

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA**

**Kontrola citlivosti a rozlišovací schopnosti CT části systému
Infinia-Hawkeye**

Bakalářská práce

Vypracovala: Lucie Filásková, DiS.

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Pěnička

2. května 2011

ABSTRACT

Inspecting the sensitivity and resolution of the CT-part of the Infinia-Hawkeye system

The medical discipline of nuclear medicine is characterised by the constant development and perfection of the appliances used and thus, also higher diagnostic yield. The most frequently used equipment currently includes hybrid appliances enabling image fusion, e.g. SPECT/CT. The result is a recording combining anatomical and functional information allowing for more accurate localisation of the lesion and better spatial orientation.

Equipment in nuclear medicine is subject to inspection under the regulation of the State Office for Nuclear Safety No 307/2002 Coll. On radiation protection and as amended under Regulation No 499/2005 Coll.

When inspecting the characteristics of an appliance, procedures specified by the manufacturer are met, and each workplace performing nuclear medicine must follow a sophisticated system of quality control stipulating the individual tests and duration of the cycle when they shall be performed.

My work consisted of performing quality tests on the CT-part of the Infinia-Hawkeye system. The testing was performed once every three weeks over a period of seven months at the Department of Nuclear Medicine in České Budějovice hospital. The results of individual readings were recorded in overview charts and compared with the parameters provided by the manufacturer. The performance of the comparison confirmed the defined goals, all the recorded values agreed with the limits set by the manufacturer. These values were never exceeded during the entire testing period. No short-term changes of parameters were recorded.

The bachelor's thesis can be used as an overview of quality tests of the CT-part of the Infinia-Hawkeye system and can also serve as instructions for performing these inspections at all workplaces that are equipped with the Infinia-Hawkeye hybrid system.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Kontrola citlivosti a rozlišovací schopnosti CT části systému Infinia-Hawkeye“ 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 vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zdravotně sociální fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, 2. května 2011

.....

Lucie Filásková

Poděkování:

Na této stránce bych ráda poděkovala Ing. Jindřichovi Pěničkovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi v průběhu zpracování tématu poskytnul.

OBSAH:

ÚVOD.....	7
1. SOUČASNÝ STAV.....	8
1.1. PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA – ZABEZPEČENÍ JAKOSTI.....	8
1.1.1. Předávací zkoušky.....	10
1.1.2. Provozní zkoušky.....	11
1.1.3. Zkoušky dlouhodobé stability.....	12
1.1.4. Zkoušky provozní stálosti.....	12
1.2. HYBRIDNÍ SYSTÉM SPECT/CT.....	13
1.2.1. SPECT.....	13
1.2.2. Výpočetní tomografie – CT.....	14
1.3. INFINIA-HAWKEYE.....	17
1.4. FANTOM PRO KONTROLY SYSTÉMU INFINIA-HAWKEYE.....	20
2. CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA	23
2.1. CÍL PRÁCE	23
2.2. HYPOTÉZA	23
3. METODIKA.....	24
3.1. PARAMETRY TESTU KONTROLY KVALITY (QUALITY CONTROL).....	24
3.1.1. Homogenita (Uniformity)	24
3.1.2. Nízký kontrast (Low Contrast).....	24
3.1.3. Hustota (Density).....	25
3.1.4. Vysoký kontrast (High Contrast).....	25
3.1.5. Tloušťka řezu (Slice Thickness).....	25
3.2. DENNÍ KONTROLA KVALITY	26
3.3. PROVEDENÍ VLASTNÍHO TESTOVÁNÍ	27
3.3.1. Provedení X-ray QC testu.....	29
3.3.2. Protokoly jednotlivých testů.....	33
4. VÝSLEDKY	36

5. DISKUSE.....	55
6. ZÁVĚR	56
7. KLÍČOVÁ SLOVA.....	57
8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	58
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	59

ÚVOD

Bakalářskou práci, na téma „Kontrola citlivosti a rozlišovací schopnosti CT části systému Infinia-Hawkeye“ jsem si vybrala, protože nukleární medicína je zajímavý obor, který se dynamicky rozvíjí. Snahou je neustálé zdokonalování přístrojového vybavení, abychom získali co nejvíce informací v co nejkratší době a tím snížili radiační zátěž jak pro pacienta, tak obsluhující personál. Podmínkou je zachování kvalitního diagnostické zobrazení.

Velký důraz je kladen na kontrolu a testování přístrojů dle zákona č. 18/1997 Sb. atomový zákon, ve znění pozdějších předpisů, který nařizuje provádění těchto kontrol kvůli radiační ochraně a správné funkčnosti přístrojů pro kvalitní diagnostickou výtěžnost vyšetření. Dle doporučení SÚJB má každé pracoviště vypracovaný systém zabezpečování jakosti ve kterém jsou stanoveny jednotlivé testy přístrojů a periodicita jejich provádění.

Největší diagnostickou výtěžnost v dnešní době mají moderní hybridní přístroje umožňující fúzi obrazů např. SPECT/CT pojící morfologické a anatomické informace, které umožňují lepší prostorovou orientaci a přesnější lokalizaci léze.

1. Současný stav

Nukleární medicína je lékařský obor, procházející stálým zdokonalováním přístrojů a tím i kvalitou vyšetření, popřípadě určením léčby. Proto je důležité zajistit a dodržovat pravidelnou kontrolu detekčních parametrů přístroje SPECT/CT pro dosažení kvalitních diagnostických výsledků.

Při provádění těchto kontrol musíme dodržovat postupy dané výrobcem příslušného přístroje, dále zabezpečování jakosti přístrojové techniky a další postupy doporučenými SÚJB.

1.1. Přístrojová technika – zabezpečení jakosti

Přístrojová technika v nukleární medicíně podléhá zkouškám podle vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně a v jejím pozdějším znění vyhláška č. 499/2005 Sb. Dne 21.4. 2008 vyšla nová vyhláška č. 132/2008 Sb. o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení. Vydání nové vyhlášky byla potřeba opravit některé nepřesnosti původní vyhlášky č. 214/1997 Sb. a přizpůsobit ji platnému znění atomového zákona a vyhláše č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. Nová vyhláška č. 132/2008 Sb. umožňuje přizpůsobit systém jakosti skutečným podmínkám a druhům zdrojů.^[9]

Dle doporučení SÚJB má každé pracoviště vypracovaný systém zabezpečení jakosti, kde jsou stanoveny jednotlivé testy přístrojů a periodicita jejich provádění. Cílem zabezpečení jakosti přístrojové techniky používané v nukleární medicíně je předvídání nebo odhalování závažných změn technických parametrů, které by mohly způsobit nižší, případně nevyhovující kvalitu diagnostických a léčebných výsledků.

Kontroly přístrojů v rámci systému zabezpečení jakosti musíme provádět za následujících podmínek:

- s vhodnou frekvencí
- s dostatečnou přesností a reprodukovatelností dle jasně formulovaného protokolu
- výsledky kontrol musí být dokumentovány a archivovány
- součástí kontrol musí být i rozhodování jak postupovat v případě neuspokojivých výsledků měření z hlediska stanovených kritérií.^[7]

Kontrola jakosti scintilačních kamer slouží k :

- ověření, zda přístroj vytváří obrazy odpovídající distribuci radiofarmaka v pacientovi
- zajišťuje maximální kvalitu diagnostické informace s co nejnižším radiačním zatížením pacientů i pracovníků.

Přístrojová technika v programu zabezpečení jakosti v nukleární medicíně zahrnuje zobrazovací přístroje:

- scintilační kamery planární
- scintilační kamery pro jednofotonovou emisní tomografii – SPECT/CT
- pozitronovou emisní tomografii - PET .^[7]

Důvodem provádění zkoušek a kontrol je ověření jakosti a bezpečnosti. Musí být stanoven plán a rozsah kontrol konkrétních činností. Předem musí být stanoven plán a četnost zkoušek. V příslušné dokumentaci je popsán způsob záznamu výsledků jednotlivých zkoušek a jejich archivace.^[8]

1.1.1. Předávací zkoušky

Před uvedením přístroje do provozu po jeho instalaci je nutné ověřit, zda odpovídají detekční parametry přístroje hodnotám daným výrobcem v doprovodné dokumentaci. Předávací zkoušky jsou také nutné po každé větší opravě.^[7]

Účelem předávacích zkoušek je:

- porovnání naměřených hodnot s hodnotami danými výrobcem
- kontrola všech parametrů a vlastností přístroje, které by mohly ovlivnit výsledky vyšetření (důležité u scintilačních kamer)
- získání podkladů k provádění provozních zkoušek během užívání přístroje na pracovišti.^[7]

Do smlouvy s prodejcem je třeba zahrnout způsob provedení předávacích zkoušek a použitá kritéria. Nejsou-li výsledky v souladu s hodnotami danými výrobcem v doprovodné dokumentaci, nelze potvrdit převzetí přístroje a je nutno trvat na opravě případně žádat nový přístroj.

Předávací zkoušky může realizovat:

- dodávající firma provede předávací zkoušky přímo na pracovišti, na němž přístroj instalovala; musí to být za účasti odborníka nejlépe fyzika nebo technika z tohoto pracoviště;
- předávací zkoušky provedou kvalifikované osoby
- prodávající a kupující se dohodnou na nezávislém odborném posouzení akreditovanou firmou a tím vyloučení předpojatosti při měřeních.

Součástí předávacích zkoušek je získání provozních údajů o přístroji, jeho nastavení na parametry odpovídají plánovanému použití. Na základě těchto údajů a zkušeností je navržen rozsah provozních zkoušek.^[8]

1.1.2. Provozní zkoušky

Je-li zákazník spokojen s výsledky předávacích zkoušek je stanoven rozsah provozních zkoušek. Zvolené postupy provozních zkoušek nemusí zcela odpovídat s metodami při předávacích zkouškách.

Účelem provozních zkoušek je:

- sledování jsou-li změřené hodnoty parametrů v doporučené toleranci s parametry stanovenými při předávací zkoušce;
- odhalování krátkodobých změn v parametrech, při pomalých změnách sledujeme také dlouhodobé trendy.^[7]

Zkoušku zpravidla provádí pracovníci obsluhující tento přístroj. O zkoušce a zjištěných parametrech musí být proveden záznam. Nevyhovují-li parametry, informují pracovníci provádějící tuto zkoušku odpovědnou osobu (dohlížející nebo řídící pracovník) a ten rozhodne o dalším postupu.^[8]

Rozdělení provozních zkoušek:

Jednoduché zkoušky – charakteristická je časová nenáročnost, od několika minut do půl hodiny, provedení zkoušek nevyžaduje speciální pomůcky. Jednoduché provozní zkoušky si pracoviště zajišťuje vlastními silami.

Náročné zkoušky – jsou dány buď časovou náročností od několika hodin i více nebo vyžadují speciálnější zařízení, případně se uplatňují oba faktory. Velmi výhodné je, když si pracoviště samo provádí jednoduché i náročné zkoušky, avšak pokud to v možnostech pracoviště není, musí požádat akreditované firmy specializující se na kontrolu lékařských přístrojů využívajících ionizujícího záření. Také je možná dohoda pracoviště s dodávající firmou, aby náročné zkoušky zahrnula do servisu aparatury. Výsledky předávacích i provozních zkoušek musí být pečlivě zaznamenány, pro každý přístroj musí být vedeny zvláštní záznamy.^[7]

1.1.3. Zkoušky dlouhodobé stability

Zkoušky dlouhodobé stability podle § 71 vyhlášky č. 307/2002 Sb. a v jejím pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. může vykonávat pouze osoba s povolením SÚJB, řídit a provádět je mohou osoby se zvláštní odbornou způsobilostí. Během těchto zkoušek se periodicky ověřuje stabilita parametrů a vlastností přístroje, tedy funkční stav přístroje v čase.^[6]

Zkoušky dlouhodobé stability je nutné provádět:

- při podezření na špatnou funkci přístroje
- po opravě nebo údržbě
- pokud výsledky zkoušky upozorňují, že provozní parametry se liší od hodnot v dokumentaci dané výrobcem
- periodicky – jedenkrát ročně, pokud není v podmínkách povolení o typovém schválení stanoveno jinak.^[6]

1.1.4. Zkoušky provozní stálosti

Zkouška provozní stálosti podle § 72 vyhlášky č. 307/2002 Sb. a v jejím pozdějším znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. zahrnuje ověření provozních vlastností a parametrů nejen u přístroje, ale i dalších částí systémů, které mohou ovlivnit kvalitu obrazu. Zkoušky provádí pracovníci se zkušenostmi a potřebnými znalostmi.^[6]

Zkouška provozní stálosti zajišťuje stálost funkčních vlastností přístroje dostupnými prostředky, a to snadnými, rychlými snadno proveditelnými metodami. Zkoušku provádíme periodicky a bezprostředně po jakékoli údržbě či opravě.^[7]

1.2. Hybridní systém SPECT/CT

Hybridní systémy SPECT/CT patří k jedněm z nejmodernějších a nejvíce užívaným záznamům v oboru nukleární medicíny. Tento systém pojí anatomické a funkční informace, které umožňují lepší prostorovou orientaci a přesnější lokalizaci léze.

V dynamickém rozvoji zobrazovacích metod je nutné neustále zdokonalovat přístroje pro zrychlení a zkvalitnění vyšetření. Proto byly vyvinuty přístroje, které slučují do jednoho systému kameru SPECT a CT. Což nám umožňuje snímání oblasti zájmu ve stejné geometrii s dokonalou fúzí obrazů.

1.2.1. SPECT

V nukleární medicíně je zdroj záření umístěn v těle pacienta, pomocí scintilačních detektorů registrujeme gama záření emitované radiofarmakem, jedná se o emisní počítačovou tomografii. Rozlišujeme dva druhy emisní tomografie. Při použití zdroje gama záření, se jedná o jednofotonovou emisní tomografii (SPECT), použijeme-li zdroj pozitronového záření, hovoří se o pozitronové emisní tomografii (PET).

Tomografická kamera SPECT je principiálně založená stejně jako planární kamery. Liší se pouze konstrukčním uložením detektoru v tzv. gantry, který umožňuje rotační pohyb detektoru kolem vyšetřované oblasti. Minimální úhel rotace je 180° (záleží na počtu detektorů a na jejich poloze) v malých úhlových krocích nebo se pohybuje plynule. Tento pohyb umožňuje zařízení udržující automaticky optimální vzdálenost detektoru od povrchu těla pacienta tzv. body countouring. SPECT kamery mohou mít jeden, dva, ale i tři detektory.^[5]

Série nasnímaných planárních obrazů pod různými úhly se ukládají v počítači a dále se zpracovávají, rekonstruují a vyhodnocují. Pomocí SPECT zobrazujeme struktury lidského těla v určitých hloubkách jako záznam trojrozměrného obrazu distribuce radiofarmaka. Čím větší počet projekcí při snímání získáme, tím bude lepší prostorová lokalizace léze.^[10]

1.2.2. Výpočetní tomografie – CT



Obr. 1: CT přístroj

Při CT zobrazování se snímá pohybující se objekt, pomocí rentgenky s detektory rovnoměrným rotačním pohybem kolem snímaného objektu v rovině kolmé na směr posunu stolu.^[12]

Výpočetní tomografie využívá jako dokumentační médium místo přímého záznamu na filmový materiál snímání prošlého rentgenového záření scintilačními, polovodičovými, plynovými nebo keramickými detektory.

Základní princip vzniku CT obrazu, je založen na denzitometrickém principu. Pomocí detektorů se měří zeslabení záření (atenuace) pohlcené prostředím mezi rentgenkou a detektorem.^[12]

Po záznamu a zpracování řady získaných sumárních číselných údajů se rekonstruuje číselná síť tzv. matice. Číselné údaje obsahují informaci o denzitě (absorpci) v daném místě řezu. Tyto údaje odpovídají prošlému záření, které jsou zachycené detektory – Hounsfieldův absorpční koeficient. Jednotlivým hodnotám je přiřazen stupeň odstínu šedi. Silně absorbujícími materiálům řadíme světlé až bílé plošky, málo absorbující plošky se zobrazují tmavě.^[12]

Stupeň absorpce – šedi se vyjadřuje v Hounsfieldových (denzitivních) jednotkách. Voda vykazuje denzitu rovnou nule, vyšší denzitu než nula mají tkáně s větší absorpcí než voda. Zápornou denzitu vykazuje vzduch a tuk.

K součásti CT zařízení patří:

Zdroj záření

Zdrojem záření u CT přístrojů je rentgenka, která produkuje záření různých vlnových délek. Rentgenka musí být mechanicky i tepelně odolná. Ke snížení teplotních vlivů slouží chladicí systém a pulzní režim. Rentgenka pracuje s tvrdým zářením s napětím 120-140 kV.^[12]

Detektorová soustava

Detektory zaznamenávají množství prošlého rentgenového záření pacientem. Dopadající záření je přeměněno detektory na elektrický analogový signál. Dále se analogový signál zpracovává na digitální formu pomocí digitálně-analogového převodníku a následuje zpracování obrazovým počítačem.^[12]

Gantry, vyšetřovací stůl

Gantry nebo-li vyšetřovací tunel je vertikální součástí stativu a obsahuje rentgenku s krytem a chladícím systémem , detektory a zařízení umožňující pohyb rentgenky a detektorů během expozice. Gantry obsahuje kruhový otvor, do něhož se zasouvá deska stolu.^[12]

Ovládací pult, záznamové zařízení

Ovládací pult je komunikační a obslužnou složkou CT přístroje, pomocí které se zadávají základní podmínky vyšetření. Klávesnice ovládacího pultu je doplněna řadou speciálních povelových tlačítek. K zobrazení získaných informací slouží monitor s vysokým rozlišením. K hodnocení vyšetření slouží pracovní stanice. Ta umožňuje postprocessing obrazů a transformaci a vizualizaci dat. Data jsou ukládána na harddisk počítače nebo v centrálním informačním systému. Dle potřeby lze jednotlivá data vypálit na záznamové médium.^[12]

1.3. Infinia-Hawkeye



Obr. 2 : Infinia-Hawkeye na oddělení nukleární medicíny České Budějovice

První SPECT/CT systém byl představen firmou GE Healthcare v roce 1999. V Českých Budějovicích byl hybridní systém nainstalován v roce 2007. Infinia-Hawkeye umožňuje záznam funkčního a anatomického zobrazení jedním systémem přímou fúzi obrazů.

Infinia-Hawkeye je moderní systém s duálními detektory pro hybridní zobrazovací systém SPECT/CT s půdorysem jako klasické kamery užívané v nukleární medicíně.^[4]

Základem kamer Infinia je moderní technologie kompletně digitalizovaných detektorů Elite s krystalem 3/8“ a s 95 fotonásobiči. Tato technologie nabízí zobrazení v celém rozsahu nízkoenergetických, středně i vysoké energie (do 400 keV).

Hawkeye technologie využívá spirální CT řezy, které zaručují výbornou kvalitu zobrazení pro přesnější anatomickou lokalizaci nebo nutnosti korekcí atenuace při minimálních dávkách ionizujícího záření. Systém Hawkeye poskytuje registrované obrazy pro fúzi se SPECT.

Infinia je kamera umožňující statické, dynamické, celotělové, hradlované aplikace, SPECT a hradlovaný SPECT a celotělový SPECT a SPECT/CT studie. Zobrazovací stanice Xeleris může tyto studie zpracovávat, je-li kompletně integrovaný systém s podporou Ignit, která poskytuje přenos údajů ke zpracovatelské stanici Xeleris. Stanice dovoluje provádět fúzi obrazů a zároveň prohlížet obrazy SPECT a CT, čímž poskytuje více informací než samotný SPECT a zvyšuje diagnostickou výtežnost.^[4]

Potřebujeme-li v nukleární medicíně zobrazit přesnou anatomickou lokalizaci použijeme SPECT/CT. Toho se využívá například při vyšetření kostí a kloubů, v onkologii, při zánětech a vyšetření srdce, atd..

Kamera Infinia-Hawkeye v Českých Budějovicích je opatřena 3/8“ detektorem s parametry:

95 kruhových fotonásobičů – 53 x 3“ (76 mm), 6 x 1,5“ (38 mm);

tloušťka krystalu 3/8“ (9,5 mm);

10bitový ACD převodník pro fotonásobiče se vzorkovacím kmitočtem 30,3 MHz;

NEMA UFOV: 21,25“ x 15,75“ (54x40 cm);

Energetický rozsah: 40 až 400 keV

Kvalita zobrazení u systému Infinia je dána dvěma velkými pravouhlými digitálními detektory Elite, které zajišťují korekci pěti parametrů v reálném čase:

- homogenita
- linearita
- energie
- rozpad izotopu
- střed rotace^[4]

Gantry

Vlastnosti systému Infinia s tomografickým prstencovým gantry dovolují výkonný a rychlý přenos dat z detektorů do akviziční stanice. Konstrukce prstencového gantry dovoluje trvalou rotaci ve směru hodinových ručiček, což umožňuje akvizici vícenásobných souborů dat z CT a nukleární medicíny pořízených na jednom vyšetřovacím stole bez nutnosti přemístění pacienta.^[4]

Vlastnosti gantry:

- Automatický pohyb detektorů v radiálním směru, proměnná poloha detektorů je od 0° do 360° dle počtu detektorů.
- Flexibilní konstrukce umožňuje různé možnosti snímání jak sedícího pacienta tak stojícího, ale i vyšetření pacienta na nosítkách.
- Stacionární gantry je připevněno k podlaze, což zvyšuje přesnost centra rotace.
- Kameru nastavíme pomocí dálkového ovladače, kde jsou předem nastaveny specifické akvizice pro jednotlivé druhy vyšetření a typy zkoušek.
- Displej na gantry nám zobrazuje aktuální stav pohyblivých částí gantry a vyšetřovacího stolu s pacientem.
- Automatické konturování těla v reálném čase na základě infračervených senzorů zvyšuje účinnost zobrazení a rozlišení při 90° a 180° SPECTu a celotělového snímání při dodržení minimální bezpečné vzdálenosti pacienta od detektoru.^[4]

Zpracování a prohlížení

Stanice pro sběr dat umožňuje připojení k místní i nemocniční síti. Data získaná hybridním systémem se přenášejí do pracovní a prohlížečské stanice Xeleris pomocí protokolu DICOM 3.0 standard pro zpracování, archivaci a hardcopy a především pro Ignit a řešení pomocí stisku jednoho tlačítka.

SPECT/CT zpracování a prohlížení – Xeleris disponuje systémem Volumetrix, který umožňuje prohlížení hybridních tomografických obrazů získaných nukleární a CT tomografií. Volumex je interaktivní zobrazení umožňující kompletní tomografickou 3D studii.^[4]

Vlastnosti systému Infinia-Hawkeye a Xeleris můžeme shrnout při klinickém postupu do několika kroků:

- výběr pacienta ze seznamu;
- uložení pacienta s využitím auto-home polohování;
- výběr akviziční studie;
- pouhým stiskem tlačítka zahájíme sběr dat skenování, přenos a zpracování výsledků na stanici Xeleris.^[4]

1.4. Fantom pro kontroly systému Infinia-Hawkeye



Obr. 3: Fantom pro denní zkoušku kvality na oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích

Fantom slouží k měření kvality obrazu rentgenu. Jedná se o plastovou nádobu ve tvaru válce o průměru 20 cm, která obsahuje vodu a sadu plastových testovacích obrazců (ROI). Ty mohou být čárové, děrové nebo tyčinkové.

Fantom se snímá ve třech vrstvách vzdálených 30 mm od sebe, aby byly vidět tři sekce modelu. **Funkce každé sekce:**

Sekce 1 - funkce - zarovnání řezu, prostorové rozlišení, rozsah CT a tloušťka řezu
Prostorové rozlišení se vyhodnocuje pomocí rozsahu vodních či plastových obrazců rozmístěných ve fantomu diagonálně.

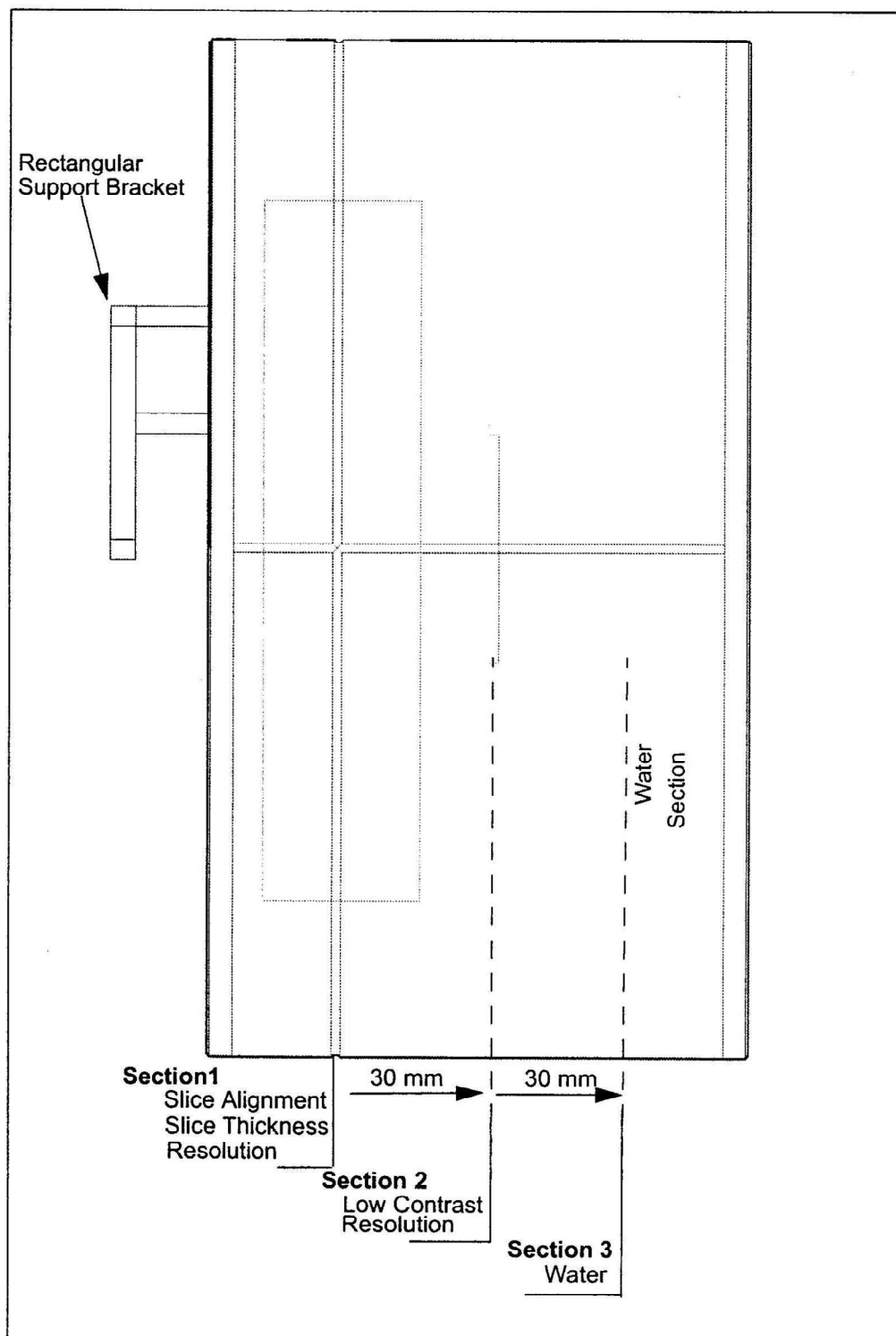
Sekce 2 - funkce – rozlišení v nízkém kontrastu

Přímé změření nízkokontrastního rozlišení můžeme provést pomocí sekce nízkého kontrastu fantomu. Sekce 2 obsahuje úzký plast, ten obsahuje několik otvorů o různém průměru, které jsou naplněny vodou.

Sekce 3 - funkce – voda pro šum a homogenitu, střední CT číslo, průměr 20 cm.^[3]

Fantom se při provádění testu umísťuje na vyšetřovací stůl bez podložky, do obdélníkového držáku. Fantom musí být ve stabilní poloze a nesmí být uložen šikmo ani se nesmí naklánět. Konce na okraji držáku musí být přichyceny k vyšetřovací desce stolu.

Obr. 4: Bočný pohled na QC fantom



2. Cíl práce a hypotéza

2.1. Cíl práce

Cílem mé práce je provedení a zaznamenání testů citlivosti a rozlišovací schopnosti CT části systému Infinia-Hawkeye, kontrola parametrů (citlivost a rozlišovací schopnost) s hodnotami doporučenými výrobcem a zjišťování krátkodobých změn těchto parametrů. Všechny tyto údaje uvádím v praktické části.

2.2. Hypotéza

Naměřené hodnoty při testování CT části Hawkeye se shodují s parametry udávanými výrobcem.

3. Metodika

Pro zpracování této bakalářské práce byly získány informace z odborné literatury, článků, technické dokumentace a dokumentů v elektronické podobě.

Shromážděním výsledků testů prováděných na CT části systému Infinia-Hawkeye každý třetí týden po dobu sedmi měsíců. Testování bylo prováděno na oddělení nukleární medicíny Nemocnice České Budějovice, pomocí válcového fantomu (dodaným výrobcem).

V praktické části byly provedeny zkoušky provozní stálosti CT části přístroje. Jednotlivé výsledky měření byly navzájem porovnávány i s parametry udávanými výrobcem. Byly ověřeny krátkodobé změny citlivosti a rozlišovací schopnosti CT části. Pro přehlednější porovnání dat byly vytvořeny tabulkové přehledy jednotlivých testů.

3.1. Parametry testu kontroly kvality (Quality control)

3.1.1. Homogenita (Uniformity)

Test homogenity je primární metodou vyhodnocení kvality CT obrazu. Jedná se o nejcitlivější test výkonu systému. Špatná kalibrace detektoru způsobí vznik kruhových artefaktů, které zvýší naměřený šum obrazu.^[3]

3.1.2. Nízký kontrast (Low Contrast)

Rozlišení s nízkým kontrastem se vyhodnocuje pomocí sekce 2. Obsahuje tenký plast v němž je několik otvorů o různém průměru. Otvory jsou naplněny vodou. Je důležitým ukazatelem zobrazovací schopnosti rozlišit od sebe struktury s nízkým kontrastem. Stanovuje, jaké nejmenší detaily jsou ještě rozlišitelné v obrazci.^[2,6]

3.1.3. Hustota (Density)

Při provedení tohoto testu se měří hustota různých materiálů, například vody, vzduchu a plexiskla. Můžeme jím potvrdit, že efektivní energie rentgenového skenování se nemění.^[3]

3.1.4. Vysoký kontrast (Hight Contrast)

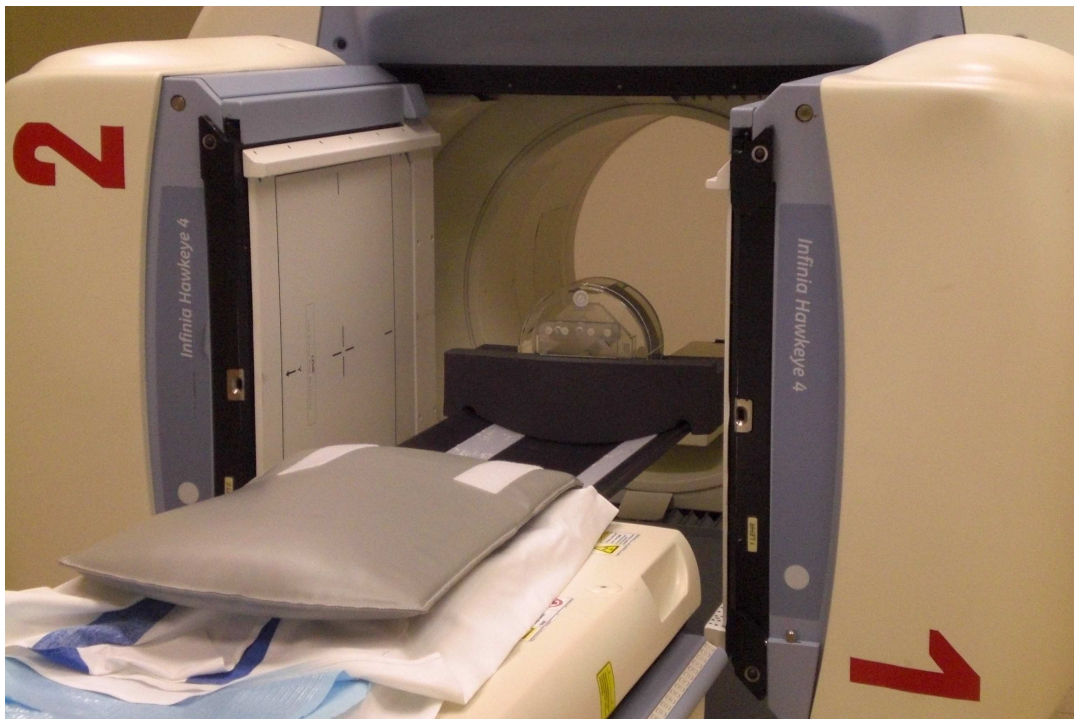
Rozlišení s vysokým kontrastem se vyhodnocuje pomocí sekce 1. Při tomto testu se skenuje sada pěti různých skupin obrazců a vzdálenosti mezi nimi se liší.^[3]

3.1.5. Tloušťka řezu (Slice Thickness)

Test tloušťky tomografického řezu slouží k ověřování shody mezi nastavenou a skutečnou tloušťkou řezu. Měření provádíme pomocí sekce 2 CT fantomu, který obsahuje obrazce k tomu určené.^[6]

3.2. Denní kontrola kvality (X-ray daily quality control)

Před zahájením provozu přístroje, provedeme denní kontrolu kvality. K tomuto testování musíme mít CT fantom a držák do kterého fantom umístíme.



Obr. 5: Umístění fantomu v držáku při provádění testu na oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích

Denní kontrola kvality se skládá ze čtyř kroků:

1. Zahřátí přístroje (X-ray warm up) – zahřátí rentgenky se uskuteční provedením několika řezů za pomoci nízkého napětí (140 kV). Doba zahřátí je asi 180 sekund.
2. Vytvoření tzv. vzduchové prostředí (Air table creation) – pořízení jednoho řezu vrstvy za použití nominálních hodnot záření.
3. Sběr dat (Scout acquisition) – důležité k definování okrajů fantomu pro analýzu QC. Snímání je asi 330 sekund.

4. Homogenita vody (Water uniformity) – používáno k ověření kvality zobrazení rentgenových paprsků vodního prostředí fantomu a homogenity.^[3]

3.3. Provedení vlastního testování

Provedením denní kontroly kvality máme připravený přístroj. Zvolíme v počítači příslušný program k provedení testování CT části systému (X-ray Image QC test) → otevřeme nabídku X-ray QC test v kategorii Image QC.

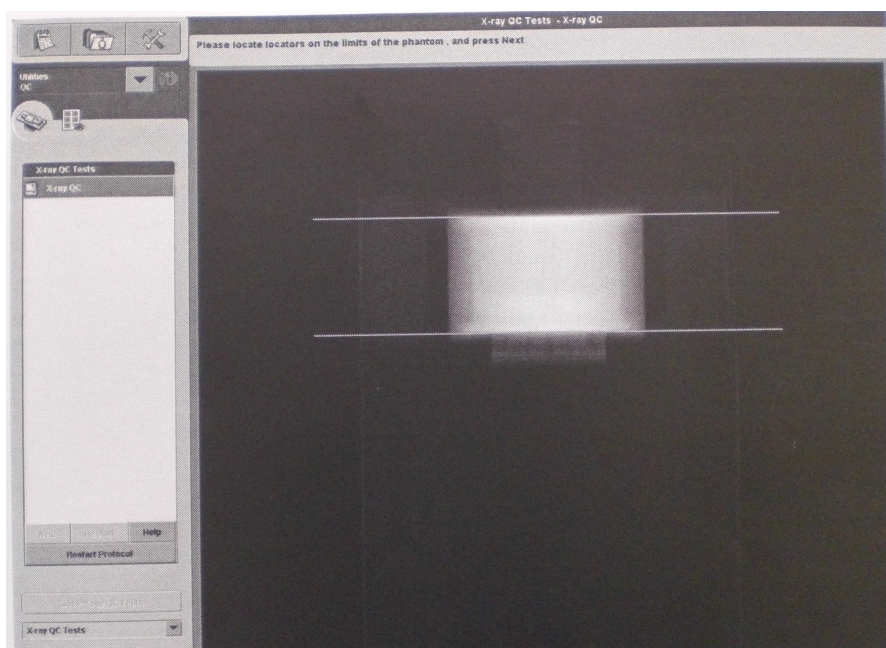
Tab.1: Parametry testu kvality rentgenu

	Parametr	Popis	Přednastavení
1	Test provozu	Zaškrtačovací pole kvality testu rentgenu První zaškrtnutý test proběhne jako první	Všechny testy jsou zaškrtnuty
	Načíst jako první		
2	Načíst jako první (Acquire First)	Použijeme, chceme-li pořídit nový sken pro test kvality	Přednastavené. Pracuje s umístěním fantomu na konci stolu.
3	Prohledá limity skenu (scout)		
4	Startovní pozice		6000 mm
5	Rozsah		5000 mm
	Použít studii		
6	Použít studii	Použít existující studii pro test kvality.	Ne
7	Zvolit studii		
8	Vybrat sérii		
9	Zvolit řez	Zvolíme vhodný řez pro každý test a poté stiskneme Apply	Řez 1 – test homogenity Řez 2 – test nízkého kontrastu Řez 3 – testy denzity, vysokokontrastního rozlišení, tloušťky řezu a zarovnání

K pořízení nového skenu pro test kvality si zvolíme možnost „Načíst jako první“ (Acquire First). Sken získáme následujícím postupem:

Tab.2: Postup k pořízení nového skenu

Akce	Zprávy/události
1. Zvolíme si startovní pozici a rozsah.	Čísla měníme pomocí šipek.
2. Klikneme na Apply .	Na obrazovce se objeví Scout viewer.
3. Přejdeme na pořizovací část a umístíme fantom do držáku. Zmáčkne SET . (Fantom připraven ve vyšetřovně ke skenování.)	Tabulka se posunuje na pozici Start. „Stiskneme Start“.
4. Začneme stisknutím GO/PAUSE .	Zobrazí se dialogové okno pro začátek potvrzení rentgenování.
5. Klikneme na OK a potvrdíme začátek rentgenování.	Scout scan doběhne. Po dokončení se obraz objeví na obrazovce se dvěma lokátory.
6. Umístíme lokátory přesně na vrchol a spodek fantomu. Klikneme na Next .	Znovu se zobrazí dialogové okno pro začátek potvrzení rentgenování.
7. Klikneme na OK a potvrdíme začátek rentgenu.	



Obr. 6: Scout scan se dvěma lokátory

3.3.1. Provedení X-ray QC testu

V dialogovém okně testu kvality (X-ray QC test) označíme testy, které chceme provádět (zaškrtneme všechny testy). První vybraný test je prvním testem, který proběhne po zahájení akce. Testy probíhají v postupném pořadí a automaticky pokračují k dalšímu vybranému testu. Po dokončení všech vybraných testů se objeví série zpráv – protokolů. Jednotlivé protokoly se objeví ve stejné sekvenci, ve které testy proběhly.

Tab.3: Přehled postupu k provedení kontroly kvality (X-ray QC testu)

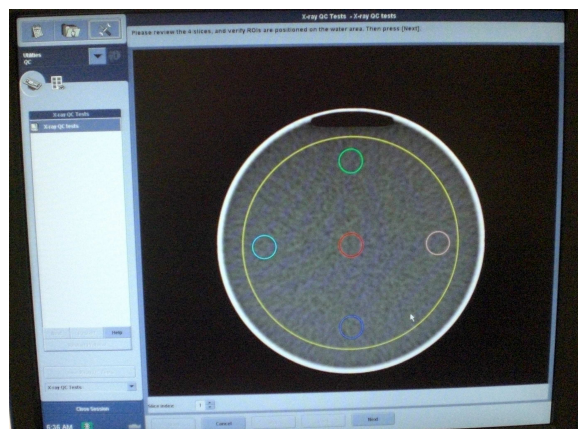
Akce	Zprávy/události
1. Zvolíme si požadované testy kvality rentgenu	
2. Zvolíme si možnost Načíst jako první (acquire first)	
3. Zvolíme si startovní pozici a rozsah.	Zvýšit či snížit hodnotu můžete šipkami.

4. Stiskneme Apply .	Vzhled se změní na Scout Viewer.
5. Přejdeme do vyšetřovny a umístíme fantom na držák. Stiskneme tlačítko SET .	Tabulka se posune do startovací pozice. Zobrazí se povel Start - stiskneme tlačítko Start na ovladači.
6. Začneme stisknutím tlačítka Start .	Zobrazí se ověřovací dialogové okno.
7. Odejeme z vyšetřovny (acquisition area) a zavřeme dveře. Stiskneme tlačítko Start na akviziční konzole a potvrdíme tím začátek skenování.	Skenování scoutu doběhne do konce. Poté se obraz zobrazí na obrazovce se dvěma lokátory.
8. Je-li to nutné, umístíme lokátor přesně na vrch a spodek modelu přetáhnutím jednoho z lokátorů na kraj modelu. Stiskneme tlačítko Next .	Zobrazí se dialogové okno na potvrzení začátku rentgenu.
9. Stiskneme tlačítko Start na akviziční konzoli a potvrdíme začátek rentgenu.	Pořídí se tři řezy testů. Poté začne první test Hawkeye, který byl vybrán jako první.
Test homogeneity	
	Když test začne, řez 1 fantomu se objeví se šesti kruhy ROI

10. Ověříme, že jsou ROI umístěny ve správných pozicích. Je-li to nutné, přetáhneme ROI myší.

Barva ROI	Umístění na modelu
Zelená	Horní část
Modrá	Spodní část
Modrozelená	Levá část
Růžová	Pravá část
Červená	Střed
Žlutá	Nad celou vodní částí uvnitř modelu.

Tab.3a : Umístění pozic ROI při testu homogenity



Obr. 7 : Pozice ROI při měření homogenity

11. Stiskneme **Next**.

Test nízkého kontrastu

Po zahájení testu se objeví řez 2 fantomu s počtem otvorů.

12. Zadáme počet viditelných otvorů na obraze v obdélníkové části dole na obrazovce.

13. Stiskneme **Next**.

Test denzity

Řez 3 modelu se zobrazí na obrazovce se třemi kruhy ROI v různých barvách .

14. Ověříme, že ROI jsou umístěny na správné pozici.

Barva ROI – umístění na fantomu
 Červená – plastická část
 Zelená – vodní část
 Žlutá – vzduchová část

15. Stiskneme **Next**.

Test vysokého kontrastu	
	Zobrazí se řez 3 modelu na obrazovce s počtem sad vroubků (testovacích obrazců).
<p>16. Zadáme počet (0-5) viditelných sad vroubků do obdélníkové kolonky ve spodní části monitoru.</p> <p>Viditelná sada vroubků znamená, že můžeme rozlišit jednotlivé pruhy v sadě (tzn. sada nevypadá jako tmavý obdélník).</p>	
17. Stiskněte Next .	
Test tloušťky řezu	
	Řez 3 fantomu se zobrazí na obrazovce se čtyřmi obdélníkovými ROI. Jsou rozmístěny tak, že dlouhá strana přesahuje tmavou oblast (úzký vodní řez).
18. Stiskneme Next .	Kontrola kvality rentgenu zobrazí zprávy - protokoly v pořadí, v jakém byly testy provedeny. Provede se vyhodnocení.

3.3.2. Protokoly jednotlivých testů

The screenshot shows a software interface for an X-ray uniformity test. It is divided into several sections:

- Input Parameters:** A table with columns 'Parameter Name' and 'Value'.

Current	2.5 mA
Slices	4
Voltage	140.0 kV
- Procedure Results:** A table with columns 'Parameter Name', 'Value', and 'Acceptance Criteria'.

Parameter Name	Value	Acceptance Criteria
Big ROI Std Dev 3	3.4	<=5.0
Central ROI (slice 1) Mean	994.6	>=990.0 and <=101...
Central ROI (slice 3) Uniformity	-0.6	>=-5.0 and <=5.0
Central ROI Std Dev 3	4.1	<=5.0
Left ROI (slice 1) Mean	995.8	>=990.0 and <=101...
Left ROI (slice 1) Uniformity	0.6	>=-5.0 and <=5.0
Left ROI Std Dev 2	3.2	<=5.0
Lower ROI (slice 1) Mean	996.0	>=990.0 and <=101...
Lower ROI (slice 4) Uniformity	1.1	>=-5.0 and <=5.0
Lower ROI Std Dev 1	3.5	<=5.0
Right ROI (slice 1) Mean	995.8	>=990.0 and <=101...
Right ROI (slice 3) Uniformity	1.0	>=-5.0 and <=5.0
Right ROI Std Dev 1	3.4	<=5.0
Upper ROI (slice 4) Mean	994.7	>=990.0 and <=101...
Upper ROI (slice 4) Uniformity	-1.1	>=-5.0 and <=5.0
Upper ROI Std Dev 4	3.4	<=5.0
- Visuals:** Four circular X-ray images labeled 'X-ray slice:4', 'X-ray slice:7', 'X-ray slice:10', and 'X-ray slice:13'. Each image shows a uniform circular field.
- Logs:** A list of events:
 - [06:28:01 AM] Create Task Started
 - [06:38:50 AM] Start Started
 - [06:38:52 AM] Start Ended
- Comments:** An empty text box.
- Buttons:** 'Print', 'Save As PDF', and 'Open In Browser'.

Obr. 8: Protokol X-ray uniformity test (homogenita) z 29.10. 2010

The screenshot shows a software interface for an X-ray low contrast test. It is divided into several sections:

- Input Parameters:** A table with columns 'Parameter Name' and 'Value'.

Current	2.5 mA
Slices	12
Voltage	140.0 kV
- Procedure Results:** A table with columns 'Parameter Name', 'Val...', and 'Acceptance Crit...'.

Number of visible holes	7	>=6.0 and <=8.0
Smallest visible hole size	3 ...	>=2.0 and <=4.0
- Visuals:** A single X-ray image labeled 'X-ray slice:12' showing a circular field with a rectangular low-contrast object in the center.
- Logs:** A list of events:
 - [06:09:06 AM] Create Task Started
 - [06:17:07 AM] Start Started
 - [06:17:07 AM] Start Ended
- Comments:** An empty text box.
- Buttons:** 'Print' and 'Open In Browser'.

Obr. 9: Protokol X-ray low contrast (nízký kontrast) z 29.10. 2010

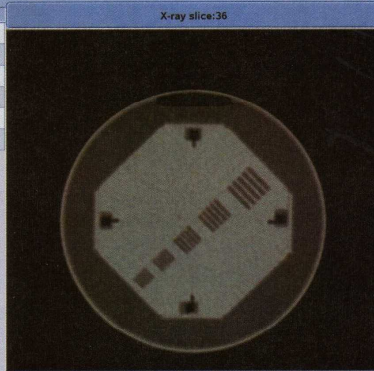
Input Parameters

Parameter Name	Value
Current	2.5 mA
Slices	36
Voltage	140.0 kV

Procedure Results

Parameter Name	Value	Acceptance Criteria
Mean Air (slice 4)	1.58	≤ 10.0
Mean Plastic (slice 4)	1,131.13	≥ 1115.0 and ≤ 1145.0
Mean Water (slice 1)	994.2	≥ 990.0 and ≤ 1010.0
Std Dev Air (slice 4)	2.47	≤ 5.0
Std Dev Plastic (slice 4)	3.95	≤ 5.0
Std Dev Water (slice 3)	3.4	≤ 5.0

X-ray slice:36



Logs

[06:09:06 AM] Create Task Started
 [06:17:16 AM] Start Started
 [06:17:16 AM] Start Ended

Comments

Print
 Save Modifications
 Open In Browser

Obr. 10: Protokol X-ray density test (hustota) z 29.10. 2010

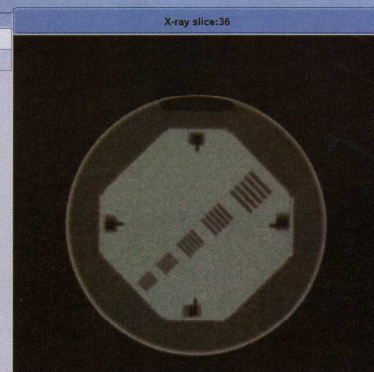
Input Parameters

Parameter Name	Value
Current	2.5 mA
Slices	36
Voltage	140.0 kV

Procedure Results

Parameter Name	Value	Acceptance Criteria
Line separation	3.5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	4	≥ 3.0 and ≤ 5.0

X-ray slice:36



Logs

[06:09:06 AM] Create Task Started
 [06:17:25 AM] Start Started
 [06:17:25 AM] Start Ended

Comments

Print
 Save Modifications
 Open In Browser

Obr. 11: Protokol X-ray high contrast test (vysoký kontrast) z 29.10. 2010

Input Parameters	
Parameter Name	Value
Current	2.5 mA
Slices	36
Voltage	140.0 kV

Procedure Results			X-ray slice:36
Parameter Name	Value	Acceptance Criteria	
Bottom phantom placement	Too Far Out		
Bottom Slice Thickness (slc 2)	5.0 mm	>=4.5 and <=5.5	
Left phantom placement	Too Far In		
Left Slice Thickness (slc 2)	5.0 mm	>=4.5 and <=5.5	
Right phantom placement	Too Far In		
Right Slice Thickness (slc 1)	5.0 mm	>=4.5 and <=5.5	
Top phantom placement	Too Far In		
Top Slice Thickness (slc 1)	5.0 mm	>=4.5 and <=5.5	

Logs	Comments
[06:09:06 AM] Create Task Started [06:17:43 AM] Start Started [06:17:44 AM] Start Ended [06:17:44 AM] For Direction 'Too far in' define the Roi on the scout image lower than defined in this test. For direction 'Too far out' define the Roi upper than this test	[Empty]

Obr. 12: Protokol X-ray slice thickness test (tloušťka řezu) z 29.10. 2010

4. Výsledky

Výsledky testů kvality CT části systému Infinia-Hawkeye jsem získala prováděním měření na oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích. Po dobu sedmi měsíců (říjen 2010 – duben 2011) jsem prováděla měření každý třetí týden.

Po dobu provádění testů se nevyskytly žádné komplikace, které by ovlivnily výsledky. Všechny hodnoty se pohybovaly v rozmezí limitů danými výrobcem systému.

Hodnoty naměřené ze dne 29.10. 2010.

Tab.4: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	995,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	3,3	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	994,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-1,1	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,7	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	995,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,5	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,3	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	996,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	1,5	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	3,1	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	995,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,7	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	994,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-1,1	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,4	$\leq 5,0$

Tab.5: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	1,58	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1131,13	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	994,2	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,47	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	3,95	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,4	$\leq 5,0$

Tab.6: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.7: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	7	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	3	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.8: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	4	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 19.11. 2010

Tab.9: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	994,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	2,9	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	993,9	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-2,1	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,5	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	994,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	2,8	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	995,2	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	1,2	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	2,7	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	996,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,9	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	1,5	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	993,8	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-1,1	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,1	$\leq 5,0$

Tab.10: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	2,24	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1129,11	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	998,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,57	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	4,0	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	2,9	$\leq 5,0$

Tab.11: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.12: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	6,8	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	3	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.13: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	4,1	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 10.12. 2010

Tab.14: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	997,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	4,1	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	993,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-0,9	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,8	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	997,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,9	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	996,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,3	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	994,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,4	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	2,8	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	992,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,9	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	2,9	$\leq 5,0$

Tab.15: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	2,32	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1133,10	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	993,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,89	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	4,12	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,9	$\leq 5,0$

Tab.16: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	4,7 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	4,7 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	4,7 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	4,7 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.17: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	7,1	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	3,3	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.18 : X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	3,9	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 31.12. 2010

Tab.19: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	996,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	994,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-1,0	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	2,7	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	993,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,2	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,3	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	996,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,2	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	2,9	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	994,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,6	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,4	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	995,2	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,0	$\leq 5,0$

Tab.20: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	1.63	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1132.15	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	996,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,45	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	3,21	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,1	$\leq 5,0$

Tab.21: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	4,8 mm	$\geq 4,5$ a ≤ 5.5
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	4,8 mm	$\geq 4,5$ a ≤ 5.5
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	4,8 mm	$\geq 4,5$ a ≤ 5.5
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	4,8 mm	$\geq 4,5$ a ≤ 5.5

Tab.22: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	6,8	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	2,9	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.23: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	4,3	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 21.1. 2011

Tab.24: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	995,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	4,0	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	994,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-0,7	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,6	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	995,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,6	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	995,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,4	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	2,9	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	994,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,4	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,5	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	994,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,9	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	2,9	$\leq 5,0$

Tab.25: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	2,65	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1132,34	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	993,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,57	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	3,78	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,7	$\leq 5,0$

Tab.26: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.27: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	7	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	3,1	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.28: X-ray high contrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	3,7	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 11.2.2011

Tab.29: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	993,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	3,0	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	997,8	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	2,7	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	995,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,7	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	995,8	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,7	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	3,1	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	994,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,5	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,5	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	994,8	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,3	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,4	$\leq 5,0$

Tab.30: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	2,24	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1136,14	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	996,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,67	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	3,45	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,3	$\leq 5,0$

Tab.31: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.32: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	6,8	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	3,2	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.33: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	4,2	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 4.3. 2011

Tab.34: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	995,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	3,6	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	994,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,3	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	992,4	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,7	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	994,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,3	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	994,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,1	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,5	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	994,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,7	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,1	$\leq 5,0$

Tab.35: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	1,48	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1133,12	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	996,2	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	3,0	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	4,11	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,2	$\leq 5,0$

Tab.36: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	4,9 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.37: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	6,8	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	2,7	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.38: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	3,9	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 25.3. 2011

Tab.39: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	994,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	3,4	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	995,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,5	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	992,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,9	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	993,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,3	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	3,3	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	995,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,2	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,7	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	994,5	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,1	$\leq 5,0$

Tab.40: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	2,45	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1115,43	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	997,6	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,21	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	3,67	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,1	$\leq 5,0$

Tab.41: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	4,6 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.42: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	7,1	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	3.0	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.43: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	4,2	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

Hodnoty naměřené ze dne 15.4. 2011

Tab.44: X-ray uniformity test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Big ROI Mean	993,2	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Big ROI Standart	3,5	$\leq 5,0$
Central ROI Mean	993,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Central ROI Uniformity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Central ROI Standart	3,6	$\leq 5,0$
Left ROI Mean	995,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Left ROI Uniformity	0,6	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Left ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Lower ROI Mean	996,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Lower ROI Uniformity	0,2	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Lower ROI Standart	3,2	$\leq 5,0$
Right ROI Mean	994,3	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Right ROI Uniformity	0,2	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Right ROI Standart	3,6	$\leq 5,0$
Upper ROI Mean	993,7	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Upper ROI Unifomity	-0,8	$\geq -5,0$ a $\leq 5,0$
Upper ROI Standart	3,3	$\leq 5,0$

Tab.45: X-ray density test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Mean Air	2,15	$\leq 10,0$
Mean Plastic	1129,25	$\geq 1115,0$ a $\leq 1145,0$
Mean Water	997,1	$\geq 990,0$ a $\leq 1010,0$
Standart Dev Air	2,23	$\leq 5,0$
Standart Dev Plastic	3,54	$\leq 5,0$
Standart Dev Water	3,3	$\leq 5,0$

Tab.46: X-ray Slice thigness test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Bottom phantom placement	Too Far Out	
Bottom Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Left phantom placement	Too Far In	
Left Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Right phantom placement	Too Far In	
Right Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$
Top phantom placement	Too Far In	
Top Slice Thickness	5,0 mm	$\geq 4,5$ a $\leq 5,5$

Tab.47: X-ray low kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Number of visible holes	6,8	$\geq 6,0$ a $\leq 8,0$
Smallest visible hole size	2,9	$\geq 2,0$ a $\leq 4,0$

Tab.48: X-ray hight kontrast test

Název parametru	Hodnota	Kriteria hodnot
Line separation	3,5 Line Pairs per CM	
Number of visible bar sets	3,8	$\geq 3,0$ a $\leq 5,0$

5. Diskuse

Ve své práci se zabývám problematikou zkoušek kontroly citlivosti a rozlišovací schopnosti CT části systému Infinia-Hawkeye. V souvislosti se stanoveným cílem byla formulována hypotéza „ Naměřené hodnoty při testování CT části Hawkeye se shodují s parametry udávanými výrobcem “.

Prováděné testování CT části systému Infinia-Hawkeye probíhalo na oddělení nukleární medicíny v Českých Budějovicích po dobu sedmi měsíců. V tomto období jsem prováděla kontrolu kvality CT části systému celkem devětkrát. Veškeré hodnoty testů a limity dané výrobcem jsou uvedeny v přehledných tabulkách, díky kterým jsem mohla porovnat jednotlivé výsledky s parametry danými výrobcem. Ani v jednom případě naměřené hodnoty nepřekročily dané limity. Pohybovaly se s minimální odchylkou, nevyskytly se žádné výrazné výkyvy výsledných hodnot.

V průběhu testování se nevyskytly žádné komplikace. Jestli-že by došlo k tomu, že výsledky překročí limity, museli bychom zajistit nápravná opatření, kterými by jsme zjistili důvod nedodržení limitů a co nejdříve odstranili závadu.

Myslím si, že kontroly přístrojů mají velký smysl. Můžeme jimi včas odhalovat menší defekty a předcházet tak větším poruchám popřípadě vyřazení přístroje z provozu. To svědčí o tom, že testy nejen kontroly kvality CT části hybridního systému jsou důležitou součástí provozu pracoviště.

Domnívám se tedy, že cíl práce i hypotéza byly splněny.

6. Závěr

Na oddělení nukleární medicíny jsem prováděla měření kontroly kvality CT části systému Infinia-Hawkeye. Výsledky jednotlivých částí testu provedených na vodním fantomu jsem zaznamenala do přehledných tabulek a srovnala s parametry danými výrobcem. Provedením a zaznamenáním výsledků zkoušek kontroly kvality CT části systému Infinia-Hawkeye se podařilo splnit cíle, které jsem si stanovila. Naměřené hodnoty odpovídají limitům daným výrobcem a nebyly nikdy překročeny. Výsledky testů se pohybovaly v daných mezích bez výrazných výkyvů naměřených hodnot.

Bakalářská práce může být využita jako přehled testů kontroly kvality CT části systému Infinia-Hawkeye a zároveň sloužit jako návod k provedení těchto kontrol všem pracovištím, které jsou vybaveny hybridním systémem Infinia-Hawkeye.

7. Klíčová slova

- Infinia Hawkeye
- Ionizující záření
- Kontrola kvality
- SPECT/CT
- Zabezpečení jakosti

8. Seznam použitých zkratek

Zkratka:	Význam:
CT	počítačová tomografie (computed tomography)
PET	pozitronová emisní tomografie (positron emission tomography)
QC	quality control
ROI	oblast zájmu (region of interest)
SPECT	jednofotonová emisní tomografie (single photon emission computed tomography)
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost

9. Seznam použitých zdrojů

- [1] Atomový zákon č. 18/1997 Sb., v platném znění, o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (on-line). Dostupné z :
<http://www.sujb.cz/docs/aztext_k_5_1_2010.doc>
- [2] FIALA, P. – PTÁČEK, J. – KORANDA, I. et al. Kontrola kvality scintilační kamery SPECT. Praktická radiologie 1, 2008, s.11. – 17. ISSN: 1211-5053
- [3] Infinia II system service manual GE Healthcare
- [4] Infinia Hawkey . Prospekt - cenzurní povolení 1.0M4, Copyright 2006
GE Healthcare. ISSN 5195413-100
- [5] 3.Lékařská fakulta Univerzity Karlovy (on-line). Dostupné z:
< <http://old.lf3.cuni.cz/nuklearnimedicina/scriptai.htm>>
- [6] SÚJB - Požadavky na kontrolní a zkušební procesy v oblasti radiační ochrany v radiologii, zobrazovací proces výpočetní tomografie-zkoušky provozní stálosti , únor 2011 (on-line). Dostupné z: <http://www.sujb.cz/docs/29-ZPS_tomografie.pdf>
- [7] SÚJB - Systém zabezpečení jakosti na pracovištích nukleární medicíny – přístrojová technika, únor 2011 (on-line). Dostupné z:
<http://www.sujb.cz/docs/15_pristrojova_technika.pdf >
- [8] SÚJB - Zpracování programu zabezpečování jakosti pro používání zdrojů ionizujícího záření v lékařských aplikacích, březen 2011 (on-line). Dostupné z:
<www.sujb.cz/docs/Nukl_med.pdf>

- [9] SÚJB - Způsob zavedení systému jakosti podle vyhlášky 132/2008 Sb., při užívání zdrojů ionizujícího záření v průmyslových a lékařských aplikacích, únor 2011 (on-line). Dostupné z: <http://www.sujb.cz/docs/39_132_jakost.pdf>
- [10] ULLMANN, V. Radioizotopová scintigrafie, březen 2011 (on-line). Dostupné z: <<http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>>
- [11] Univerzita Palackého, Scintilační kamera – planární a SPECT, březen 2011 (on-line). Dostupné z: <<http://upol.cz/index.php?id=4433>>
- [12] VÁLEK, V. a kol. Moderní diagnostické metody-výpočetní tomografie. 1. vyd., Brno, Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1998, 84str. ISBN: 80-7013-294-9
- [13] Vyhláška č. 132/2008 Sb., o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd, únor 2011 (on-line). Dostupné z: <http://www.sujb.cz/docs/V_132_08.pdf>
- [14] Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně (on-line). Dostupné z: <http://www.sujb.cz/docs/307_po_novele.pdf>