



POSUDEK OPONENTA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce: Bc. Eva Davidková
Název práce: Dozimetrické ověření klinických plánů Cyberknife: SRS MapCheck a alternativy

Práce se zabývá problematikou předléčebné verifikace patientských plánů na ozařovači CyberKnife. Jedná se o aktuální téma, neboť vzhledem ke značné časové náročnosti standardní předléčebné verifikace na tomto ozařovači využívající pole detektorů (SRS MapCheck) ve speciálním fantomu (StereoPhan), se hledají alternativní způsoby, jak tuto verifikaci zefektivnit nebo nahradit.

Teoretická část práce (kapitoly 1 a 2) je napsána přehledně a srozumitelně. Věnuje se všem relevantním aspektům, jako jsou specifika ozařovače CyberKnife a FFF svazků, dozimetrii malých polí, periodickým testům ozařovače, různým přístupům k předléčebné verifikaci plánů, přístrojovému vybavení a vyhodnocení shody změřené a spočtené dávkové distribuce. Rozsah teoretické části práce považuji za přiměřený, možná mohl být kratší. Pouze název kapitoly 2 Materiály a metody mi přijde zavádějící, neboť jde převážně o řešerši literatury.

Jedním z cílů diplomové práce bylo provést charakterizaci detektoru SRS MapCheck. Tato charakterizace byla provedena pouze formou řešerše literatury. Vhodnější by bylo ověřit vlastnosti detektoru vlastním měřením.

V praktické části práce jsou představena vybraná měření provedená v rámci přijímací zkoušky ozařovače CyberKnife.

Práce si klade otázku, zda je možné standardní předléčebnou verifikaci patientských plánů pomocí měření s detektorem ve fantomu nahradit alternativními periodickými testy ozařovače CyberKnife. Za tímto účelem jsou v práci představeny vybrané testy pro měření s detektorem SRS MapCheck v single beam geometrii. Na výše uvedenou otázku práce přímo neodpovídá. Použití detektoru v single beam geometrii se dle výsledků ukazuje jako vhodné pro testy k ověření gravitačního vlivu na svazek i kolimátory. Naopak dle výsledků se detektor jeví jako nevhodný pro test ověřující správnost výpočtu dávkové distribuce v plánovacím systému. Tento test musel být pro MLC kolimátor doměřen náhradním detektorem (diodou).

Práce se také zabývá zhodnocením alternativní možnosti provádění předléčebné verifikace patientských plánů pomocí měření s komorou Semiflex 3D ve vzduchu, kdy se tato komora použije jednak ke stanovení směrových vektorů dopadajících svazků pomocí lokalizace maximální odezvy komory ve dvou vzdálenostech od zdroje a jednak k ověření správné vzdálenosti mezi zdrojem a detektorem srovnáním změřené a spočtené dávky. K polohování komory má sloužit polohovací mechanismus automatizovaného vodního fantomu.

Formální úroveň práce je dobrá. Praktická část má standardní členění: nejdříve metodika, pak výsledky, diskuze a závěr. V některých případech se ale v kapitole Výsledky nachází části metodik (např. na str. 65 nebo 77). Postup jednotlivých měření není vždy popsán dostatečně podrobně, např. pro měření s komorou Semiflex ve vzduchu. Náhorné a užitečné jsou obrázky zachycující měřící geometrie. Výsledky jsou přehledně uvedeny převážně ve formě tabulek. Značnou pozornost věnuje autorka také diskuzi, bohužel v některých případech nekomentuje nevyhovující výsledky.

Zásadní připomínka:

Pro měření s komorou Semiflex 3D ve vzduchu byly zjištěny značné rozdíly mezi měřenými dávkami a dávkami spočtenými plánovacím systémem (v některých případech byly odchylky téměř 100%, str. 78). V práci bohužel není uveden podrobný postup stanovení dávky pro měření s touto komorou ve vzduchu. Pouze je uvedeno, že komora byla umístěna ve vodě-ekvivalentních deskách v hloubce 100 mm při SSD 700 mm. Velikost pole není uvedena. V této geometrii se stanovily korekční faktory na tlak a teplotu,

saturaci a polaritní efekt. Pak se komora umístila do vzduchu a ozářila polem o průměru 20 mm. Autorka neuvádí, jak při výpočtu dávky zohlednila odlišné geometrie (měření ve vodě v hloubce 100 mm versus měření ve vzduchu). Zřejmě na měření ve vzduchu pro pole o průměru 20 mm chybně aplikovala kalibrační koeficient (v dávce ve vodě) komory získaný z kalibračního listu (zřejmě z měření ve vodním fantomu pro pole 10 cm x 10 cm). Pokud je to tak, jedná se o zásadní chybu v dozimetrii. Také korekční faktory na saturaci a polaritní efekt se mohou ve vodě v hloubce 100 mm a ve vzduchu lišit. Navíc, použitý build-up 3 mm PMMA není pro komoru dostačující. Také odečty dávky v plánovacím systému zřejmě nebudou kvůli nedostatečnému build-upu správné. Navíc není zřejmé, proč autorka u odečtu dávky z plánovacího systému pro tuto geometrii píše, že objem komory se nachází v hloubce 15 mm. Možnost použití této metody k předléčebné verifikaci se mi jeví jako nereálná (např. stěny vodního fantomu budou zřejmě překážet ozařovači, velká časová náročnost hledání polohy komory s maximální dávkou, komora může být příliš velká pro malé svazky, ...).

Další konkrétní připomínky:

V práci není vysvětleno, jak se provedla kalibrace relativní citlivosti jednotlivých diod detektoru SRS MapCheck vůči centrální diodě (tzv. array korekce). Je uvedeno pouze, že kalibraci je možné provést jak na ozařovači CyberKnife, tak na lineárním urychlovači. Jak se tato kalibrace provádí na ozařovači CyberKnife, když tento ozařovač nemá homogenní pole (je to FFF svazek)?

Zarážející jsou výsledky testu ověřující správnost výpočtu dávkové distribuce v plánovacím systému (Obr. 4.9 na straně 75). Uspokojivá shoda mezi měřením a plánovacím systémem byla získána pouze pro kruhové FIXED kolimátory a algoritmus Ray-Tracing. Pro FIXED kolimátory a algoritmus MC a pro kolimátor MLC a algoritmy MC a FSPB byly výsledky nevyhovující. Autorka jako možný důvod nevyhovujících výsledků uvádí problematickou centraci středu detektoru na střed svazku. Centrace detektoru se ale stejným způsobem prováděla i pro kruhové kolimátory a algoritmus Ray-Tracing, kde výsledky byly vyhovující. Důvod nevyhovujících výsledků tedy zřejmě bude jiný. Autorka také nekomentuje výsledky mimo toleranci na Obrázku 4.10 na str. 76.

V kap. 4.2.5. Bodové ověření výpočtu dávky TPS je uvedeno, že pro různá pole byla měřená odezva diody (jedná se o náhradní dodatečné měření) korigována odpovídajícími hodnotami OF. To je chyba. Měřené odezvy se dle TRS 483 korigují korekčním faktorem pro OF (tzv. field output correction factor). Výsledky bodového ověření jsou uvedeny v příloze. Bohužel však bez názvu tabulek. Z tabulek tak není zřejmé, jaký detektor byl použit a co znamenají parametry $-X1, +X1, -Y1$ a $+Y1$. Čtenář tyto informace musí složitě dohledávat v textu práce. V tabulkách parametr Ω nemá představovat output faktor (OF), ale „field output correction factor“. Zobrazení odchylek je nepřehledné kvůli složité legendě obsahující několik způsobů vyhodnocení. V legendě nerozumím políčku s černým obrysem. Také nejsou diskutovány odchylky mimo toleranci. Čím mohou být způsobeny? Nejistotou centrování detektoru na střed svazku, dávkovým gradientem nebo něčím jiným? Bylo by zajímavé srovnání těchto výsledků uvedených pro MLC kolimátor s výsledky pro kruhové FIXED kolimátory.

Jako překvapivý výsledek mi přijde, že v případě plicních nehomogenit, měl algoritmus MC pro kruhový FIXED kolimátor lepší shodu s měřením oproti jednoduššímu algoritmu Ray-Tracing, zatímco pro MLC kolimátor měl algoritmus MC horší shodu s měřením oproti jednoduššímu algoritmu FSPB. Čím to může být způsobeno?

V práci je chybně uvedeno, že referenční dozimetrie se i pro FFF svazky řídí standardními doporučeními jako WFF a že report IPREM doporučuje při výpočtu dávky v referenčních podmínkách použít korekční faktor na rozdílnou kvalitu svazku FFF. Správně by se referenční dozimetrie FFF svazků měla provádět dle doporučení TRS 483.

Na Obrázcích 4.6 a 4.7 (str. 71) s výsledky testů gravitačního efektu kolimátoru jsou výsledky uvedeny jako rozsahy velikosti pole pro různé směry svazku, správně ale jde o rozsahy změny velikosti pole.

Autorka používá terminologii přesnost výpočtu TPS, ve skutečnosti je o správnost výpočtu TPS.

Výčet připomínek není úplný.

I přes uvedené připomínky práce přináší některé zajímavé výsledky. Jako přínosné hodnotím např. využití skriptů v Matlabu (pokud je autorka sama vytvořila). Jedná se např. o skripty pro extrahování

dávky z 3D dávkové distribuce z plánovacího systému, pro provedení gama analýzy, vytvoření virtuálních CT modelů fantomů. Domnívám se, že autorka v diplomové práci prokázala schopnost samostatně zpracovat odborné téma a odpovídajícím způsobem jej zpracovat.

Práci doporučuji k obhajobě a navrhuji hodnocení C (dobře).

V Praze dne 26. 8. 2022

Ing. Vladimír Dufek, Ph.D.
SÚRO, v. v. i., Oddělení radiační ochrany v radioterapii