

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

radiační ochrana

DOPORUČENÍ

ZAVEDENÍ SYSTÉMU JAKOSTI PŘI VYUŽÍVÁNÍ
VÝZNAMNÝCH ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ
V RADIOTERAPII

NÁVRH ROZSAHU PRAVIDELNÝCH ZKOUŠEK
PŘI INTERSTICIÁLNÍ BRACHYTERAPII PROSTATY

**NÁVRH ROZSAHU PRAVIDELNÝCH ZKOUŠEK
PŘI INTERSTICIÁLNÍ BRACHYTERAPII PROSTATY**

SÚJB

OBSAH

1.	Úvod.....	6
2.	Použité zkratky	7
3.	Kontrola kvality URZ používaných při IBP	7
3.1.	Identifikace URZ	7
3.1.1.	Aplikace HDR	7
3.1.2.	Aplikace radionuklidových zrn LDR.....	7
3.2.	Kontrola kermové vydatnosti URZ	8
3.2.1.	Aplikace HDR	8
3.2.2.	Aplikace radionuklidových zrn LDR.....	8
3.3.	Kontroly těsnosti URZ.....	8
3.3.1.	Aplikace HDR	8
3.3.2.	Aplikace radionuklidových zrn LDR.....	8
4.	Kontroly kvality systémů používaných při IBP	9
4.1.	Lokalizační řetězec používaný pro IBP	9
4.1.1.	Vlastnosti ultrazvuku	9
4.1.1.1.	Škály šedi a jejich viditelnost	9
4.1.1.2.	Hloubka pronikání signálu.....	9
4.1.1.3.	Axiální a laterální rozlišení.....	10
4.1.1.4.	Přesnost měření axiální a laterální vzdálenosti.....	10
4.1.1.5.	Přesnost měření plochy.....	11
4.1.1.6.	Přesnost měření objemu.....	11
4.2.	Aplikační mřížka	12
4.2.1.	Nastavení mřížky, kalibrace mřížky	12
4.3.	Krokovací zařízení.....	12
4.3.1.	Posun krokovacího zařízení	12
4.3.2.	Rotace elektronického krokovacího zařízení.....	13
4.4.	Kontrola plánovacího systému a výpočtu dávek	13
4.4.1.	Výpočet dávky v bodě	14
4.4.2.	Zobrazení izodóz	14
4.4.3.	Objemový výpočet dávky	14
4.4.4.	Výpočet anizotropní funkce modelu lineárního zdroje	14
4.4.5.	Shoda zobrazení ultrazvukem a plánovacím systémem	15
4.5.	Příprava a provedení vlastní aplikace IBP	15
4.5.1.	Kontrola nastavení ultrazvuku.....	15
4.5.2.	Funkčnost řetězce ultrazvuk – plánovací systém.....	15

4.5.3.	Provedení aplikace IBP	15
4.5.3.1.	IBP s využitím HDR.....	15
4.5.3.2.	IBP s využitím radionuklidových zrn LDR.....	16
5.	Přílohy.....	17
5.1.	Příklady metodik.....	17
5.1.1.	Dozimetrické ověření kermové vydatnosti zrn LDR.....	17
5.1.2.	Ověření vlastností ultrazvuku	18
5.1.2.1.	Škály šedi a jejich viditelnost	18
5.1.2.2.	Hloubka pronikání signálu ultrazvuku	18
5.1.2.3.	Axiální a laterální rozlišení ultrazvuku	18
5.1.2.4.	Měření axiální a laterální vzdálenosti.....	19
5.1.2.5.	Měření plochy.....	20
5.1.2.6.	Měření objemu.....	20
5.1.3.	Nastavení mřížky, Kalibrace mřížky	20
5.1.4.	Krokovací zařízení.....	21
5.1.4.1.	Mechanické krokovací zařízení	21
5.1.4.2.	Elektronické krokovací zařízení	21
5.1.4.2.1.	Rotace elektronického krokovacího zařízení.....	21
5.1.5.	Shoda zobrazení ultrazvukem a plánovacím systémem	22
5.1.6.	Ověření nastavení ultrazvuku	22
5.1.7.	Ověření funkčnosti přenosu dat	22
5.1.8.	Příklad sekvence činností a odpovědnosti při IBP	23
5.1.8.1.	IBP s využitím HDR.....	23
5.1.8.2.	Ověření propojení „přenosová trubice – jehla“	23
5.1.9.	Příklad sekvence činností a odpovědnosti při IBP s využitím zrn LDR.....	23
5.2.	Vybavení a pomůcky potřebné pro provádění kontrol	26
6.	Přehled kontrol a jejich četností a tolerancí.....	27
7.	Literatura.....	29

PŘEDMLUVA

Státní úřad pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB) vydal další publikaci z řady „Doporučení“, která si kladou za cíl usnadnit držitelům povolení, plnění povinností uložených zákonem č. 18/1997Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen Atomový zákon), a jeho prováděcích předpisech, zejména vyhlášky č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění pozdějších předpisů.

Toto doporučení je koncipováno jako doplňující dokument pro již vydané Doporučení SÚJB vztahující se k problematice lékařského ozáření v radioterapii „Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii – Uzavřené radionuklidové zářiče v brachyterapii“ z roku 1998.

Doporučení obsahuje doporučenou základní sadu testů, nutnou pro zajištění kvality v rámci přípravy a aplikace intersticiální brachyterapie prostaty, a to jak při aplikaci HDR, tak při aplikaci radionuklidových zrn LDR. Navržená sada testů by měla sloužit jako podklad pro vypracování systému zkoušek provozní stálosti pro tento druh brachyterapie.

Doporučení bylo vypracováno jako zakázka SÚJB, jejíž hlavním řešitelem byla RNDr. Taťána Klaclová a spoluřešitelem Mgr. Luboš Homola. Při jeho zpracování byly zohledněny zkušenosti odborníků z klinické praxe a připomínky Pracovní skupiny SÚRO pro radioterapii.

Protože v každé oblasti poznání se objevují nové informace, poznatky a přístupy, předpokládám, že Doporučení bude dále zdokonalováno a upřesňováno, a proto vítáme jakékoliv připomínky a komentáře od jeho uživatelů.



Ing. Karla Petrová
ředitelka Sekce radiační ochrany

1. ÚVOD

Intersticiální brachyterapie prostaty přináší do brachyterapie nové aplikační metody a využití zobrazovacích metod, které se standardně v brachyterapii nepoužívají. Implantační jehly jsou zaváděny přes vodící mřížku spojenou s krokovacím zařízením (stepperem) pod on line ultrazvukovou kontrolou. Dávková distribuce je v plánovacím systému zobrazována na 3D cílový objem zrekonstruovaný z transverzálních řezů z ultrazvuku. Výpočty plánů a jejich korekce se dějí v reálném čase v průběhu klinické aplikace, což přináší specifické nároky na přesnost, rychlost a kvalitu přípravy ze strany radiologického fyzika.

Všechny tyto skutečnosti je potřeba zohlednit při provádění zkoušek provozní stálosti, které by měly zahrnovat ověření vlastností používaných zdrojů záření, ověření vlastností ultrazvuku, jeho spolupráci s krokovacím zařízením a mřížkou a propojení s plánovacím systémem.

Dokument se snaží respektovat strukturu základního doporučení [5]. Základní část dokumentu obsahuje výčet testů včetně doporučených tolerančních hodnot a frekvencí jejich provádění, které jsou v souladu s údaji získanými v literatuře. V přílohách jsou předloženy modelové postupy pro jednotlivé testy. Tyto postupy vycházejí z praxe na pracovištích v České republice a mohou být vodítkem při zavádění metody intersticiální brachyterapie prostaty na dalších pracovištích.

Autoři považují za užitečné (nikoliv jakkoliv závazné) předložení sekvence postupů celého procesu intersticiální aplikace prostaty z pohledu radiologického fyzika (viz přílohy 5.1.8. a 5.1.9). Z uvedených příloh je zřetelný rozsah činností a velká náročnost u tohoto druhu brachyterapeutické aplikace z pohledu radiologického fyzika.

2. POUŽITÉ ZKRATKY

- AFL - automatický afterloading HDR
HDR - vysoký dávkový příkon
IBP - intersticiální brachyterapie prostaty
LDR - nízký dávkový příkon
URZ - uzavřený radionuklidový zdroj
UZ - ultrazvuk

3. KONTROLA KVALITY URZ POUŽÍVANÝCH PŘI IBP

3.1. IDENTIFIKACE URZ

Cíl kontroly: Ověření identifikace a vlastností URZ, které budou použity pro IBP.

3.1.1. APLIKACE HDR

Způsob kontroly:

- 1) Porovnáním výrobního čísla URZ na neaktivním konci nosného drátu proti průvodní dokumentaci ke zdroji (certifikát URZ výrobce, Osvědčení URZ, štítek na AFL).
- 2) Ověření správnosti zadání výrobního čísla/aktivity URZ k danému datu do plánovacího systému proti Osvědčení URZ.

Frekvence:

ad 1) Při každé výměně zdroje.

ad 2) Před každou aplikací IBP kontrolou výpisu ozařovacího plánu.

Tolerance: Shoda všech parametrů.

Dokumentace:

ad 1) Podpisem protokolu o předání/převzetí nového URZ od dodavatele.

ad 2) Podpisem ozařovacího plánu.

3.1.2. APLIKACE RADIONUKLIDOVÝCH ZRN LDR

Způsob kontroly:

- 1) Porovnáním dat URZ vložených do plánovacího systému (TPS) s daty v literatuře. Porovnávají se konstrukce, typ, kermová vydatnost, konverzní faktory, poločas rozpadu, radiální dávkové funkce, anisotropické funkce a anisotropní faktory.
- 2) Porovnáním dat URZ vložených do TPS s daty aktuálně dodaných URZ určených pro klinickou aplikaci. Porovnávají se min. konstrukce, typ, kermová vydatnost.

Frekvence:

ad 1) Při akceptaci plánovacího systému, před každou aplikací.

ad 2) Před každou aplikací IBP kontrolou výpisu ozařovacího plánu.

Tolerance: Shoda všech parametrů.

Dokumentace:

ad 1) Podpisem záznamu o ověření shody databáze dat v TPS s tabelovanými daty.

ad 2) Podpisem protokolu o aplikaci IBP.

3.2. KONTROLA KERMOVÉ VYDATNOSTI URZ

Cíl kontroly: Ověření kermové vydatnosti URZ, které budou použity pro IBP.

3.2.1. APLIKACE HDR

Způsob kontroly: Stanovením kermové vydatnosti URZ a porovnáním s hodnotou uvedenou v certifikátu URZ výrobce. [5]

Frekvence: Při každé výměně zdroje HDR.

Tolerance: 3%.

Dokumentace: Protokol ZPS.

3.2.2. APLIKACE RADIONUKLIDOVÝCH ZRN LDR

Způsob kontroly: Stanovením kermové vydatnosti reprezentativního vzorku dodaných URZ a porovnáním s hodnotou uvedenou v certifikátu URZ výrobce. [2]

Frekvence: Před každou aplikací IBP.

Tolerance: 5%. Je-li odchylka > 5%, je třeba stanovit příčinu odchylky. Pokud je odchylka > 7%, je třeba pro stanovení příčiny kontaktovat výrobce.

Pozn: Každá instituce provádějící IBP musí mít systém pro měření kermové vydatnosti zdrojů se sekundární sledovatelností pro všechny typy zdrojů používaných v její praxi. Před použitím nových zdrojů pro léčbu musí být kalibrace dodávané výrobcem ověřeny v souladu s doporučením TG40, TG43, TG43-U1.

Radioaktivní zrna mohou být dodávána jako volná, uložená v kazetě nebo ve formě zřetězených zrn (strandů). Pro každou z těchto forem musí výrobce dodat certifikát s kermovou vydatností udanou k předpokládanému datu aplikace zrn. Uživatel by měl zkontrolovat náhodně vybraný vzorek alespoň 10% zrn v zásilce [2, 3, 18].

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.1.1 tohoto dokumentu nebo [2,3,18].

3.3. KONTROLY TĚSNOSTI URZ

Cíl kontroly: Ověření neporušenosti obalu URZ, které budou použity pro IBP a vyloučení jejich povrchové kontaminace s cílem zabránit radiačním nehodám a nepříznivým vlivům na pracovní nebo životní prostředí.

3.3.1. APLIKACE HDR

Způsob kontroly: Nepřímou zkouškou otěry tzv. "kritických míst", tj. prázdných katetrů, aplikátorů nebo trezorů v místech, kde lze očekávat v případě porušení těsnosti URZ (podle způsobů jeho používání) nejvyšší kontaminaci. [5]

Frekvence: Při každé výměně zdroje HDR.

Tolerance: 200 Bq.

Dokumentace: Protokol ZPS.

3.3.2. APLIKACE RADIONUKLIDOVÝCH ZRN LDR

Způsob kontroly: Dozimetrickou kontrolou prostředí, ve kterém se manipuluje s URZ za účelem důsledného sledování uložení, pohybu a využívání URZ a inventarizace, aby nedošlo ke ztrátě žádného zrna nebo k zamoření prostoru, kde se se zrny pracuje a dále ověřením počtu zrn součtem aplikovaných a zbylých zrn. [5].

Frekvence: Před a po každé aplikaci IBP.

Tolerance: Hodnota nejnižší aktivity 1 zrna dodaného pro konkrétní aplikaci.

Dokumentace: Protokol ZPS.

4. KONTROLY KVALITY SYSTÉMŮ POUŽÍVANÝCH PŘI IBP

Intersticiální brachyterapie prostaty přináší do brachyterapie nové postupy a propojení se zobrazovacími a aplikačními technikami dosud v brachyterapii nepoužívanými. Zejména je to propojení ultrazvuku, krokovacího zařízení (stepper) a plánovacího systému. Implantační jehly jsou zaváděny přes vodící mřížku.

Pro přesné provádění IBP je třeba všechna tato zařízení periodicky ověřovat v rámci zkoušek provozní stálosti. Je třeba ověřovat jednotlivé parametry lokalizačních a aplikačních systémů, které mohou ovlivnit kvalitu provedení IBP, a současně je třeba ověřit lokalizační a aplikační systém jako celek (řetězec: ultrazvuk - krokovací zařízení - propojení s plánovacím systémem - vztah zobrazení mřížky na ultrazvuku a vodící mřížky jehel).

Tento dokument obsahuje návrh způsobu ověření jednotlivých parametrů zařízení a současně předkládá možnou sekvenci činností radiologického fyzika při IBP, kterou lze zajistit minimalizaci vzniku chyby v průběhu procesu přípravy a aplikace IBP.

4.1. LOKALIZAČNÍ ŘETĚZEC POUŽÍVANÝ PRO IBP

4.1.1. VLASTNOSTI ULTRAZVUKU

Pro všechny následující kontroly je doporučeno, aby obrázky z UZ byly vytištěny a uloženy pro pozdější srovnání. Měl by být použit vodivý gel k zajištění bezartefaktového kontaktu mezi sonografickou sondou a skenovaným povrchem.

Kontroly popsané v této kapitole nezávisí na způsobu provádění IBP (aplikace HDR nebo radionuklidových zrn).

4.1.1.1. Škály šedi a jejich viditelnost

Úspěšnost IBP závisí na kvalitě on line zobrazení objemů ultrazvukovým systémem. Proto je důležité, aby ultrazvukový monitor, který je nastaven při instalaci ultrazvuku, zůstal stabilní po celou dobu používání.

Cíl kontroly: Ověření stability monitoru ultrazvuku.

Způsob kontroly: Verifikací pomocí obrazce obsahujícího škálu šedi a stanovením počtu rozlišitelných úrovní šedi nebo délky oblasti se škálou šedi na takovémto obrazci. Takovýto obrazec je součástí zobrazovacího řetězce většiny UZ zařízení.

Frekvence: Alespoň 1 týden před každým provedením IBP (při zjištění zhoršení kvality parametru musí být proveden odpovídající servisní zásah).

Tolerance: Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než ± 2 stupně šedi nebo $\pm 10\%$ délky verifikačního obrazce.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.2.1 tohoto dokumentu.

4.1.1.2. Hloubka pronikání signálu

Citlivost sonografického systému určuje hloubku pronikání, tedy jak hluboko v pacientovi je možné pozorovat slabě kontrastní objekt. Jakékoliv změny v kvalitě signálu ultrazvuku (poměr signál/šum - SNR) mají vliv na měření hloubky pronikání. Změny SNR mohou být zapříčiněny buď změnou v elektronice nebo šumem nebo distorzí ultrazvukového nebo měřeného signálu. Klinicky se snížením SNR klesne i maximum pronikání, které bude mít za příčinu špatné anteriorní zobrazení prostaty.

Maximální hloubka pronikání závisí nepřímo úměrně na frekvenci ultrazvuku. Pokud se hloubka pronikání zmenšuje, lze při aplikaci, pokud to ultrazvuk umožňuje, zvolit nižší frekvenci.

Cíl kontroly: Ověření citlivosti a hloubky pronikání signálu ultrazvuku.

Způsob kontroly: Stanovením citlivosti a hloubky pronikání signálu ultrazvuku pomocí vhodného fantomu s uvnitř zabudovaným objektem, dobře viditelným na UZ. Je vhodné měření provést ve dvou navzájem kolmých rovinách, volitelně pro různé frekvence UZ. Měří se hloubka, v níž lze jasně odlišit obraz objektu od šumu UZ signálu.

Frekvence: Alespoň 1 týden před každým provedením IBP (při zjištění zhoršení kvality parametru musí být proveden odpovídající servisní zásah).

Tolerance: Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než -1 cm.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.2.2 tohoto dokumentu.

4.1.1.3. Axiální a laterální rozlišení

Špatné rozlišení může způsobit problémy s identifikací a lokalizací zrn nebo může způsobit deformaci zobrazení polohy jehel a tím zhoršit přesnost jejich rekonstrukce. Prostorové rozlišení může být negativně ovlivněno špatnými vlastnostmi sondy nebo špatným příjmem pulzů elektronikou. Tento test je doporučeno provádět ve fantomu ve vzdálenosti 1- 2 cm od sondy a v hloubce cca 5 – 6 cm.

Cíl kontroly: Ověření axiálního a laterálního rozlišení ultrazvuku.

Způsob kontroly: Stanovením vzdálenosti ještě rozlišitelných diskrétních vhodně uspořádaných markerů ve fantomu nebo alternativně stanovením velikosti mezer mezi markery, uspořádanými do obrazce se zkracující se vzájemnou vzdáleností. Stanoví se odchylka vzdálenosti markerů nebo velikosti mezer mezi markery od referenční hodnoty.

Frekvence: Alespoň 1 týden před každým provedením IBP (při zjištění zhoršení kvality parametru musí být proveden odpovídající servisní zásah).

Tolerance: Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než ± 1 mm.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.2.3 tohoto dokumentu.

4.1.1.4. Přesnost měření axiální a laterální vzdálenosti

Klinicky je měření vzdálenosti důležité z několika důvodů. Za prvé, pokud je měření vzdálenosti chybné, systém nesprávně lokalizuje předměty v rámci obrazu. Proto, například, nebude umístění jehel zobrazeno přesně vzhledem k prostatě. Za druhé, často je důležité provádět přesné měření v průběhu aplikace např. pro určení vzdálenosti jedné jehly od druhé nebo vzdálenosti jehly od rektální stěny. A konečně, měření plochy a objemu, důležité pro intraoperativní plánování, jsou založena na těchto dvou základních měřeních vzdálenosti. Pro kontrolu měření vzdálenosti je optimální fantom, který obsahuje vysoce kontrastní vlákna (např. fantom CIRS 045). Fantom by měl obsahovat nejméně jeden sloupec a jednu řadu tvořené kontrastními vlákny s kontrastními markery o známé vzájemné vzdálenosti. Případně lze použít fantom obsahující objekt se známými rozměry, jako jsou válce nebo koule. Přesný popis principu výpočtu délky stanovené pomocí UZ naleznete v [2].

Cíl kontroly: Ověření přesnosti měření axiální a laterální vzdálenosti na obrazu z ultrazvuku.

Způsob kontroly: Stanovením vzájemné vzdálenosti obrazů markerů o známé nominální vzdálenosti nebo rozměru objektu ve fantomu. Zmíněné objekty se ve fantomu zobrazí pomocí UZ standardním způsobem, stanoví se jejich vzájemné vzdálenost (rozměr) a stanoví se odchylka od referenční hodnoty.

Frekvence: Alespoň 1 týden před každým provedením IBP (při zjištění zhoršení kvality parametru musí být proveden odpovídající servisní zásah).

Tolerance: Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než ± 2 mm nebo 2% měřené délky pro axiální a ± 3 mm nebo 3% měřené délky pro laterální směr.

Pozn: Akční limit pro přesnost měření laterální vzdálenosti je větší než pro přesnost měření axiální vzdálenosti díky většímu počtu faktorů ovlivňujících měření. Konkrétně snížení prostorového rozlišení v příčném směru vede ke zvýšení nejistoty určení polohy vlákna.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.2.4 tohoto dokumentu.

4.1.1.5. Přesnost měření plochy

Správné provedení výpočtu objemu tělesa závisí na přesnosti určení plochy tělesa ve snímané rovině. Proto musí být verifikována přesnost měření plochy. K měření je vhodné použít fantom s objektem, který má kruhový průřez o známé velikosti.

Cíl kontroly: Ověření přesnosti měření plochy na obrazu z ultrazvuku.

Způsob kontroly: Stanovením velikosti plochy průřezu objektem o známých rozměrech na obrazu z ultrazvuku. Stanoví se odchylka od referenční hodnoty.

Frekvence: Alespoň 1 týden před každým provedením IBP (při zjištění zhoršení kvality parametru musí být proveden odpovídající servisní zásah).

Tolerance: Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 5%.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.2.5 tohoto dokumentu.

4.1.1.6. Přesnost měření objemu

Pro potřeby dozimetrie v reálném čase je velmi důležité přesné stanovení objemu prostaty. Tento test vyžaduje jak fantom s třídímními tělesy o známém objemu tak i krokovací zařízení používané v klinické praxi.

Cíl kontroly: Ověření přesnosti určení objemu objektu z dat ultrazvuku.

Způsob kontroly: Stanovením objemu objektu o známých prostorových parametrech z dat ultrazvuku. Stanoví se odchylka od referenční hodnoty.

Frekvence: Alespoň 1 týden před každým provedením IBP (při zjištění zhoršení kvality parametru musí být proveden odpovídající servisní zásah).

Tolerance: Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 5%.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.2.6 tohoto dokumentu.

4.2. APLIKAČNÍ MŘÍŽKA

4.2.1. NASTAVENÍ MŘÍŽKY, KALIBRACE MŘÍŽKY

Mřížka (template) je šablona, pomocí které se při IBP implantují jehly. Elektronická mřížka je generována ultrazvukovým systémem a je pomůckou při zavádění a lokalizaci jehel dle ozařovacího plánu. Je velmi důležité verifikovat, že značky elektronické mřížky přesně odpovídají lokalizaci otvorů na fyzické mřížce. Pokud se mřížky vzájemně neshodují, jehly není možné umístit v souladu s plánem.

Je však třeba poznamenat, že i v případě dokonalé shody obou mřížek lze někdy v praxi pozorovat určitou diskrepanci. I když je mřížka nastavená a kalibrována správně, zkosený hrot jehly se může po vpichu do tkáně odchýlit od směru daného otvorem ve fyzické mřížce v důsledku nehomogenity tkáně v prostatě a pružnosti jehly a to vede k odchylce od ideální pozice.

Kalibrace mřížky vyžaduje umístění mřížky s jehlami a krokovacího zařízení do vody a zajištění rovnoběžnosti jehel. Fantom k těmto účelům by měl poskytnout výrobce krokovacího zařízení. Pokud takový fantom není k dispozici, je třeba najít náhradní metody kalibrace mřížky.

Cíl kontroly: Ověření přesnosti shody otvoru fyzické mřížky se značkami elektronické mřížky.

Způsob kontroly: Zobrazením alespoň tří jehel umístěných do fyzické mřížky, porovnáním skutečné polohy jehel vůči elektronické mřížce a stanovením odchylky. Pokud je stanovená odchylka větší než povolená tolerance, je třeba provést nastavení fyzické mřížky adjustací v držáku sondy ultrazvuku nebo nastavením elektronické mřížky v menu ultrazvuku.

Frekvence: Před prvním použitím mřížky a poté vždy před provedením IBP.

Tolerance: Odchylka polohy otvorů fyzické mřížky oproti značkám elektronické mřížky by měla být menší nebo rovna 1 mm.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.3.1 tohoto dokumentu.

4.3. KROKOVACÍ ZAŘÍZENÍ

4.3.1. POSUN KROKOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Krokovací zařízení (stepper) může být mechanické nebo elektronické. Posouvá sondu UZ v kranio-kaudálním směru. Sonda ve zvolených ekvidistantních krocích krokovacího zařízení snímá jednotlivé transversální řezy. Přesná délka zvoleného kroku krokovacího zařízení je důležitá pro správné geometrické zobrazení prostaty.

Cíl kontroly: Ověření přesnosti posunu krokovacího zařízení.

Způsob kontroly: Porovnáním velikosti posunu provedeného krokovacím zařízením s nezávislým měřidlem délky nebo údajem na displeji elektronického zařízení. Pro mechanické krokovací zařízení se kontroluje skutečná délka posunu sondy proti nezávislému měřidlu délky, pro elektronické krokovací zařízení se kontroluje skutečná délka posunu sondy proti údajem na displeji a počet nasnímaných řezů v plánovacím systému. Pro nasnímaný počet řezů musí platit:

$$n = (D/d) + 1 \quad [1]$$

kde: D je celková délka posunu [mm]
d je délka kroku [mm]

Pokud je stanovená odchylka větší než povolená tolerance, je třeba provést kalibraci krokovacího zařízení odborným servisem.

Frekvence: Před prvním použitím krokovacího zařízení a poté vždy před provedením IBP.

Tolerance: Odchylka délky posunu provedeného krokovacím zařízením od délky posunu stanoveného na nezávislém měřidle vzdálenosti/zobrazeného na displeji by měla být menší nebo rovna 1mm. Počet nasnímaných řezů musí odpovídat specifikaci dle vztahu [1].

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.4.1 a 5.4.2 tohoto dokumentu.

4.3.2. ROTACE ELEKTRONICKÉHO KROKOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Pokud je třeba při IPB zobrazit v celé délce jehlu, která leží mimo střední rovinu mřížky, je nutné natočit sondu UZ společně s krokovacím zařízením (střední rovina obrazu UZ odpovídá střednímu sloupci děr v aplikační mřížce). Pro zajištění správnosti zobrazení v těchto případech je třeba kontrolovat přesnost zobrazení při rotaci krokovacího zařízení.

Cíl kontroly: Ověření přesnosti zobrazení při úhlovém natočení sondy UZ s krokovacím zařízením.

Způsob kontroly: Zobrazením alespoň dvou jehel umístěných mimo střední rovinu zobrazení UZ, porovnáním skutečného úhlu rotace sondy s úhlem určeným pomocí plánovacího systému. Pokud je stanovená odchylka větší než povolená tolerance, je třeba provést kalibraci rotace krokovacího zařízení.

Frekvence: Před prvním použitím mřížky a poté vždy před provedením IBP.

Tolerance: Odchylka úhlu zobrazeného v plánovacím systému a úhlu určeného výpočtem by neměla být větší než 1°.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.4.3 tohoto dokumentu.

4.4. KONTROLA PLÁNOVACÍHO SYSTÉMU A VÝPOČTU DÁVEK

Pro přesnou aplikaci IBP je nutné ověřit správnou funkci plánovacího systému. Verifikaci plánovacího systému v případě použití HDR je věnována kap. 5 [5] včetně vybraných příloh. Pro verifikaci plánovacího systému v případě použití radionuklidových zrn u IBP jsou navrženy testy obsažené dále v této kapitole.

Je třeba mít na paměti, že konkrétní provedení těchto testů se může lišit pro různé výrobce plánovacích systémů. Je nutné, aby se odpovědná osoba detailně seznámila s principy konkrétního systému a ověřila všechny parametry, které by mohly mít vliv na kvalitu výpočtů a tedy i celé aplikace.

Základní kontroly správnosti výpočtu plánovacím systémem bývají součástí akceptační procedury výrobce. Tyto uživatelské zkoušky jsou založeny na zveřejněných zdrojových specifikačních údajích typických pro zdroje určitého výrobce. Pokud by se takovéto údaje použily pro zdroj jiného výrobce, mohou se výsledky podstatně lišit.

Pozn. 1: Vždy před uvedením plánovacího systému do klinického provozu vyžádejte od dodavatele návrh konkrétních postupů pro provádění uživatelských testů systému včetně referenčních hodnot pro ověření správnosti výpočtů. Referenční hodnoty jsou zpravidla výsledkem nezávislých ručních výpočtů pro dávky ve struktuře.

Pozn. 2: Před provedením každé kontroly a každé aplikace IBP se ujistěte, že typ zdroje, který se bude používat v plánovacím systému, je identický se zdrojem, jenž chcete použít v kontrole případně aplikace.

Pozn. 3: Základní kontrola identifikace a dat radionuklidových zrn vložených do plánovacího systému je popsána v kap. 3.

4.4.1. VÝPOČET DÁVKY V BODĚ

Cíl kontroly: Ověření přesnosti shody výpočtu dávky plánovacím systémem a nezávislým výpočtem.

Způsob kontroly: Kontrolou výpočtu dávky v bodě pomocí plánovacího systému a porovnáním výsledku výpočtu s hodnotami dodanými výrobcem nebo hodnotami vypočtenými ručně. Ověřuje se hodnota dávky v bodě ve vzdálenosti max. 5 cm pro jedno a dvě zrna a ověřuje se dávka v bodě od 1. zrna, od 2. zrna a součtová dávka v bodě od obou zrn.

Frekvence: Před uvedením plánovacího systému do provozu, po aktualizacích plánovacího systému, po přeinstalování aplikace a po jakýchkoli změnách licencí.

Tolerance: 1%.

Dokumentace: Protokol ZPS.

4.4.2. ZOBRAZENÍ IZODÓZ

Cíl kontroly: Ověření správného zobrazení izodózních křivek plánovacím systémem.

Způsob kontroly: Kontrolou zobrazení izodózních křivek pomocí plánovacího systému a jejich porovnáním s hodnotami dodanými výrobcem. Ověřuje se vzdálenost jednotlivých úrovní izodóz od středu 1 zrna v transverzálním i longitudinálním směru a viditelnost izodóz na jednotlivých vrstvách UZ obrazů. Při následném provádění zkoušky by měla být použita stejná mřížka, stejná vzdálenost mezi UZ obrazy a stejný počet obrazů.

Frekvence: Před uvedením plánovacího systému do provozu, po aktualizacích plánovacího systému, po přeinstalování aplikace a po jakýchkoli změnách licencí.

Tolerance: 2 mm.

Dokumentace: Protokol ZPS.

4.4.3. OBJEMOVÝ VÝPOČET DÁVKY

Cíl kontroly: Ověření správného objemového výpočtu dávky plánovacím systémem.

Způsob kontroly: Využitím hodnot DVH. Provede se objemový výpočet dávky od jednoho zrna umístěného ve struktuře o známém objemu. Je-li to možné, porovnávají se hodnoty kumulativního a diferenciálního DVH s referenčními hodnotami pro definovanou max. a min. dávku v daném objemu.

Frekvence: Před uvedením plánovacího systému do provozu, po aktualizacích plánovacího systému, po přeinstalování aplikace a po jakýchkoli změnách licencí.

Tolerance: 5 % nebo $0,5 \text{ cm}^3$ (cokoli je větší).

Dokumentace: Protokol ZPS.

4.4.4. VÝPOČET ANIZOTROPNÍ FUNKCE MODELU LINEÁRNÍHO ZDROJE

Cíl kontroly: Ověření správného výpočtu anizotropní funkce lineárního zdroje.

Způsob kontroly: Ověřením výpočtu plánovacího systému v aproximaci lineárního zdroje za použití dat anizotropní funkce.

Frekvence: Před uvedením plánovacího systému do provozu, po aktualizacích plánovacího systému, po přeinstalování aplikace a po jakýchkoli změnách licencí.

Tolerance: 1%.

Dokumentace: Protokol ZPS.

4.4.5. SHODA ZOBRAZENÍ ULTRAZVUKEM A PLÁNOVACÍM SYSTÉMEM

Cíl kontroly: Ověření, že geometrie vytvořená plánovacím systémem odpovídá geometrii zobrazené ultrazvukem.

Způsob kontroly: Porovnáním velikosti cílových objemů získaných na ultrazvuku a v plánovacím systému.

Frekvence: Před uvedením plánovacího systému do provozu, po aktualizacích plánovacího systému, po přeinstalování aplikace a po jakýchkoli změnách licencí.

Tolerance: 5%.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.1.5 tohoto dokumentu.

4.5. PŘÍPRAVA A PROVEDENÍ VLASTNÍ APLIKACE IBP

4.5.1. KONTROLA NASTAVENÍ ULTRAZVUKU

Cíl kontroly: Ověření správného nastavení ultrazvuku před aplikací IBP.

Způsob kontroly: Kontrolou zobrazení mřížky, výškového a stranového zobrazení, měřítka zobrazení - použité frekvence a vhodného módu škály šedi.

Frekvence: Před každou aplikací IBP.

Tolerance: Funkčnost.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.1.6 tohoto dokumentu.

4.5.2. FUNKČNOST ŘETĚZCE ULTRAZVUK – PLÁNOVACÍ SYSTÉM

Při IBP se používá on line propojení ultrazvuku a plánovacího systému, případně propojení ultrazvuku se systémem pro zpracování řezů z ultrazvuku a umožňujícím zakreslení cílového objemu a rizikových orgánů a jejich přenos do plánovacího systému. V plánovacím systému potom dochází k výpočtu dávkové distribuce. Pro úspěšné provedení IBP je proto nutné zkontrolovat síťové propojení jednotlivých zařízení a funkčnost celého řetězce.

Cíl kontroly: Ověření funkčnosti všech komponent podílejících se na přenosu obrazových dat z ultrazvuku do plánovacího systému.

Způsob kontroly: Verifikací funkčnosti jednotlivých prvků řetězce i funkčnosti jejich vzájemného propojení.

Frekvence: Před každou aplikací IBP.

Tolerance: Funkčnost.

Dokumentace: Protokol ZPS.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.1.7 tohoto dokumentu.

4.5.3. PROVEDENÍ APLIKACE IBP

4.5.3.1. IBP s využitím HDR

Cíl kontroly: Ověření řetězce postupů a činností při přípravě aplikace IBP a kontrola správnosti parametrů ozařovacího plánu a parametrů mechanických prvků pro transport zdroje záření do těla pacienta.

Způsob kontroly:

1. Verifikací délky propojení přenosová trubice – jehla, verifikací průchodnosti propojených jehel s přenosovými trubicemi a jednoznačnou identifikací přenosových trubic (číselné

označení) pro všechny jehly a přenosové trubice, které jsou připraveny k aplikaci (tuto kontrolu se doporučuje provést před zahájením přípravy pacienta k aplikaci pro urychlení průběhu aplikace a omezení nežádoucích komplikací po zavedení jehel do těla pacienta).[5]

2. Verifikaci shody dat z ozařovacího plánu a dat načtených do automatického afterloadingu pro parametry: Jméno a ID pacienta, datum ozáření, referenční dávka, počet jehel, ozařovací časy v jednotlivých pozicích, celková kermová vydatnost. [5]

Frekvence: Při každé aplikaci IBP.

Tolerance: Funkčnost, shoda verifikovaných dat a tolerance uvedené v kap. 3.

Dokumentace: Protokol ZPS a parciální protokoly pro dokladování provedené aplikace.

Příklad metodiky: Příloha č. 5.1.8 tohoto dokumentu.

4.5.3.2. IBP s využitím radionuklidových zrn LDR

Cíl kontroly: Ověření řetězce postupů a činností při přípravě aplikace radionuklidových zrn pro IBP.

Způsob kontroly: Ověřením správnosti a bezpečnosti provedení činností nutných pro přípravu IBP pomocí radionuklidových zrn. Kontroluje se hlavně kermová vydatnost dodaných zrn (viz. kap. 3), ověření počtu zrn připravených k aplikaci, zavedení zrn (strandů) do jehel pro aplikaci, identifikace jehel s různými počty zrn, provedení dozimetrické kontroly přípravných zrn, kontrola počtu zrn zavedených do pacienta.

Frekvence: Při každé aplikaci IBP.

Tolerance: Funkčnost, shoda verifikovaných dat a tolerance uvedené v kap. 3.

Dokumentace: Protokol ZPS a parciální protokoly pro dokladování provedené aplikace.

Příklad: Příloha č. 5.1.9 tohoto dokumentu.

5. PŘÍLOHY

5.1. PŘÍKLADY METODIK

5.1.1. DOZIMETRICKÉ OVĚŘENÍ KERMOVÉ VYDATNOSTI ZRN LDR.

Radionuklidová zrna jsou pro danou aplikaci objednávana u výrobce s požadovanou aktivitou respektive kermovou vydatností určenou ke dni aplikace. Kermovou vydatnost zrn je třeba dozimetricky ověřit. S ohledem na vlastnosti zrn LDR se při stanovení hodnoty kermové vydatnosti postupuje podle kapitoly III.3. v Příloze III základního doporučení SÚJB [5]. Komparační postup, který zajišťuje návaznost na vyšší etalony, se volí podle konstrukce zrn, doporučení jejich výrobce a použitého komparačního zařízení (ionizační komory) [3,5,18]. Následující postup je jednou z možných variant, která vychází z podmínek daných pro zrna I-125, typ I25.S06 (strand) a elektrometr s 4π deskovou ionizační komorou (výrobce PTW).

Postup:

1. Použijte pouze sterilizované jehly s příslušenstvím (rozptylový adapter).
2. Propojte elektrometr s vhodnou ionizační komorou (např. SourceCheck Type 34051, výrobce PTW).
3. Zapněte elektrometr a nechte stabilizovat dle pokynů výrobce.
4. Proveďte opravu na pozadí.
5. Změřte teplotu a tlak vzduchu.
6. Připravte řetězec o 3 zrnech a vložte na sterilní rozptylový nástavec a vystředte na střed komory.
7. Dle kermové vydatnosti zrn udané výrobcem určete přibližně interval, za který naměříte náboj 100pC. Tento časový údaj nastavte jako měřící čas elektrometru.
8. Zahajte měření elektrometrem v režimu měření náboje.
9. Po ukončení časového intervalu zaznamenejte údaje o velikosti časového intervalu a změřeného náboje.
10. Měření 3x zopakujte.
11. Pomocí pinzety přeneste zrna do připraveného kontejneru.
12. Vypočtete kermovou vydatnost a zkontrolujte, zda odpovídá kermové vydatnosti udané výrobcem.

$$K_{ref} = \frac{p_0}{p} * \frac{T_0+T}{T_0+20} * \frac{M_{NCOR}}{t} * n^{-1} * N_{KA} \quad [2]$$

kde:

K_{ref} je stanovená kermová vydatnost ve vzduchu pro jedno zrno [$\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$]

$\frac{p_0}{p} * \frac{T_0+T}{T_0+20}$ je korekce odečtu na tlak a teplotu (Pozn.: v závislosti na způsobu měření mohou být použity další korekční faktory)

$\frac{M_{NCOR}}{t}$ je nekorigovaný odečet náboje/časový interval [$\text{pC} \cdot \text{s}^{-1}$]

n je počet měřených zrn (např. 3 zrna)

N_{KA} je kalibrační faktor komory pro používaný typ zrn případně strandu [$\mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{A}^{-1}$]

Tolerance: 5% od hodnoty uvedené v certifikátu výrobce.

5.1.2. OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ ULTRAZVUKU

5.1.2.1. Škály šedi a jejich viditelnost

Postup:

1. Zobrazte proužek škály šedi na monitoru ultrazvuku. Tento proužek může mít dvě varianty:
A - proužek je složen z diskretních úseků škály šedi od bílé až po černou.
B - proužek je složen ze spojitěho přechodu od bílé až po černou s nízkým gradientem šedi.
2. Pro proužek typu A: Spočítejte počet diskretních úseků šedi a zaznamenejte.
Pro proužek typu B: Použijte digitální měřítko a změřte délku proužku, kde je gradient šedi viditelný. Zaznamenejte tuto délku.

Tolerance:

Pro proužek typu A: Počet diskretních úseků by se neměl lišit o více než dva od hodnoty stanovené při instalaci UZ.

Pro proužek typu B: Délka linie by se neměla lišit o více než 10% od délky stanovené při instalaci UZ.

5.1.2.2. Hloubka pronikání signálu ultrazvuku

Postup:

1. Umístěte sondu UZ na skenovaný povrch fantomu, u sondy použijte UZ gel.
2. Najděte ve fantomu oblast s relativně dobře viditelnými vysoce reflexními objekty.
3. Použijte frekvenci běžně používanou při aplikacích a nastavte sílu signálu na maximum. Změřte hloubku, kde lze statický skvrnitý ultrazvukový obraz objektu z fantomu jasně odlišit od dynamického elektronického šumu. Pokud se používá fantom s málo kontrastními objekty v hloubce, mohou tyto cíle pomoci rozlišit maximální hloubku průniku, neboť zmizí, když je dosaženo limitu. Pokud je fantom vidět celý, použijte buď větší fantom nebo vezměte zobrazení celého fantomu jako referenční.
4. Zmrazte obraz a změřte hloubku pronikání.
5. Přepněte sondu do ortogonální roviny a měření zopakujte.
6. Volitelně je možné provést měření i pro jiné frekvence.

Tolerance:

Maximální hloubka pronikání by se neměla lišit o víc než 1cm od hodnoty stanovené při instalaci UZ.

5.1.2.3. Axiální a laterální rozlišení ultrazvuku

Postup:

1. Nalezněte ve fantomu oblast, která má jednu řadu kontrastních vláken v různých hloubkách nebo oblast, kde jsou kontrastní vlákna umístěna v postupně se zkracujících vzdálenostech v axiálním a laterálním směru.
2. Jestliže má ultrazvuk měnitelnou ohniskovou hloubku, umístěte ohnisko do hloubky, kde jsou značky, které použijete k měření. Nastavte zobrazení ultrazvuku pro optimální viditelnosti značek a zmrazte obraz. Vytiskněte sken.
3. Pokud použijete diskretní kontrastní vlákna v různých hloubkách, změřte vzdálenosti obrazů vláken v axiálním i laterálním směru. Tyto vzdálenosti jsou platné limity rozlišení v axiálním a laterálním směru. Jestliže použijete kontrastní značky umístěné v postupně se zkracujících vzdálenostech, určete velikosti mezer v axiálním i laterálním směru, ve kterých již nelze jednotlivá vlákna rozlišit.

4. Přepněte sondu do ortogonálního směru a opakujte kroky 1-3.

Tolerance:

Měřené axiální a laterální rozlišení by se nemělo lišit o víc než 1mm od hodnoty stanovené při instalaci UZ.

5.1.2.4. Měření axiální a laterální vzdálenosti

Měření axiální vzdálenosti.

Postup (pro případ fantomu s objekty o známé vzdálenosti):

1. Ultrazvuk přepněte do axiálního zobrazení.
2. Nastavte parametry skenu, které používáte při klinické praxi.
3. Nastavte střed zobrazení ultrazvuku na vlákno s markery ve fantomu a zajistěte, aby osa ultrazvukového svazku byla kolmá na toto vlákno. Zobrazte vlákno s markery a zmrazte sken. Údaje zaznamenejte.
4. Užitím elektronického měřítka změřte vzdálenost krajních markerů (nejvíce proximální a nejvíce distální).
5. Spočítejte absolutní a relativní odchylku od známé hodnoty vzdálenosti markerů.

Tolerance:

Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 2mm nebo 2%.

Měření laterální vzdálenosti.

Postup (pro případ fantomu s objekty o známé vzdálenosti):

1. Ultrazvuk přepněte do laterálního zobrazení.
2. Nastavte parametry skenu, které používáte při klinické praxi.
3. Zajistěte, aby osa ultrazvukového svazku byla kolmá na vlákno s markery. Zobrazte řadu značek a obraz zmrazte. Údaje zaznamenejte.
4. Užitím elektronického měřítka změřte vzdálenost krajních značek (značky nejvíce vlevo a značky nejvíce vpravo).
5. Pokud je více řad, proveďte měření pro řady nejvíce proximální a nejvíce distální.
6. Spočítejte absolutní a relativní odchylku od známé hodnoty vzdálenosti markerů.

Tolerance:

Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 3mm nebo 3%.

Měření s použitím náhradního objektu.

Pokud nejsou ve fantomu vlákna s markery s vysokým kontrastem, použijte následující postup s využitím kulového nebo jiného objektu se známými rozměry.

Postup:

1. Nastavte parametry skenu, které používáte při klinické praxi.
2. Skenujte objekt tak, že ultrazvukový paprsek skenuje objekt přes známý rozměr. U válcových těles se ujistěte, že paprsek je kolmý k ose válce. Zobrazte objekt a obraz zmrazte. Údaje zaznamenejte.
3. Užitím elektronického měřítka změřte velikost obrazu objektu (umístěte klipy měřítka na horní a dolní a levou a pravou stranu zobrazeného objektu).

4. Vypočítejte rozdíl ve vzdálenosti a procentuální chybu mezi známou a naměřenou hodnotou v každém směru.

Tolerance:

Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 2 mm nebo 2% měřené délky pro axiální a ± 3 mm nebo 3% měřené délky pro laterální směr.

5.1.2.5. Měření plochy

Postup:

1. Nastavte parametry skenu, které používáte při klinické praxi.
2. Zobrazte objekt tak, že ultrazvukový svazek protíná objekt se známým rozměrem. U válcových těles se ujistěte, že paprsek je kolmý k ose válce. Zobrazte objekt a obraz zmrazte. Údaje zaznamenejte.
3. Užitím příslušného nástroje ultrazvukového systému pečlivě zakreslete hranici objektu.
4. Ultrazvuk vypočte plochu vámi zakresleného objektu.
5. Vypočítejte procentuální odchylku mezi známou a vámi určenou hodnotou plochy.

Tolerance:

Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 5%.

5.1.2.6. Měření objemu

Postup:

1. Nastavte fantom tak, aby sonda upnutá v krokovacím zařízení (stepperu) měla dobrý kontakt s povrchem fantomu a mohla se pohybovat v celé délce fantomu. Aplikujte gel na sondu a skenovaný povrch.
2. Použijte stejnou proceduru jako v klinické praxi a posunujte sondou přes cílový objem a snímejte jednotlivé řezy.
3. Zakreslete kontury cílového objemu v jednotlivých řezech.
4. Ultrazvuk vypočte objem vámi zakresleného objektu.
5. Vypočítejte procentuální odchylku mezi známou a vámi určenou hodnotou objemu.

Tolerance:

Stanovená hodnota by se neměla lišit od hodnoty stanovené při instalaci UZ o více než 5%.

5.1.3. NASTAVENÍ MŘÍŽKY, KALIBRACE MŘÍŽKY

Postup:

1. Vhodnou nádobu naplňte vodou tak, aby se do ní dala ponořit UZ sonda s mřížkou upevněnou na krokovacím zařízení. Ujistěte se, že voda má teplotu okolního prostředí a neobsahuje bubliny.
2. Připevněte aplikační mřížku do krokovacího zařízení (je vhodné použít přidavný držák a další mřížku pro zajištění rovnoběžnosti jehel).
3. Spojte krokovací zařízení s mřížkou (nebo držák s aplikační i pomocnou mřížkou)
4. a sondou UZ.
5. Ponořte sestavu do nádoby s vodou.
6. Do aplikační mřížky umístěte 3 jehly nejlépe do 1 nebo 2 řad poblíž středu mřížky.
7. Zkontrolujte, zda je poloha jehel na mřížce shodná s obrazem jehel na elektronické mřížce UZ.

8. Pokud ne, nastavte polohu aplikační mřížky s jehlami pomocí mechanického adjustačního posunu v ose x a y nebo proveďte posun polohy elektronické mřížky v menu ultrazvuku.

Tolerance:

Odchylka polohy otvorů fyzické mřížky oproti značkám elektronické mřížky by měla být menší nebo rovna 1 mm.

5.1.4. KROKOVACÍ ZAŘÍZENÍ

5.1.4.1. Mechanické krokovací zařízení

Postup:

1. Zapojte ultrazvuk a krokovací zařízení se sondou jako při klinickém použití.
2. Na část držáku krokovacího zařízení pevně spojenou se statickou částí tohoto zařízení pevně připevněte (přilepte) část milimetrového měřítka zvolené délky (např. 3 cm).
3. Nastavte krokovací zařízení naproti nulové poloze připevněného měřítka.
4. Proveďte jeden krok krokovacím zařízením dle připevněného měřítka a zkontrolujte jeho délku nezávislým měřidlem délky.
5. Proveďte 5 kontinuálních kroků krokovacím zařízením a proveďte kontrolu délky posunu stejně jako v bodě 4.

Tolerance:

Odchylka délky posunu provedeného krokovacím zařízením od délky posunu stanoveného na nezávislém měřidle vzdálenosti by měla být menší nebo rovna 1mm.

5.1.4.2. Elektronické krokovací zařízení

Postup:

1. Zapojte ultrazvuk, krokovací zařízení a plánovací systém používaný k objemové rekonstrukci obrazových dat jako při klinickém použití.
2. Na část držáku krokovacího zařízení pevně spojenou se statickou částí tohoto zařízení pevně připevněte (přilepte) část milimetrového měřítka zvolené délky (např. 3 cm).
3. Nastavte krokovací zařízení naproti nulové poloze připevněného měřítka.
4. Zvolte na elektronickém krokovacím zařízení délku kroku používanou v klinické praxi.
5. Posuňte krokovací zařízení vůči připevněnému měřítku o zvolenou délku.
6. Zkontrolujte na elektronickém krokovacím zařízení zobrazenou délku.
7. Zkontrolujte v plánovacím systému počet vytvořených řezů.

Tolerance:

Odchylka délky posunu provedeného krokovacím zařízením od délky posunu stanoveného na nezávislém měřidle vzdálenosti/zobrazeného na displeji by měla být menší než 1mm. Počet nasnímaných řezů musí odpovídat specifikaci dle vztahu [1].

5.1.4.2.1. Rotace elektronického krokovacího zařízení

Postup:

1. Zapojte ultrazvuk, krokovací zařízení a plánovací systém používaný k objemové rekonstrukci obrazových dat jako při klinickém použití.
2. Zaveďte pomocí aplikační mřížky dvě jehly tak, kdy každá byla na opačné straně od střední roviny ultrazvuku.
3. Na transverzálním zobrazení ultrazvukového obrazu změřte pomocí elektronického měřítka vzdálenost řady, ve které je jehla zavedená, k senzoru ultrazvukové sondy.

4. Na transversálním zobrazení ultrazvukového obrazu změřte pomocí elektronického měřítka kolmou vzdálenost jehly od střední roviny (lze použít i elektronickou zobrazovací mřížku).
5. Z pravoúhlého trojúhelníka vypočtete úhel, který přímky získané v bodech 3) a 4) spolu svírají.
6. Otočte krokovacím zařízením tak, aby svislá rovina proložená podélnou osou detektoru směřovala k jehle.
7. Na obrazovce plánovacího systému odečtete uhel otočení.
8. Oba úhly porovnejte.
9. Zopakujte postup i pro druhou jehlu.

Tolerance:

Odchylka úhlu zobrazeného na krokovacím zařízení a úhlu určeného výpočtem by neměla být větší než 1°.

5.1.5. SHODA ZOBRAZENÍ ULTRAZVUKEM A PLÁNOVACÍM SYSTÉMEM

Postup:

1. Proveďte objemovou studii třírozměrného tělesa ve vhodném ultrazvukovém fantomu, v každém řezu zakreslete konturu tělesa a určete velikost celkového objemu tělesa.
2. Proveďte import ultrazvukových řezů do plánovacího systému pro vytvoření objemové studie plánovacím systémem.
3. V každém řezu zakreslete konturu tělesa a určete velikost celkového objemu tělesa pomocí plánovacího systému.
4. Stanovte odchylku velikosti obou objemů.

Tolerance: 5%.

5.1.6. OVĚŘENÍ NASTAVENÍ ULTRAZVUKU

Postup:

1. Zapněte ultrazvuk.
2. Zkontrolujte typ zobrazené elektronické mřížky.
3. Zkontrolujte výškové nastavení obrazu - směr anterior - posterior.
4. Zkontrolujte stranové zobrazení obrazu - směr latero – laterální.
5. Zkontrolujte měřítka velikosti zobrazení - použitou frekvenci ultrazvuku.
6. Zkontrolujte použitý mód šedi.

Tolerance:

Všechny parametry by měly být shodné s běžně používanými parametry při intersticiální aplikaci prostaty.

5.1.7. OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI PŘENOSU DAT

Postup:

1. Zapojte všechna zařízení řetězce tak, jak se používají v klinické praxi.
2. Vytvořte pomocí ultrazvuku, sondy a krokovacího zařízení sadu skenů a exportujte je do dalšího zařízení v řetězci.
3. Pokud se v řetězci používá zařízení na zpracování řezů, zpracujte 3D obraz, zakreslete testovací cílovou strukturu, testovací rizikový orgán. Takto zpracovaná data exportujte do plánovacího systému.
4. V plánovacím systému zadejte pozice jehel a v nich obsazené pozice HDR nebo zrny.
5. Vypočítejte dávkovou distribuci.

Tolerance: Funkčnost všech zařízení tvořících řetězec.

5.1.8. PŘÍKLAD SEKVENCE ČINNOSTÍ A ODPOVĚDNOSTI PŘI IBP

5.1.8.1. IBP s využitím HDR

Postup:

1. Vyrovnání jehel (fyzik).
2. Kalibrace mřížky (fyzik).
3. Kontrola délky propojovací trubice – jehla (fyzik).
4. Kontrola správného nastavení ultrazvuku (fyzik).
5. Kontrola propojení - ultrazvuk, krokovací zařízení, plánovací systém (fyzik).
6. Kontrola posunu krokovacího zařízení (fyzik).
7. Kontrola systému pro přenos dat do plánovacího systému (fyzik).
8. Upravení polohy pacienta - ultrazvuk, C-rameno (lékař).
9. Nasnímání skenů UZ posunem sondy v krokovacím zařízení (lékař).
10. Zakreslení kontur - PTV + OAR (lékař).
11. Umístění mřížky do krokovacího zařízení (lékař).
12. Navržení ideálního plánu - ideální rozmístění jehel (fyzik).
13. Umisťování jehel dle ideálního plánu (lékař).
14. Zápis odchylek od ideálního plánu (fyzik).
15. Korekce na reálnou pozici jehel v plánovacím systému (fyzik).
16. Propojení jehel s AFL HDR (lékař ve spolupráci se sálovou sestrou).
17. Kontrola propojení jehla AFL HDR (fyzik).
18. Výpočet dávkové distribuce (fyzik).
19. Kontrola pozice jehel (fyzik ve spolupráci s lékařem).
20. Ozáření pacienta (fyzik/radiologický asistent).
21. In vivo dozimetrie (fyzik/radiologický asistent).
22. Zápis dat do databáze (fyzik).

5.1.8.2. Ověření propojení „přenosová trubice – jehla“

Postup:

1. Propojte přenosové trubice s jehlami, stejně jako při aplikaci.
2. Změřte délku této sestavy pomocí měrky dodávané výrobcem.
3. Je-li to třeba, upravte délku přenosové trubice.
4. Proveďte pro všechny přenosové trubice a jehly, které se používají při aplikaci.
5. Správné hodnoty délek sestav zadejte pro jednotlivé kanály do plánovacího systému.

Tolerance: 1 mm.

5.1.9. PŘÍKLAD SEKVENCE ČINNOSTÍ A ODPOVĚDNOSTI PŘI IBP S VYUŽITÍM ZRN LDR

Postup:

Měsíc před aplikací:

1. Kontrola databázi v plánovacím systému (fyzik).
2. Příprava aplikačního stolu (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
3. Kontrola správného nastavení ultrazvuku (fyzik).
4. Propojení ultrazvuk, krokovací zařízení, plánovací systém, tiskárna (fyzik).
5. Kontrola posunu a rotace krokovacího zařízení (fyzik).
6. Kontrola funkčnosti propojení systému (fyzik).
7. Testovací nabrání skenů, konturace, výpočet více plánů s různými aktivitami zrn (preplan) (fyzik, lékař).
8. Výběr aktivity zrn pro aplikaci (fyzik).
9. Výpočet počtu zrn potřebných pro aplikaci (fyzik).

10. Vystavení objednávky na zrna (fyzik).
11. Zaslání ohlášení na SÚJB (fyzik).

2 dny před aplikací:

12. Příprava stříhacího zařízení pro strandy a rozptylových destiček pro sterilizaci (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
13. Zapnutí elektrometru a propojení s komorou (fyzik).

Den před aplikací:

14. Převzetí zrn (fyzik).
15. Kalibrace mřížky (fyzik).
16. Kontrola stříhacího zařízení (fyzik).
17. Kontrola přenosného dozimetru (fyzik).
18. Příprava aplikačního stolu (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
19. Propojení ultrazvuk, krokovací zařízení, plánovací systém, tiskárna (fyzik).
20. Kontrola funkčnosti propojení systému, nabraní skenů, registrace mřížky, konturování, testovací výpočet počtu jehel, zdrojů a jejich umístění, funkčnost tiskárny (fyzik).
21. Měření aktivity zrn (fyzik ve spolupráci s radiologickým asistentem).
22. Dozimetrická kontrola prostoru pro manipulaci se zrny/strandy (fyzik).
23. Kontrola dodaných jehel a příslušenství k aplikaci (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
24. Stříhací zařízení a rozptylové destičky do sterilizace (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).

Den aplikace

25. Příprava aplikačního stolu (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
26. Kontrola správného nastavení ultrazvuku (fyzik).
27. Propojení ultrazvuk, krokovací zařízení, plánovací systém, tiskárna (fyzik).
28. Kontrola posunu a rotace krokovacího zařízení (fyzik).
29. Kontrola funkčnosti propojení systému (fyzik).
30. Kontrola jehel a zrn (stříhacího zařízení pro stříhání strandů) (fyzik).
31. Zadání pacienta a aktivity zrn do plánovacího systému (fyzik).
32. Upravení polohy pacienta - ultrazvuk, C-rameno (lékař).
33. Nastavení nulové roviny (fyzik, lékař).
34. Nasnímání skenů UZ posunem sondy v krokovacím zařízení (fyzik, lékař).
35. Registrace mřížky (fyzik).
36. Zakreslení kontur - PTV + OAR (lékař).
37. Výpočet plánu (fyzik).
38. Schválení plánu (lékař).
39. Výtisk rozmístění, počtu jehel a množství a typů zrn (strandů) (fyzik).
40. Příprava zrn/stříhání strandů (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
41. Zápis o počtech odebraných zrn (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
42. Ověření počtu zrn v jednotlivých jehlách (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
43. Přenos zrn (nastříhaných strandů) na sálek (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
44. Dozimetrická kontrola prostor pro manipulaci se zrny/strandy (fyzik).
45. Aplikace jehel pacientovi a korekce jejich polohy v souladu s ideálním plánem (fyzik, lékař).
46. V průběhu aplikace kontrola správné polohy prostaty vůči mřížce oproti nasnímaným skenům (fyzik, lékař).
47. Po umístění všech zrn vytištění plánu (fyzik).
48. Dozimetrická kontrola sálku (fyzik).
49. Snímky AP pacienta na C-ramenu (fyzik ve spolupráci s radiologickým asistentem).

50. Kontrola počtu zrn na snímcích a porovnání s počtem umístěných zrn (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
51. Úklid prostoru po manipulaci se zrny (fyzik ve spolupráci se sálovou sestrou).
52. Odeslání zbylých zrn výrobci (fyzik).

Měsíc po aplikaci:

53. Snímky AP na C-ramenu, kontrola počtu zrn a porovnání počtu zrn s počtem zrn umístěných při aplikaci (fyzik ve spolupráci s radiologickým asistentem).
54. Provedení CT pacienta a naskenování oblasti prostaty (fyzik, lékař).
55. Převod CT řezů do plánovacího systému, zakreslení PTV a OAR, označení zrn a porovnání jejich počtu s počtem umístěných zrn při aplikaci, výpočet plánu a jeho porovnání s plánem z aplikace (postplanning) (fyzik, lékař).
56. Zapsání sledovaných údajů do databáze (fyzik).

5.2. VYBAVENÍ A POMŮCKY POTŘEBNÉ PRO PROVÁDĚNÍ KONTROL

1. Ultrazvuk s příslušenstvím (návod na použití v českém jazyce, tiskárna, vodivý gel).
2. Transverzální ultrazvuková sonda.
3. Krokovací zařízení (stepper).
4. Nezávislé měřidlo délky.
5. Vodící mřížka 2x.
6. Fantom na měření velikosti plochy a objemu.
7. Fantom pro kalibraci mřížky.
8. Implantační jehly.
9. Přenosové trubice.
10. Sterilizované jehly pro přípravu zrn (strandů).
11. Brachyterapeutický fantom (např. CIRS Model 45).
12. Lokální standardní elektrometr.
13. Vhodná lokální standardní ionizační komora (např. 4π desková komora výrobce PTW).
14. Přístroj pro měření aktivity (stěry).
15. Přístroj na měření úrovně radiace.
16. Rozptylový adapter.
17. Fantom zpětného rozptylu.
18. Teploměr.
19. Tlakoměr.
20. Stříhací zařízení na přípravu strandů.
21. Pinzeta.
22. Šroubovák.
23. Milimetrové měřítko.
24. Nůžky pro možnost odstřížení zrn.
25. Bezpečnostní kontejnery.
26. Kalkulačka.
27. Nádoba s vodou pro kalibraci mřížky.
28. Přídavný držák pro zajištění rovnoběžnosti jehel při kalibraci mřížky.
29. Počítač s plánovacím systémem.
30. Specifikace v klinické praxi používaného typu zdroje od výrobce.
31. Síťové propojovací kabely.
32. Osvědčení URZ.
33. Data použitých zdrojů v literatuře.
34. Referenční hodnoty pro ověření správnosti výpočtů.
35. Osobní počítač.
36. Tiskárna.

6. PŘEHLED KONTROL A JEJICH ČETNOSTÍ A TOLERANCÍ.

Vymezení kontroly	Četnost	Tolerance	Kapitola
Identifikace URZ			
Identifikace URZ HDR aplikace	A ₀ , VZ	F	3.1.1.
Identifikace URZ aplikace radionuklidových zrn	A ₀ , P	F	3.1.2
Kontrola kermové vydatnosti			
Aplikace HDR	VZ	3%	3.2.1.
Aplikace radionuklidových zrn	A ₀	5%, 5%-7%stanovit příčinu, <7% kontaktovat výrobce	3.2.2.
Těsnost URZ			
Aplikace HDR	VZ	200Bq	3.3.1.
Aplikace radionuklidových zrn	A	Hodnota aktivity jednoho zrna	3.3.2.
Vlastnosti ultrazvuku			
Škály šedi a jejich viditelnost	A ₀ T	±2stupně šedi nebo ±10%délky verifikačního obrazce	4.1.1.1. 5.2.1.
Hloubka pronikání signálu	A ₀ T	Odchylka od referenční hodnoty ≤1cm	4.1.1.2. 5.2.2.
Axiální a laterální rozlišení	A ₀ T	Odchylka od referenční hodnoty ≤±1mm	4.1.1.3. 5.2.3
Přesnost měření axiální a laterální vzdálenosti	A ₀ T	Odchylka od referenční hodnoty: Axiální směr<±2mm nebo2% Laterální směr<±3mm nebo 3%	4.1.1.4. 5.2.4
Přesnost měření plochy	A ₀ T	Odchylka od referenční hodnoty ≤5%	4.1.1.5. 5.2.5
Přesnost měření objemu	A ₀ T	Odchylka od referenční hodnoty ≤5%	4.1.1.6. 5.2.6
Aplikační mřížka			
Nastavení mřížky, Kalibrace mřížky	A ₀	≤1mm	4.2.1. 5.3.1
Krokovací zařízení			
Posun krokovacího zařízení	A ₀	≤1mm	4.3.1. 5.4.1 5.4.2
Rotace elektronického krokovacího zařízení	A ₀	≤1°	4.3.2. 5.4.3
Kontrola plánovacího systému a výpočtu dávek			
Výpočet dávky v bodě	P	1%	4.4.1.
Zobrazení izodóz	P	2mm	4.4.2.
Objemový výpočet dávky	P	5% nebo 0,5cm ³ (cokoli je větší)	4.4.3.
Výpočet anizotropní funkce modelu lineárního zdroje	P	1%	4.4.4.
Shoda zobrazení ultrazvukem a plánovacím systémem	P	5%	4.4.5. 5.1.5
Příprava a provedení vlastní aplikace IBP			

Kontrola nastavení ultrazvuku	A ₀	F	4.5.1. 5.1.6
Funkčnost řetězce ultrazvuk-plánovací systém	A ₀	F	4.5.2. 5.1.7
IPB s využitím HDR	AP	F a tolerance viz. kap. 3	4.5.3.1. 5.1.8
IPB s využitím radionuklidových zrn LDR	AP	F a tolerance viz.kap.3	4.5.3.2. 5.1.9

Legenda:

- A - kontrola se provádí před a po aplikaci
- A₀ - kontrola se provádí před aplikací
- A₀T - kontrola se provádí týden před aplikací
- AP - kontrola se provádí při aplikaci
- P - kontrola se provádí před uvedením plánovacího systému do provozu, po aktualizacích plánovacího systému, po přeinstalování aplikace a po jakýchkoli změnách licencí
- VZ - kontrola se provádí při výměně radionuklidového zdroje

7. LITERATURA

1. Report of American Association of Physicist in Medicine, Radiation Therapy Committee Group 43, Medical Physics, 22(2), 209-235, Feb 1995;
2. Third-party brachytherapy source calibrations and physicist responsibilities: Report of the AAPM Low Energy Brachytherapy Source Calibration Working Group. Med. Phys. 35(9):3860-5, Sept. 2008;
3. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations, Medical Physics, 31(3), 633-674, Mar 2004;
4. AAPM Task Group 128: Quality assurance tests for prostate brachytherapy ultrasound systems, Medical Physics, 35(12), 5471-5489, December 2008;
5. SÚJB: Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii - Uzavřené radionuklidové zářiče v brachyterapii, Praha 1998;
6. Nag S, Beyer D, Friedland J, Grimm P and Nath R: American Brachytherapy Society (ABS) Recommendations for transperineal permanent brachytherapy of prostate cancer;
7. Ash D, Flynn A, Battermann J, De Reijke T, Lavagninu P, Blank L: ESTRO/EAU/EORTS Recommendations on permanent seed implantation for localised prostate cancer;
8. Stock R, Stone N, Wesson MF et al.: A modified technique allowing interactive ultrasound guide three dimensional transperineal prostate implantation, Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 1995; 32:219-225;
9. Stone N, Stock R, DeWyngaert JK et al.: Prostate brachytherapy: Improvements in prostate volume measurements and dose distribution using interactive ultrasound guided implantation and three dimensional dosimetry. Radiat. Oncol. Invest. 1995; 3:185-195;
10. Nath R, Anderson LL, Luxton G et al.: Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee, Task Group No.43. Med. Phys. 1995; 22:209-233;
11. Blasko JC, Ragde H, Schumacher D.: Transperineal percutaneous iodine-125 implantation for prostatic carcinoma using transrectal ultrasound and template. Guyance Endocuriether / Hypertherm. Oncol. 1987; 3:131-139;
12. Priestly JB, Beyer DC.: Guided brachytherapy for treatment of confined prostate cancer. Urology 1992; 40:27-32;
13. Nag S, Baird M, Blasko J et al.: American Brachytherapy Society(ABS) survey of current clinical practice for permanent brachytherapy of prostate cancer. J. Brachyther. Int. 1997; 13:243-251;
14. Grimm PD, Blasko J, Ragde H.: Ultrasound guided transperineal implantation of iodine-125 and palladium-103 for the treatment of early stage prostate cancer-technical concepts in planning, operative technique and evaluation. Atlas Urol. Clin. N. Am. 1994; 2:113-125;
15. Nag S, Pak V, Blasko J et al.: Prostate brachytherapy. In: Nag S, Editor. Principles and practice of brachytherapy. Armonk, NY: Futura Publishing Co.; 1997,p 421-440;
16. Nath R, Anderson L, Meli J et al.: Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee, Task Group No. 56;

17. Kovacs G, Pötter R, Loch T, et al.: GEC-ESTRO/EAU recommendations on temporary brachytherapy using stepping sources for localized prostate cancer. *Rad. Oncol.* 2005; 74:137-148;
18. Dosimetry of Beta Rays and Low-Energy Photons for Brachytherapy with Sealed Sources (ICRU Report 72, 2004);
19. Williamson J, Coursey B, DeWerd L et al.: Guidance to use of Nycomed Amersham and North American Scientific, Inc., I-125 Interstitial Sources: Dosimetry and calibration changes: Recommendations of American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee, Ad Hoc Subcommittee on Low-Energy Sees Dosimetry. *Med. Phys.* 1999; 26:570;
20. Williamson J, Coursey B, DeWerd L et al.: Recommendations of the American Association of Physicists in Medicine on 103-Pd interstitial source calibration and dosimetry: Implications for dose specification and prescription, 2000;
21. Bice W, Preslidge B, Prete J, Dubois D.: Clinical impact of implementing AAPM Task Group 43 on permanent prostate brachytherapy using I-125. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 1998; 40,1237-1241;
22. Mainegra E, Capote R, Lopez E.: Dose rate constants for I-125, Pd-105, Ir-192 and Y-169 brachytherapy sources: An EGS4 Monte Carlo study *Phys. Med. Biol.* 1998; 43,1557-1566;
23. Mainegra E, Capote R, Lopez E.: Radial dose function for I-125, Pd-105, Ir-192 and Y-169 brachytherapy sources: An EGS4 Monte Carlo study *Phys.Med.Biol.* 2000; 45,703-711;
24. Nag S, Bice W, DeWyngaert K, Prestidge B, Stock R, Yu Y: The American Brachytherapy Society recommendations for permanent prostate brachytherapy postimplant dosimetric analysis. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2000; 46,221-230;
25. Nath R, Rivard M, Coursey B, DeWerd L, Hanson W, Huq M, Ibbot G, Williamson J: Status of the American Association of Physicist in Medicine Radiation Therapy Committee's, Subcommittee on Low-Energy Interstitial Brachytherapy Source Dosimetry: Procedure for the Development of Consensus Single-Source Dose-Distributions. *Med. Phys.* 2002; 29,1349;
26. Seltzer M, Lamperti P, Soares C, Weaver J: New NIST air-kerma strength standards for I-125 and Pd-105 brachytherapy seeds. *Med.Phys.* 1998; 25, A170;
27. Williamson J: Comparison of measured and calculated dose rates in water I-125 and Ir-192 seeds. *Med. Phys.* 1991; 18, 776-786;
28. Hoskin P, Colombo A, Henry A, Niehoff P, Paulsen Hellebust T, Siebert A, Kovacs G: GEC/ESTRO recommendations on high dose rate afterloading brachytherapy for localised prostate cancer: An update. *Rad. Oncol.* 2013; 107,325-332.
29. Davies BJ, Horwitz EM, Lee WR, et al.: American Brachytherapy Society consensus guidelines for transrectal ultrasound-guided permanent prostate brachytherapy. *Brachytherapy.* 2012; 11:6–19.
30. Yamada Y, Rogers L, Demanes DJ, et al.: American Brachytherapy Society consensus guidelines for high-dose-rate prostate brachytherapy. *Brachytherapy* 2012; 11:20–32.