

# POUŽITÍ RADIOCHROMNÍHO GELOVÉHO DOZIMETRU PRO VERIFIKACI DÁVKOVÉ DISTRIBUCE VE STEREOTAKTICKÉ RADIOCHIRURGII

## DOSE DISTRIBUTION VERIFICATION IN STEREOTACTIC RADIOSURGERY USING RADIOCHROMIC GEL DOSIMETER

P. Kozubíková<sup>1</sup>, J. Šolc<sup>2</sup>, J. Novotný Jr.<sup>1, 3, 4</sup>, K. Pilařová<sup>1</sup>, J. Pipek<sup>1</sup>, J. Končecová<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze, Praha, Česká republika

<sup>2</sup>Inspektorát ionizujícího záření, Český Metrologický Institut, Praha, Česká Republika

<sup>3</sup>Oddělení lékařské fyziky, Nemocnice Na Homolce, Praha, Česká Republika

<sup>4</sup>Onkologická klinika-Radioterapie, Fakultní Nemocnice v Motole, Praha, Česká Republika

### Souhrn

3D verifikace ozařovacích plánů se ve stereotaktické radiochirurgii rutinně neprovádí z důvodů neexistence vhodného detektoru a časové náročnosti vyhodnocovacího procesu. Tato práce si dala za úkol vyhodnotit vhodnost gelového dozimetru na bázi Turnbullovy modře pro ověření patientského ozařovacího plánu ve stereotaktické radiochirurgii pomocí Leksellova gama nože Perfexion. Gelový dozimetr byl fixován do stereotaktického rámu a ozářen klinickým plánem pro neurinom akustiku dávkou 40 Gy na 50% izodózu. Skenování gelového dozimetru bylo provedeno 2 hodiny po ozáření metodou optické výpočetní tomografie. Následně byla získaná data porovnána s dávkovou distribucí z plánovacího systému Leksell GammaPlan 10.1.1. Srovnání bylo provedeno formou vyhodnocení profilů, izodóz a gama analýzy (1 mm, 3 %). Naměřené dávkové distribuce se velmi dobře shodují s dávkovou distribucí exportovanou z plánovacího systému. Gama analýza ukázala drobné odchylky v oblasti nižších dávek, což může být způsobeno drobnou odchylkou v koregistraci dávkových distribucí nebo v nastavení ozařovacího objemu při ozařování.

### Klíčová slova

Gelová dozimetrie, stereotaktická radioterapie, Leksellův Gama nůž, verifikace

### Abstract

3D verification in stereotactic radiosurgery is not a trivial task since there is not available appropriate detector and the process of verification is time consuming as well. The aim of the study was to perform assessment of radiochromic gel dosimeter based on Turnbull blue dye for verification of patient treatment plan at Leksell Gama Knife Perfexion. Gel dosimeter was fixed with stereotactic frame and irradiated with a prescription dose of 40 Gy to 50% isodose. Dosimeter was evaluated two hours after irradiation using home made optical CT scanner. The comparison between the gel measurements and the treatment planning system calculation are presented in the form of 2D isodoses, 1D profile and gamma analysis (1 mm 3%) for the central slices. Measured relative dose distribution in a central slice and measured profiles show excellent correspondence with TPS. There were observed small discrepancies in low dose region according to gamma analyses results. This was probably caused by problems with dose distribution coregistration and set up positioning errors.

### Keywords

Gel dosimetry, Stereotactic radiotherapy, Leksell Gamma Knife, verification

## Úvod

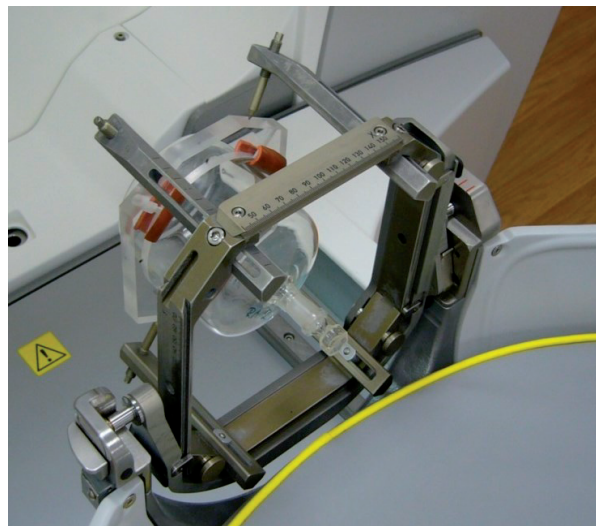
3D verifikace ozařovacích plánů ve stereotaktické radiochirurgii není součástí rutinního postupu a to z důvodů neexistence vhodného detektoru a časové náročnosti vyhodnocovacího procesu. Gelový dozimetr je vhodným dozimetrem pro ověření patientského plánu, vzhledem k tomu, že umožňuje vyhodnocení skutečně 3D dávkové distribuce, je tkáňově ekvivalentní a lze ho připravit v objemu vhodné velikosti. Nevýhodou zůstává často komplikovaná výroba, toxické vlastnosti a zdoluhavé vyhodnocení, v případě skenování magnetickou rezonancí. Radiochromní gelový dozimetr na bázi Turnbullovy modře byl vyvinut J. Šolcem a V. Spěváčkem na KDAIZ [1]. Dozimetr po ozáření mění barvu od světle zelené po tmavě modrou v závislosti na absorbované dávce v důsledku formování barviva Turnbullovy modře  $K_3[Fe^{II}Fe^{III}(CN)_6]$ . Gelový dozimetr je nenáročný na přípravu, není citlivý na přítomnost kyslíku, není toxický, odezva je lineární od 0 až do nejméně 400 Gy pro fotonové svazky a především nedochází k difúzi ozáření dávkové distribuce, jako je tomu u Frickeho gelového dozimetru. Jako většina radiochromních gelových dozimetrů je vhodný pro vyhodnocení metodou optické tomografie. Mezi hlavní nevýhody patří nižší citlivost ( $(66 \pm 0.7) \times 10^{-4} \text{ Gy}^{-1}$  1 hodinu po ozáření) a samovolný nárůst pozadí gelového dozimetru v čase [2]. Tato práce si dala za úkol vyhodnotit vhodnost gelového dozimetru na bázi Turnbullovy modře pro ověření patientského ozařovacího plánu ve stereotaktické radiochirurgii pomocí Leksellova gama nože Perfexion.

## Materiály a metoda

Gelový dozimetr byl připraven na základě postupu publikovaného J. Šolcem a kol. [3]. Složení gelu je následující: jako gelová matrice byl zvolen phytigel 0.25 % (w/w), 0.5 mM ferikyanid draselný a 0.5 mM chlorid železitý rozpuštěný v 1 mM roztoku kyseliny sírové. Gelovým dozimetrem byla naplněna cylindrická skleněná nádoba o průměru 10 cm a výšce 9 cm. Tvar a velikost nádoby simulují hlavu pacienta a pomocí speciálního držáku je možné ji upevnit do stereotaktického rámu pomocí 4 fixačních šroubů. Podmínky ozařování gelového dozimetru se tak shodují s podmínkami, za kterých je ozařován pacient. Ozařování gelu proběhlo za 48 hod po výrobě na Leksellově gama noži Perfexion. Po celou dobu od výroby až po vyhodnocení byl dozimetr skladován v temnu v lednici při teplotě 5°C.

Plán ozařování byl vytvořen v plánovací systému Leksell GammaPlan ©10.1.1 (LGP). Výpočetní matrice byla umístěna do izocentra, které odpovídalo středu gelového dozimetru, a ozařovací plán *neurinomu akustiku*, vytvořený pro skutečného pacienta, přenesen do plánu gelového dozimetru. Plán se skládá ze sedmi

shotů a je kombinací 4mm a 8mm kolimátoru. Vzhledem k nižší citlivosti dozimetru byla dávka na 50% izodózu navýšena z 12 Gy předepsaných pro pacienta na 40 Gy. Celkový ozařovací čas byl 97,9 min, dávkový příkon v době ozařování 1,992 Gy/min a jako výpočetní plánovací algoritmus použit algoritmus TMR10.

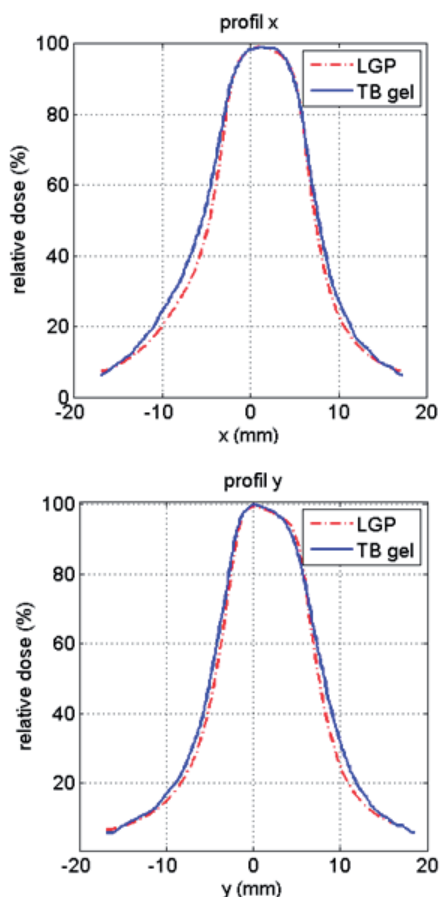


Obr. 1: Nastavení ozařovacího objemu na Leksellově gama noži Perfexion pomocí speciálního držáku a Leksellova stereotaktického rámu.

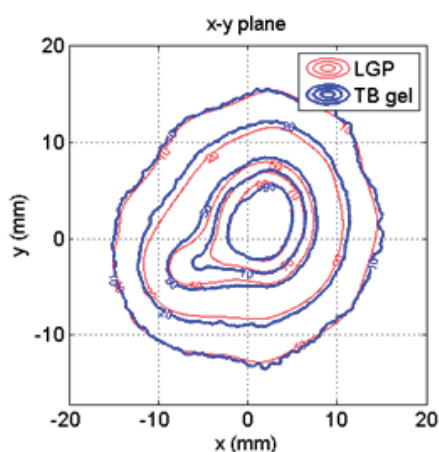
Skenování gelového dozimetru proběhlo 2 hodiny po ozáření pomocí optického výpočetního tomografu (OCT), skládajícího se z 16bitové astronomické CCD kamery (typ G2-0402, Moravské přístroje a.s., Česká republika), krokového motoru (65535 mikro-kroků na 360°) a světelného zdroje (panel diod HB5-434FY-C emitujících žluté světlo o vlnové délce 590 nm). Výsledkem analýzy dat v softwaru Matlab® programem na vyhodnocení snímků z OCT navrženém J. Šolcem [4] byly obrazové rekonstrukce o rozlišení 4.2 px/mm. Pozadí stanovené z neozářené části dozimetru bylo odečteno ve všech rekonstruovaných řezech. Dávková distribuce byla z plánovacího systému LGP exportována v DICOM formátu a srovnána s naměřenou distribucí z gelového dozimetru. Porovnání bylo provedeno pomocí profilů a izodóz v centrálním řezu ozářeného objemu a kvantitativně pomocí gama analýzy (1 mm, 3%).

## Výsledky a diskuze

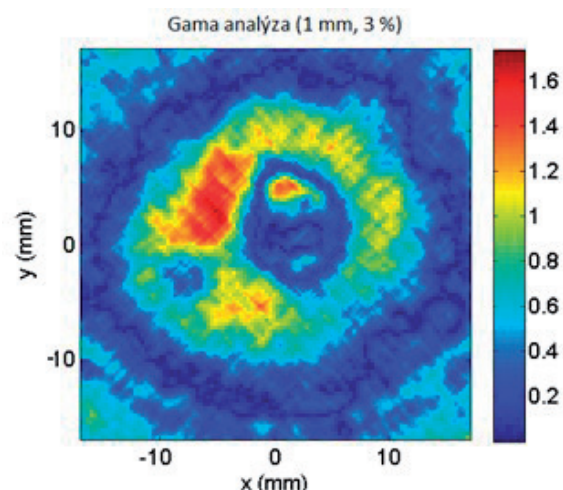
Na Obrázku 2 je zobrazen relativní profil v ose x v centrálním řezu ozářeného objemu a na Obrázku 3 pak 2D relativní dávková distribuce. Výsledky gama analýzy (1 mm, 3%) jsou zobrazeny na Obrázku 4, kde maximální hodnota indexu gama  $\gamma$  je 1.7432, oblast kde  $Gama > 1$  je 8.5035 %, a průměrná Gama je 0.4654.



Obr. 2: Porovnání dávkových distribucí: naměřené pomocí gelového dozimetru a exportované z plánovacího systému LGP ve formě profilů v centrálním řezu objemu.



Obr. 3: Porovnání dávkových distribucí naměřené pomocí gelového dozimetru a exportované z plánovacího systému LGP ve formě izodóz (10, 20, 50, 70 a 90 %) v centrálním řezu objemu.



Obr. 4: Porovnání dávkových distribucí metodou gama analýzy (1 mm, 3 %).

Manipulace a příprava radiochromního gelového dozimetru na bázi Turnbullovy modře byla velmi jednoduchá především díky tomu, že gel není citlivý na přítomnost kyslíku a není toxický. Jedinou nevýhodou je jeho pomalé tuhnutí ve větších objemech, samovolný nárůst odezvy gelu a nižší citlivost [3]. Naměřené dávkové distribuce se velmi dobře shodují s dávkovou distribucí exportovanou z plánovacího systému. Vzhledem k tomu, že se jedná o stereotaktickou radiochirurgii, kde požadovaná přesnost doručení dávky je 1 mm, byla kritéria gama analýzy zvolena 1 mm a 3 %. Gama analýza ukazuje na odchylku dávkových distribucí v oblasti nižších dávek. To může být způsobeno odchylkou v koregistraci obrazů nebo nepřesným nastavením gelového dozimetru při ozařování.

## Závěr

V této práci jsou publikovány první výsledky použití radiochromního gelového dozimetru na bázi Turnbullovy modře pro verifikaci skutečného klinického plánu. Gelový dozimetr se ukázal jako velmi vhodný pro vynikající prostorové rozlišení, které je nesmírně důležité při vyhodnocení dávkových distribucí v oblasti strmých dávkových gradientů. Skenování dozimetru pomocí OCT je navíc výrazně levnější a dostupnější než pomocí magnetické rezonance. Vhodnou optimalizací výrobního a skladovacího procesu by se mohl stát tento typ dozimetru součástí zajištění jakosti při vyhodnocení složitých dávkových distribucí. Na vytíženém radiochirurgickém oddělení, kde připevnění stereotaktického rámu, skenování pacienta, příprava ozařovacího plánu a ozáření proběhne v časovém rozmezí 1 hodiny, nelze očekávat, že by se 3D verifikace patientského plánu stala součástí každodenní rutiny.

## Poděkování

Práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS12/200/OHK4/3T/14 a z prostředků studentské vědecké konference ČVUT č. 1621512D000 SVK 40/15/F4.

## Literatura

- [1] Šolc J., Spěváček V. 2007 New radiochromic gel for 3D dosimetry based on Turnbullblue: characteristics and optical computed tomography evaluation Book of Abstracts: IEEE Medical Imaging Conf. (New Jersey: IEEE Engineering in Medicine and Biology Society) p 468).
- [2] Pilařová K., Kozubíková P., Šolc J., Spěváček V. 2014 Characteristics of polyacrylamide gel with THPC and Turnbull Blue gel dosimeters evaluated using optical tomography. Radiation Physics and Chemistry, 104, p 283–286.

- [3] Šolc J., Spěváček V. 2009 New Radiochromic gel for 3D dosimetry based on Turnbullblue basic properties Phys. Med. Biol. 54 p 5095-101.
- [4] J. Šolc, Vývoj nových typů radiochromních gelových dozimetrů a vyhodnocení jejich odezvy metodou optické výpočetní tomografie, disertační práce, ČVUT, FJFI, Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření Praha, 2007.

*Ing. Petra Kozubíková  
Katedra dozimetrie a aplikace ionizujícího záření  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská  
České vysoké učení technické v Praze  
Břehová 7, CZ-115 19 Praha 1*

*E-mail: [petra.kozubikova@gmail.com](mailto:petra.kozubikova@gmail.com)*