

Zkoušky provozní stálosti na pracovištích počítačové tomografie (CT), fantomy a pomůcky, které se při nich používají

Tomáš Kmoch

Prodejní poradce - biomedicínské přístroje, přístroje a pomůcky pro zajištění jakosti diagnostické zobrazovací techniky, Blue Panther Instruments, Praha 4

Souhrn: Cílem tohoto článku je shrnout zkoušky provozní stálosti na pracovištích počítačové tomografie a představit kompletní CT fantom, který je pro tyto zkoušky dle SÚJB vhodný.

Úvod

Při jakémkoli vyšetření, při kterém se využívá ionizujícího záření (záření, jehož kvanta mají energii postačující k ionizaci atomů nebo molekul ozářené látky), tedy i u vyšetření pomocí počítačové tomografie, je cílem získání co nejkvalitnější diagnostické informace při co možná nejnižším ozáření pacienta (diagnostické referenční úrovně pro vyšetření výpočetní tomografií jsou uvedeny v tabulce 1). U všech medicínských zobrazovacích metod, u kterých se využívá ionizujícího záření, je potřeba průběžně kontrolovat kvalitu zobrazení, a to pravidelnými zkouškami, které se nazývají zkoušky provozní stálosti. Tyto zkoušky umožňují včasné zjištění změn kvality zobrazení. Zkoušky provozní stálosti jsou nedílnou součástí tzv. Programu zabezpečení jakosti na pracovištích, které využívají ionizující záření. Tento program zabezpečuje dosažení a následné udržení vynikající jakosti diagnostických informací při co nejnižší dávce pacientovi i obsluhujícímu lékaři či radiologickému asistentovi. Kompletní metody a testy při zkouškách provozní stálosti na CT pracovištích jsou uvedeny v publikaci Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (viz seznam použité literatury). Tyto údaje vycházejí z českých technických norem (ČSN EN 61223-2-6 a ČSN EN 60601-2-44). Publikace také vychází z praktických zkušeností, které byly získány v dalších zemích EU a USA. Nicméně při zpracování Programu zabezpečení jakosti na pracovištích, která využívají ionizující záření u vás, je nutné se přednostně řídit doporučením výrobce vašeho CT a publikace SÚJB slouží pouze jako metodická pomůcka pro měření a případy, které nejsou uvedeny v dokumentaci výrobce CT. Pro tyto zkoušky musí být fyzik, případně radiologický asistent dostatečně vybaven vhodnými fantomy a pomůckami, případně RTG dozimetrem při posuzování dlouhodobé stability a při přejímací zkoušce.

Kdo si může koupit CT a provozovat vyšetření?

Přístroje pro počítačovou tomografii jsou významnými zdroji ionizujícího záření. Podle Atomového zákona lze tyto přístroje používat pouze s povolením Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (dále jen SÚJB). Toto povolení může získat fyzická či právnická osoba, která splní podmínky Atomového zákona (např. Doklad o ustanovení dohlížející osoby). Pokud se jedná o větší nemocnici, tak je ekonomicky výhodné provádět Zkoušky provozní stálosti a Zkoušky dlouhodobé stability prostřednictvím zřízeného oddělení radiologické fyziky. CT vyšetření pacientů lze provádět pouze na těch pracovištích, kde byla prokázána dostatečně vysoká úroveň radiační ochrany. Pokud je nutná přítomnost personálu ve vyšetřovně, tak musejí být známy hodnoty rozptýleného záření na pracovních místech a na základě těchto znalostí je třeba vybavit tento personál odpovídajícími ochrannými pomůckami.

Přejímací zkoušky

Při této zkoušce se provádí:

- ověření funkcionality a kvality mechanických systémů zařízení (řídící, bezpečnostní, ovládací, signalizační prvky, atd.)
- ověření provozních parametrů systému (zda jsou v souladu s tolerancemi, které jsou uvedené v technické dokumentaci od výrobce, případně v českých technických normách)
- stanovení dozimetrických veličin

Při této zkoušce je potřeba navrhnout rozsah a četnost jednotlivých měření a ověřování parametrů CT systému, a to při zkouškách provozní stálosti a dlouhodobé stability. Přejímací zkoušky může vykonávat pouze osoba s povolením SÚJB. Aby se mohlo CT zařízení začít používat, je nutné splnit podmínky, které jsou ověřovány při přejímací zkoušce.

Vyšetřovaná oblast

Hlava	60
Bederní páteř	35
Břicho	35

Tabulka 1. Diagnostické referenční úrovně pro vyšetření výpočetní tomografií

Vážený kermový index výpočetní tomografie C_w na jedno tomografické vyšetření (mGy)

Zkoušky dlouhodobé stability

Při těchto zkouškách se opakovaně prověřuje stabilita parametrů CT systému, a to v souladu s českými technickými normami a průvodní dokumentací CT systému. Tyto zkoušky jsou upřesněny při přijímací zkoušce.

Tyto zkoušky se provádějí dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., § 71:

- při podezření na špatnou funkci zařízení, která by mohla ovlivnit kvalitu zobrazení či radiační zátěž pacienta nebo obsluhu
- po opravě, která by mohla mít vliv na vlastnosti parametrů
- po zkoušce provozní stálosti, která ukáže, že parametry CT systému vybočují ze stanovených tolerancí
- jedenkrát ročně

Zkoušky dlouhodobé stability může vykonávat pouze osoba s povolením SÚJB. Výsledky se zapíší do protokolu, jehož kopie se musí zaslat SÚJB.

Zkoušky provozní stálosti

Tyto zkoušky se provádějí dle vyhlášky č. 307/2002 Sb., § 72, a zahrnují ověření provozních parametrů nejen CT přístrojů, ale i dalších částí zobrazovacího a dokumentačního systému, které mohou ovlivnit kvalitu obrazu. Tyto zkoušky zajišťuje držitel povolení a provádí je pracovníci s odpovídajícími znalostmi a zkušenostmi. Tato zkouška má za účel sledovat stálost funkčních vlastností přístroje, a to metodami, které jsou jednoduché, rychlé a snadno proveditelné. Tato zkouška se provádí v pravidelných intervalech a vždy po údržbě. Také se provádí vždy při podezření na zhoršenou funkcionalitu systému. Doporučené parametry a jejich tolerance jsou stanoveny SÚJB a jsou uvedeny v tabulce 2. Pokud výsledky zkoušky nevyhovují, musí se zjistit příčina a provést oprava. Rozsah této zkoušky je stanoven v protokolu o přijímací zkoušce či v protokolu o zkoušce dlouhodobé stability. Rozsah těchto zkoušek musí být stanoven v souladu s českou technickou normou a průvodní dokumentací od výrobce systému.

První zkouškou provozní stálosti je tzv. Referenční zkouška, při které se získají referenční hodnoty pro všechny následné zkoušky provozní stálosti. Tato referenční zkouška se provádí po přijímací zkoušce a po každé zkoušce dlouhodobé stability a po každé opravě, která může ovlivnit vlastnosti systému. Referenční hodnoty jsou střední hodnoty jednotlivých testů. Při následných zkouškách se musí dodržet stejné nastavení systému jako při referenční zkoušce a výsledky těchto následných zkoušek jsou vždy porovnávány s referenčními hodnotami.

Vizuální a funkční zkoušky, autokalibrace systému

Při této zkoušce každodenně obsluha CT systému vizuálně zkontroluje uvedení zařízení do provozu a ověří správnou funkci nejdůležitějších prvků ovládání.

Po zapnutí systému proběhne zpravidla automatické otestování jeho podsystémů, které je zakončeno autokalibrací. Po ukončení tohoto procesu bez chybového hlášení je CT systém připraven k použití.

Posouzení výskytu artefaktů

Ověření rekonstrukčního a detekčního systému. Na skenu se vizuálně posoudí přítomnost artefaktů a homogenita pole.

Šum, homogenita a střední CT číslo

Šum, střední hodnota CT čísel materiálů s různou absorbcí rentgenového záření a homogenita zobrazení jsou základními parametry, kterými lze hodnotit reprodukční schopnost CT systému a zobrazovat různé materiály na stupnici šedi.

Tyto parametry jsou hodnoceny stanovením průměru a standardní odchylky CT čísla v definovaných oblastech zájmu (ROI) v obraze homogenního testovacího zařízení (vodní fantom).

Potřebná pomůcka: QA CT fantom

Provedení testu: QA fantom se umístí na podpěru pacienta a pomocí zaměřovacího zařízení se tento fantom vycentruje v gantry, a to tak, aby se oblast fantomu, která je určena k měření šumu, homogenity a středního CT čísla (homogenní vodní prostředí), nacházela v rovině řezu. Následně se provede sken. V příslušné oblasti se pomocí nástroje pro měření denzity (zpravidla ROI) provede měření hodnot šumu, středních CT čísel a homogenity.

Rozlišení při nízkém kontrastu

Jedná se o ukazatel zobrazovací schopnosti CT systému, a to jeho schopnosti vzájemně rozlišit struktury s nízkým kontrastem. Toto je důležité při rozlišování měkkých tkání.

Potřebná pomůcka: QA fantom s objekty pro měření rozlišení při nízkém kontrastu

Provedení testu: QA fantom se umístí na podpěru pacienta a pomocí zaměřovacího zařízení se tento fantom vycentruje v gantry, a to tak, aby se oblast fantomu, která je určena k měření rozlišení při nízkém kontrastu, nacházela v rovině řezu. Následně se provede sken. Na obrazovém displeji se nastaví okno zobrazení, a to tak, aby byl kontrast mezi hodnocenými objekty a pozadím dostatečný.

CT obrazy se na monitoru zobrazí tak, aby byl kontrast mezi obrazci a pozadím dostatečný a určí se, jaké nejmenší detaily jsou ještě rozlišitelné v šumu.

Prostorová rozlišovací schopnost

Jedná se o schopnost rozlišit rozdílné objekty v zobrazeném obraze, je-li rozdíl v zeslabení objektů a ve srovnání se šumem dostatečně veliký.

Potřebná pomůcka: QA fantom s objekty pro posouzení prostorové rozlišovací schopnosti

Provedení testu: QA fantom se umístí na podpěru pacienta a pomocí zaměřovacího zařízení se tento fantom vycentruje v gantry, a to tak, aby se oblast fantomu, která je určena k měření prostorové rozlišovací schopnosti, nacházela v rovině řezu. Následně se prove-

Parametr	Doporučená četnost testu
Vlastní CT zařízení	
Vizuální a funkční zkoušky, autokalibrace systému	Denně
Posouzení výskytu artefaktů	Denně
Šum, homogenita a střední CT číslo	Týdně
Rozlišení při nízkém kontrastu	Čtvrtletně
Prostorová rozlišovací schopnost	Čtvrtletně
Kontrola funkčnosti bezpečnostních tlačítek „Emergency Stop“	Čtvrtletně
Tloušťka tomografické vrstvy (řezu)	Čtvrtletně
Nastavení podpěry pacienta	Čtvrtletně
Přesnost měření vzdáleností	Čtvrtletně
Přesnost anatomického zaměřovacího systému	Čtvrtletně
Přesnost intervalu mezi axiálními skeny (GAP)	Čtvrtletně
Displeje	
Vizuální kontrola obrazových displejů	Denně
Neměnnost pozorovacích podmínek	Čtvrtletně
Reprodukce stupnice šedi	Vizuálně denně, měření jasu čtvrtletně
Prostorová rozlišovací schopnost a mezí rozlišitelný kontrast	Čtvrtletně
Linearita přenosu pozičních souřadnic	Vizuálně denně, měření čtvrtletně
Stabilita a artefakty obrazu	Vizuálně denně
Hlediska barevnosti	Čtvrtletně
Kamery pro trvalý záznam	
Reprodukce stupnice šedi	Týdně
Prostorová rozlišovací schopnost a mezí rozlišitelný kontrast	Týdně
Linearita přenosu pozičních souřadnic	Týdně
Struktura kresby	Týdně
Klinický referenční snímek	Týdně

Tabulka 2. Přehled parametrů ověřovaných při zkoušce provozní stálosti

de sken. Stanovení rozlišovací schopnosti spočívá ve stanovení velikosti prvků nejmenšího v obraze ještě rozlišitelného periodického obrazce. Rozlišitelné jsou ty proužky, které se zobrazí oddělenými obrazy nebo sníženou denzitou mezi nimi. Žádné dva proužky se nesmějí slévat v jeden obraz. Posouzení je subjektivní, protože je učiněno pozorovatelem.

Tloušťka tomografické vrstvy (řezu)

Pro posouzení shody mezi nastavenou a skutečnou tloušťkou tomografické vrstvy je potřeba vhodného CT fantomu, který obsahuje struktury vhodné pro tato měření. Měření se provádí dle doporučení výrobce tohoto fantomu.

Potřebná pomůcka: QA fantom s objekty pro stanovení tloušťky tomografické vrstvy

Provedení testu: QA fantom se umístí na podpěru pacienta

a pomocí zaměřovacího zařízení se tento fantom vycentruje v gantry, a to tak, aby se oblast fantomu, která je určena k měření tloušťky tomografické vrstvy, nacházela v rovině řezu. Následně se provede sken. Hodnocení se provede dle doporučení výrobce fantomu.

Přesnost měření vzdáleností

Ověřuje souhlas mezi skutečnou vzdáleností dvou bodů snímaného objektu a vzdáleností indikovanou v softwaru.

Potřebná pomůcka: QA hlavový fantom

Provedení testu: Pravitkem se změří skutečná vzdálenost mezi dvěma otvory fantomu a poté se fantom umístí na podpěru pacienta a pomocí zaměřovacího zařízení se tento fantom vycentruje. Následně se provede sken. Na monitoru se pomocí nástroje pro měření vzdálenosti změří stejná vzdálenost mezi otvory a hodnoty se porovnají.

QA fantomy vhodné pro zkoušky provozní stálosti konvenčních CT systémů

Finančně nejvýhodnější je pořídit si jeden CT fantom, pomocí kterého by šla provést všechna výše zmíněná měření pro zkoušky provozní stálosti CT zařízení. Na našem trhu je například AAPM CT fantom od americké firmy CIRS model 610 (Obr. 1).



Obr. 1. Fantom pro komplexní ověření CT zařízení při zkouškách provozní stálosti.

Jedná se o modulární CT fantom, který uživateli nabízí jediný systém, se kterým lze měřit jedenáct charakteristických parametrů CT systémů:

- šíře svazku
- zarovnání
- prostorová rozlišovací schopnost
- linearita CT čísel
- šum, střední CT číslo a homogenita
- dávka (index dávky)
- rozlišení při nízkém kontrastu
- nezávislost na rozměrech
- tloušťka tomografické vrstvy (řezu)
- škála kontrastů

Všechny součásti fantomu jsou uloženy v kompaktní průhledné nádržce (může být naplněna vodou), která zajišťuje správnou vzájemnou orientaci jednotlivých komponent systému.

CT číslo a homogenita

Část fantomu pro ověření těchto vlastností CT systému je složena z pěti insertů o průměru 1", které jsou vyrobeny z materiálů uvedených v tabulce 3.



Obrázek 2. Jednotlivé části CT fantomu

Část fantomu k posouzení rozlišení při nízkém kontrastu

Část fantomu pro ohodnocení šumu, středního CT čísla a homogenity

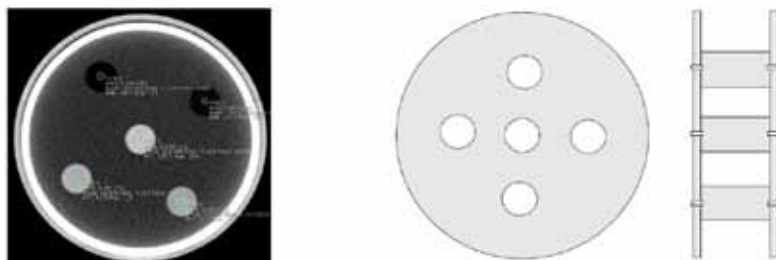
Část fantomu pro ověření prostorové rozlišovací schopnosti

Část fantomu pro stanovení tloušťky tomografické vrstvy

Základní nádržka

Materiál	Denzita
Akryl	1,19
Polystyren	1,05
Polykarbonát	1,2
Polyethylen	0,95
Nylon	1,1

Tabulka 3. Materiály insertů v části fantomu pro ověření CT čísla, homogenity a šumu



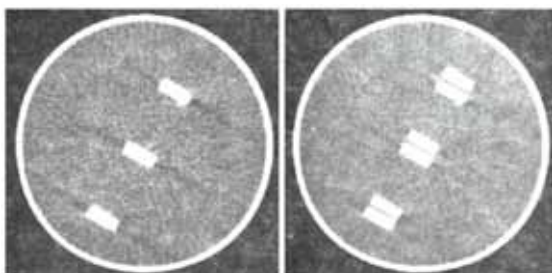
Obr. 3. Schéma a expozice části fantomu pro ověření CT čísla, homogenity a šumu

Materiál	+/- 1000 číselná osa	+/- 500 číselná osa
Polyetylen	-92	-46
Polystyren	-24	-12
Voda	0	0
Nylon	92	46
Polykarbonát	102	51
Akryl	120	60

Tabulka 4. Typická CT čísla jednotlivých materiálů

Tloušťka tomografické vrstvy

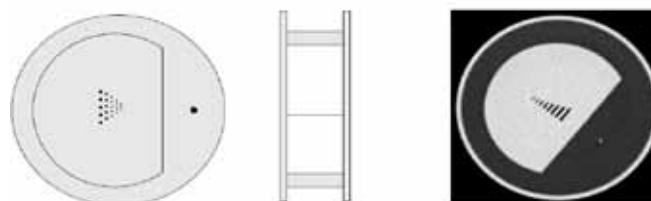
Při tomto hodnocení je měřena šířka zobrazení hliníkových pásků uložených šikmo k tomografické vrstvě.



Obr. 4. Schéma a expozice části fantomu pro měření tomografické vrstvy

Prostorová rozlišovací schopnost

Tato část fantomu je složena z insertů s vysokým rozlišením, které umožňují měření rozlišení systému na velkých i malých kruzích. Snadno lze určit, jak malé kruhy jsou ještě rozlišitelné.



Obr. 5. Schéma a expozice části fantomu pro měření prostorové rozlišovací schopnosti

Rozlišení při nízkém kontrastu

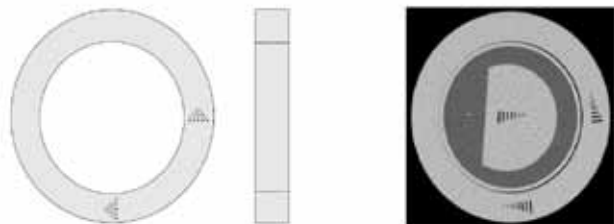
Tato část fantomu je až na jeho konci a umožňuje uživateli CT ohodnotit schopnost skeneru indikovat objekty s malým rozdílem denzity. Jedná se o dutinky, které se naplní roztoky připravené z dextrózy nebo NaCl a H₂O. Koncentrace těchto roztoků by se měla lišit o 1, 2 nebo 3 % od denzity pryskyřice. Zjištění rozlišení o nízkém kontrastu se jednoduše provede pomocí roztoků, jejichž denzity se liší o známé procento.



Obr. 6. Schéma a expozice části fantomu pro měření rozlišení při nízkém kontrastu

Rozlišení a šum celotělového skeneru

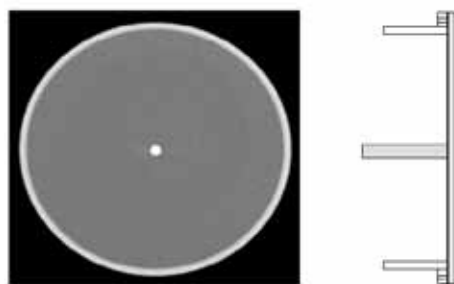
Tento prstenec se navlékne na základní nádržku fantomu. Prstencem lze překrýt jakoukoliv část fantomu a může být změřen jakýkoliv parametr.



Obr. 7. Schéma a expozice části fantomu pro měření rozlišení celotělového skeneru a šumu

Středění svazku a šum

Měření vystředění paprsku se provádí skenováním hliníkového insertu, který je osově nasazen uvnitř krycí desky fantomu. Tento insert je ve skutečném středu fantomu a jeho házivost je méně než 0,015“ v celé jeho délce.



Obr.8. Schéma a expozice části fantomu pro ověření vystředění svazku a šumu

Závěr

Všechna doporučení a návody, jak jednotlivé testy provozní stálosti provádět, jsou uvedena v publikacích Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Ke každému novému fantomu je dodáván návod s pokyny, jak ho pro jednotlivá měření používat. Pokud si nejste jisti, jaký fantom by byl pro vaše pracoviště nejlepší, požádejte o radu odborníka a nechte si některý z velkého množství fantomů, které jsou dnes na trhu, doporučit.

Literatura:

Požadavky na kontrolní a zkušební procesy v oblasti radiační ochrany v radiologii - zobrazovací proces výpočetní tomografie - zkoušky provozní stálosti, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Praha 2004.