

Rezumat

Al tezei de doctorat

Strategii inovatoare de reducere a iradierii în practica de medicină nucleară

Doctorand **Peștean Ilie Claudiu**

Coordonator Prof. Asoc. Dr. **Piciu Doina**

Innovative strategies to reduce the radiation exposure in daily practice of nuclear medicine

Cuprins

Nivelul actual al cunoașterii.....	3
Primul studiu – Limfoscintigrafia de detecție a ganglionului santinelă utilizând fantomul planar de calibrare cu Tc-99m pentru conturarea corpului pacientului.....	4
Al doilea studiu – Optimizarea radioprotecției pentru personalul din departamentul de PET/CT în timpul procedurilor de încărcare și preparare a radiofarmaceuticului utilizând sisteme software de control la distanță.....	6
Al treilea studiu – Cuantificarea iradierii personalului chirurgical în sala de operație în timpul exciziei ganglionului santinelă.....	8
Concluzii generale și contribuțiile inovative ale tezei.....	9

Cuvinte cheie

- radioprotecție
- expunere
- medicină nucleară
- optimizare
- doză efectivă
- multidisciplinaritate
- As low as reasonably achievable

Nivelul actual al cunoașterii

Medicina nucleară este un domeniu care exploatează utilizarea radioizotopilor în scop diagnostic și terapeutic în beneficiul pacienților în diferite patologii și diferite stadii de boală. Pe lângă marile avantaje date de radionuclizi în diagnosticul diferitelor patologii sau în tratarea lor, utilizarea radiației ionizante în scopurile mai sus amintite implică riscuri și efecte distructive în unele situații pentru diferite categorii de indiviziși expuși medical cum sunt pacienții, expuși profesional cum este personalul din domeniile de lucrur cu radiații, și public. Orice activitate medical ce implică utilizarea radiațiilor ionizante este reglementată de norme generale și specific cu privier la radioprotecție. În prezent, aspectele legate de radioprotecție respect reguli stricte stabilite de organizații internaționale și naționale pentru a minimalize efectele distructive ale radiației ionizante asupra indivizilor. Regulile de radioprotecție în medicina nucleară dar și în alte ramuri de activitate ce implica utilizarea radiației ionizante sunt reglementate de aceste organisme internaționale și naționale prin acte legislative, norme și recomandări care asigură Securitate indivizilor și mediului în ceea ce privește radioprotecția. Înființarea primelor organizații în domeniu și implementarea primelor recomandări s-a produs în conjuncție cu descoperirea radioactivității și a radioizotopilor și în conjuncție cu descoperirea riscurilor asociat acestora odată cu necesitatea manipulării lor în acea perioadă de pionierat. Există o serie de organisme internaționale și naționale care la acest moment reglementează măsurile de radioprotecție. Fiecare stat are propriile organisme guvernamentale care reglementează aceste aspect de radioprotecție. Toate practicile care presupun utilizarea radiației ionizante trebuie să respecte principiile radioprotecției: justificare, optimizare, limitare. În cazul acelor practici unde se impune manipularea surselor deschise cu risc de contaminare, ca principiu se va evita contaminarea radioactivă. Pentru a respecta aceste principii, toate procedurile sunt implementate în așa fel încât ele să se supună legilor de radioprotecție, atât în diagnostic cât și în terapie. Toate aspectele de radioprotecție sunt construite ținând cont de interacțiunea radiației cu materia, de proprietățile fizice ale radiației, proprietățile chimice ale radiofarmaceuticelor. Aceasta este important pentru, pe de o parte, cum interacționează radiația ionizantă cu materia pentru a construi dispozitive și protocoale destinate radioprotecției. Dar, pe de altă parte este important pentru a identifica toate aspectele utile în ceea ce privește impactul biologic al radiofarmaceuticelor. Aceasta este important pentru a construi protocoale diagnostic și terapeutice care să garanteze corectitudinea informației diagnostic și eficacitatea efectului terapeutic, dar și radioprotecția tuturor celor implicațiși pacient, personal sau persoane din public.

CONTRIBUȚIE PERSONALĂ

Primul studiu – Limfoscintigrafia de ganglion santinelă utilizând fantomul planar de calibrare ca sursă de Tc-99m pentru conturarea corpului pacientului

Introducere: Melanomul este o patologie cu o incidență în creșterea nivel Mondial în ultimii ani, care are o serie de factori de risc fenotipici cum ar fi părul roșcat sau blond, factori ereditari cum ar fi antecedentele familiale sau factori de risc cum ar fi arsurile solare și expunerea la ultraviolet. În cazul melanomului evaluarea ganglionului santinelă este extrem de important în stabilirea unei conduită diagnostic și terapeutice pertinente. Conform ghidurilor NCCN, pentru stadiul IA (0.76-1.0 mm), stadiul IB (0.76-1.0 mm), stadiul II și stadiul III (fără ganglioni clinic pozitivi) intră în discuție evaluarea ganglionului santinelă, procedură care implică limfoscintigrafia de detecție aganglionului santinelă. Principiul limfoscintigrafie constă în injecția unui radiofarmaceutic emițător de radiație gamma la nivel intr- sau peritumoral. Radiofarmaceuticul este colectat de circulația limfatică și transportat de vasele limfatice. Pentru a localiza și ulterior a efectua excizia ganglionului santinelă se utilizează metode scintigrafice de detecție. S-a încercat optimizarea procedurii de limfoscintigrafie, respectând principiile de examinare, pentru a avea cea mai bună rată de detecție, dar totodată și să aibă o optimizare a radioprotecției și eficiență cost-beneficiu. Intenția acestui studiu a fost de a folosi ca sursă plană de Tc-99m pentru conturarea pacientului, fantomul de calibrare al gamma camerei în comparație cu datele publicate în literatură care descriu metoda consacrată, golden standard de conturare (utilizarea unei surse plane de Co-57)

Materiale și metodă: Studiul a fost derulat în departamentul de medicină nucleară al Institutului Oncologic Ion Chiricuță Cluj-Napoca, cu implicarea multor categorii profesionale: medici specialiști, tehnicieni, fizicieni cu experiență în medicină nucleară, fizic nucleară, radioprotecție. Au fost considerați eligibili pentru acest studiu un număr de 95 de pacienți cu melanom, 65 femei și 31 bărbați. Din punct de vedere al localizării au fost grupați după regiunea anatomică: membru inferior 23 cazuri (24.21%), membru superior 17 cazuri (17.89%), torace 45 cazuri (47.37%) și abdomen 10 cazuri (10.35%). Limfoscintigrafia a fost efectuată utilizând ca radiofarmaceutic, particule de nanoalbumină umană marcate cu Tc-99m pentru injecție subcutanată cu activitate de 37 MBq într-un volum de 1 ml. Radiofarmaceuticul s-a administrat subcutanată în 4 puncte perileziional, în condiții antiseptice utilizând o seringă de 2 ml ecranată cu tungsten. Ca sursă plană de conturare a corpului pacientului a fost utilizat fantomul de calibrare umplut cu o soluție omogenă de Tc-99m. Fantomul a fost poziționat în partea opusă pacientului în relație cu detectorul gamma camerei. Achiziția imaginii a fost pe o matrice de 128x128 fără zoom și incidente antero-posterioare, postero-anterioare, laterale în concordanță cu particularitățile anatomice ale regiunii evaluate. Imaginile au fost achiziționate post-injecție la precoce la 15 min, tardive la 2 – 3 ore

postinjectare sau hipertardiv la 6 -7 ore postinjectare în cazul nevizualizării ganglionului santinelă în intervalul standard.

Rezultate: În 92 din cazuri, ganglionul santinelă a fost identificat și confirmat cu gamma=probe-ul în timpul procedurii chirurgicale, ceea ce înseamnă o rată de detecție de 96.84%. localizarea gnglionului santinelă a fost în concordanță cu drenajul limfatic: pentru localizarea pe membrul inferior, 23 de ganglioni santinelă în regiunea inghinală (25.0%), pentru localizarea la nivelul membrului superior, 17 ganglioni santinelă localizați în axilă (18.04%), pentru torace, 40 de ganglioni santinelă localizați axillar (43.48%), 3 localizați inghinal (3.26%), pentru localizarea abdominală, 1 ganglion santinelă a fost identificat la nivel axilar (1.09%) și 8 ganglioni santinelă în regiunea inghinală(8.69%)

Discuții: În coomparație cu fantomul de Co-57, cu activitate fixă conform specificațiilor tehnice disponibile commercial, care este clasificat în categoria de risc B, fantomul de calibrare cu Tc-99m este incadrat în clasa C, cu risc de iradiere mai mic. În acest context, prn utilizarea fantomului de calibrare cu Tc-99m în soluție cu activitat de 37 MBq pentru conturarea corpului pacientului, se obține o reducere a iradierii prin procedura de limfosintigrafie, și radioprotecția este optimizată. Ca o posibilă dezvoltare din acest studiu, a fost depus o cerere de brevet pentru această metodă la Oficiul de Stat pentru Invenții si Mărci.

Concluzii: Utilizarea fantomului de calibrare cu Tc-99m ca sursă plană de conturare a corpului uman este o metodă eficientă cu aceleași rezultate si sensibilitate ca metoda golden standard. Metoda oferă o optimizare a iradierii în limfoscintigrafie

Second study - The radiation exposure optimization for the staff working in PET/CT departments during loading and dispensing procedures using e-controlling devices in their daily practice

Introducere: Optimizarea iradierii in PET-CT a fost o preocupare constantă încă de la prima utilizare a acestei tehnici in practica clinică. De atunci, metoda a suferit modificari spectaculoase, și imbunătățiri pentru a asigura o calitate diagnostică superioară, achiziție mai rapidă, metode de reconstrucție inovatoare, toate ducând la o mai largă utilitate a acestei metode. Priind la evoluția PET-CT și tehnicii CT, este evident că echipamentele utilizate au suferit modificări care produc imagini spectaculoase, cu calitate superioară, cu sensibilitate crescută, comportament superior pentru pacient, manipulare mai facil dar toate acestea sunt în dezavantajul radioprotecției; de aceea o preocupare specifică în sensul optimizării iradierii este necesară pentru a respecta principiile de radioprotecție conform conceptului ALARA. Toate acestea sunt complementare principiului de limitare conform legislației în vigoare. Prin acest studiu am încercat să demonstrăm și să evaluăm eficiența dispozitivelor software de control la distanță a dispenserului de doze. Am încercat să optimizăm o metodă deja optimizată, conform conceptului ALARA.

Materiale și metodă: În acest studiu am evaluat riscul de iradiere al tehnologistului de medicină nucleară în timpul pregătirii radiofarmaceuticului folosind două modalități de lucru: așa cum este conceput dispenserul de doze, fiind manipulat de la consola proprie de control, respectiv controlând dispenserul de la distanță utilizând un software instalat pe smartphone. Am măsurat debitele de doză și activitățile manipulate; am calculat expunerea maximală și am analizat doza efectivă livrată prin cele două metode de lucru. Am analizat diferențele, în raport cu doza anuală a persoanei implicate în studiu precum și cu limita de doză impusă de legislație. Au fost considerate eligibile valorile înregistrate în 40 de zile de lucru când au fost efectuate 353 proceduri de preparare a dozelor.

Rezultate: Media activităților manipulate la încărcarea radiofarmaceuticului a fost de 233.7 mCi (8648 MBq) $SD \pm 63.3$ (2342.1), cu o distribuție omogenă. Media debitelor de doză măsurate în timpul procedurilor de încărcare a radiofarmaceuticului a avut o valoare de 83.4 $\mu\text{Sv/h}$, $SD \pm 22.6$. Media debitelor de doză măsurate în camera de control, la distanță de dispenser a fost 0.064 $\mu\text{Sv/h}$, $SD \pm 0.016$. Doza efectivă totală rezultată din procedurile de încărcare a radiofarmaceuticului, măsurată lângă dispenser a fost de 445.05 μSv . Doza efectivă totală măsurată în timpul procedurilor de încărcare a radiofarmaceuticului, măsurată la distanță de dispenser, în camera de comandă a fost 0.34 μSv . Diferența între aceste valori a fost de 444.71 μSv . Coeficientul de semnificație statistică p a fost mai mic de 0.0001, semnificativ statistic. Media activităților manipulate în timpul pregătirii seringilor cu radiofarmaceutic a fost 7.4 mCi (273.8 MBq), $SD \pm 1.6$ (59.2) cu distribuție omogenă. Media debitelor de doză măsurate lângă dispenser a fost 8.78 $\mu\text{Sv/h}$ cu $SD \pm 1.93$, iar la distanță 0.11 $\mu\text{Sv/h}$, $SD \pm 0.02$. Doza efectivă totală calculată în timpul tuturor procedurilor de preparare

langa dispenser a fost 206.6 μSv . Doza efectiva totala calculate in timpul procedurilor de preparare la distanță 2.64 μSv , ceea ce înseamnă o diferență de 203.96 μSv . Coeficientul de semnificatie statistica p a fost mai mic de 0.0001, semnificativ statistic. Diferenta totală dintre dozele efective calculate in timpul masuratorilor efectuate langă dispenser și cele efectuate la distanță a fost 648.67 μSv , ceea ce reprezintă 61.2% din doza efectiva anuală încasată de tehnologistul implicat în studio masurată cu dozimetru TLD și care a avut valoarea de 1.06 mSv.

Discuții: În concordanță cu toate principiile de evaluare a riscului, în acest studiu am evaluat in mod maximal riscul de iradiere, de aceea am evaluat debitele maxillae de doză. In acest mod am evaluat eficiența maxilă a metodei de lucru implementate. Valoarea acestui studiu constă în faptul că propune o metodă de lucru care să aducă optimizarea iradierii unei procedure deja optimizate, demonstrându-se ca în orice moment există modalități de optimizare a iradierii in practica zilnică.

Concluzii: Studiu de față demonstrează eficiența dispozitivelor smartphone în radioprotecția personalului din departamentul de PET/CT. Chiar validata, o metodă justificată, poate fi optimizată suplimentar, astfel încât iradierea este diminuată.

Al treilea studiu – Cuantificarea iradiirii echipei chirurgicale in timpul procedurii de excizie a ganglionului santinelă

Introducere: Conceptul de ganglion santinelă a câștigat în timp notorietate în oncologie, în anumite patologii iar utilitatea a fost demonstrată în practica clinică de o serie de studii, începând cu Morton al carui articol publicat in 1992 este considerat piatra de hotar in biopsia ganglionului santinelă. Această tehnica are o abordare multidisciplinară, implicand pe langă medicina nucleară si alte specialități; în acest mod, riscul de iradiere se extinde dincolo de domeniul medicinei nucleare, implicand și personal ne-expus profesional, in special pentru cei implicați în procedurile chirurgicale. Scopul acestui studio este de a cuantifica si a evalua riscul de iradiere la nivelul extremităților chirurgului ce efectuează procedura de excizie a ganglionului santinelă. S-a evaluat dacă există un risc de iradiere pentru chirurg, si dacă sunt necesare masuri de radioprotecție in timpul manoperei chirurgicale.

Materiale și metodă: Am efectuat un studiu prospectiv în strânsă colaborare cu departamentul de chirurgie al Institutului Oncologi Ion Chiricuță Cluj-Napoca pe o perioada de un an. S-a masurat doza echivalentă la nivelul indexului non-dominant al chirurgului pentru a evalua riscul maximal de iradiere a personalului chirurgical. In acest studiu am inclus un numar de 196 de procedure chirurgicale, incluzand 104 cazuri de melanom, 84 carcinom mamar, 6 neoplasm vulvar, 2 neoplasm penian. Procedura chirurgicala a fost efectuată la 2-4 h postexamenare, in 175 cazuri. In 21 de cazuri, excizia a fost efectuata a doua zi. Evaluările dozimetrice au fost facute cu dozimetru de tip inel TLD DXT-RAD Harshaw.

Rezultate: Am analizat activitățile administrate și măsurătorile dozimetrice. Activitățile administrate au fost între 37 și 42.55 MBq, cu o medie de 39.55 (SD 1.97). Măsurătorile efectuate au evidențiat valori cuprinse între 0.10 mSv și 0.13 mSv (SD 0.001) cu o medie anuală de 0.11 mSv. DOza anuală a fost de 1.31 mSv, ceea ce corespunde la o medie de 6.69 μSv pentru fiecare procedura chirurgicală.

Discuții: Limita de doză pentru extremități este de 500 mSv pe an. In timpul unui an, efectuând 196 de procedure, chirurgul a incasat o doză echivalenta la extremități de 1.31 mSv, adica 6.69 μSv pe procedura. Considerând limita anuală de doze impusă de legislație, putem calcula că pentru a atinge această limită, chirurgicalul ar trebui să efectueze 74738 de procedure de excizie a ganglionului santinelă.

Concluzii: Iradierea mainilor chirurgului este minimă în timpul procedurii chirurgicale, riscul de iradiere este minim, fără a fi necesare masuri de radioprotecție pentru echipa chirurgicală. Biopsia ganglionului este o tehnică sigură din punct de vedere al iradierii.

Concluzii generale

- In medicina nucleară procedurile autorizate și justificate pot fi optimizate chiar și cand sunt utilizate metode gold standard.
- Radioprotectia trebui sa aiba in vedere toate categorii de indivizi, asa cum o prevede principiile de radioprotecție.
- Fantomul de calibrare cu solutie de Tc-99mpoate oferi avantaje in plus fata de metoda standard care utilizeaza o sursa de Co-57 pentru conturarea pacientului in limfoscintigrafia de ganglion santinelă asa cum o demonstrează primul studiu, avand un risc mai mic de iradiere cu aceeași sensibilitate.
- Dispozitivele smart utilizate pentru controlul de la distanta a dispenserelor automate de doze in departamentul de PET/CT pot aduce o optimizare eficienta a radioprotectiei personalului implicat in prepararea si fractionarea radiofarmaceuticelor, fara costuri semnificative, asa cum demonstreaza primul al doilea studiu
- Riscul de iradiere al echipei chirurgicale este minim in timpul exciziei ganglionului santinelă, mult sub limita legală pentru extremități.
- Nu sunt necesare masuri de radioprotectie pentru echipa chirurgicala.

Summary

Of PhD thesis

Innovative strategies to reduce the radiation exposure in daily practice of nuclear medicine

PhD student **Peștean Ilie Claudiu**

PhD Coordinator Assoc. Prof. **Piciu Doina MD, PhD**

Innovative strategies to reduce the radiation exposure in daily practice of nuclear medicine

Summary

The actual level of knowledge.....	3
First study - Sentinel lymph node scintigraphy in melanoma using a calibration planar phantom filled with Tc-99m for patient body contouring.....	4
Second study - The radiation exposure optimization for the staff working in PET/CT departments during loading and dispensing procedures using e-controlling devices in their daily practice.....	6
Third study – Radiation exposure quantification of surgical staff in operating room performing sentinel lymph-node excision.....	8
Concluzii generale și contribuțiile inovative ale tezei.....	9

Keywords

- Radiation protection
- Exposure
- Nuclear medicine
- Optimization
- Effective dose
- Multidisciplinarity
- As low as reasonably achievable

THE ACTUAL LEVEL OF KNOWLEDGE

Nuclear medicine is a medical field that exploits the use of radionuclides for diagnostic and therapeutic purposes in the benefit of patients in different pathologies and different stages of illness. Besides the great advantage given by radionuclides to diagnose different pathologies or to treat the patients, the use of ionizing radiation for the above-mentioned purposes involves risk but also detriment in certain situations, for different categories of individuals: medical exposed individuals as patients, exposed workers as staff working with ionizing radiation and societal exposed individuals. Any medical activity involving ionizing radiation is ruled by general and specific regulations related to radiation protection. Nowadays, the radiation protection aspects in medical activities respect very strict rules established by competent international and national organizations in order to minimize the destructive effects of ionizing radiation against individuals. The radiation protection regulations in nuclear medicine but also in all the fields of activity involving ionizing radiation are strictly regulated by several international and national bodies having a comprehensive range of regulations, recommendations and legislative documents ensuring the safety of individuals and environmental in terms of radiation protection. The foundation of the first organizations and the implementation of the first regulations emerged in conjunction with the discovery of the radiation and radioactive materials and with the associated risk imposed by the manipulation of radioactive sources or materials causing numerous injuries and damages reported in that pioneering time. There are some relevant organizations regulating the radiation protection issues worldwide, but also at a national level. Each state has its own governmental structure dealing with these aspects to enforce the implementations of radiation protection within the field of activities using ionizing radiation. All daily practices shall respect three broad principles: justification, optimization, limitation. In those practices with open radioactive sources where exists a risk for radioactive contamination, as a principle of practice, avoiding contamination should be added. These principles are stated in all the regulatory documents that apply to the practices with ionizing radiation. To respect these principles all the procedural and technical aspects involved in practice are designed in order to comply with these principles. In nuclear medicine, all the diagnostic and therapeutic procedures should be performed taking into account all the available alternatives for radiation protection. All the radiation protection aspects in daily practice are designed based on the interaction of the ionizing radiation with matter, exploiting physical properties of radiation and the physiological, chemical properties of radiopharmaceuticals. This is because, on one hand, it is important how the radiation interacts with matter and different materials, in order to design tools, devices and protocols for radiation protection. But, on the other hand it is important to identify all useful aspects related to biological impact of the radiopharmaceuticals. This is essential in order to design appropriate diagnostic and therapeutic protocols warranting correct diagnostic information and effective therapeutic response, but also radiation protection of all persons involved: patient, staff, comforters, family.

PERSONAL CONTRIBUTION

First study - Sentinel lymph node scintigraphy in melanoma using a calibration planar phantom filled with Tc-99m for patient body contouring

Background and aims: Melanoma is a disease with a tremendous increasing incidence all over the world in the last decades, having some phenotypic risk factors like red or blonde hair, hereditary factors like history of melanoma, but also other important risk factors like sunburns and high UV exposures. In the case of melanoma, the evaluation of sentinel lymph node is of great importance and well defined in the diagnostic and therapeutic strategies. According to NCCN, for melanomas in Stage IA (0.76-1.0 mm thickness), Stage IB (0.76-1.0 mm thickness), Stage II and Stage III (with no clinically positive nodes) there is a need for discussion and/or performing sentinel lymph node dissection, procedure that involves the sentinel lymph node scintigraphy for detection, according to the present professional guidelines for this topic. The principle in lymphoscintigraphy consists in the intra-tumoral or peritumoral administration of a gamma emitter labelled compound. The radiopharmaceutical is then collected by the lymphatic vessels and drained in the lymphatic basin. Nuclear medicine imaging techniques are used to visualize the sentinel lymph node, in order to localize it and subsequently to perform the sentinel lymph node dissection. Other detection tools may be used for a precise localization in the pre-surgical step, but with great benefits also during the surgical procedure, directly inside the surgical site. During the sentinel lymph node scintigraphic procedure we tried to find the best method to scintigraphically detect the sentinel lymph node respecting the principles of the method, but also optimizing their steps in order to offer improved radiation protection conditions and cost effectiveness without any detection rate impairments. One of the intentions was to use for the body contouring as planar source of Tc-99m the calibration planar phantom filled with aqueous solution and to evaluate the performance and the effectiveness of the method in comparison with the published data in the relevant literature describing the golden standard method for body contouring (i.e. the planar source of Co-57).

Materials and methods: The study was conducted in the Nuclear Medicine Department of "Ion Chiricuță" Institute of Oncology, performed by the clinical and technical staff in tight collaboration including physicians, technologists and physicists, professionals working in nuclear medicine having a good expertise in terms of nuclear medicine daily practice, nuclear physics, nuclear medicine technology and radiation protection. We considered eligible for this study a number of 95 patients, with melanoma, 65 females and 31 males. The localization of the lesions was grouped in four categories by the anatomical region: 23 cases on lower limb (24.21%), 17 cases on upper limb (17.89%), 45 cases on thorax (47.37%) and 10 cases on abdomen (10.53%). The sentinel lymph node scintigraphy was performed using human albumin nanoparticles labelled with Tc- 99m. We prepared for subcutaneous injection, for

each patient a solution of Nanocoll with an activity of 37 MBq, having a volume of 1 ml. The radiopharmaceutical was administrated via subcutaneous injection in four aliquots, perilesional respecting the antiseptic conditions using a 2 ml syringe adapted to a 26-gauge needle shielded with tungsten. The planar source for body contouring consisted in planar calibration flood phantom filled with homogenous solution of Tc-99m. The phantom was placed behind the patient, in the opposite side of the camera, towards the camera's detector. The acquisition was performed on a 128x128 image matrix with no-magnification. Antero-posterior, postero-anterior and lateral projections were performed in accordance with the anatomical characteristics of the scanned region and with the lymphatic drainage particularities. The images were acquired after the injection of the radiopharmaceutical as follows: early images – within 15 minutes post-injection, delayed images – at 2-3 hours post-injection and late images in those cases where no drainage was detected – at 6-7 hours post-injection.

Results: In 92 cases, the sentinel lymph node was identified and confirmed with the gamma probe during the surgical procedure, which means a detection rate of 96.84%. The localization of the detected sentinel lymph nodes was according to lymphatic drainage:: for tumors localized on lower limbs: 23 sentinel lymph nodes localized in inguinal region (25.00%), for tumors localized on upper limbs: 17 sentinel lymph nodes localized in axilla (18.48%), for tumors localized on the thorax: 40 sentinel lymph nodes were localized in the axilla (43.48%) and 3 sentinel lymph nodes were localized in inguinal region (3.26%), for tumors localized on the abdomen: 1 sentinel lymph node was localized in the axilla (1.09%) and 8 sentinel lymph nodes were localized in inguinal region (8.69%).

Discussion: In comparison with the Co-57 flood phantom, with fixed activities commercially available which is classified as Class B radioactive risk source, the calibration phantom filled with Tc-99m solution, is situated in the Class C, with lower irradiation risk. In this light, using the calibration flood phantom filled with 37 MBq Tc-99m for body contouring, we added significant radiation protection to the sentinel lymph node scintigraphy. As potential development outcoming from this study, we made a deposit to the Romanian National Authority for Inventions, State Office for Inventions and Trademarks, to obtain a patent for this method of body contouring in sentinel lymph node scintigraphy.

Conclusions We considered all the results and analyzing the data to finalize our study we can conclude that in sentinel lymph node scintigraphy, related to the aspects of body contouring, the calibration flood phantom filled with homogenous solution of Tc-99m is an efficient tool with the same results as the golden standard method. Our method provides accurate diagnostic and anatomical data to efficiently identify the sentinel lymph node and to mark its projection to the skin. The method offers efficient optimization of the procedure in terms of radiation protection.

Second study - The radiation exposure optimization for the staff working in PET/CT departments during loading and dispensing procedures using e-controlling devices in their daily practice

Background and aims: Optimization of radiation exposure in PET/CT, was a constant concern from the first attempts to use PET/CT in clinical practice, since the beginning of XXI century. From its first use in clinical practice, the method suffered changes and improvements to ensure higher diagnostic quality, faster acquisition, innovative reconstruction methods leading to a wider use in a large range of pathologies. Having a look at the evolution of PET/CT hybrid technique, diagnostic CT, it is clear that the equipment suffered tremendous developments and this led to more spectacular imaging aspects, higher sensitivity, better resolution, faster examination time, improved comfort for the patients, more convenient manipulation and all of these aspects were achieved in the detriment of radiation protection, unless special attention is given to the optimization of the exposure in order to respect the first key principle of radiation protection, the justification of the methods using ionizing radiation. Since, as emerged by all the above-mentioned conditioned, PET/CT availability spectacularly increased, it was a constant need for optimization of the method from the perspective of radiation protection, respecting in this way the second principle of radiation protection and to closely adhere to the ALARA concept. All of these principles are complementary to the principle of limitation for those categories of individuals for whom this principle is applied in compliance with the existing regulations and legislation. We tried to demonstrate the and we evaluated the efficiency of and e-controlling device used to control the dispenser in the exposure optimization for the personnel involved. We tried to demonstrate the possibility improve an already optimized method in terms of radiation protection, aiming the ALARA principle.

Materials and methods: In this study we evaluated the irradiation risk and the exposure of a technologist during the loading and the dispensing of the radiopharmaceutical having to different ways of working: as it is designed by the manufacturer, controlling the automatic dispenser using it's display control functions and, respectively, controlling the dispenser from distance using an e-controlling software installed on the smartphone. We measured the dose rate and the manipulated activities; we calculated the maximal exposure and analysed the difference in effective dose between these two methods of work. We analyse these differences in relation with the annual dose of the involved technologist and also with the annual dose limit established by the regulations. All the values recorded during the days when the technologist involved in the study performed the loading and dispensing have been considered valid for the study. Have been considered valid 40 days when the technologist performed 40 loading procedures and 353 dispensing procedures.

Results: The average calculated activity per each procedure was 233.7 mCi (8648 MBq) with SD \pm 63.3 (2342.1) having a homogenous distribution. The average of maximal dose rates

measured by the dispenser's dosimeter during the loading procedures had a value of 83.4 $\mu\text{Sv/h}$ with $\text{SD} \pm 22.6$. The average of maximal dose rates measured in the controlling room during the loading procedures was 0.064 $\mu\text{Sv/h}$ with $\text{SD} \pm 0.016$. The total effective dose as resulted from all loading procedures calculated from the maximal dose rates measured near the dispenser had a value of 445.05 μSv . The total effective dose calculated from the maximal dose rates measured in the controlling room during the loading procedures had a value of 0.34 μSv . The difference between the effective dose resulting from the data recorded near the dispenser and, respectively in the controlling room was 444.71 μSv . The two-tailed P value calculated from the two sets of effective doses was less than 0.0001, statistically significant. The average of all 353 activities dispensed into syringes was 7.4 mCi (273.8 MBq) with $\text{SD} \pm 1.6$ (59.2) and a homogenous distribution. The average values of the maximal dose rates measured by the dispenser's dosimeter, respectively the portable dosimeter in the controlling room, were 8.78 $\mu\text{Sv/h}$ with $\text{SD} \pm 1.93$ and 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ with $\text{SD} \pm 0.02$. The total effective dose calculated from the maximal dose rates measured in all dispensing procedures by the dispenser's dosimeter was 206.6 μSv . The total effective dose calculated from the maximal dose rates measured in the controlling room was 2.64 μSv , resulting a difference of 203.96 μSv . The calculated two-tailed P value for the two sets of data was less than 0.0001, being statistically significant. The cumulative difference between effective doses calculated for loading and respectively dispensing procedures between measurements recorded by dispenser's dosimeter and measured in the controlling room had a value of 648,67, which represents a reduction of 61.2% from the annual exposure of the involved technologist calculated as the total effective dose monthly measured by TLD dosimetry and having a value of 1.06 mSv.

Discussions: According to all the principles when a risk is evaluated, in the present study we evaluated the maximal risk of irradiation during loading and dispensing procedures, therefore we evaluated for each procedure the maximal dose rate. In this way we evaluated the maximal effectiveness of the method we implemented. The added value of this study is that it proposes an efficient optimization of an already optimized method in terms of radiation protection which demonstrates that always there is a way to optimize and to improve the daily routine to improve the radiation protection.

Conclusions: The present study demonstrated the efficiency of the e-controlling smart devices in radiation protection of the staff working in PET/CT departments during the loading and dispensing procedures. Even validated, an optimized method can be furthermore optimized and radiation exposure can be efficiently reduced.

Third study – Radiation exposure quantification of surgical staff in operating room performing sentinel lymph-node excision

Background and aims: The concept of sentinel lymph-node concept gains over decades notoriety among the diagnostic steps in oncology in several pathologies and its usefulness in therapeutic strategy was demonstrated in clinical practice by several studies, starting even with Morton, being known that his article published in 1992 is considered the milestone in sentinel lymph-node biopsy. The sentinel lymph-node biopsy has a multidisciplinary approach, involving besides the nuclear medicine staff, also surgical, nursing, oncology, anatomico-pathology personnel and the radiation risk caused by the lymphoscintigraphy goes beyond the boundaries of nuclear medicine department, involving non-exposed personnel, especially for those individuals involved in the surgical procedure. The aim of this study is to quantify and to evaluate the irradiation risk of the extremities of the surgeon performing the sentinel lymph-node removal procedure, measuring the effective dose of the non-dominant index during the removal procedure. We tried to evaluate if there is an irradiation risk for the surgeon and if there are radiation protection actions needed to implement for the surgical staff during the sentinel lymph-node biopsy.

Materials and methods: We ruled a prospective study in the close collaboration between the Department of Nuclear Medicine and the Department of Surgery from “Ion Chiricuță” Institute of Oncology over a period of one year. We measured the equivalent dose of non-dominant index of the surgeon during the sentinel lymph-node biopsy to evaluate the maximal irradiation risk of the extremity of the surgeon, to maximally evaluate the irradiation risk of the surgical staff during the procedure. For this study we included all the sentinel lymph-node scintigraphic procedures where sentinel lymph-node biopsy followed and was performed in “Ion Chiricuță” Institute of Oncology, a total number of 196 procedures. These cases included 104 melanoma, 84 breast carcinomas, 6 vulvar carcinomas and 2 penial carcinomas. The sentinel lymph-node excision was performed, depending on the clinical context together with the primary tumor, or together with an enlarged excision over the existing surgical scar. The surgical procedure was performed at an interval of 2-4 hours post-examination, the typical procedure, for 175 patients. In 21 cases, the sentinel lymph-node was surgically removed during the next day post-examination. The dosimetric assessment during the surgical step was performed with a DXT-RAD Harshaw TLD ring dosimeter to evaluate the equivalent dose received by the non-dominant index of the surgeon.

Results: After the final data were recorded, we summarized the obtained results related to the administrated activities and the results related to dosimetric measurements recorded with the TLD ring dosimeter. The administrated activities ranged between 37 – 42.55 MBq, with an average of 39.55 (SD 1.97). The measurements performed with the TLD dosimeter placed on the non-dominant index of the surgeon revealed a monthly equivalent dose ranging between 0.10 mSv and 0.10 mSv (SD 0.01) with a monthly average value of 0.11 mSv. The

total annual dose was 1.31 mSv, which corresponds to an average equivalent dose of 6.69 μ Sv received by the surgeon during each surgical procedure.

Discussions: The dose limit for the equivalent dose of the extremities is established as 500 mSv per year. During one year, performing 196 procedures, the non-dominant index of the surgeon suffered an exposure of 1.31 mSv, which results 6.69 μ Sv per procedure. Considering the annual limit, we can calculate that to reach the limit given by legislation in terms of extremity dose limit, the surgeon would need to perform 74738 sentinel lymph node removal procedures over one year.

Conclusions: The irradiation of the hands of the surgeon is minimal during the sentinel lymph-node biopsy. The irradiation risk is minimal, and no radiation protection constraints are necessary for the surgical team performing the sentinel lymph-node removal procedure. The sentinel lymph-node is safe in terms of irradiation risk for the most exposed member, the surgeon performing the sentinel lymph-node removal procedure, having an annual equivalent dose for extremities measured on the non-dominant index of 1.31 mSv per year.

General conclusions

- In nuclear medicine the authorized and justified procedures can be optimized even when gold standards or specialized devices are used.
- The radiation protection should aim all categories of individuals, as the radiation protection principles request it.
- The calibration flood phantom filled with Tc-99m solution may offer an advantage against the gold standard method using Co-57 planar source for body contouring in sentinel lymph-node scintigraphy as the first study demonstrates it, having lower irradiation risk with the same detection rate.
- E-controlling devices to manipulate the PET/CT automatic dispensers may lead to an efficient optimization of radiation protection staff members involved in dispensing and loading procedures, without significant costs, as was demonstrated by the second study.
- The irradiation risk for the surgical team performing the sentinel lymph node excision is minimal, significantly below the legal limit for extremities.
- No radiation protection measures should be taken into consideration for the surgical team.