamma analýzy. Pokud jsou naměřené odchylky v toleranci do 3 % respektive 3mm, je plán radiologickým fyzikem schválen a může být použit k léčbě pacienta. (viz. následující strana)

Jméno pacienta:
Rodné číslo:

Dozimetrie ionizační komorou v bodě: *(tolerance 3%)*													
Bod	Komora	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Plán 1: pánev			Plán 2:			Plán 3:		
					D_{ref} [Gy]	D_{mer} [mm]	D [%]	D_{ref} [Gy]	D_{mer} [mm]	D [%]	D_{ref} [Gy]	D_{mer} [mm]	D [%]
1	125ccm	0	0	0									
2	125ccm	-2	0	0									
3	125ccm	-4	0	0									
4	125ccm	2	0	0									
5	125ccm	4	0	0									

Gamma analýza *(kritéria: MaxGamma < 10, Score > 0,99 , izodózy <3mm)*												
Pole	Plán 1: pánev				Plán 2:				Plán 3:			
	MaxGamma	avgGamma	Score	Izodózy	MaxGamma	avgGamma	Score	Izodózy	MaxGamma	avgGamma	Score	Izodózy
1												
2												
3												
4												
5												

Výsledek ověření plánů:

Datum:
Vypracoval:
Podpis:

Poznámky:

Porovnala jsem časovou náročnost jednotlivých metod. V souladu s předpokladem, časově nejméně náročná je metoda portálové dozimetrie. Časově nejnáročnější je metoda měření ionizační komorou ve speciálním fantomu. (viz tabulka)

	Ionizační komora s fantomem	**2D pole Seven29**	**Portálová dozimetrie**
Výpočet ozáření	15 min	15 min	15 min
Ozáření	30 min/ 5 komor	30 min/ 729 komor	10 min
Vyhodnocení	15 min	15 min	15 min
Celkový čas	**60 min**	**60 min**	**35 min**

Tab.3 Porovnání z hlediska časové náročnosti

Z hlediska rozlišovací schopnosti dosahuje nejlepších parametrů metoda portálové dozimetrie (až 786 432 bodů). Metodou s nejmenší rozlišovací schopností je metoda měření ionizační komorou ve speciálním fantomu (pouze 5 bodů).

	Ionizační komora s fantomem	**2D pole Seven29**	**Portálová dozimetrie**
Velikost matice	5x1	27 x 27	512 x384 (1024 x 768)
Počet naměřených údajů při jednom měření	5	729	196 608 (786 432)

Tab.4 Porovnání z hlediska rozlišovací schopnosti

V počátcích zavádění techniky IMRT byla metoda ověřování pomocí ionizační komory a speciálního fantomu vhodnou a jedinou dostupnou metodou. V dnešní době je již překonána. Stanovené 3% kritérium vyhovuje, ale vzhledem k malé rozlišovací schopnosti (malý počet měřících bodů a velký objem měřící ionizační komory) nelze v oblasti velkého gradientu na výsledek měření spoléhat.

Metoda 2D pole poskytuje dostatečnou rozlišovací schopnost. Tříprocentní kritérium vyhovuje v oblasti uvnitř pole, v oblasti s vysokým gradientem je v izolovaných bodech toto kritérium překročeno. Při praktickém využití je nutno mít na paměti častý výskyt překročení 3% tolerančního kritéria vně hranic pole, ke kterému dochází v důsledku porovnání dvou velmi malých hodnot dávky, případně fluence. Tento jev lze odstranit vhodným nastavením funkce ROI, která vymezí oblast vyhodnocování v hranicích pole.

Metoda měření pomocí portálové dozimetrie poskytuje vynikající rozlišovací schopnost měření. Zvolené 3% kritérium v oblasti pole vyhovuje, k překročení dochází mimo hranice pole. Aktuálně vyhodnocovací software neumí pracovat s funkcí ROI.

Při porovnání získaných fluencí naměřených 2D polem a fluencí získaných z portálové dozimetrie jsem zjistila jejich velmi dobrou schodu. Při nevhodném pořadí importu fluencí dochází k redukci nadbytečných, případně interpolaci chybějících měřících bodů. Software na tuto skutečnost neupozorní a následkem je falešný výskyt překročení 3% kritéria.

	Ionizační komora s fantomem	**2D pole Seven29**	**Portálová dozimetrie**
Vhodnost 3% kritéria	ano	ano	ano
V praxi	Vzhledem k dostupnosti dalších vhodných metod nelze tuto doporučit k obecnému rozšíření.	Poskytuje dostatečnou rozlišovací schopnost, časově je náročná, výhodou je možnost ověření EPIDu a má další užití v kontrole kvality ozařovače.	Poskytuje vysokou rozlišovací schopnost a její užití je časově nenáročné.

Tab.5 Porovnání z hlediska vhodnosti 3% kritéria a praktické použitelnostiadiol

Vzhledem k zjištěným informacím o těchto třech metodách ověřování IMRT plánů, mohu oddělení radioterapie v Nemocnici České Budějovice a.s. doporučit použití metody portálové dozimetrie k ověření fluence a metodu měření pomocí 2D pole Seven29 k ověřování dávek a kontrole správnosti funkce zařízení pro portálovou dozimetrii.

Diskuse:

Můžeme říci, že v současné době se daří rozvoji nových ozařovacích technik. Děje se tak díky zdokonalování v oblasti výpočetní techniky a zobrazovacích zařízení. Novinkou v léčebném ozařování je technika s modulovanou intenzitou svazku neboli technika IMRT. Ta nám umožňuje dosáhnout lepšího rozložení dávky v cílovém objemu a zároveň maximálně šetřit okolní kritické orgány a zdravé tkáně. Toho v minulosti při použití konvenční radioterapie nebylo možné dosáhnout.

Technika IMRT je však zatím používaná jen na malém počtu pracovišť a větší vzájemná výměna zkušeností s touto technikou není vzhledem většinou k jejich rozlišnému přístrojovému vybavení možná. Každé pracoviště má nastavené své „optimální hodnoty“ a nějaký standart se zatím hledá.

K tomu, aby mohla být technika IMRT zavedena do praxe, je nutné zajistit kvalitu celého procesu ozařování. Tato práce je konkrétně zaměřená na ověřování plánů IMRT. V praxi je k tomuto účelu používáno několik možných metod, pomocí kterých dokážeme ověřit přesnost dodané dávky v bodě i v celém ozařovaném objemu.

Metoda portálové dozimetrie (EPID) je jednou z možných metod k ověřování IMRT plánů. Tato metoda patří mezi nejcitlivější s velmi jemným rozlišením.Vzhledem k integraci portálové dozimetrie do systému ozařovače, práce s ní nejméně náročná, co se po technické i časové stránce týče.

Dávku v bodě můžeme měřit pomocí ionizační komory. Výsledky měření může ovlivnit objem použité ionizační komory. Obecně platí, že ionizační komora pro ověřování plánů IMRT by měla mít objem co nejmenší. Velikost objemu použité ionizační komory může hlavně u svazků se strmými gradienty dávky velmi zkreslit výsledek měření.

Protože je ionizační komora ozařována nehomogenně, může dojít v měřeném objemu komory k prudkému spádu dávky. Hodnota absorbované dávky v bodě je tímto „průměrována“ přes celý objem komory. Tato metoda je časově náročná a v současné době plně nahraditelná jinými ověřovacími metodami.

Dalším způsobem jak ověřovat plány IMTR je pomocí 2D pole Seven29. Tato měřící metod je zcela dostačující. Umožňuje nám ověřit dávku i fluenci a své uplatnění nachází i v kontrole kvality.

Každá metoda ověřování IMRT plánů má jistě své výhody a nevýhody. Ve své době i metoda měření ve speciálním fantomu měla jistě své místo, nicméně, dnes je možno ji nahradit a IMRT plány ověřovat s daleko větší přesností.

Závěr:

Na závěr můžeme říci, že ačkoli metoda IMRT má nesporné klady ve fyzikální kvalitě léčby zářením, není ještě 100% dokonalá. Za poslední dvě desetiletí prodělala obrovský vývoj, nicméně optimální techniky a indikace pro její použití se teprve hledají.

Ve své práci se mi podařilo potvrdit hypotézu, že toleranční kriterium 3% je vhodné pro ověřování IMRT plánů. V některých případech bychom se vešli i do kritérií přísnějších.

Bude jistě ještě pár let trvat, než se o technice IMRT dozvíme víc. Při shánění materiálů ke své bakalářské práci jsem narazila na problém. Byla jím jazyková bariéra. Dostupná literatura byla, pro mne, jen v anglickém jazyce. Kromě pár článků o IMRT jsem žádnou ucelenou publikaci v českém jazyce nenašla. Proto doufám, že se v brzké době dočkáme vydání knihy, která by o IMRT prozradila více.

Klíčová slova:

IMRT, ověřování kvality, portálová dozimetrie, 2D pole Seven29

Seznam použité literatury:

SÚJB, Radiační ochrana, nakladatelství Nuklin v Ústavu jaderných informací Zbraslav, a.s., 156 16 Praha – Zbraslav, 2006, 1. vydání,
ISBN 80 – 7073 – 110 – 9

KHAN Faiz M., The Physics Of Radiation Therapy,
nakladatelství Williams & Wilkins, 428 East Preston Street, Baltimore, Maryland, 21202, USA, 1994, 2. vydání,
ISBN 0 – 683 – 04502 – 4

KUNA Pavel, NAVRÁTIL Leoš a kolektiv autorů, Klinická radiobiologie,
nakladatelství Manus, Praha, 2005, 1. vydání,
ISBN 80 – 86571 – 09 – 2

BENEŠOVÁ Silvie, Radioterapie s modulovanou intenzitou a optimalizace IMRT technik, České Budějovice, Zdravotně sociální fakulta, 2005, ZS – DP - 1383

Články:

Varian Medical System, Vision^{TM} Reference Guide, Portal Vision & Dosimetry 6.5, May 2005

BOHSUNG Jörg, The 2D-Array Seven29 – A new way of dosimetric verification of IMRT beams, 2004-06

SPEZI E., ANGELINI A. L., ROMANI F. and FERRI A. - Characterization of a 2D ion chamber array for the verication of radiotherapy treatments, 2006

BAHNERT Andy, a colleague and radiotherapy technician at the Erasmus MC - Dosimetric Verification of Intensity Modulated Radiotherapy with an Electronic Portal Imaging Device, 2005
ISBN 90 – 8559 – 073 - 6

Elektronické zdroje :

http://www.mou.cz/mou/upload/Rubriky/pro_studenty_lf/RTmedici.pdf
9. 12. 2007 15:20

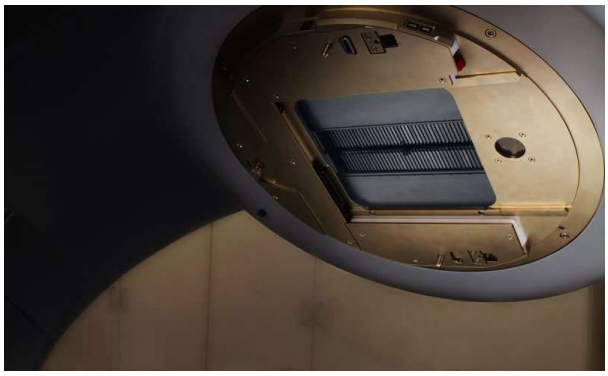
http://www.uzis.cz/download.php?ctg=20&search_name=onkologie&region=100&kind=21&mnu_id=6200
28.6.2008 18:10

http://www.amedis.cz/med/produkty.php?subkat=052
1.5.2008 15:30

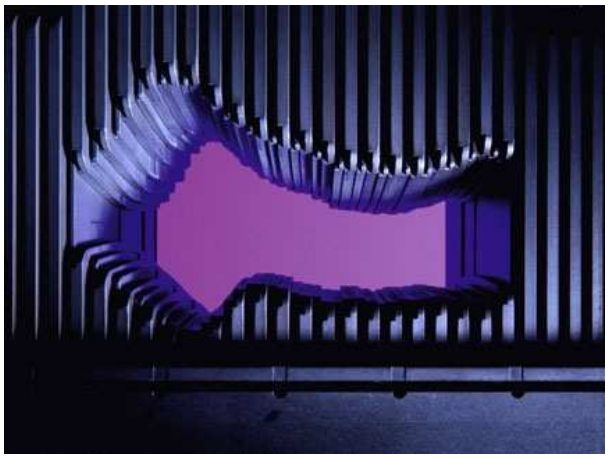
http://www.varian.com/
1.5. 2008 16:00

Přílohy:

Obr.1 Lineární urychlovač

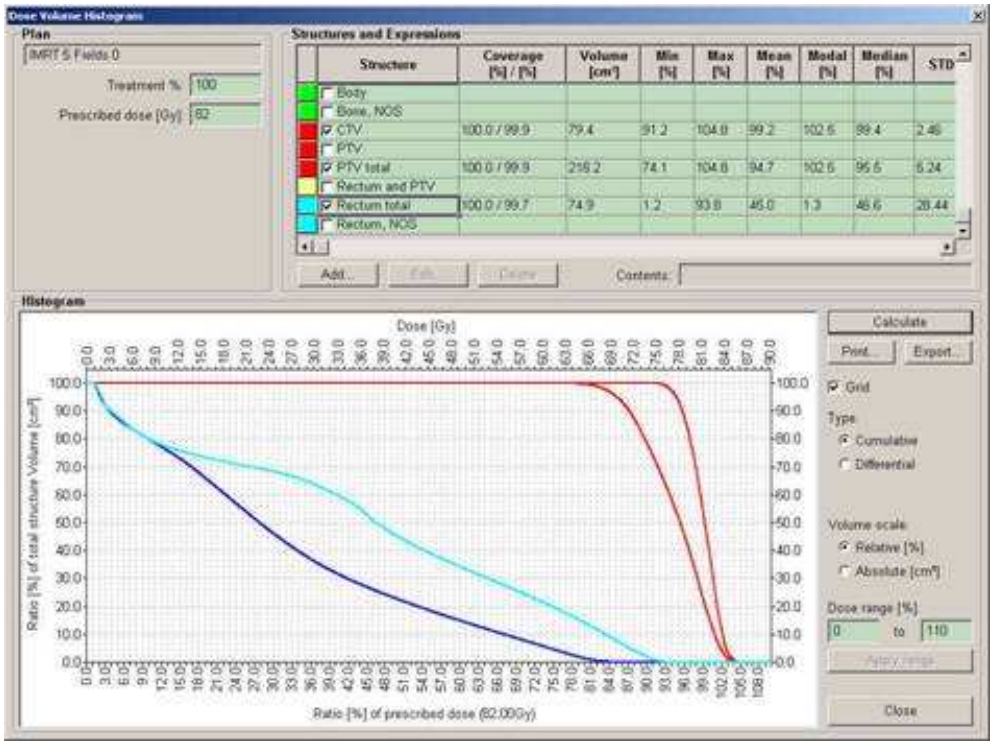


obr.2 MLC



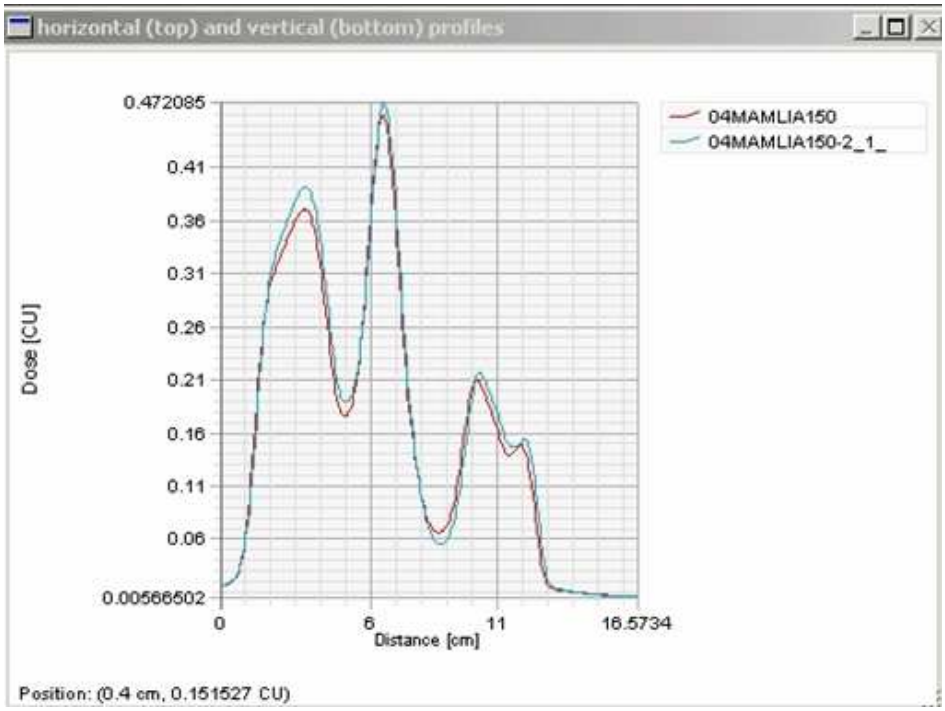
Obr.3 Lamely MLC

Obr.4 IMRT plán

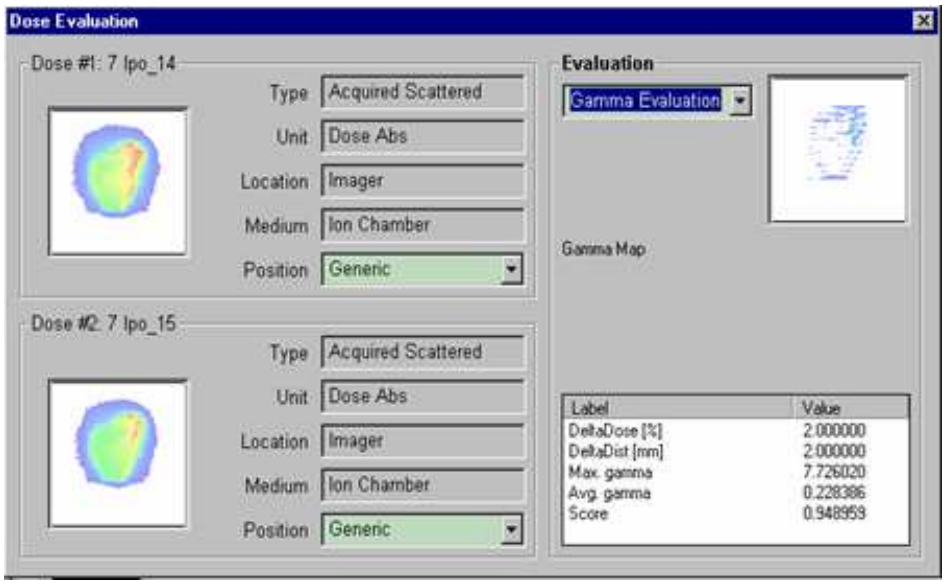


Obr.5 Dávkově objemový histogram - DVH

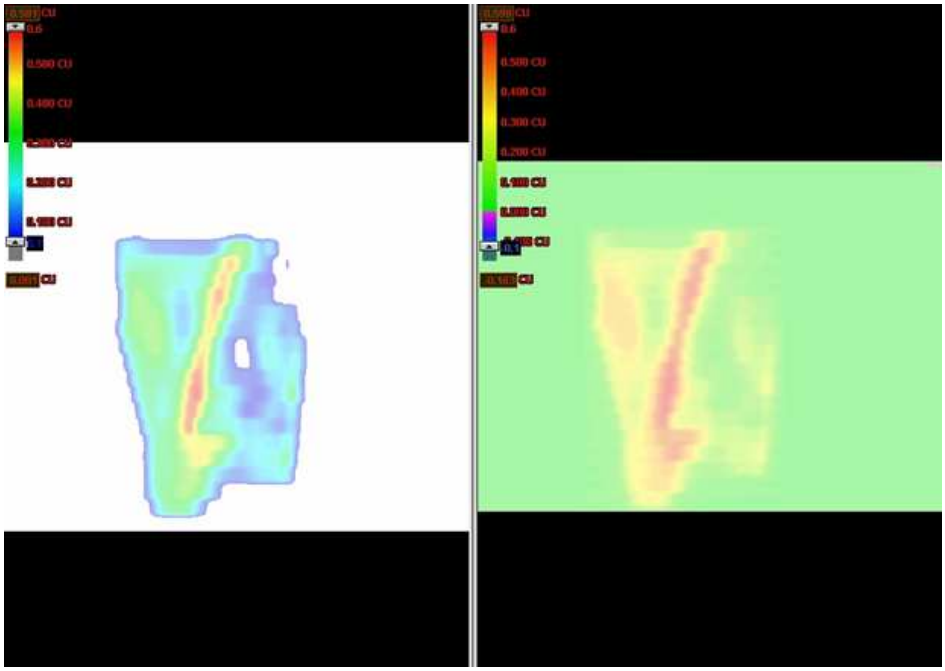
Obr.6 EPID



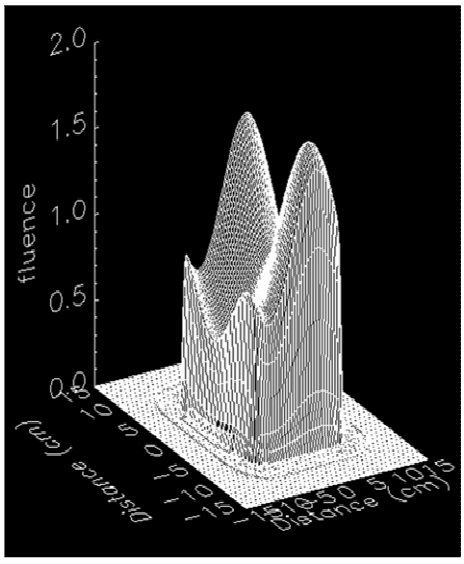
Obr.7. Průběh dávky polem



Obr.8 Dose evalution

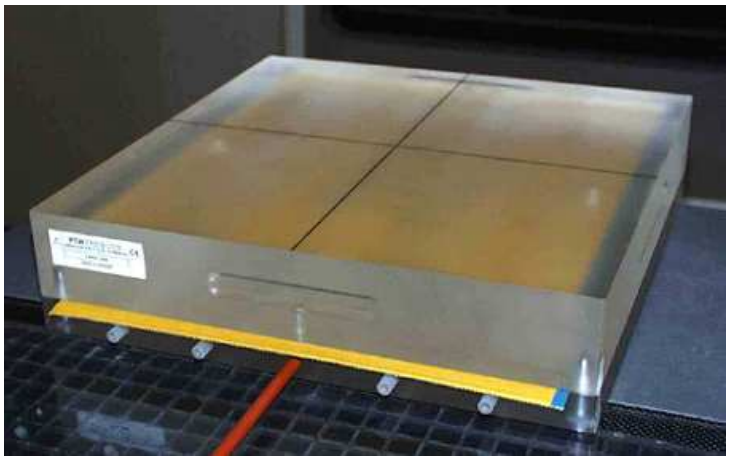


Obr.9 Fluenční mapa

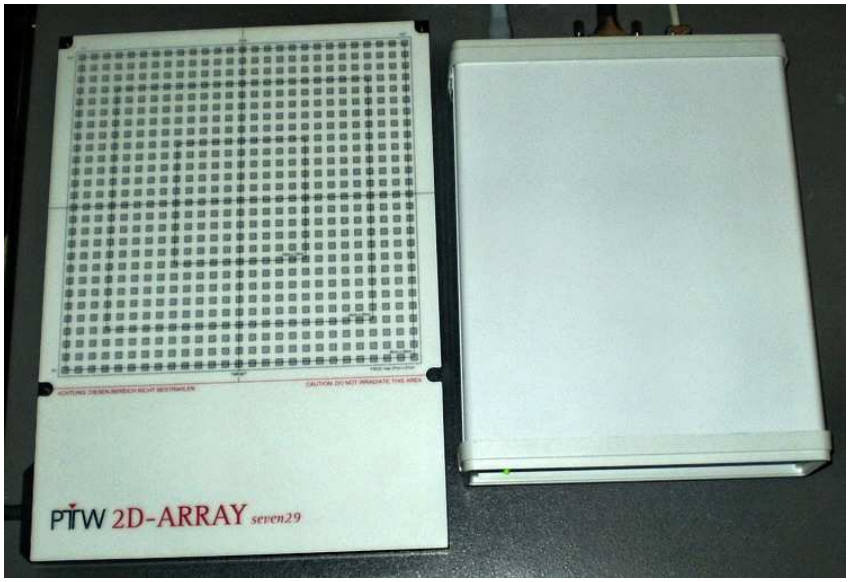


Obr.10 Fluence

Obr.11 Ffantom a ionizační komora



Obr.12 Ionizační komora s fantomem



Obr.13. 2D pole Seven29