

ČASOVNA ANALIZA KAKOVOSTI DIGITALNIH RENTGENSKIH SLIK

QUALITY ANALYSIS OF TIME-DERIVED DIGITAL X-RAY IMAGES

Jani Izlakar¹, Urban Zdešar², Janez Žibert³

¹Onkološki inštitut Ljubljana, Oddelek za radiologijo, Zaloška 2, 1000 Ljubljana

²Zavod za varstvo pri delu, Center za fizikalne meritve, Chengdujska cesta 25, 1260 Ljubljana-Polje

³Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Oddelek za radiološko tehnologijo, Zdravstvena pot 5, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: Jani Izlakar, mag. inž. rad. tehnol., E-mail: jizlakar@onko-i.si

Prejeto/Received: 2.2.2015

Sprejeto/Accepted: 7.4.2015

IZVLEČEK

Uvod: Za optimalno diagnostično in klinično uporabno rentgensko sliko je pomembno, da sta diagnostični rentgenski aparat in pripadajoča oprema v brezhibnem stanju. Slednje zagotavljamo s posebnimi postopki in testi, ki jim pravimo kontrola kakovosti.

Namen: Preučitev spreminjanja kakovosti rentgenogramov digitalnega diagnostičnega rentgenskega aparata Philips DigitalDiagnost v času.

Metode dela: Osem mesecev smo izvajali meritve kakovosti digitalnih rentgenogramov po točno določenem protokolu, tri dni v tednu. S pomočjo programskih orodij smo testne slike analizirali, jih vizualno in kvalitativno ocenili, rezultate pa grafično predstavili. Izvedli smo tudi statistične analize nekaterih objektivnih mer kakovosti digitalnih slik, ki smo jih izračunali na obravnavanih slikah.

Rezultati in razprava: Rezultati vizualne analize kažejo, da so artefakti na slikah pogojeni s kalibracijo oz. s pravilnim in pravočasnim izvajanjem le-te. Pri rezultatih kvalitativne analize je bistvena ugotovitev ta, da je slikovni sprejemnik v preiskovalni mizi slabše stabilen oz. mere kakovosti slik na njem bolj variirajo kot na tistem v stenskem stavu. Razmerje med signalom in šumom in entropija kot samostojni meri podata zadovoljivo oceno kakovosti slike, vendar ne zajemata vseh treh parametrov kakovosti slike. Celovito oceno kakovosti slike poda le mera kvantni izkoristek detekcije, katere pa zaradi posebnega testnega orodja, ki nam ni bil na razpolago, ni bilo možno izračunati. Močnostni spekter šuma kot samostojna mera kakovosti slike ni pokazala zanesljivih razlik tako med slikovnikoma sprejemnikoma kot prisotnostjo vzorca na slikah.

Sklep: S tem raziskovalnim delom smo dokazali, da je na rentgenskem aparatu Philips DigitalDiagnost potrebno na novo uvesti redno periodično kontrolo kakovosti slikovnih sprejemnikov in izvajati redno mesečno kalibracijo po že dogovorjenem načrtu.

Ključne besede: zagotavljanje kakovosti, kakovost slik, SNR, NPS, entropija.

ABSTRACT

Introduction: An impeccable condition of the diagnostic x-ray device and associated equipment is important for the optimal diagnostic and clinically useful radiograph (X-ray image). This is ensured by special procedures and tests called quality control.

Purpose: To study changes in quality of X-ray images of the digital diagnostic x-ray device Philips DigitalDiagnost over time.

Methods: Quality measurements of digital X-ray images were carried out three days a week for eight months, according to a specific protocol. Software was used to analyse the test images by visual and qualitative evaluation and the results were graphically presented. We also performed a statistical analysis of certain objective measures of digital image quality that were calculated on the relevant images.

Results and discussion: The results of visual analysis show that the artefacts on images depend on calibration or on its correct and timely implementation. The key finding of the results of qualitative analysis is that the table receiver is less stable or that the results of measurements on the table receiver vary more than on the wall receiver. Signal to noise ratio (SNR) and entropy as independent measures provide satisfactory assessments of image quality, but they do not include all three parameters of image quality. A comprehensive assessment of image quality is provided only by the detective quantum efficiency (DQE measure) which could not be calculated due to the lack of a specific test tool. Noise power spectrum (NPS) as an independent measure of image quality showed no reliable differences between both, the image receptors and the presence of the sample in the images.

Conclusion: In this study we showed that a new periodic quality control of image receivers should be introduced for the x-ray device Philips DigitalDiagnost, as well as a regular monthly calibration according to the agreed plan.

Keywords: Quality Assurance, image quality, SNR, NPS, entropy.

UVOD

Kontrola kakovosti (QC) je pomemben del programa zagotavljanje kakovosti (QA), s katerim se izogibamo nepotrebnim visokim dozam in nam pomaga dosežati boljše kakovost slike (Lyra et al., 2010).

Kriterije sprejemljivosti radiološke opreme urejajo posebna merila sprejemljivosti, ki so predpisana za vsako vrsto rentgenskega aparata in njemu pripadajočo opremo. Ti kriteriji opisujejo dopustna odstopanja pri testiranju opreme. Splošno uporabo virov ionizirajočega sevanja v zdravstvu pa ureja smernica Council Directive 2013/59/Euratom (EC, 2014), ki vključuje tudi pravne zahteve za zagotavljanje kakovosti. Merila sprejemljivosti posamezne vrste radiološke opreme so del programa zagotavljanja in preverjanja kakovosti, ki ga izvajata inženir radiologije in medicinski fizik (Medič in sod., 2013; Zdešar, 2011).

Na Oddelku za radiologijo Onkološkega inštituta Ljubljana uporabljamo večnamenski digitalni diagnostični rentgenski aparat Philips DigitalDiagnost z dvema ploskima (FP – Flat Panel) slikovnicima sprejemnikoma, s katerim se pretežno izvaja slikanje pljuč in skeleta, mogoče pa je tudi tomografirati. Mesečno se izvede kalibracija obeh slikovnih sprejemnikov, v preiskovalni mizi in stenskem stavivu. Uporaba okvarjenih komponent aparata lahko vodi v slabšo kakovost rentgenogramov in povečano nevarnost za višjo dozno izpostavljenost tako za preiskovanca kot operaterja aparata (PHILIPS, 2005).

Da bi lahko ocenili kakovost digitalnih slikovnih sprejemnikov, moramo nujno poznati tako parametre kakovosti digitalnih slik kot odziv oz. izkoristek slikovnega sprejemnika na prejeta količino fotonov (Dobbins, 2000). Pomembna je tudi izbira prave metode merjenja, saj v nasprotnem primeru lahko pridemo do napačnih zaključkov (Oakley, 2003; Ayala et al., 2009).

Šum je eden od treh parametrov (šum, kontrastna in prostorska ločljivost) kakovosti slike. Prisotnost šuma lahko merimo relativno glede na osnovni signal z mero razmerja signal-šum (SNR – Signal Noise Ratio), ki ga računamo kot kvocient med velikostjo signala slike in jakostjo signala šuma (Žibert, 2012).

Entropija je mera nedoločenosti oz. neurejenosti sistema. Bolj, ko se sistem obnaša pričakovano (ali določeno), manjša je entropija in obratno (Žibert, 2013). Entropijo lahko uporabimo tudi za merjenje šuma na sliki, saj je šum naključni pojav. Več ko je šuma na sliki, bolj naključen je signal na sliki, posledično je entropija slike večja.

Prisotnost šuma lahko merimo tudi v frekvenčni domeni z mero močnostni spekter šuma (NPS – Noise Power Spectrum), ki izračuna ta spekter v frekvenčnem prostoru slike. Tsai et al. (2008) definirajo NPS kot opis frekvenčne vsebine šuma slikovnega sistema. NPS se pogosto uporablja za opisovanje lastnosti šuma slikovnega sistema. Opisuje amplitudno varianco ob dani frekvenci (Dobbins, 2001; Žibert, 2013) in morebitne vzorce šuma na homogeni sliki (Flynn in Samei,

1999; Dobbins, 2000). Obstaja veliko različnih metod in tehnik ocenjevanja ter interpretiranja rezultatov NPS.

NAMEN

Namen raziskave je bil preučiti spreminjanje kakovosti rentgenogramov, narejenih na digitalnem diagnostičnem rentgenskem aparatu Philips DigitalDiagnost, v času.

Dobljeni rezultati tako lahko predstavljajo izhodišča za načrtovanje, uskladitev in izvedbo postopkov, namenjenih vzdrževanju, izboljšanju in rednemu preverjanju kakovosti tako rentgenskega aparata kot rentgenogramov na Oddelku za radiologijo Onkološkega inštituta v Ljubljani.

METODE DELA

Zbiranje podatkov je potekalo od začetka septembra 2012 do konca aprila 2013. Pridobili smo jih tako, da smo trikrat na teden izvedli QC test pod vedno enakimi pogoji. Pridobljene testne slike smo nato vizualno in kvalitativno analizirali, rezultate pa grafično predstavili. O vseh opravljenih testih in posebnostih smo pisali tudi dnevnik oz. vodili evidenco opravljenih meritev.

Test smo izvajali periodično, tri dni v tednu (ponedeljek, sreda in petek), z nekaj izjemami (prazniki, dopusti). Izvajali smo ga pred, med ali po rednem delu na aparatu Philips DigitalDiagnost – DiDi (slika 1).



Slika 1: Večnamenski rentgenski aparat Philips DigitalDiagnost

Pri izvajanju testa smo ravnali enako, kot če bi slikali pacienta. Vse se je začelo z vpisom pacientovih podatkov v radiološki informacijski sistem InterRis™. Pri tem smo uporabili podatke namišljenega pacienta in preiskave. Parametri slikanja so bili vedno enaki in so predstavljeni v Tabeli 1.

Tabela 1: Parametri slikanja

| Parameter | Vrednost parametra |
|--------------------------------------|---|
| pospeševalna napetost (kV) | 70 kV |
| produkt toka in časa (mAs-i) | Automatic Exposure Control (AEC) – vse 3 celice |
| hitrostni razred | S400 |
| stopnja potemnitve | 0 |
| velikost slikanega polja | 43 cm × 43 cm |
| gorišče | veliko |
| dodatno filtriranje (Cu filtri) | brez |
| razdalja gorišče–slikovni sprejemnik | stativ 150 cm, miza 110 cm |
| oznake strani in zaznamki | obvezno brez |

Pri pripravi aparata smo odmaknil vse predmete, ki bi motili slikanje (rjuha, vzglavnik, ...), odstranil rešetko, očistili polje slikanja, očistili in namestili aluminjasti filter debeline 21 mm (fantom) pod rentgensko cev, preverili poravnavo cevi s slikovnim sprejemnikom.

Na vsakem slikovnem sprejemniku smo naredili po tri slike, vedno pod enakimi ekspozicijskimi pogoji (tabela 1). Razlika

je bila le v razdalji gorišče–slikovni sprejemnik, ki je bila pri slikovnem sprejemniku v stenskem stativu (v nadaljevanju stenski sprejemnik) 150, pri tistem v preiskovalni mizi (v nadaljevanju mizni sprejemnik) pa 110 cm. Razlog je v tem, da je takšna tudi razdalja pri mesečni kalibraciji, ki jo priporoča proizvajalec aparata.

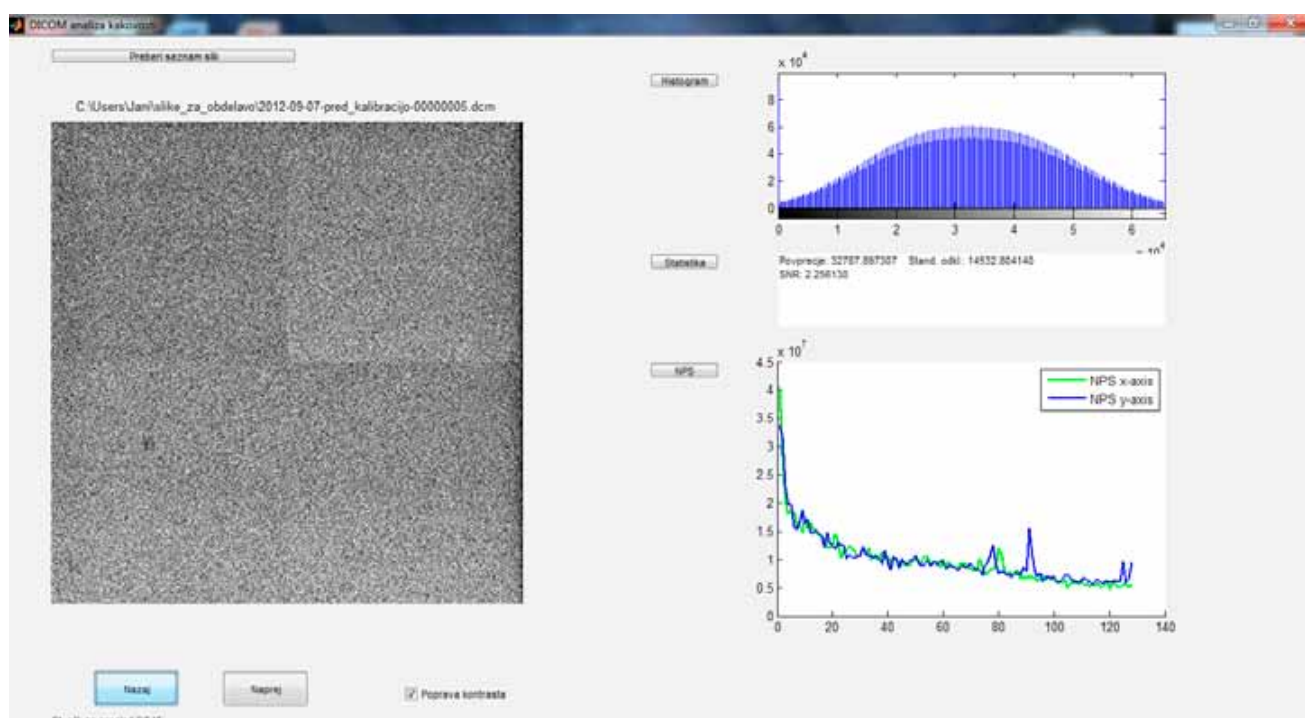
Pred vsakim slikanjem smo morali popraviti tudi zaslanjanje polja na uporabno velikost celotnega slikovnega sprejemnika (43 cm × 43 cm). Po koncu slikanja smo slike posameznega testa shranili na CD-R in tako prišli do surovih in tudi obdelanih slik hkrati, kar Nitrosi et al. (2009) v podobni raziskavi ni uspelo. Tako so bili rezultati raziskave pripravljene za analizo kakovosti.

Ocenjevanje kakovosti slik

Ocenjevanje kakovosti slik je zajemalo vizualno oceno, ki je temeljila na opazovanju nepravilnosti na slikah (črte, vzorci, artefakti) in kvalitativne analize, za katero smo uporabil objektivne mere SNR, NPS in entropijo.

Vizualna analiza

S programom DICOM_analiza_kakovosti, napisanim v računalniškem jeziku MATLAB, smo vizualno in kvalitativno ocenjevali testne slike. Program je bil namensko napisan za potrebe analize, njegov avtor je dr. Janez Žibert.



Slika 2: Program DICOM_analiza_kakovosti z ocenjevalnimi parametri

Za vsako sliko smo izvedli postopek normalizacije kontrasta in opazovali prisotnost vzorca ali druge posebnosti (slika 2). Opažanja smo zapisovali v Dnevnik_testov.xlsx, v posamezno vrstico, za vsako sliko posebej. Slike, na katerih so bili prisotni vzorci in/ali artefakti, smo posebej označili in dodali morebitne opombe (npr. pri testni sliki 2012-09-07-pred_kalibracijo-00000001.dcm smo zabeležil »DA + madež«, ki je viden tudi na sliki 2).

Kvalitativna analiza

Drugi del analize je zajemal meritve objektivnih mer digitalnih rentgenogramov; SNR, NPS in entropije. Meritev prevajalne funkcije modulacije (MTF – Modulation Transfer Function), in kvantnega izkoristka detekcije (DQE – Detective Quantum Efficiency) nismo opravili, saj nismo imeli ustreznega fantoma za merjenje MTF. Meritve MTF so namreč pogoj, da lahko izračunamo mero DQE.

S pomočjo programskega orodja MATLAB smo analizirali testne slike tako, da smo celotni sliki (3001×3001) odvzeli na vsaki strani 150 slikovnih elementov zaradi prisotnosti roba. Le-ta se je pojavil tako na slikah, narejenih na stativu kot na tistih, narejenih na preiskovalni mizi, ker je realna velikost slikovnega sprejemnika nekoliko večja kot njegova uporabna velikost.

Nato smo s samodejno nastavitvijo sredine in širine okna izboljšali kontrast slike z normalizacijo histograma in izračunali vsako mero posebej (SNR, NPS in entropijo). Pri tem smo upoštevali velikost slikovnih elementov sprejemnika (143 μm), iz katerih smo izračunali frekvenco vzorčenja, ob upoštevanju Nyquistovega izreka.

Vse statistične analize so bile narejene s programom IBM SPSS Statistics 22.

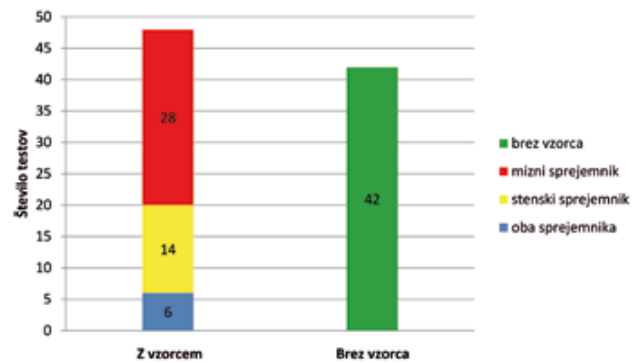
REZULTATI

Zbirka podatkov obsega 540 testnih slik, kar pomeni 90 opravljenih testov, po 6 slik na test (3 na stenskem in 3 na miznem slikovnem sprejemniku). Pri tem je bilo zaradi narave dela opravljenih 58 testov pred, 24 med in 8 po rednem delu na aparatu.

Opravljenih je bilo 7 rednih in 2 izredni kalibraciji, ki ju je opravil serviser aparata ob odpravljanju težav. Kalibracije so bile izvedene v različnih časovnih intervalih, tako da smo lahko ocenili tudi njihov vpliv na kakovost slik.

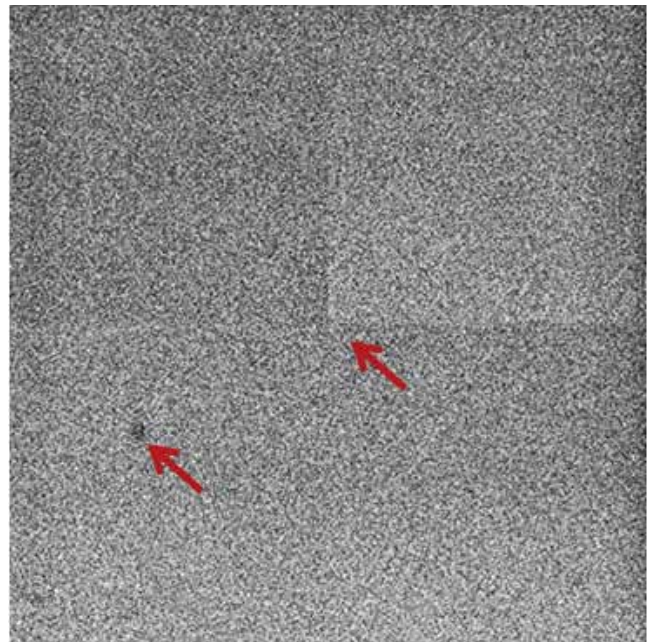
Rezultati vizualne analize

Pri 48 testih so bile prisotne nepravilnosti na slikah; pri 14 testih samo na stenskem sprejemniku, pri 28 samo na miznem in pri 6 na obeh, pri 42 testih pa nepravilnosti ni bilo (slika 3).



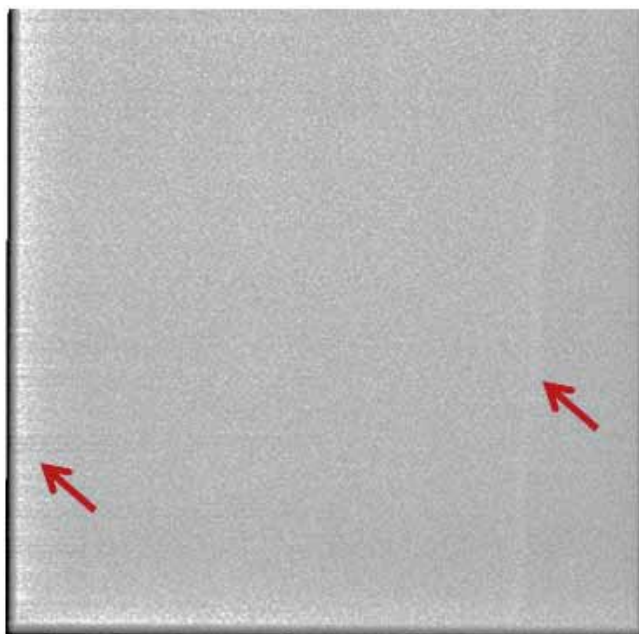
Slika 3: Število testov z in brez vzorca na slikah

Pri tem je potrebno poudariti, da se je pri slikah, narejenih na stenskem sprejemniku pojavljal vzorec »križa« in v spodnjem levem kvadrantu artefakt v obliki skupka »mrtvih slikovnih elementov« (slika 4).



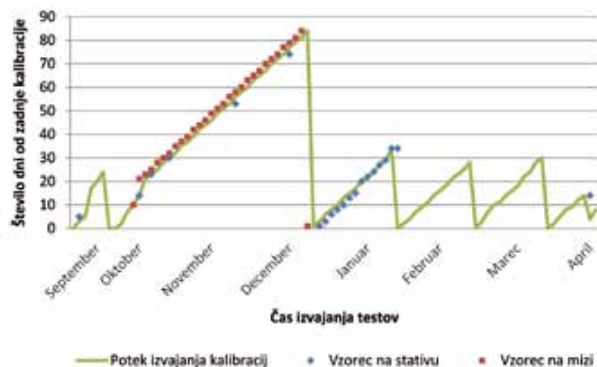
Slika 4: Testna slika stenskega slikovnega sprejemnika z vzorcem križa (desna puščica) in skupkom mrtvih slikovnih elementov (leva puščica)

Pri slikah, narejenih na miznem sprejemniku, se je na desni strani pojavljala vertikalna črta, in sicer v času od servisnega posega (in izredne kalibracije) do naslednje redne kalibracije (med 22. 10. 2012 in 9. 1. 2013). Pri nekaterih slikah so bile ob levem robu opazne tudi horizontalne črte, ki pa niso segale čez celo širino slike (slika 5).



Slika 5: Testna slika miznega sprejemnika z vzorcem vertikalne črte (leva puščica) in horizontalnimi črtami (desna puščica)

Ker kalibracija slikovnih sprejemnikov bistveno vpliva na kakovost slike (Philips, 2005; Korat in sod., 2009), smo porazdelitev vzorcev na slikah obravnavali tudi glede na čas od zadnje kalibracije. Na spodnjem grafu je prikazan potek kalibracij v času izvajanja testov in prisotnost vzorcev glede na čas kalibracije v obdobju med septembrom 2012 in aprilom 2013.



Slika 6: Prisotnost vzorcev glede na čas od zadnje kalibracije

Rezultati kvalitativne analize

S kvalitativno analizo smo spremljali delovanje avtomatske kontrole ekspozicije (AEC), dodatno pa smo preučevali, katere objektivne mere za kakovost slik lahko uporabljamo pri kvalitativni analizi rentgenskih slik. Pri statistični analizi smo uporabljali t-test za analizo razlik v kakovosti slik, narejenih na stenskem in tistih na miznem slikovnem sprejemniku ter linearno regresijo za ocenjevanje trendov. Pri tem smo se osredotočili na tri mere kakovosti slik (SNR, NPS in entropijo), katerih parametre smo lahko merili na testnih slikah.

Spremljanje avtomatske kontrole ekspozicije

S pravilnim delovanjem avtomatske kontrole ekspozicije zagotavljamo, da je ob enakih pogojih slikanja (anodna napetost in debelina ter gostota objekta) produkt toka in časa ali tokovni sunek enak oz. primerljiv.

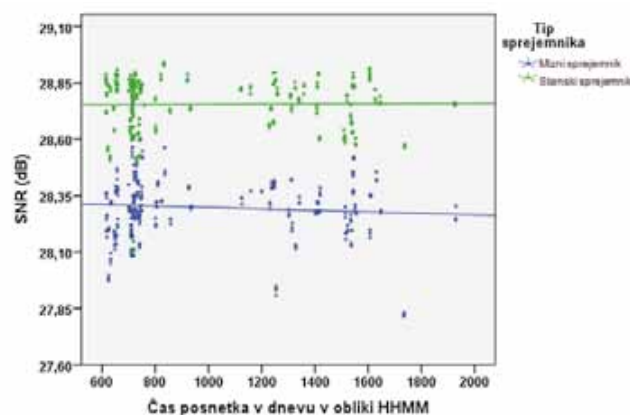


Slika 7: Delovanje AEC med izvajanjem testov

Glede na časovno odvisnost se meritve tokovnega sunka bistveno ne spreminjajo (slika 7). Razlika pa je glede na vrsto sprejemnika, saj smo pri miznem uporabili krajšo razdaljo med virom sevanja in sprejemnikom (110 cm) kot pri stenskem (150 cm).

Rezultati meritev razmerja med signalom in šumom

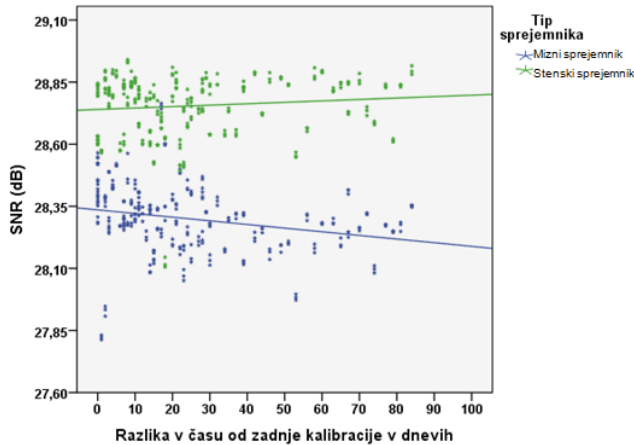
Rezultate meritev razmerja med signalom in šumom smo primerjali glede na različne odvisnosti: od časa posnetka v dnevu, razlike v času od zadnje kalibracije, tokovnega sunka, produkta doze in površine (DAP – Dose Area Product), vrste sprejemnika in prisotnosti vzorca. S statističnimi testi smo preverili statistično značilne trende rasti ali padanja rezultatov meritev in ugotavljali razliko med različnimi skupinami podatkov.



Slika 8: SNR v odvisnosti od časa posnetka v dnevu

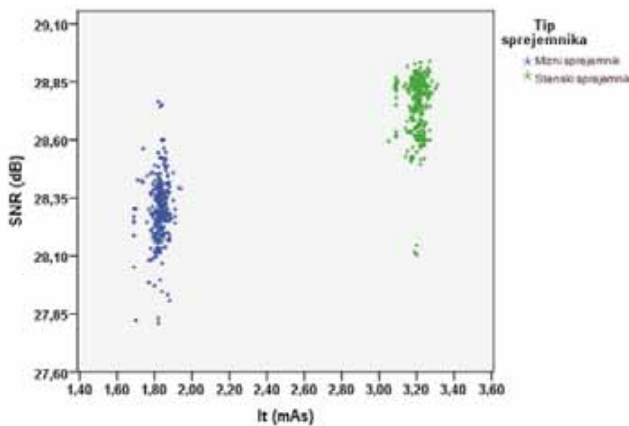
Iz slike 8 so nazorno razvidne tri skupine meritev (pred, med in po rednem delu), pri katerih je največji časovni razmik med

skupinama pred in med delom. Z modelom linearne regresije smo ocenili tudi odvisnost SNR od časa izvajanja meritev, kjer smo ugotovili, da sta koeficienta trenda v obeh primerih manjša od 0,001 in nista statistično značilna (β (stenski sprejemnik) = 4,844E-6, p (stenski sprejemnik) = 0,815; β (mizni sprejemnik) = -3,206E-5, p (mizni sprejemnik) = 0,160).



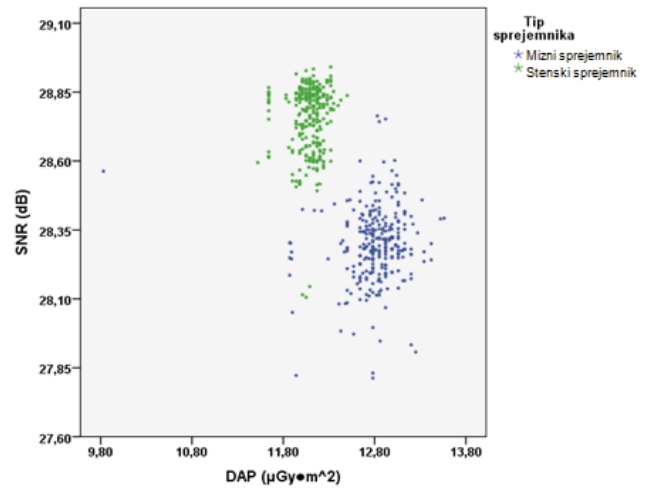
Slika 9: SNR v odvisnosti od razlike v času od kalibracije

Pri stenskem sprejemniku se s časom od zadnje kalibracije vrednosti SNR statistično značilno ne spreminjajo, saj koeficient trenda znaša 0,01 in ni statistično značilen ($p = 0,086$). Pri miznem sprejemniku pa je zaznati trend upadanja vrednosti SNR glede na čas od zadnje kalibracije. Koeficient trenda je -0,01 in je statistično značilen ($p < 10^{-3}$).



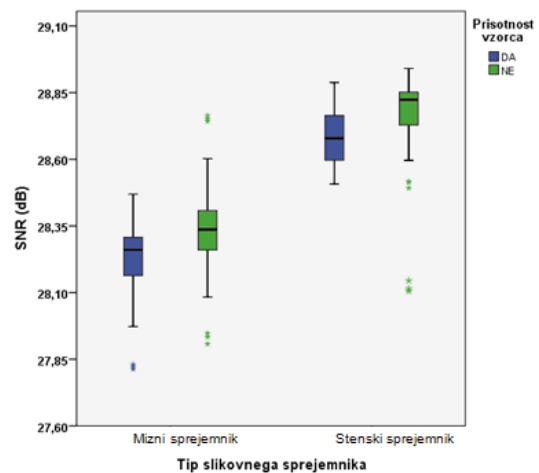
Slika 10: SNR v odvisnosti od tokovnega sunka

Rezultati analize odvisnosti med tokovnim sunkom in SNR so predstavljeni na sliki 10. Iz grafa sta očitno razvidni dve skupini meritev, ki pripadata različnim vrstama slikovnih sprejemnikov. Rezultati so posledica različnih razdalj med slikovnim sprejemnikom in virom sevanja (110 cm mizni, 150 cm stenski sprejemnik). Rang meritev tokovnega sunka znaša pri miznem sprejemniku 0,25 mAs, pri stenskem pa 0,26 mAs, kar pomeni, da so rezultati tokovnega sunka glede na slikovni sprejemnik kljub različni razdalji podobni. Ob isti napetosti (kV) in večjih vrednostih mAs je šum nekoliko višji pri slikah, narejenih na stenskem.



Slika 11: SNR v odvisnosti od produkta doze in slikovnega polja

Pri meritvah SNR v odvisnosti od produkta doze in slikovnega polja, merjene na rentgenski cevi aparata, je na slikah, narejenih na miznem sprejemniku zaznati večjo razpršenost meritev (rang(mizni sprejemnik) = 3,73; rang(stenski sprejemnik) = 0,98). Povprečje meritev DAP je statistično značilno višje (za 0,75 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$) na slikah, ki smo jih naredili na miznem sprejemniku, vendar je na njih SNR povprečno manjši, kot na tistih, narejenih na stenskem, razlika pa ni statistično značilna ($p = 0,758$).



Slika 12: SNR v odvisnosti od prisotnosti vzorca glede na vrsto slikovnega sprejemnika

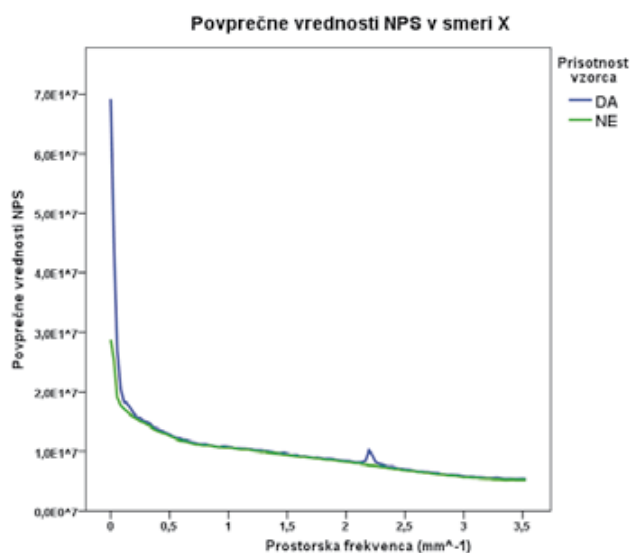
Glede na to, da smo testirali dva slikovna sprejemnika, smo s sliko 12 hoteli pokazati, kakšni so rezultati meritev SNR na slikah z in brez vzorca, narejenih na enem in drugem sprejemniku. Naredili smo dva ločena dvostranska t-testa za oba sprejemnika, pri tem pa ugotovili, da so razlike v rezultatih med slikami, narejenimi na miznem in stenskem sprejemniku statistično značilne ($p < 10^{-3}$). Iz grafa je razvidno, da je SNR na obeh skupinah slik višji tam, kjer ni prisotnega vzorca. V skupini slik z miznega sprejemnika je povprečje SNR z vzorcem $28,230 \pm 0,012$, brez njega $28,337 \pm 0,010$, pri tistih, s stenskega je v skupini z vzorcem nekoliko višji $28,681 \pm 0,012$, brez vzorca pa $28,777 \pm 0,009$. To pa pomeni, da prisotnost vzorcev na sliki

zniža SNR in bi lahko to mero uporabili kot eno izmed mer za detekcijo vzorcev na slikah.

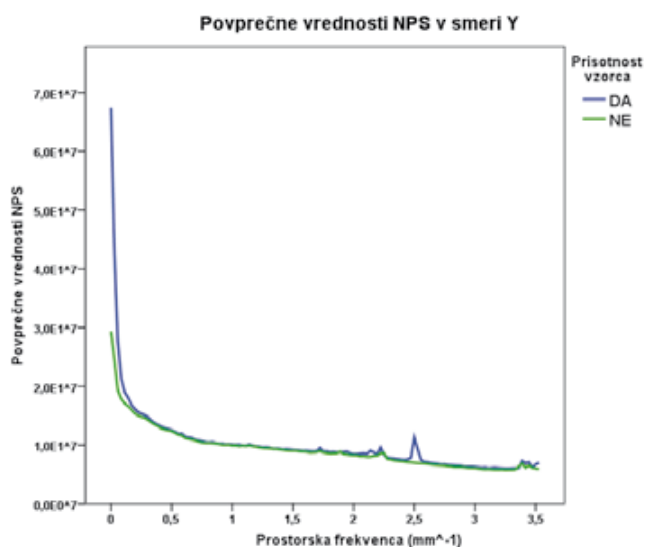
Enake analize smo naredili tudi z mero entropije. Ugotovili smo, da se entropija obnaša obratno sorazmerno s SNR. Zato so bili tudi rezultati analiz identični kot pri SNR. Lahko zaključimo, da tako SNR kot entropijo lahko uporabimo za mero prisotnosti šuma na slikah – večja entropija (ali manjše razmerje SNR) pomeni večjo prisotnost šuma.

Rezultati meritev močnostnega spektra šuma

Rezultate meritev NPS v odvisnosti od prostorske frekvence smo primerjali glede na prisotnost vzorca in vrsto slikovnega sprejemnika. Za primerjavo smo izrisali povprečne vrednosti NPS v X in Y smeri ter rezultate grafično primerjali.

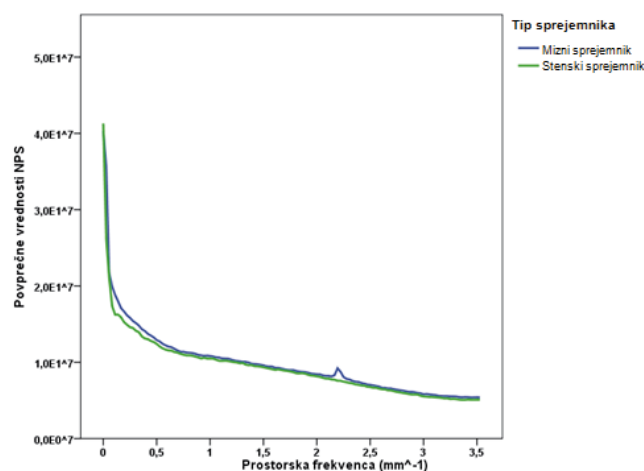


Slika 13: Povprečne vrednosti NPS v smeri X glede na prisotnost vzorca

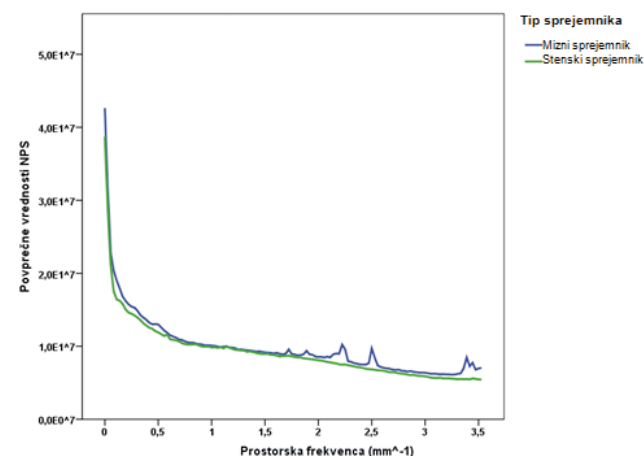


Slika 14: Povprečne vrednosti NPS v smeri Y glede na prisotnost vzorca

Na slikah 13 in 14 so nepravilnosti na slikah, na katerih so prisotni vzorci, vidne kot vrhovi ali zobci na krivulji povprečnih NPS vrednosti slik z vzorcem.



Slika 15: Povprečne vrednosti NPS v smeri X glede na vrsto slikovnega sprejemnika



Slika 16: Povprečne vrednosti NPS v smeri Y glede na vrsto slikovnega sprejemnika

Pri rezultatih povprečnih vrednosti NPS glede na vrsto slikovnega sprejemnika, v odvisnosti od prostorske frekvence tako v X kot v Y smeri ni opaznih bistvenih razlik (sliki 15 in 16). Posamezni vrhovi, ki se pojavijo na miznem sprejemniku, so posledica slik z vzorci, najbolj pa izstopajo na slikah v smeri Y.

RAZPRAVA

Iz rezultatov vizualne analize sklepamo, da so artefakti na slikah pogojeni s kalibracijo oz. s pravilnim in pravočasnim izvajanjem le-te. Prav tako so pri slikah z artefakti bistveno bolj prisotna odstopanja rezultatov uporabljenih mer kakovosti slik.

Pri rezultatih kvalitativne analize je bistvena ugotovitev ta, da je kakovost slik, narejenih na miznem sprejemniku manj stabilna, rezultati meritev v tej skupini bolj variirajo kot pri slikah s stenskega sprejemnika. Da ima mizni sprejemnik drugačne nastavitve, se opazi pri rezultatih meritev SNR in

entropije v odvisnosti od časa od zadnje kalibracije, tokovnega sunka, vrednosti DAP in prisotnosti vzorca glede na vrsto slikovnega sprejemnika.

SNR in entropija sta se spreminjali neodvisno od časa posnetka v dnevnu, kar pomeni, da so se nepravilnosti na slikah pojavljale ne glede na to, kdaj je bil test izveden. SNR in entropija sta obratno sorazmerna; manjši kot je SNR, večja je entropija in obratno, kar potrjuje tudi Žibert (2013). Zato bi lahko entropijo predlagali kot ekvivalentno mero SNR za merjenje šuma na slikah.

Pri odvisnosti SNR od razlike v času od zadnje kalibracije je pri rezultatih s slik, narejenih na miznem sprejemniku prvih 10 dni opazen trend manjšega padanja, ki pa se, glede na naslednje dni po zadnji kalibraciji, umiri. Pri grafu SNR v odvisnosti od tokovnega sunka (mAs) sta opazni dve skupini meritev, ki sta posledici različne razdalje med sprejemnikom in virom sevanja. Sodeč po rangu podatkov sta skupini približno enako veliki.

Pričakovali bi, da večji ko je DAP, boljše je razmerje SNR (Tsai et al., 2008; Žibert, 2012), vendar se je, kot je prikazano na sliki 11, izkazalo za ravno obratno. DAP je pri slikanju na miznem sprejemniku večji, povprečni SNR pa manjši kot na stenskem. Prav tako je na slikah s stenskega sprejemnika razpršenost DAP (rang) glede na SNR večja.

SNR ali entropija kot samostojni meri podata zadovoljivo oceno delovanja slikovnega sprejemnika, vendar ne merita dveh pomembnih parametrov kakovosti slike: prostorske in kontrastne ločljivosti. Celovito oceno kakovosti slike poda samo mera DQE (Tsai et al., 2008; Žibert, 2012), vendar pri tem potrebujemo poseben fantom za določitev funkcije MTF, ki ga nismo imeli.

NPS kot samostojna mera kakovosti slike v odvisnosti od prostorske frekvence ni pokazala statistično značilnih razlik niti med slikovnimi sprejemnikoma niti prisotnostjo vzorca. Za posamezne vrhove na grafih, ki te meritve prikazujejo, pa predpostavljamo, da so posledica vzorcev na slikah.

ZAKLJUČEK

S tem raziskovalnim delom smo pokazali, da je na rentgenskem aparatu Philips DigitalDiagnost potrebno uvesti periodično kontrolo kakovosti slikovnih sprejemnikov in izvajati redno mesečno kalibracijo po že dogovorjenem načrtu. Slednja je pogoj za uspešno delo, manjšo dozno obremenitev pacientov in boljše kakovost slike.

Da pa bi kontrolo kakovosti slikovnih sprejemnikov res uvedli v vsakdanjo prakso, bi bilo potrebno optimizirati njeno izvedbo do te mere, da bi iz testne slike lahko pridobili čim več pomembnih informacij. Ker je analiza in vrednotenje rezultatov zahtevno delo, bi bilo treba to delo avtomatizirati tako, da bi računalnik rentgenskega aparata po opravljenem testu sam izvedel potrebne analize kakovosti slik, uporabniku pa samo sporočil ali rezultati testa dosegajo zahtevano stopnjo kakovosti ali ne.

Ker takšna analiza kakovosti slik trenutno ni mogoča (vsaj ne rutinsko), je povsem smiselno, da se vizualno opazuje testne slike, tako da radiološki inženir na osnovi testne slike prilagaja sredino in širino okna (spreminja kontrast) ter že tako opazi napake in artefakte na sliki. Tako se lahko brez drugih postopkov analize kakovosti prepereči, da bi se nepravilnosti na testni sliki pojavile tudi na slikah, narejenih na pacientih.

ZAHVALA

Zahvaljujem se Maši Cvetković, dipl. inž. rad. tehnol. in Gregu Korošču, dipl. inž. rad., za pomoč pri izvajanju testov ter viš. pred., mag. Nejcju Mekišu, mag. inž. rad. tehnol., za pomoč pri statistični analizi in oblikovanju članka. Iskreno hvala vsem.

LITERATURA

Ayala R, Linares R in Garcia-Molla R (2009). MIQuaELa, Software for DQE Measuring in Digital Radiography/Mammography. In: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, September 7–12, 2009, Munich, Germany. IFMBE Proceedings 25(2). London: Springer, 825–28.

Council Directive 2013/59/Euratom (2014). Official Journal of the European Union 57: 13–38.

Dobbins JT III (2000). Image quality metrics for digital systems. In: Van Metter R L, Beutel J, Kundel HL, eds. Handbook of medical imaging. Vol 1, Physics and Psychophysics. Bellingham: SPIE Press, 161–313.

Dobbins JT III (2001). Metrics for Measuring Image Quality. AAPM. <http://sandbox.aapm.org/meetings/2001AM/pdf/7251-25677.pdf> <12.12.2013>

Flynn JM and Samei E (1999). Experimental comparison of noise and resolution for 2k and 4k storage phosphor radiography systems. Med Phys 26 (8): 1612–23.

Korat S, Winkler D, Stankovič A, Bezjak M, Grobler B (2009). QA/QC ploščatih slikovnih sprejemnikov v digitalni radiologiji. V: Starc T, ur.: Zagotavljanje kakovosti v radiološki tehnologiji – Zbornik predavanj in povzetkov posterjev strokovnega seminarja Društva radioloških inženirjev Slovenije, Rogaška Slatina 15. in 16. maj 2009. Ljubljana: Društvo radioloških inženirjev Slovenije, 68.

Lyra EM, Kordolaimi SD, Salvara ALN (2010). Presentation of Digital Radiographic Systems and the Quality Control Procedures that Currently Followed by Various Organizations Worldwide. Sharjah: Bentham Open, 5–21.

Medič M, Žibert J, Mekiš N (2013). Uvod v digitalno radiografijo in kakovost slike. V: Radiološka tehnologija 1, učbenik za študente radiološke tehnologije. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta, 141–92.

Nitrosi A, Bertolini M, Borasi G, Botti A, Barani A, Rivetti S, Pierotti L (2009). Application of QC_DR Software for Acceptance Testing and Routine Quality Control of Direct Digital

Radiography Systems: Initial Experiences using the Italian Association of Physicist in Medicine Quality Control Protocol. *J Digit Imaging* 22(6): 656–66.

Oakley J (2003). *Digital imaging: a primer for radiographers, radiologists, and health care professionals*. London: Greenwich Medical Media, 124–36.

PHILIPS MEDICAL Systems DMC GmbH (2005). *DigitalDiagnost system: Instructions for use*. Hamburg: Philips, 143, 177.

Tsai DY, Lee Y, Matsuyama E (2008). Information Entropy Measure for Evaluation of Image Quality. *J Digit Imaging* 21 (3): 338–47.

Zdešar U (2011). *Zaščita osebja pri delu z RTG. V: Usposabljanje iz varstva pred ionizirajočimi sevanji*, Ljubljana, 31.1.-2.2.2011. *Zapiski predavanj*. Ljubljana: Zavod za varstvo pri delu d.d., Center za fizikalne meritve, 36–43.

Žibert J (2012). *Mere kvalitete medicinskih slik. V: Podobnik G, ur.: Analogna in digitalna radiološka tehnologija: Zbornik predavanj in posterjev Kongresa Društva radioloških inženirjev Slovenije*, Ankaran 18. in 19. maj 2012. *Bilten* 29 (supl. 1): 5–9.

Žibert (2013). *Elektronsko gradivo iz predavanj Teorija procesiranja radiološkega signala na 2. stopnji študija Radiološke tehnologije. Elektronsko gradivo, predavanja*. Ljubljana: Zdravstvena fakulteta.