

## ANALIZA TESTOV ENAKOMERNOSTI NA SPECT/CT GAMA KAMERAH

### ANALYSIS OF UNIFORMITY TESTS ON SPECT/CT GAMMA CAMERAS

**Sebastijan Rep**

Klinika za nuklearno medicino, UKC Ljubljana, Zaloška 7, 1000 Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: sebastijan.rep@guest.arnes.si

Prejeto/Received: 20. 3. 2019

Sprejeto/Accepted: 10. 6. 2019

### IZVLEČEK

**Uvod:** Namen kontrole kakovosti je ugotoviti spremembe v delovanju detektorskega sistema gama kamere, ki lahko negativno vplivajo na interpretacijo nuklearno-medicinskih preiskav. Na končno kvaliteto slik vplivajo dejavniki, kot so enakomernost detektorskega sistema, prostorska ločljivost, energijska ločljivost, kolimacija in kvantna učinkovitost detektorja. Pri kontroli kakovosti tomografskega slikanja je potrebno ovrednotiti dodatne parametre, ki lahko vplivajo na interpretacijo nuklearno-medicinskih preiskav, to so: center rotacije, poravnava kolimatorja, stabilnost rotacije detektorske glave in celovitost algoritmov za rekonstrukcijo. Čas za vsakodnevno izvedbo testov kontrole kakovosti (QC) je omejen in ga je potrebno razumno umestiti v delavni čas. Zato mora biti glavni cilj programa izvajanje QC testov, ki so najbolj občutljivi na spremembe v delovanju slikovnega sistema in najverjetneje vplivajo na kakovost nuklearno-medicinske preiskave.

**Namen:** Namen raziskave je analizirati notranje in sistemske teste enakomernosti na gama kamerah in njihov vpliv na kvaliteto slike.

**Metode dela:** Na sistemih za eno-fotonsko emisijsko računalniško tomografijo v kombinaciji z računalniško tomografijo (SPECT/CT) Symbia T2 in SPECT/CT Intevo T2 smo opravili dnevne in mesečne teste enakomernosti. Sistemske dnevne teste smo izvajali avtomatično z linijskim izvorom  $^{153}\text{Gd}$ . Mesečne teste notranje enakomernosti pa smo izvedli z  $0,8 \pm 20\%$  MBq koncentracije aktivnosti  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Izračunali smo integralno in diferencialno enakomernost v centralnem vidnem polju (CFOV) in uporabnem vidnem polju (UFOV) za notranjo in sistemske enakomernost.

**Rezultati:** Rezultati testov sistemske enakomernosti na SPECT/CT Symbia T2 so pokazali statistično pomembno razliko med detektorjema 1 in 2 pri integralni enakomernosti CFOV in UFOV in pri diferencialni enakomernosti CFOV ( $< 0,05$ ). Pri diferencialni enakomernosti za UFOV ni bilo statistično značilnih razlik. Pri testih notranje enakomernosti pri SPECT/CT Symbia T2 nismo ugotovili statistično značilnih razlik med integralno in diferencialno enakomernostjo v CFOV in UFOV. Pri SPECT/CT Intevo T2 so sistemski testi enakomernosti pokazali statistično pomembno razliko med detektorjema 1 in 2 pri integralni in diferencialni enakomernosti CFOV in UFOV

( $< 0,05$ ). Testi notranje enakomernosti pri SPECT/CT Intevo T2 so pokazali statistično pomembno razliko med detektorjema 1 in 2 pri diferencialni enakomernosti UFOV ( $< 0,05$ ). Pri ostalih testih notranje enakomernosti statistično značilnih razlik ni bilo.

**Zaključek:** Testi enakomernosti so pomembni za zagotavljanje kakovosti in zaščite bolnikov pred sevanjem. Na osnovi analize lahko zaključimo, da sta bili SPECT/CT gama kameri v dobrem delovnem stanju in sta se lahko varno uporabljali v diagnostične namene.

**Glavne besede:** test enakomernosti, notranja enakomernost, sistemska enakomernost, uporabno vidno polje, centralno vidno polje.

### ABSTRACT

**Introduction:** The purpose of quality control is to determine the changes in the functioning of the gamma camera's detector system, which may have a negative impact on the interpretation of nuclear-medical examinations. Many factors contribute to the final quality of the image, including the uniformity of the detector system, the spatial resolution, the energy resolution, collimation, and the sensitivity of the detector system. When using tomography, it is necessary to evaluate additional parameters that may influence the interpretation of nuclear medicine examinations: the centre of rotation, collimator alignment, the stability of the rotation of the detector head, and the integrity of reconstruction algorithms. The time available for the day-to-day implementation of QC tests is limited and needs to be reasonably adjusted to working time. Therefore, the main objective of the programme should be the implementation of QC tests that are most sensitive to changes in the functioning of the imaging system and will most likely affect the nuclear-medicine examination.

**Purpose:** The purpose of the study is to analyse the intrinsic and extrinsic uniformity of gamma cameras and their impact on the image quality.

**Methods:** We performed daily and monthly uniformity tests on Symbia T2 and SPECT/CT Intevo T2 single-photon emission computed tomography/computed tomography (SPECT/CT) systems. On both systems, system daily extrinsic tests were performed automatically with the  $^{153}\text{Gd}$  line source. A monthly

intrinsic test was performed with  $^{99m}\text{Tc}$ , with an activity concentration of  $0.8 \pm 20\%$  MBq. We calculated the integral and differential uniformity in the central field of view (CFOV) and the useful field of view (UFOV) for extrinsic and intrinsic uniformity.

**Results:** The results of the extrinsic uniformity tests on SPECT/CT Symbia T2 showed a statistically significant difference between Detectors 1 and 2 in the integral uniformity of CFOV and UFOV and in the differential uniformity of CFOV ( $<0.05$ ). The differential uniformity between UFOVs was not statistically significant. In uniformity tests for SPECT/CT Symbia T2, there was no statistically significant difference between integral and differential uniformity in CFOV and UFOV. For SPECT/CT Intevo T2, extrinsic uniformity tests showed a statistically significant difference between Detectors 1 and 2 in the integral and differential uniformity of CFOV and UFOV ( $<0.05$ ). Intrinsic uniformity tests at SPECT/CT Intevo T2 showed a statistically significant difference between Detectors 1 and 2 at the differential uniformity of UFOV ( $<0.05$ ). In other intrinsic uniformity tests, there were no statistically significant differences.

**Conclusion:** Uniform tests are essential for ensuring quality and radiation protection for patients. Based on the analysis, we can conclude that the SPECT/CT gamma cameras were in good working condition and could be safely used for diagnostic purposes.

**Keywords:** uniformity test, internal equilibrium, systemic uniformity, useful field of view, central field of view.

## UVOD

Najbolj občutljiv parameter, ki vpliva na spremembe in zmogljivosti sistema je enakomernost detektorskega sistema. Spremembe fotovrha, fotopomnoževalke (PMT), energijske in linearne korekcije, higroskopičnost kristala in poškodbe kolimatorja vplivajo na enakomernost slike. Zato je test enakomernosti detektorskega sistema najpomembnejši test kakovosti, ki ga na gama kameri opravljamo dnevno. Izvede se lahko kot notranji in sistemski test enakomernosti (NEMA, 2012). Pri notranjem testu enakomernosti iz detektorskega sistema odstranimo kolimator (Elkamhawey et al., 2000). Za meritev se najpogosteje uporablja točkasti izvor  $^{99m}\text{Tc}$ , ki se v idealnem primeru namesti na razdalji, ki je enaka štirikratnemu premeru vidnega polja detektorja. S tem se zagotovi enakomerno obsevanje detektorskega sistema. Takšna izvedba testa kontrole kakovosti (QC) je poceni in predstavlja nizko sevalno obremenitev za izvajalca testa. Poleg tega se detektorski sistem ocenjuje z izotopom, ki se uporablja za večino kliničnih preiskav. Pri notranjem testu enakomernosti vpliv kolimatorja ni ovrednoten. Pri gama kamerah pride pogosto do trčenja med kolimatorjem in pomožno opremo, kot sta preiskovalna miza ali voziček kolimatorja. Takšni trki lahko povzročijo poškodbe kolimatorja, ki se lahko na kliničnih slikah pokažejo kot lažna hladna polja (področje, kjer ni kopičenja radiofarmaka zaradi zunanjih dejavnikov) (O'Connor, 1996; DiFilippo et al., 2006).

S sistemskim testom ovrednotimo enakomernost detektorskega sistema s kolimatorjem (Bolstad et al., 2011). Za izvedbo se lahko uporabi ploskovni izvor  $^{57}\text{Co}$  ali pa ploskovni fantom, ki ga napolnimo z  $^{99m}\text{Tc}$ , zmešanim z vodo. Pri novejših gama kamerah se za avtomatično izvedbo QC testa sistemske enakomernosti uporablja linijski izvor  $^{153}\text{Gd}$ , ki je namenjen za avtomatično izvedbo testa (Siemens Operating Instructions Symbia System T16/T6/T2/T Series, 2010; English et al., 1984; Busemann et al., 1993; Bolstad et al., 2011). Prednost uporabe ploskovnega izvora  $^{57}\text{Co}$  je istočasno zajemanje podatkov na nasproti ležečih detektorjih, s čimer se skrajša čas QC testa. Pomanjkljivost ploskovnega izvora  $^{57}\text{Co}$  je njegova cena in razpolovni čas, saj je potrebno ploskovni izvor zamenjati vsaki dve leti. Kot alternativa ploskovnemu viru  $^{57}\text{Co}$  se lahko uporablja fantom, ki ga napolnimo z  $^{99m}\text{Tc}$ , zmešanim z vodo (Ziessman et al., 2006; Zanzonico 2008; Prekeges 2011).

## NAMEN

Namen raziskave je bil opraviti analizo integralne in diferencialne enakomernosti v uporabnem (UFOV) in v osrednjem vidnem polju (CFOV) za dnevne, sistemske in mesečne notranje meritve na SPECT/CT Symbia T2 in SPECT/CT Intevo T2.

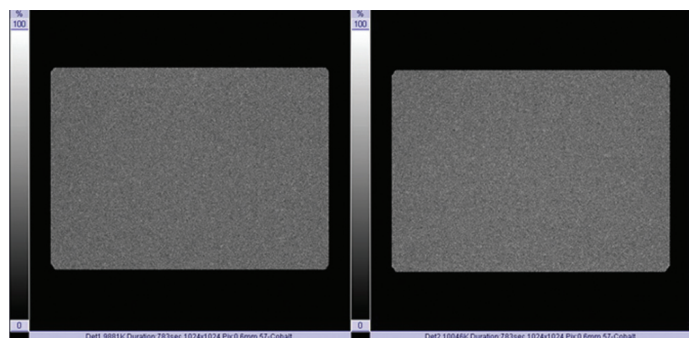
## METODE DELA

Raziskava je bila opravljena v UKC Ljubljana, na Kliniki za nuklearno medicino. Notranje in sistemske teste enakomernosti smo izvajali na dveh SPECT/CT sistemih. Raziskava je trajala od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2018. Oba SPECT/CT sistema vsebujeta kristal NaI, debeline 9,5 mm in velikosti  $59,1 \times 44,5$  cm. Vidno polje detektorjev je  $53,3 \times 38,7$  cm. Pred izvajanjem testov smo

preverili koncentracijo aktivnosti ozadja, ki ni smela biti višja kot 0,4 kcts/s, ker bi višje vrednosti motile testiranje in bi lahko prikazale lažne artefakte. Oba sistema, na katerih smo izvajali teste enakomernosti, sta vključevala avtomatični linijski izvor 153Gd za dnevni sistemski test enakomernosti (slika 1, 2).



Slika 1: Sistemski test enakomernosti z avtomatičnim linijskim izvorom 153Gd



Slika 2: Primer testa sistemske enakomernosti

Za mesečni test notranje enakomernosti smo uporabili 99mTc, priporočene koncentracije aktivnosti 0,8 MBq ± 20%. Izvor 99mTc smo vstavili na nosilec vira na robu preiskovalne mize (slika 3, 4).



Slika 3: Notranji test enakomernosti z odstranjenima kolimatorjema



Slika 4: Primer testa notranje enakomernosti in izračunane vrednosti

Dovoljene vrednosti odstopanja pri notranjem in sistemskem testu enakomernosti so prikazane v tabeli 1.

Tabela 1: Dovoljene vrednosti odstopanja pri notranjem in sistemskem testu enakomernosti (Siemens Operating Instructions Symbia System T16/T6/T2/T Series, 2010)

notranja enakomernost	integralna enakomernost	diferencialna enakomernost
<b>CFOV (centralno vidno polje)</b>	≤ 2,9 %	≤ 2,5 %
<b>UFOV (uporabno vidno polje)</b>	≤ 3,7 %	≤ 2,7 %
<b>sistemska enakomernost</b>	<b>integralna enakomernost</b>	<b>diferencialna enakomernost</b>
<b>CFOV (centralno vidno polje)</b>	≤ 5 %	≤ 3,5 %
<b>UFOV (uporabno vidno polje)</b>	≤ 6 %	≤ 4 %

Za izvedbo testa notranje enakomernosti smo zajeli 20 milijonov dogodkov pri velikosti matrike 1024 × 1024. Avtomatični test sistemske enakomernosti smo izvedli s 180° rotacijo detektorjev okoli linijskega izvora 153Gd. Izbrali smo nastavitve rotacije s 66-kotnimi projekcijami s časom zajemanja 160000 dogodkov/projekcijo pri matriki 256 × 256. Pri opravljanju testa smo zajeli celotno vidno polje obeh detektorjev. Rezultate smo obdelali s programsko opremo proizvajalca aparata. Integralna enakomernost je definirana kot razmerje med največjim in najmanjšim številom dogodkov/slikovni element, ki ležijo znotraj UFOV in CFOV. Integralna enakomernost (IE) je definirana z enačbo:

$$IE = \frac{(\max - \min)}{(\max + \min)} * 100$$

Max je maksimalna, min pa minimalna vrednost dogodkov na slikovni element v CFOV in UFOV.

Pri diferencialni enakomernosti (DE) program za obdelavo določi vsako vrstico ali stolpec slikovnih elementov v smereh x in y v UFOV in CFOV. Program avtomatsko določili največjo razliko pri petih sosednjih slikovnih elementih tako, da preveri prvi niz petih slikovnih pik, nato se premakne za en slikovni element naprej in analizira naslednji niz. Z analizo celotnega slikovnega polja se določijo vrednosti najvišje in najnižje razlike v množici vrstic in stolpcev. Diferencialna enakomernost je definirana z enačbo:

$$DE = [(visoka - nizka) / (visoka + nizka)] * 100$$

Visoka je največja, nizka pa najnižja vrednost pri petih sosednjih slikovnih elementih v CFOV in UFOV (NEMA, 2012). Analizo podatkov smo izvedli s programskim orodjem SPSS 21. Za ocenitev porazdelitve spremenljivk smo uporabili Shapiro-Wilkerjev test. Za analizo podatkov smo izbrali neparametrični Wilcoxonov test predznaka za dve spremenljivki. Za analizo variance smo uporabili neparametrični Fridmanov test, za oceno središčnic in razpršitve podatkov pa mediano, minimalno in maksimalno vrednost. Vrednost  $p < 0,05$  je bila statistično značilna.

## REZULTATI

Integralna in diferencialna enakomernost sta bili preverjeni z dnevnimi in mesečnimi testi enakomernosti, pri katerih se je ocenjevalo UFOV in CFOV. Na SPECT/CT Simbia je bilo v letu 2018 opravljenih 120 testov s 153Gd. V tabeli 2 so za detektorja 1 in 2 prikazane izračunane integralne in diferencialne vrednosti testov sistemske enakomernosti UFOV in CFOV. Za analizo podatkov smo uporabili Wilcoxonov test predznaka za dve spremenljivki. Nihanja med dnevnimi testi na detektorjih 1 in 2 so prikazana na sliki 5.

Tabela 2: Izračunane vrednosti in razlike med integralno in diferencialno enakomernostjo za UFOV in CFOV pri sistemskih testih za detektorja 1 in 2 pri SPECT/CT Symbia T2

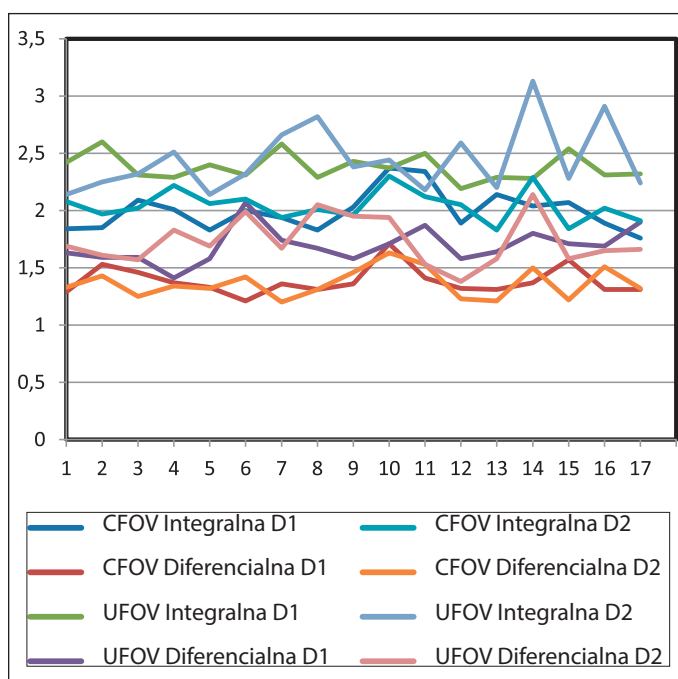
	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>CFOV detektor 1</b>	2,92 (1,94; 3,78) %	2,05 (1,40; 2,99) %
<b>CFOV detektor 2</b>	2,78 (1,88; 4,19) %	2,10 (1,25; 3,29) %
<b>p</b>	< 0,001	< 0,01
	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>UFOV detektor 1</b>	3,6 (2,22; 4,43) %	2,21 (1,81; 3,06) %
<b>UFOV detektor 2</b>	2,35 (2,35; 5,24) %	2,31 (1,48; 3,29) %
<b>p</b>	< 0,001	0,097

Na hibridnem sistemu SPECT/CT Symbia smo opravili 17 testov notranje enakomernosti. V tabeli 3 so za detektorja 1 in 2 prikazane izračunane integralne in diferencialne vrednosti notranjih testov UFOV in CFOV. Za analizo podatkov smo

uporabili Wilcoxonov test predznaka za dve spremenljivki. Nihanja med testi na detektorjih 1 in 2 so prikazana na sliki 6.

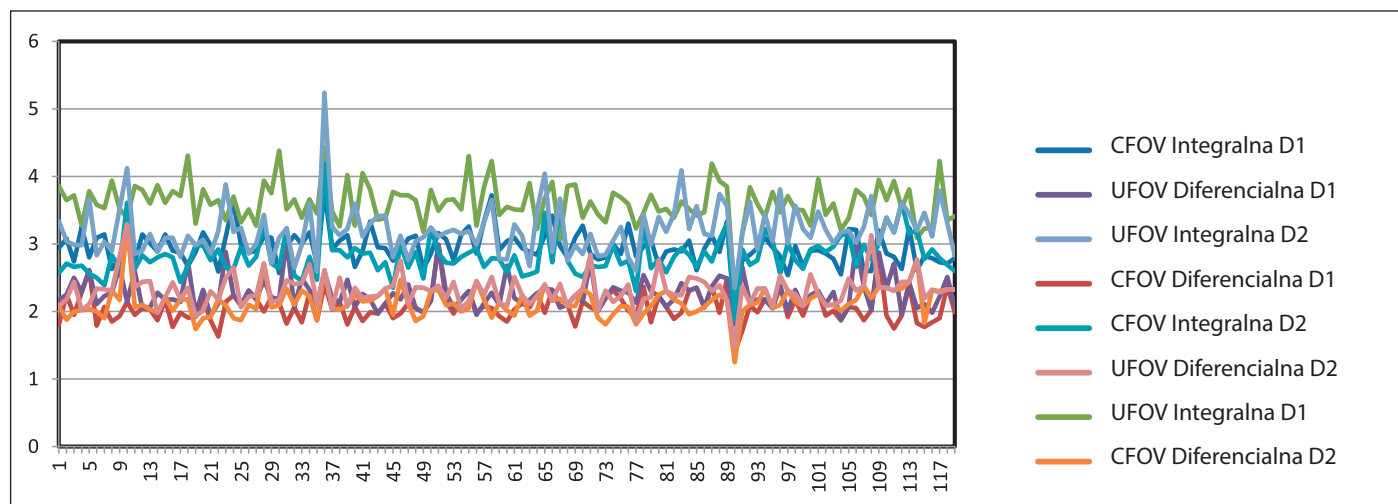
Tabela 3: Izračunane integralne in diferencialne vrednosti za UFOV in CFOV pri testu notranje enakomernosti na SPECT/CT Symbia T2

	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>CFOV detektor 1</b>	2,00 (1,76; 2,37) %	1,36 (1,21; 1,71) %
<b>CFOV detektor 2</b>	2,02 (1,83; 2,30) %	1,33 (1,20; 1,63) %
<b>p</b>	0,244	0,756
	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>UFOV detektor 1</b>	2,32 (2,19; 2,60) %	1,67 (1,41; 2,07) %
<b>UFOV detektor 2</b>	2,32 (2,14; 3,13) %	1,67 (1,38; 2,14) %
<b>p</b>	0,776	0,636



Slika 6: Nihanja med testi notranje enakomernosti na detektorjih 1 in 2, izvedenimi na SPECT/CT Symbia T2

Na SPECT/CT Intevo je bilo v letu 2018 opravljenih 75 testov s 153Gd. V tabeli 4 so za detektorja 1 in 2 prikazane izračunane



Slika 5: Nihanja med testi sistemske enakomernosti na detektorjih 1 in 2, izvedenimi na SPECT/CT Symbia T2

integralne in diferencialne vrednosti sistemskih testov UFOV in CFOV. Za analizo podatkov smo uporabili Wilcoxonov test predznaka za dve spremenljivki. Nihanje med dnevnimi testi na detektorjih 1 in 2 so prikazana na sliki 7.

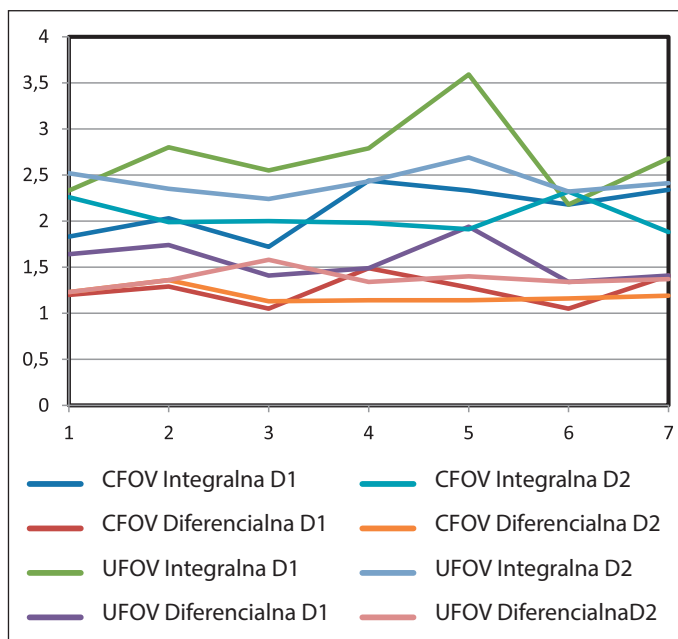
**Tabela 4: Izračunane vrednosti in razlike med integralno in diferencialno enakomernostjo za UFOV in CFOV pri sistemskih testih za detektorja 1 in 2 pri SPECT/CT Intevo**

	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>CFOV detektor 1</b>	3,09 (2,28; 4,43)%	2,26 (1,69; 3,55)%
<b>CFOV detektor 2</b>	2,84 (2,27; 4,46)%	2,21 (1,68; 3,92)%
<b>p</b>	< 0,001	< 0,05
	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>UFOV detektor 1</b>	3,44 (2,79; 4,43)%	2,35 (1,72; 3,55)%
<b>UFOV detektor 2</b>	3,54 (2,72; 5,42)%	2,44 (2,02; 4,01)%
<b>p</b>	< 0,001	0,022

Na hibridnem sistemu SPECT/CT Intevo, smo opravili 7 notranjih testov enakomernosti, katerih frekvenca izvajanja je vsaj enkrat mesečno. V tabeli 5 so za detektorja 1 in 2 prikazane izračunane integralne in diferencialne vrednosti notranjih testov UFOV in CFOV. Za analizo podatkov smo uporabili Wilcoxonov test predznaka za dve spremenljivki. Nihanje med testi na detektorjih 1 in 2 so prikazani na sliki 8.

**Tabela 5: Izračunane integralne in diferencialne vrednosti enakomernost za UFOV in CFOV pri notranjih testih, za detektorja 1 in 2 pri SPECT/CT Intevo**

	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>CFOV detektor 1</b>	1,28 (1,05; 1,49) %	2,68 (2,18; 3,59) %
<b>CFOV detektor 2</b>	1,16 (1,13; 1,36) %	2,41 (2,24; 2,69) %
<b>p</b>	0,499	0,063
	<i>integralna enakomernost</i>	<i>diferencialna enakomernost</i>
<b>UFOV detektor 1</b>	1,49 (1,34; 1,94) %	1,99 (1,88; 2,32) %
<b>UFOV detektor 2</b>	1,36 (1,23; 1,58) %	1,36 (1,23; 1,58) %
<b>p</b>	0,116	0,018

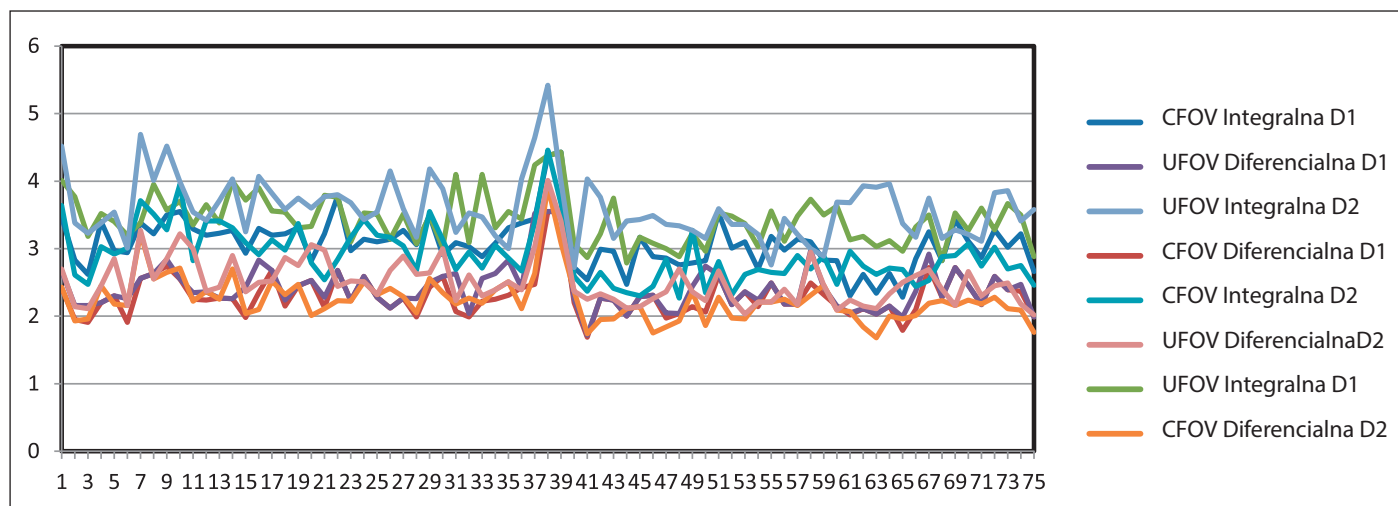


**Slika 8: Nihanje med intrinzičnimi testi na detektorjih 1 in 2 pri SPECT/CT Intevo**

Razlike med integralno in diferencialno enakomernostjo v UFOV in CFOV pri testih notranje in sistemske enakomernosti so bile statistično značilne (< 0,001). Za analizo smo uporabili neparametrični Fridmanov test.

## RAZPRAVA

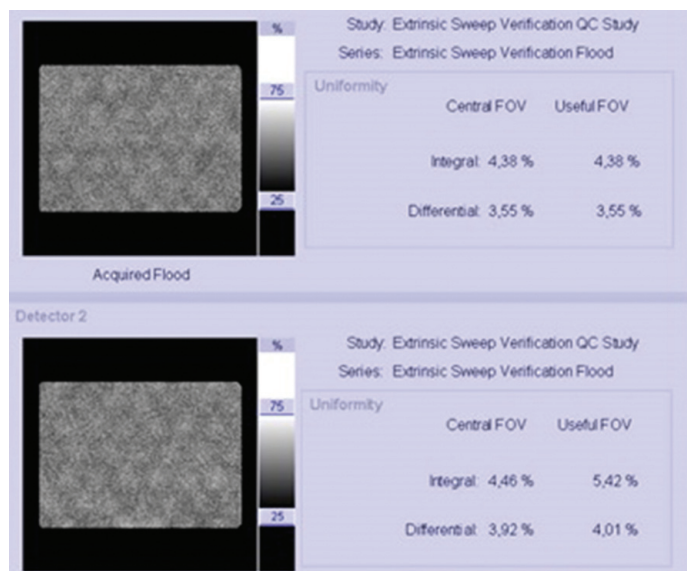
V raziskavi smo prikazali postopek in pomen izvajanja testov enakomernosti na SPECT/CT detektorskih sistemih. Rezultati notranje enakomernosti, ki smo jih dobili, so bili primerljivi z analizami testov, ki jih je opravil Hasan s sodelavci (2017). Pri analizi integralne enakomernosti so dobili za CFOV rezultate med 4,01 % in 2,88 %, za UFOV pa med 4,77 %, in 4,3 %. Pri diferencialni enakomernosti za CFOV navajajo rezultate med 1,53 % in 2,04 % ter za UFOV med 2,32 % in 2,77 %. Tudi rezultati notranjih in sistemskih testov enakomernosti, ki jih je v svoji raziskavi objavil Uddin s sodelavci (2015), so bili primerljivi z našimi. Za notranje teste so dobili vrednosti integralne enakomernosti za CFOV 1,33 % (detektor 1) in



**Slika 7: Nihanje med sistemskimi testi na detektorjih 1 in 2 pri SPECT/CT Intevo**

1,41 % (detektor 2) ter za UFOV 1,99 % (detektor 1) in 1,45 % (detektor 2). Pri diferencialni enakomernosti za CFOV navajajo 1,00 % (detektor 1) in 0,89 % (detektor 2), za UFOV pa 1,41 % (detektor 1) in 0,89 % (detektor 2). Pri sistemskem testu so dobili vrednosti integralne enakomernosti za CFOV 2,95 % (detektor 1) in 2,30 % (detektor 2) ter za UFOV 3,15 % (detektor 1) in 2,69 % (detektor 2). Pri diferencialni enakomernosti za CFOV pa 2,14 % (detektor 1) in 1,93 % (detektor 2) ter za UFOV 2,14 % (detektor 1) in 2,12 % (detektor 2).

Rezultati, dobljeni na naših SPECT/CT detektorskih sistemih so se pokazali kot stabilni in v mejah tolerance. S testi enakomernosti smo ocenjevali stanje kolimatorjev, kristala in fotopomnoževalk (PMT). Analiza rezultatov je pokazala statistično nepomembna nihanja izmerjenih vrednosti, kar pomeni, da ni klinično pomembnih napak na kristalu in da so PMT stabilne. Večja odstopanja v vrednostih bi lahko pomenila poškodbo kristala, katerih vzrok je lahko fizični udarec kristala ali velika nihanja v temperaturi in vlagi v prostoru. Če so vzrok za slabšo enakomernost fotopomnoževalke, pomeni, da je lahko prišlo da nihanja v napetosti ali pa je vzrok njihova starost. Pri sistemskih testih smo ocenjevali stanje kolimatorjev. Čeprav so bile razlike med detektorji statistično pomembne, dobljene vrednosti niso prekoračile referenčnih nivojev, ki jih priporoča proizvajalec. Na osnovi analize rezultatov smo ugotovili, da je stanje kolimatorjev normalno in ne povzroča artefaktov zaradi poškodb. V enem primeru se je spekter pri rutinskem testu enakomernosti zamaknil in prikazal nehomogeno razporeditev aktivnosti v vidnem polju, vendar so bili rezultati v meji tolerance (slika 9).



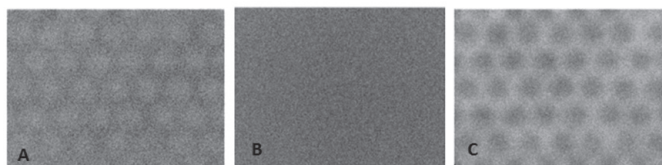
Slika 9: Primer testa sistemske enakomernosti, pri katerem se je spreminil energijski spekter

Vzrok je bil zamik energijskega okna, kar je lahko posledica nihanja napetosti v fotopomnoževalkah. Posledica slabše enakomernosti so lahko tudi slikovni parametri, kot je velikost matričnega elementa, ki vplivajo na enakomernost in lahko privedejo do neenakomernosti zaradi glajenja števila dogodkov na slikovni element, ko se dimenzija slikovnega elementa spremeni iz manjše v večjo za več kot 30 % (Zanzonico, 2008).

Posledica različne interpretacije rezultatov in nihanja dobljenih rezultatov so lahko tudi obdelovalni programi, ki

jih uporabljamo za analizo testov. Edam in sodelavci (2017) so v svoji raziskavi analizirali rezultate s štirimi različnimi programskimi orodji in ugotovili, da velikost slikovnega elementa značilno vpliva na rezultate enakomernosti. V svoji analizi so uporabili teste notranje enakomernosti. Zaključili so, da je uporaba neodvisnih testov QC pomembno orodje za analizo podatkov QC pri gama kamerah. Ugotovili so tudi, da uporaba standardnih orodij omogoča primerjavo SPECT/CT detektorskih sistemov med različnimi bolnišnicami za raziskovalne namene in za izboljšanje kakovosti slike sistema.

Gama kamere imajo pri neenakomernosti običajno toleranco med 4 in 7 % (Rogers et al., 1982). Korekcijski faktorji enakomernosti so razmerje slikovnih elementov med izračunano srednjo vrednostjo števila na slikovni element glede na dejansko število na slikovni element na sliki. Z množenjem pikslov na nekorrigirani sliki z izračunanim korekcijskim faktorjem dobimo korigirano sliko (NEMA, 2001; NEMA, 2012). Potrebni podatki za korekcijo se lahko pridobijo z isto nastavitvijo, kot se uporablja za dnevni test enakomernosti, vendar je potrebno zajeti veliko večje število impulzov (60–100 milijonov). Današnje gama kamere omogočajo enostavno korekcijo enakomernosti, obdelavo podatkov, shranjevanje in samodejno uporabo popravkov z integrirano programsko opremo sistema (NEMA, 2001; NEMA, 2012). Korekcija enakomernosti vključuje tudi energijsko korekcijo, kjer se energijski spekter zamakne.



Slika 10: Slika A, B in C prikazujejo zamik energijskega okna; zamik energijskega okna navzdol (A), normalno energijsko okno (B) in zamik energijskega okna navzgor (C)

Energijski spekter se lahko zamakne na nižje ali na višje vrednost glede na energijski spekter (slika 10). Korigiramo v veliki meri geometrijsko korekcijo, ki popravi sliko neenakomernosti, povezano z razlikami v učinkovitosti fotopomnoževalk. S starostjo fotopomnoževalke različno slabijo, posledično pomnoževanje elektronov ni več tako izdatno. Vzroka za neenakomerno razporeditev gostote v vidnem polju gama kamere sta lahko staranje kristala ali pa razpoka kristala (NEMA, 2001; NEMA, 2012).

Testi enakomernosti se izvajajo v dogovorjenih intervalih (sistemski/dnevno; notranji/mesečno) ali pa, če obstaja sum na poškodbo kolimatorja. Do poškodbe kolimatorja najpogosteje pride pri menjavi, vendar je vzrok za poškodbo lahko tudi udarec kolimatorja, ki ni posledica menjave. Poškodbe kolimatorja se najpogosteje kažejo kot vzporedne črte s povečano gostoto kopičenja, kadar so septe ločene ali območje z zmanjšano gostoto kopičenja, kjer so septe upognjene/stisnjene. Če je kopičenje v interesnih področjih (ROI) enake velikosti različne intenzitete in se razlikuje za več kot 2 %, je treba kolimator zamenjati (Zanzonico, 2008).

Izvajanje testov QC je nujno za zagotavljanje kvalitete slikovnega postopka, kakor tudi za zagotavljanje varstva bolnikov pred sevanjem. Za zagotavljanje stopnje kakovosti

je potrebno dokumentiranje postopkov kontrole kakovosti in organizirano dokumentiranje rezultatov teh postopkov, kar je zahteva dobrega in skladnega programa za zagotavljanje kakovosti. Vsi postopki kontrole kakovosti morajo biti v pisni obliki, vključno z sprejemljivimi vrednostmi. Vključeni morajo biti korektivni ukrepi, kadar so rezultati izven območja priporočenih vrednosti. Po vsakem opravljenem testu kontrole kakovosti je pomembno zapisati dobljene podatke v tabelo ali obrazec, ki ga podpiše odgovorna oseba, ki je opravila test. Pomembno je arhiviranje zapisov v kronološkem vrstnem redu, na varnem in hkrati dostopnem mestu. Na splošno je koristno slediti rezultatom testov QC vzdolžno (npr. v obliki grafa numeričnega rezultata glede na datum preizkusa). Na ta način lahko postanejo očitni dolgoročni trendi v delovanju instrumentov, ki so pogosto nezaznavni od enega dneva do drugega. Seveda se takšne evidence vse bolj vzdržujejo v elektronski obliki (so računalniško podprte). Priporočljivo je, da se to naredi vedno, tako kot varnostno kopijo in kot priročen pregled s strani inšpektorjev (EANM Physics Committee, 2010; Zanzonico, 2008).

## ZAKLJUČEK

Testi enakomernosti se izvajajo kot referenčni QC testi ob namestitvi/prevzetju in kasneje kot osnovni test za zagotavljanje kakovosti in zaščite bolnikov pred sevanjem. Teste je potrebno izvajati v dogovorjenih intervalih (sistemski/dnevno; notranji/mesečno) ali če obstaja sum za poškodbo kolimatorja. Na osnovi analize notranje in sistemske enakomernosti lahko zaključimo, da sta bili SPECT/CT gama kameri v dobrem delovnem stanju in sta se lahko varno uporabljali v diagnostične namene.

## LITERATURA

Bolstad R, Brown J, Grantham V (2011). Extrinsic Versus Intrinsic Uniformity Correction for  $\gamma$ -cameras. *J Nucl Med Technol*: 39(3):208–12. doi: 10.2967/jnmt.110.084814.

Busemann Sokole E, Kugi A, Bergmann H (1993). High count rates cause non-uniformities in cobalt-57 flood images. *Eur J Nucl Med* 20: 896.

DiFilippo FP, Abreu SH, Majmundar H (2006). Collimator integrity. *J Nucl Cardiol* 13(6):889–891.

EANM Physics Committee, Busemann Sokole E, Płachcńska A, Britten A; EANM Working Group on Nuclear Medicine Instrumentation Quality Control, Lyra Georgosopoulou M, Tindale W, Klett R (2010). Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation. *Eur J Nucl Med Mol Imag* 37(3):662–71.

Edam AN, Fornasier MR, de Denaro M, Sulieman A, Alkhorayef M, David Bradley D (2015). Quality control in dual head  $\gamma$ -cameras: Comparison between methods and softwares used for image analysis. *Applied Radiation and Isotopes*: 288–291.

Elkamhawy AA, Rothenbach JR, Damaraju S, Badruddin SM (2000). Intrinsic uniformity and relative sensitivity quality control tests for single-head gamma cameras. *J Nucl Med Technol* 28(4): 252–6.

English RJ, Polak JF, Holman BL (1984). An iterative method for verifying systematic nonuniformities in refillable flood sources. *J Nucl Med Technol* 12(9): 7–9.

Hasan R, Khan HR, Rahman R, Parvez S, Islam R, Paul AK (2017). Quality Control of Gamma Camera with SPECT Systems. *Int J Med Phys Clin Eng Radiat Oncol* 6(3): 225–32. doi: 10.4236/ijmpcero.2017.63021.

Klempa MC (2011). Uniformity testing: assessment of a centralized web-based uniformity analysis system. *J Nucl Med Technol*. 39(2):111–113.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (2001). Performance Measurements of Scintillation Cameras. Rosslyn, VA: NEMA.

National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (2012), Performance Measurements of Scintillation Cameras: Rosslyn, VA: NEMA.

O'Connor MK (1996). Instrument- and computer-related problems and artifacts in nuclear medicine. *Semin Nucl Med* 26(4):256–277.

Prekeges J (2011). Nuclear Medicine Instrumentations. Sudbury, MA: Jones and Bartlett Publishers; 51–112.

Rogers WL, Clinthorne NH, Harkness BA (1982). Field flood requirements foremissioncomputed tomography with an Anger camera. *J Nucl Med* 23(2):162–168.

Siemens Operating Instructions Symbia System T16/T6/T2/T Series, Version VA60A (2010). Quality Control and Assurance: 251–323.

Uddin F, Islam M, Khan N, Chakraborty RK, Rima SZ, Ara R, Nahar N, Khatun R (2015). Measurement of Uniformity and Multiple Head Registration (MHR)/Centre of Rotation (COR) of a Newly Installed Hybrid SPECT/CT At INMAS. *Mymensingh*: 67–74.

Ziessman HA, O'Malley JP, Thrall JH (2006). Single-photon emission computed tomography (SPECT) and positron emission tomography (PET). In: McAteer M, Carter KL, eds. *Nuclear Medicine: The Requisites*. 3rd ed. Philadelphia, PA: Mosby: 52–63.

Zanzonico P (2008). Routine quality control of clinical nuclear medicine instrumentation: a brief review. *J Nucl Med* 49(7):1114–1131.