

## TEHNIČKO-TEHNOLOŠKA UNAPREĐENJA GAMA KAMERE U SLUŽBI ZAŠTITE OD JONIZUJUĆIH ZRAČENJA: SCINTIGRAFIJA SKELETA, FOM KRITERIJUM KVALITETA SLIKE

Autor: Vojislav ANTIĆ, Univerzitetski klinički centar Srbije, Beograd  
Koautori: Tea POPOVIĆ, Siemens Healthcare, Beograd  
Predrag BOŽOVIĆ, Institut za nuklearne nauke "Vinča"  
Danica DUNĐEROVIĆ, Univerzitetski klinički centar Srbije, Beograd  
Miloš VELJKOVIĆ, Medicinski fakultet, Beograd i  
Univerzitetski klinički centar Srbije, Beograd, i  
Vera ARTIKO, Medicinski fakultet, Beograd i  
Univerzitetski klinički centar Srbije, Beograd

Kvalitet medicinske slike za nuklearno-medicinska ispitivanja kao što je scintigrafija skeleta je odavno dostigao zadovoljavajući nivo za odgovarajuću dijagnostiku. Sa druge strane, referentni nuklearno-medicinski vodiči, u segmentu koji je vezan za optimizaciju administrirane aktivnosti, su i dalje prilično konzervativni, imajući u vidu tehničko-tehnološki razvoj (unapređenje detektora, elektronike, ergonomije, (AI) softvera). Smanjenje aktivnosti aplicirane doze predstavlja istovremeno optimizaciju pojedinačne prakse iskazano kroz nižu dozu za pacijenta i kumulativno za osoblje, i prakse u celini na nivou ustanove jer se omogućuje veći broj pregleda za istu količinu nabavljenog radioaktivnog materijala.

U radu je dat predlog optimizacije administrirane aktivnosti koristeći veličinu za opis faktora dobrote – Figure of Merit (FoM) na dve gama kamere. Gama kamera Siemens E-cam iskorišćena je za usvajanje referentne vrednosti ocene kvaliteta slike iskazane kroz FoM. Nakon toga, koristeći FoM izvršena je optimizacija administrirane aktivnosti na gama kameri Siemens Symbia S. Optimizacija se smatrala uspešnom kada je FoM na drugoj kameri bio jednak ili veći od vrednosti na prvoj kameri. Sirovi DICOM podaci su analizirani u Image J softveru.

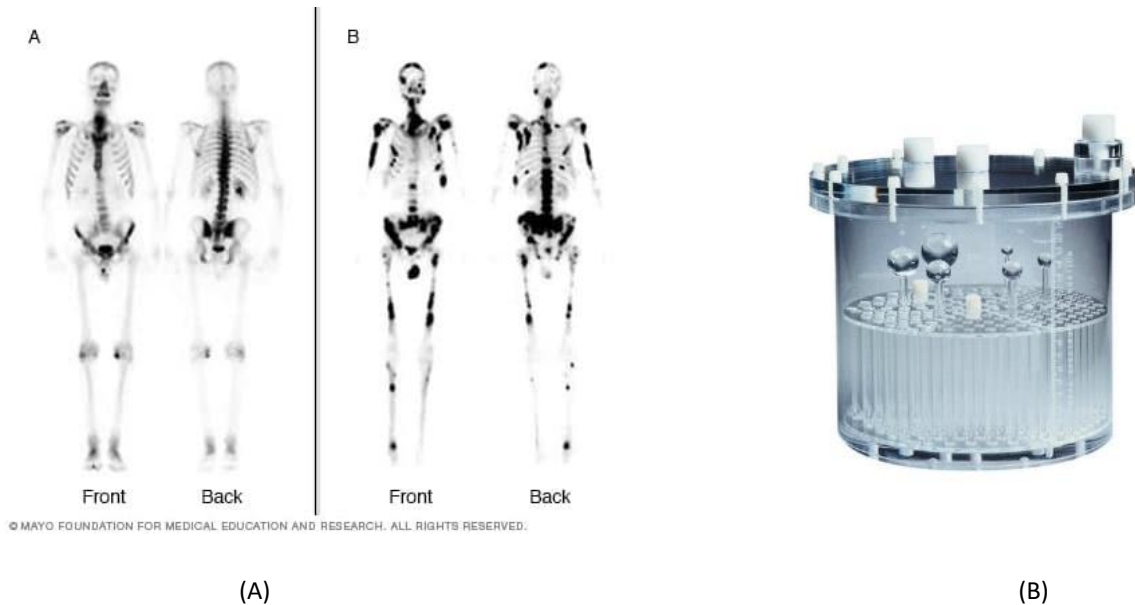
Vrednost FoM na kameri Siemens E-cam određena je na nuklearno medicinskim sklimama koje su nastale u njenom korišćenju u rutinskoj praksi. U drugoj fazi eksperimenta, za procenu modela smanjena administrirane aktivnosti korišćen je Jaszczak fantom sa različitim specifičnim aktivnostima u sferama. Treća faza je obuhvatala ispitivanja na kameri Siemens Symbia S do postizanja zadatog uslova o jednakom ili većem FoM na drugoj kameri. Pored metričkih ocena kvaliteta slike, ceo eksperiment je praćen od strane tima lekara, stručnjaka iz oblasti nuklearne medicine, čija je subjektivna provera korišćena kao potvrda proračunatih vrednosti. Na kraju eksperimenta, prezentovana optimizacija administrirane aktivnosti za scintigrafiju skeleta jeste 20% i usvojena je kao novi standard prakse.

**Ključne reči:** Optimizacija administrirane aktivnosti, gama kamera, FOM, kvalitet slike, scintigrafija skeleta.

### SCINTIGRAFIJA SKELETA, GAMA KAMERA

Za scintigrafiju skeleta (SLIKA 1 (A) ) se koristi  $^{99m}\text{Tc}$  radionuklid sa bifosfonatnim trejserom - (*hidroxy*)*methylene diphosphate ((H)MDP)* ili *2,3-dicarboxypropane-1,1 (DPD)*. Četiri sata nakon injektovanja, 50-60% administriranje aktivnosti je vezano u kostima, nevezana se izbacuje urinom, a samo 6 % ostaje u cirkulaciji. Maksimalna akumulacija u kostima se dostiže nakon 1h i ostaje konstantna 72h [1].

Snimanje se izvodi gama kamerom opšte namene, sa jednim ili dva detektora. Monoenergetski snop gama fotona od 140.5 keV prolazi kroz kolimator do NaI:Tl kristala gde se vrši složeni proces konverzije u svetlosne fotone, od kojih se, nakon prolaska kroz svetlovod, na fotokatodama fotomultiplikatora, dobijaju elektroni. Kaskadnim sistemom dinoda se električni signal pojačava i dalje procesuirana analogno/digitalnom pozicionom logikom i elektronskim korekcijama [2]. Rezultat je medicinska slika koja predstavlja mapiranje biodistribucije radionuklida.



SLIKA 1 (A) Scintigrafija skeleta (izvor: Mayo Clinic Homepage)  
 (B) Jaszczak SPECT fantom (izvor: Gamma Gurus Homepage)

### OPTIMIZACIJA ADMINISTRIRANE AKTIVNOSTI, FOM, UTICAJ NA IZLOŽENE RADNIKE

Metode za optimizaciju administrirane aktivnosti su, generalno, ili na bazi Monte Karlo simulacija na fantomima ili *ad-hoc* vizuelno.

Naš pristup optimizaciji je bio na bazi Figure of Merit (FOM) parametra [3], definisanog sa:

$$FOM = \frac{CNR}{(administrana\ aktivnost)^2} \quad (1)$$

gde *CNR* predstavlja odnos signal-šum, računat preko standardne formule:

$$CNR = \frac{pros.vrednost\ odbroja\ piksela\ (signal) - pros.vrednost\ odbroja\ piksela\ (\sum)}{\sqrt{\frac{SD(signal)^2 + SD(\sum)^2}{2}}} \quad (2)$$

Dok pacijent samo jednom ili nekoliko puta biva izložen zračenju, izloženi radnici su svakim radnim danom. Manja administrirana aktivnost uzrokuje posledično manje doze zračenja za zaposlene, i u fazama manipulacije sa radiofarmaceuticima, i kao direktna posledica slabijeg uticaja ozračenih pacijenata sa kojima osoblje interaguje.

### MATERIJALI I METODE

Primenom navedene formule računat je FOM koeficijent scintigrafija skeleta dobijenih E-cam kamerom. Odabrano je 30 pacijenata telesne mase između 67 i 73 kilograma. Svakom pacijentu je administriran radiofarmaceutik 20 min. nakon predhodnog i svaki je sniman 2 h nakon aplikacije.

Zatim je sproveden eksperiment sa Jaszczak fantomom (SLIKA 1 (B)), na način da je nominalna specifična aktivnost od 0.2143 mCi/kg (15mCi/70kg) smanjena za 10 % (13,5 mCi), 20 % (12 mCi) i 30 % (10.5 mCi), respektivno, u odgovarajućim sferama (tražena specifična aktivnost je množena sa zapreminom sfere da bi se odredila aktivnost koja treba da se u nju implicira), pa je računat FOM svake sfere. Sfere su popunjene vešto, bez vazdušnih mehurova. Postupak je sproveden sa odabirom različitih veličina sfera i različitim setovanjem, da bi se razmotrio i uticaj njihove veličine. Pošto je ustanovljeno da uticaja u predmetnom smislu nema, računate su

srednje vrednosti iz tri merenja FOM-a, pojedinačno za sfere u kojima smo postavili isto procentualno umanjenje specifične aktivnosti. Preliminarno je usvojena najpribližnija vrednost FOM-a onoj koja je određena za E-cam, a da je i dalje veće vrednosti, pa odatle preporučena administrirana aktivnost množenjem odgovarajuće specifične aktivnosti sa 70 kg.

## **REZULTATI: ODREĐIVANJE FOM-A NA SLIKAMA E-CAM GAMA KAMERE I NA SFERAMA JASZCZAK FANTOMA (SUMARIZACIJA)**

Za standardnu vrednost administrirane aktivnosti od 15 mCi na staroj E-cam kameri, usrednjena vrednost SNR, za 30 pacijenata telesne mase u rasponu 67-73 kg, je bila 6,1525 a FOM 0,0325.

Studije sa Jaszczak fantomom su dale sledeće kombinacije CNR i FOM (usrednjeno za tri merenja):

- 13,5 mCi: CNR= 7,92; FOM= 0,055:
- 12 mCi: CNR= 6,34; FOM= 0,045:
- 10,5 mCi: CNR= 4,176; FOM= 0,029.

## **DISKUSIJA O TEHNIČKO-TEHNOLOŠKOM UNAPREĐENJU OD E-CAM KA SYMBIA S GAMA KAMERI**

Obe gama kamere, E-cam i Symbia S, koriste standardni NaI:Tl dvodetektorski sistem. Detektori su istih dimenzija 59.1x44.5x0.95 cm. Uređaji imaju isti broj fotomultiplikatorskih cevi (59) po detektoru. Predpojačivač kod uređaja Symbia S je dve generacije ispred (PED3 spram PED1) što ima za posledicu da može da detektuje znatno širi opseg svetlosnog inteziteta. Symbia S ima bolju matičnu ploču, integrisanu sa akvizicionom elektronikom, što doprinosi značajnom povećanju brzine. Visokonaponski modul u novijoj kameri je takođe unapređen i stabilniji je. Kontrolor detekcije (frekvencija uzorkovanja 300kHz naspram 100kHz) i kalkulator pozicije su integrisani takođe. Od E-cam do Symbia S softvera za akviziciju sprovedeno je više od 30 unapređenja.

## **DISKUSIJA REZULTATA: NOVOUVEDENA OPTIMIZACIJA ADMINISTRIRANE AKTIVNOSTI I UTICAJ NA SMANJENJE IZLAGANJA PACIJENATA, IZLOŽENIH RADNIKA I STANOVNIŠTVA, A ISTOVREMENO I NA POVEĆANJE PRODUKTIVNOSTI**

Srednja vrednost za FOM (0,041) na Symbia S gama kameri, pri administriranoj aktivnosti od 12 mCi, je bolja od srednje vrednosti za FOM (0,0325) na E-cam gama kameri, pri administriranoj aktivnosti od 15 mCi. Dobijena optimizacija verifikovana je vizuelno od strane stručnjaka iz nuklearne medicine, u smislu da je procenjen zadovoljavajući kvalitet slike, i dalje bolji nego na staroj E-cam kameri. Nakon toga su izračunate su vrednosti za SNR i FOM pri administriranoj aktivnosti od 12 mCi i direktno iz 10 reprezentativnih scintigrafija (pod istim uslovima snimanja, i za pacijente u istom rasponu telesne mase) i bile su neznatno lošije, 5.93 je bio CNR, a FOM 0,041. Sprovedenom vizuelnom i kvantitativnom ocenom usvojen je novi standard za administriranu aktivnost pri scintigrafiji skeleta od 12 mCi.

Smanjenje aplicirane aktivnosti dovodi do smanjena doze za osoblje koje radi sa radiofarmaceuticima na odeljenjima nuklearne medicine, i u ovom slučaju, zbog linearne zavisnosti aktivnosti izvora zračenja i doze, ono je procenjeno na 20%, koliko je i redukcija aktivnosti. Međutim uzimajući kompleksnost svih faza rada sa radiofarmaceuticima na odeljenju nuklearne medicine [4,5] kao što su specifičnosti u organizaciji rada, zdravstvenom stanju pacijenata, profesionalnoj veštini osoblja i drugim faktorima to nije moguće proceniti preciznije samo na osnovu ovog rezultata. Istovremeno se smanjuje i izlaganje stanovništva sa kojima pacijenti interaguju nakon pregleda (pod istim uslovima u istom procentu), kao i "štedi" radioaktivni materijal, što omogućava pregled dodatnih pacijenata (na svakih četiri pre optimizacije po jedan).

## ZAKLJUČAK

Optimizacija administrirane aktivnosti radiofarmaceutika, kao jedan od tri osnovna principa zaštite od zračenja, predstavlja važan deo procesa nuklearno-medicinske prakse. Cilj rada je bio da se verifikuje mogućnost da se FOM koristi kao parametar za evaluaciju nuklearno-medicinske slike. Kao posledica uspešno sprovedene optimizacije, predlažemo da se navedeni postupak primeni za svaku novu gama kameru, a posebno za različite nuklearno-medicinske pretrage. Iako je samo u pitanju tehnička generalizacija, odnosno da je dalja optimizacija je moguća na osnovu individualnih karakteristika pacijenata, pre svega njihove telesne mase, ali i indeksa telesne mase, godišta i visine, ovaj rezultat predstavlja bitan pomak kako u zaštiti pacijenata tako i u zaštiti radnika na odeljenju nuklearne medicine i stanovništva (ostalo prisutno osoblje u ustanovi gde se ovakva praksa obavlja).

## LITERATURA

1. Van den Wyngaert T. et al., 2016, The EANM practice guidelines for bone scintigraphy, *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 43, pp. 1723–1738
2. Ronald E. McKeighen, 1980, A Review of Gamma Camera Technology for Medical Imaging, Nuclear Medicine, Ultrasonics, and Thermography, pp. 119–163
3. Hadi Parastar, 2015, Chapter 6 - Multivariate Curve Resolution Methods for Qualitative and Quantitative Analysis in Analytical Chemistry, *Data Handling in Science and Technology, Volume 29*, pp. 293-345
4. Marshall K. S. et al., 2023, Assessment of Radiation Exposure in a Nuclear Medicine Department during <sup>99m</sup>Tc-MDP Bone Scintigraphy, *Toxics* 11(10): 814.
5. Antic V. et al., 2014, Radiation exposure to nuclear medical staff involved in PET, Radiation protection dosimetry, Volume 162(4), pp. 577–585.

## TECHNICAL-TECHNOLOGICAL ENHANCEMENTS OF GAMMA CAMERAS IN IONIZING RADIATION PROTECTION: SKELETAL SCINTIGRAPHY AND FIGURE-OF-MERIT IMAGE QUALITY CRITERION

The quality of medical images for nuclear medicine investigations, such as skeletal scintigraphy, has long reached a satisfactory level for appropriate diagnostics. On the other hand, reference nuclear medicine guidelines, particularly in the segment related to the optimization of administered activity, remain relatively conservative, considering technological advancements (detector improvement, electronics, ergonomics, (AI) software). Lower activities imply reduced radiation doses for patients, cumulatively benefiting the staff in terms of interaction with patients and radio-pharmaceutical handling. Additionally, it conserves radioactive material, enabling the examination of additional patients.

The paper presents the optimization of administered activity based on the Figure-of-Merit (FOM) parameter. The approach involves quantifying this parameter as an assessment of image quality deemed satisfactory on the old camera. Subsequently, the study explores the potential reduction in implemented radiopharmaceutical while maintaining a similar or slightly improved FOM parameter for medical images on the new camera. The old camera used was Siemens E-cam, and the new one is Siemens Symbia S. Raw DICOM data were analyzed using Image J software.

Initially, FOM was calculated for nuclear medicine images on the old camera. Then, experiments were conducted using the Jaszczak phantom on both cameras with different specific activities in spheres. Based on these investigations, a model for a 20% reduction in administered activity was assessed. In the third phase, optimization was applied in clinical conditions, and FOM for the obtained nuclear medicine images on the new camera was calculated. As a still higher FOM was determined compared to the initially satisfactory images on the old camera, after additional subjective validation by nuclear medicine experts, the presented optimization of administered activity for skeletal scintigraphy in nuclear medicine imaging on the new camera was adopted as the standard.

**Keywords: Administered Activity Optimization, Gamma Camera, FOM, Image Quality, Skeletal Scintigraphy.**