

BRANDUOLINĖS MEDICINOS DARBUOTOJŲ VIDINĖS APŠVITOS DĖL LAKIŲJŲ RADIOFARMAKOLOGINIŲ PREPARATŲ ĮVERTINIMAS

Rima Ladygienė, Asta Orentienė, Laima Pilkytė

Radiacinės saugos centras

Santrauka

Tyrimo tikslas – remiantis praktiniais tyrimais įvertinti darbuotojų, dirbančių su atviraisiais jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, gaunamą vidinę apšvitą dėl darbo patalpų ore esančių radionuklidų ir nustatyti radiacinės saugos priemonių tinkamumą saugioms darbo sąlygoms užtikrinti.

Medžiaga ir metodai. Vidinė apšvita įvertinta taikant netiesioginį tyrimo būdą – atliekant radionuklidų tūrinio aktyvumo tyrimus darbo patalpų ore.

Rezultatai. Nustatyta, kad Vilniaus universiteto Onkologijos instituto patalpose, kuriose dirbama su atviraisiais jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais – radiofarmakologiniais preparatais, oro tarša radionuklidais yra minimali. Darbuotojų gaunama apšvita dėl radionuklidų, esančių patalpų ore, yra ne didesnė kaip 0,1 mSv per metus. Tačiau buvo nustatyta, kad maži radionuklidų aktyvumai yra aptinkami ir tose patalpose, kuriose tyrimo dieną su radiofarmakologiniais preparatais nebuvo dirbama, todėl siūloma koreguoti darbo instrukcijas.

Apibendrinimas. 2007 m. Vilniaus universiteto Onkologijos instituto patalpose, kuriose dirbama su lakiais radiofarmakologiniais preparatais, oro taršos tyrimais nustatyta, kad taikomos radiacinės saugos priemonės yra pakankamos darbuotojų saugai nuo apšvitos dėl jonizuojančiosios spinduliuotės užtikrinti.

Raktažodžiai: vidinė apšvita, radiofarmakologiniai preparatai, netiesioginis tyrimo metodas.

ĮVADAS

Darbuotojų, dirbančių su atvirais jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, išorinės ir vidinės apšvitos stebėsenai turi būti vykdoma remiantis branduolinės medicinos procedūrų radiacinės saugos reikalavimais, išdėstytais Lietuvos higienos normoje HN 77:2002 „Radiacinė sauga ir kokybės laidavimas branduolinėje medicinoje“ [1], radiacinės saugos reikalavimais vykdyti darbo vietų taršos radionuklidais monitoringą, išdėstytais dokumente „Darbuotojų apšvitos ir darbo vietų monitoringo tvarka“ [2], darbuotojų bei gyventojų apšvitą reglamentuojančiu dokumentu HN 73:2001 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“ [3], Lietuvos higienos norma HN 112:2001 „Vidinės apšvitos monitoringo reikalavimai“ [4] bei kitais teisės aktais. Vidinė darbuotojų apšvita gali būti nustatoma tiesiogiai, atliekant matavimus viso kūno matuokliu,

arba netiesiogiai, matuojant radionuklidų aktyvumą ore bei biologiniuose mėginiuose [5].

Vilniaus universiteto Onkologijos institute (toliau – VU OI) dažniausia yra naudojami du radionuklidai: ^{131}I ir $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Tiek diagnostikos, tiek radioterapijos tikslams naudojamas ^{131}I pasižymi dideliu lakumu ir greitai išskverbia į įvairias biologines grandines. ^{131}I yra beta ir gama spindulis, kurio pusėjimo trukmė 8,04 paros. Šis radionuklidas pasižymi neigiamu poveikiu organizmui, kada būdingus spindulinio pažeidimo požymius papildo skydliaukės funkciniai sutrikimai [4]. Didžioji dalis ^{131}I preparatų, naudojamų medicinoje, yra atviri jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai, todėl, neatsargiai elgiantis, radioaktyvusis jodas gali lengvai patekti į darbuotojo organizmą. Remiantis šio radionuklido biokinetiniu modeliu laikoma, kad 30 proc. jodo, patekusio į organizmą, pereina į skydliaukę, o likusi dalis pasišalina su biologinėmis išskyromis [6].

Kitas plačiai branduolinės medicinos tyrimams naudojamas radionuklidas yra $^{99\text{m}}\text{Tc}$. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yra beta ir gama spindulis, jį lengva registruoti matavimo prietaisais. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ pusėjimo trukmė 6 val., jam skylant nesudaro ilgalaikių radionuklidų. Dėl labai greito

Adresas susirašinėti: Rima Ladygienė,
Radiacinės saugos centras,
Kalvarijų g. 153, 08220 Vilnius.
El. p. r.ladygiene@rsc.lt

pusėjimo šis radionuklidas yra gaminamas vietoje, tai atliekant specialiuose generatoriuose, ^{99}Mo (kurio pusėjimo trukmė 66 val.) virstant $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Pagaminamas radiofarmakologinis preparatas $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$ formos, iš kurios lengvai gaunami įvairūs radiofarmakologiniai mišiniai. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ pažymėti skirtingos sudėties radiofarmakologiniai preparatai, pasižymintys skirtingomis savybėmis, gali būti nukreipiami į skirtingus organus ir paveikti skirtingus biologinius procesus. Šie preparatai įprastai ruošiami liginės sąlygomis, todėl darbuotojai, įkvėpę minėto radionuklido junginių, gali gauti vidinę apšvitą [7].

Svarbu paminėti dar du radionuklidus ^{89}Sr ir ^{90}Y , sutinkamus VU OI klinikinėje praktikoje, tačiau šių preparatų sunaudojimas yra mažesnis. ^{89}Sr ir ^{90}Y yra beta radionuklidai, kurių pusėjimo trukmė yra atitinkamai 50,5 dienos ir 64,2 val. Yra žinoma, kad ^{89}Sr ir ^{90}Y (kaip dukterinis ^{89}Sr izotopas) yra kalcio analogai ir atrankiai kaupiasi kauluose. Laikoma, kad organizme lieka pusė stroncio, patekusio intraveninės injekcijos metu, kita dalis pašalinama su šlapimu.

Radiacinės saugos centre nuo 2005 m. vykdomas darbuotojų, dirbančių branduolinės medicinos padaliniuose, vidinės apšvitos įvertinimas, atliekant matavimus viso kūno matuokliu. Tyrimo rezultatai parodė, kad egzistuoja darbuotojų vidinės taršos bei apšvitos radioaktyviuoju jodu tikimybė [8].

Atliktų tyrimų bei įvertinimo tikslas buvo nustatyti, kokią darbuotojų, dirbančių su atviraisiais jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniais, gaunamą vidinę apšvitą nulemia ore esantys radionuklidai, bei įvertinti, ar radiacinės saugos priemonės yra pakankamos saugioms darbo sąlygoms sukurti.

TYRIMO MEDŽIAGA IR METODAI

Dirbtinių beta (toliau – beta) radionuklidų tūrinio aktyvumo darbo patalpų ore tyrimui naudotas oro taršos radionuklidais matuoklis FHT 59 C. Prietaisas FHT 59 C pritaikytas beta radionuklidų tūriniam aktyvumui ir radono (toliau – Rn) tūriniam aktyvumui ore nustatyti. Prietaiso veikimo principas yra toks: siurbiamas oras patenka į prietaisą, dalelės, esančios ore (aerozoliai kartu su prie jų prisijungusiais radionuklidais), nusėda ant filtro, kurio aktyvaus paviršiaus plotas lygus 200 mm². Beta radionuklidų aktyvumas yra nustatomas proporcinium skaitikliu, taikant kompensacinį alfa / beta metodą. Oro siurbimo greitis yra lygus 2 m³/val. Pagal jį nustatomas beta radionuklidų tūrinis aktyvumas. Matavimai atlikti remiantis prietaiso darbo instrukcija [9]. Minimalus nustatomas beta radionuklidų tūrinis aktyvumas – 1 Bq/m³.

Matuoklis buvo statomas kuo arčiau darbo vietos taip, kad oro prieiga prie įsiurbimo vamzdelio būtų pakankama ir prietaisas netrukdytų darbuotojams.

Gama radionuklidų tūriniam aktyvumui darbo patalpų ore nustatyti buvo imami oro mėginiai. Oro siurbliu oras buvo siurbiamas per specialų filtrą (aktyvaus paviršiaus plotas lygus 500 cm²), ant kurio nusėda ore esantys aerozoliai. Oro siurbimo greitis 30 l/min. (1,8 m³/val.). Gama radionuklidų, nusėdusių ant filtro, aktyvumas buvo matuojamas gama spektrometru. Gama spektrometrinių tyrimų procedūra akredituota, matavimai atlikti pagal standartą IEC 1452:1995 „Radionuklidų gama spinduliuotės intensyvumų matavimas. Germanio spektrometrų kalibravimas ir naudojimas“. Tyrimams naudotas žemo fono didelės skiriamosios gebos *Canberra* firmos gama spektrometras su didelio švarumo plataus energijų intervalo germanio plokščių detektoriumi, santykinis efektyvumas 27,3 proc. Spektrų analizei naudotos spektrų analizės programos *Genie2000* arba *APEX*. Filtras patalpinamas į 50 ml cilindrinę kiuvetę, kuri uždedama ant detektoriaus. Tokiai matavimo geometrijai gama spektrometras yra sukalibruojamas, taikant matematinį kalibravimą programa *LabSOCS*. Tyrimo metu laiko tarpas tarp oro siurbimo pabaigos ir matavimo pradžios, taikant šį metodą, buvo ne didesnis kaip 1 val., taip buvo stengiamasi išvengti radionuklidų pusėjimo.

Tyrimai buvo atliekami 2007 m. vasarą ir rudenį. Oro taršos radionuklidais tyrimai buvo atlikti VU OI Onkologinės radioterapijos skyriaus ir Diagnostinės radiologijos skyriaus Branduolinės medicinos poskyrio (toliau – Branduolinės medicinos poskyris) kontroliuojamosios zonos patalpose, kuriose naudojami atviri jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai. Minėto poskyrio patalpose veikia ventiliacinė sistema, radiofarmakologiniai preparatai ruošiami traukos spintose. 1 lentelėje pateikiamas patalpų, kuriose buvo atliekami tyrimai, apibūdinimas bei tyrimų metodai, taikyti radionuklidų tūriniam aktyvumui patalpų ore nustatyti. Radionuklidų tūrinio aktyvumo ore tyrimams buvo parinktos skirtingos patalpos tam, kad būtų galima nustatyti darbuotojų gaunamas vidinės apšvitos dozes skirtingose darbo vietose. Tyrimai atskirose patalpose atlikti po vieną kartą, tačiau esant maksimaliam naudojamų radiofarmakologinių preparatų aktyvumui, kai yra tikimybė užfiksuoti didžiausią oro taršą radionuklidais.

Dviejose patalpose, kuriose nuolat dirbama su didžiausiais radionuklidų aktyvumais, oro taršos radionuklidais tyrimai buvo atliekami visą darbo savaitę,

1 lentelė. Patalpų, kuriose buvo atlikti oro taršos radionuklidais tyrimai, apibūdinimas bei taikytas tyrimo metodas

Patalpos pavadinimas	Radionuklidai, su kuriais dirbama nurodytoje patalpoje	Taikytas tyrimo metodas
Mažasis procedūrinis kabinetas	^{131}I	Beta radionuklidų turinio aktyvumo tyrimas prietaisu FHT 59 C
Branduolinės medicinos poskyrio didysis procedūrinis kabinetas	^{131}I ir $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Gama spektrometrinis metodas
Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpa	^{131}I ir ^{89}Sr	Beta radionuklidų turinio aktyvumo tyrimas prietaisu FHT 59 C
Radioaktyviųjų atliekų laikinoji saugykla	^{131}I ir ^{89}Sr	Beta radionuklidų turinio aktyvumo tyrimas prietaisu FHT 59 C
Gama kamera	^{131}I ir $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Gama spektrometrinis metodas
Laukiamasis	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Gama spektrometrinis metodas
Saugykla	$^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{90}Y , ^{131}I ir ^{89}Sr	Beta radionuklidų turinio aktyvumo tyrimas prietaisu FHT 59 C

kiekvieną darbo dieną. Kiekvieno atlikto tyrimo trukmė buvo 5 val. Minėtų patalpų apibūdinimas pateikiamas 2 lentelėje.

Branduolinės medicinos poskyrio didžiajame procedūriniame kabinate tyrimų metu buvo laikomas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatorius (aktyvumas pirmąją darbo dieną – pirmadienį buvo 10 GBq) bei darbo metu – radiofarmakologinis ^{131}I preparatas skydliaukės tyrimams (bendras ^{131}I turinis aktyvumas buvo 200 MBq). Visi šie radiofarmakologiniai preparatai buvo laikomi traukos spintoje, kurioje jie ruošiami ir dozuojami. Oro taršos tyrimai atlikti tuo pačiu darbo dienos metu (nuo 9 iki 14 val.), siurbiant orą 5 val. per specialų filtrą ir vėliau jį ištiriant laboratorijoje gama spektrometriniu metodu.

Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpoje tyrimai buvo atliekami pirmojoje darbo dienos pusėje, kada atliekamos procedūros, kurių metu naudojami ^{131}I radiofarmakologiniai preparatai.

Įvertinant metines apšvitos dozes dėl radionuklidų, esančių darbo patalpų ore, remtasi metodikomis ir koeficientais, pateiktais [10] bei naudojant lygtį:

$$E_{ikv} = C_A R_{ikv} DF_{ikv},$$

čia C_A – radionuklido turinis aktyvumas ore, Bq/m³; R_{ikv} – per metus įkvepiamo oro tūris, m³; DF_{ikv} – dozės koeficientas, įkvėpus radionuklidą, Sv/Bq.

Naudoti parametrai: įkvepiamo oro tūris – 1,2 m³/val. [4]; darbo valandų skaičius, vertinant konservatyviai, 2000 val. per metus [4]; dozės koeficientai, radionuklidą įkvėpus, suaugusiesiems: ^{131}I – $7,4 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq; ^{89}Sr – $7,9 \cdot 10^{-9}$ Sv/Bq; $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – $1,2 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq [10].

Vertinant apšvitą patalpose, kuriose dirbama su ^{131}I ir ^{89}Sr , tuo atveju, kai aktyvumas buvo nustatytas mažesnis arba lygus aptikimo ribai 1 Bq/m³, skaičiavimui imta ši vertė.

Vidinės apšvitos dozių nuo ore esančių $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I įvertinimas, kintant darbo pobūdžiui, atliktas konservatyviai, t. y. kada laikoma, kad apšvitą gautų darbuotojas, jeigu toje patalpoje dirbtų visus metus, t. y. 2000 val., ir įkvepiamo oro tūris būtų 2400 m³ per metus. Remiantis VU OI specialistų pateiktais duomenimis, Branduolinės medicinos poskyrio darbuotojai patalpoje – Branduolinės medicinos poskyrio didžiajame procedūriniame kabinate vidutiniškai per metus dirba 13 savaitių, arba 546 val., ir tokio darbuotojo įkvepiamo oro tūris per metus darbo vietoje laikytinas lygus 655 m³. Tyrimų metu didžiajame

2 lentelė. Patalpų, kuriose atlikti oro taršos radionuklidais tyrimai penkias darbo dienas iš eilės, apibūdinimas ir taikytas tyrimo metodas

Patalpos pavadinimas	Radionuklidai, su kuriais dirbama patalpoje	Taikytas tyrimo metodas	Patalpoje atliekamas darbas
Branduolinės medicinos poskyrio didysis procedūrinis kabinetas	^{131}I ir $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Gama spektrometrinis metodas	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatorius, radiofarmakologinių preparatų gamyba ir išdavimas (darbas atliekamas traukos spintoje)
Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpa	^{131}I ir ^{89}Sr	Gama spektrometrinis metodas ir beta radionuklidų turinio aktyvumo matavimas prietaisu FHT 59 C	Farmakologinių preparatų dozavimas ir išdavimas (preparatų dozavimas atliekamas traukos spintoje)

procedūriniame kabinete atliktos procedūros kartojamos, t. y. kiekvieną savaitę yra atliekamos tos pačios procedūros. Todėl apšvitęs dozėms vertinti buvo panaudotas vidutinis radionuklidų tūrinis aktyvumas, nustatytas patalpoje, atlikus matavimus 5 dienas iš eilės.

VU OI atliktų oro taršos tyrimų metu nustatyti patalpose esantys radionuklidai ir įvertintos galimos vidinės apšvitės dozės tik nuo ore esančių radionuklidų aerolinių frakcijų. Atlikus panašius tyrimus Lenkijoje, kur oro taršos radionuklidais tyrimai vykdyti endokrinologijos ligoninėje, buvo nustatyta, kad ^{131}I radionuklido aktyvumas aeroliniėje frakcijoje yra žymiai mažesnis negu dujinėje, ir gautas vidutinis šių frakcijų santykis lygus 1:58 [11]. Tyrimų Lenkijoje metu atskirais atvejais nustatyta, kad ^{131}I dujinėje frakcijoje patalpų ore pasitaikydavo iki 300 kartų daugiau nei aeroliniėje. Tyrimai parodė, kad tam įtakos turi patalpos oro drėgmė, vėdinimo greitis ir kiti parametrai.

Todėl VU OI gauti duomenys buvo panaudoti siekiant įvertinti, kiek ^{131}I dujinėje frakcijoje gali būti patalpos ore ir kokią apšvitą šis aktyvumas gali nulemti

darbuotojams. Skaičiavimui imtas frakcijų santykis ^{131}I aeroliniėje frakcijoje su ^{131}I dujinėje frakcijoje lygus 1:58 (kadangi tyrimų metu atmosferos sąlygos tirtose patalpose buvo panašios į Lenkijoje atliktų tyrimų sąlygas).

REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Patalpų ore esančių beta radionuklidų tūrinio aktyvumo tyrimų, esant didžiausiam darbo intensyvumui, rezultatai

Išmatuotas beta tūrinis aktyvumas ore buvo mažesnis už minimalų nustatomą aktyvumą (MDA) visose tirtose patalpose, išskyrus vieną patalpą rūsyje, t. y. beta radionuklidų tūrinio aktyvumo vertės gautos mažesnės nei 1 Bq/m^3 , neatsižvelgiant į patalpos paskirtį, joje atliekamų darbų tipą, naudojamus radionuklidus ar jų aktyvumą. Visose patalpose matavimo metu veikė ventiliacijos sistemos. Vienintelė patalpa, kurioje užfiksuotas didesnis nei MDA radionuklidų tūrinis aktyvumas, buvo radioaktyviųjų atliekų laikinojo saugojimo patalpa rūsyje, kur beta radionuklidų tūrinis aktyvumas ore buvo lygus 1 Bq/m^3 .

3a lentelė. VU OI patalpų ore esančių beta radionuklidų tūrinio aktyvumo tyrimo rezultatai

Patalpa	Matavimo trukmė, val.	Beta radionuklidų tūrinis aktyvumas, Bq/m^3	Atliekamų darbų apibūdinimas
Saugykla	5	<MDA*	Saugomi radiofarmakologiniai ^{131}I ir ^{89}Sr , ^{90}Y preparatai iki dalijimo pacientams
	5	<MDA	Saugomi radiofarmakologiniai ^{131}I ir ^{89}Sr , ^{90}Y preparatai iki dalijimo pacientams. Atvežtos medžiagos $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generatoriui
Mažasis procedūrinis kabinetas prie renogramų kabineto	3	<MDA	Darbo metu dozuotas radiofarmakologinis skystas jodo preparatas, laikomas traukos spintoje (bendras aktyvumas 10 MBq). Dalytas radiofarmakologinis ^{131}I preparatas kapsulėse 4 pacientams (kapsulės aktyvumas 500 kBq)
Palata Nr. 1	3	<MDA	1 pacientas, prieš parą gavęs 1500 MBq radiofarmakologinio ^{131}I preparato
Palata Nr. 2	3	<MDA	
Laikinoji radioaktyviųjų atliekų saugykla	3	<MDA	Laikiniai saugomos radioaktyviosios atliekos. Tyrimo metu saugykloje buvo laikomos panaudotos medicininės pirštines, popierius, ampulės ir kita. Tyrimo metu neveikė patalpos ventiliacija
Laikinoji radioaktyviųjų atliekų saugykla	3	1	Laikiniai saugomos radioaktyviosios atliekos. Tyrimo metu patalpoje buvo laikomos buitinės atliekos ir panaudota pacientų patalynė bei kiti skalbiniai. Tyrimo metu neveikė patalpos ventiliacija

*MDA – 1 Bq/m^3

3b lentelė. VU OI patalpose nustatytas radionuklidų tūrinis aktyvumas taikant gama spektrometrinį metodą

Patalpa	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ tūrinis aktyvumas, Bq/m^3	^{131}I tūrinis aktyvumas, Bq/m^3	Veikla patalpoje
Gama kamera	$1,10 \pm 0,08$	$0,012 \pm 0,001$	Iki 10 val. patalpoje atliekami tyrimai pacientams, gavusiems radiofarmakologinio ^{131}I preparato, nuo 11 val. – pacientams, gavusiems radiofarmakologinio $^{99\text{m}}\text{Tc}$ preparato
Laukiamasis	$0,06 \pm 0,01$	$0,020 \pm 0,004$	Laukė 8 pacientai, gavę po 600 MBq radiofarmakologinio $^{99\text{m}}\text{Tc}$ preparato

Tyrimų metu šioje patalpoje buvo laikoma pacientų, kuriems taikytos radioterapinės procedūros, naudota patalynė ir kiti skalbiniai. Patalpos ventiliacija tyrimo metu nebuvo įjungta. Beta radionuklidų tūrinio aktyvumo patalpų ore tyrimo rezultatai pateikti 3a lentelėje.

Patalpų ore esančių radionuklidų tūrinio aktyvumo tyrimo rezultatai taikant gama spektrometrinį metodą

Gama spektrometru ištyrus filtrus, buvo nustatyta, kad laukiamojo patalpos ir patalpos, kurioje yra gama kamera, ore buvo radionuklidų ^{131}I ir $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Gauti tyrimų rezultatai pateikti 3b lentelėje. Oras patalpose buvo siurbiamas po 4 val.

Tyrimo rezultatai rodo, kad didesnis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tūrinis aktyvumas nustatytas gama kameros patalpoje, kur oro siurbimo metu buvo atliekami tyrimai pacientams, gavusiems tiek $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (diagnostika), tiek ir ^{131}I (terapija) radiofarmakologinius preparatus. Taip pat didesnis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ nei ^{131}I tūrinis aktyvumas nustatytas laukiamajame, kur tyrimo metu buvo 8 pacientai, kuriems buvo paskirta po 600 MBq radiofarmakologinio $^{99\text{m}}\text{Tc}$ preparato. Nors tyrimo metu laukiamajame pacientų, vartojusių radiofarmakologinio ^{131}I preparato, ir nebuvo, tačiau dėl oro srauto judėjimo tarp patalpų nedidelis ^{131}I tūrinis aktyvumas užfiksuotas ir šioje Onkologinės radioterapijos skyriaus patalpoje.

Patalpos ore esančių radionuklidų tūrinio aktyvumo tyrimo gama spektrometriniu metodu rezultatai, kintant darbo pobūdžiui toje patalpoje

Gauti tyrimų rezultatai, atliekant tyrimus visą darbo savaitę patalpose, kuriose nuolat dirbama su didžiausiais radionuklidų aktyvumais, pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Radionuklidų tūrinio aktyvumo Branduolinės medicinos poskyrio didžiojo procedūrinio kabineto patalpos ore tyrimų rezultatai

Darbo savaitės dienos	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ tūrinis aktyvumas, Bq/m ³	^{131}I tūrinis aktyvumas, Bq/m ³
Pirmadienis	0,27 ± 0,03	0,027 ± 0,004
Antradienis	0,29 ± 0,03	0,016 ± 0,003
Trečiadienis	0,98 ± 0,12	0,018 ± 0,003
Ketvirtadienis	2,41 ± 0,28	0,014 ± 0,003
Penktadienis	0,15 ± 0,02	0,052 ± 0,004
Vidutinė vertė	0,82 ± 0,10	0,025 ± 0,003

Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpoje ^{131}I tūriniam aktyvumui nustatyti palyginimui buvo panaudotas prietaisas FHT 59 C, kuriuo buvo išmatuotas bendrasis beta radionuklidų tūrinis aktyvumas ore (kartu matuojant ir ^{131}I , kuris yra ir beta spinduoelis, tūrinį aktyvumą) (5a lentelė).

Siekiant detaliau ištirti patalpą ir tiksliau nustatyti ^{131}I tūrinį aktyvumą, buvo panaudotos jodo, kaip gama spindulio, savybės ir atlikti gama spektrometriniai tyrimai. Rezultatai pateikti 5b lentelėje.

5a lentelė. Bendrojo beta radionuklidų tūrinio aktyvumo (kartu su ^{131}I) Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpos ore tyrimų rezultatai

Darbo savaitės dienos	Beta radionuklidų tūrinis aktyvumas, Bq/m ³	Procedūrų patalpoje apibūdinimas
Pirmadienis	<MDA*	Procedūros su radiofarmakologiniais preparatais nevykdomos
Antradienis	1	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato skysto ir kapsulėmis dalijimas
Trečiadienis	<MDA	Procedūros su radiofarmakologiniais preparatais nevykdomos
Ketvirtadienis	<MDA	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato skysto dalijimas
Penktadienis	1	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato kapsulėmis dalijimas

*MDA – 1 Bq/m³

5b lentelė. Radionuklidų tūrinio aktyvumo Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpos ore tyrimų rezultatai, taikant gama spektrometrinį metodą

Darbo savaitės dienos	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ tūrinis aktyvumas, Bq/m ³	^{131}I tūrinis aktyvumas, Bq/m ³	Procedūrų patalpoje apibūdinimas
Pirmadienis	0,006 ± 0,002	0,06 ± 0,006	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato dalijimas
Antradienis	–	0,0003 ± 0,00003	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato kapsulėmis dalijimas
Trečiadienis	0,007 ± 0,002	0,04 ± 0,005	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato dalijimas
Ketvirtadienis	0,002 ± 0,001	0,03 ± 0,004	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato dalijimas
Penktadienis	0,002 ± 0,001	0,04 ± 0,005	Radiofarmakologinio ^{131}I preparato kapsulėmis ir skysto dalijimas
Vidutinė vertė	0,0034 ± 0,002	0,035 ± 0,004	

Nors šioje tirtroje patalpoje dirbta tik su radiofarmakologiniu ^{131}I preparatu, patalpos ore užfiksuotas ir nedidelis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tūrinis aktyvumas. Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpa yra visų šiuose skyriuose naudojamų radionuklidų „judėjimo kelias“, t. y. į Onkologinės radioterapijos skyriaus saugyklą visi radionuklidai patenka per fasavimo patalpą, be to, per šią patalpą radionuklidai išduodami į darbo vietas.

Vidinės apšvitos dozės įvertinimas patalpose, kuriose dirbama su ^{131}I ir ^{89}Sr

Apšvita nuo radionuklidų darbo aplinkoje įvertinta pagal tyrimų rezultatus, pateiktus 3a lentelėje. Jeigu laikysime, kad patalpoje vyrauja ^{131}I , metinė efektinė vidinės apšvitos dozė būtų $17,8 \mu\text{Sv}$. O jeigu laikysime, kad patalpose vyrauja beta radionuklidas ^{89}Sr , tuomet metinė efektinė apšvitos dozė darbuotojui dėl patalpų ore esančio šio radionuklido būtų lygi $19 \mu\text{Sv}$. Tokią apšvitą gautų darbuotojas, jeigu patalpoje visus metus dirbtų tik su radiofarmakologiniais ^{131}I arba ^{89}Sr preparatais arba darbuotojas visą darbo laiką būtų laikinojoje radioaktyviųjų atliekų saugykloje (rūsyje), kurioje saugomos šių minėtų dviejų radionuklidų radioaktyviosios atliekos.

Vidinės apšvitos dozės nuo ore esančių $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I įvertinimas

Apšvita dėl $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I , esančių darbo patalpų ore, skaičiuota imant tyrimų rezultatus, pateiktus 3b lentelėje, ir laikant, kad darbuotojas visą darbo laiką (2000 val. per metus) praleis vienoje darbo patalpoje, kurios ore yra $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I . Apšvitos dozių vertinimo rezultatai pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Metinė efektinė vidinės apšvitos dozė dėl darbo patalpos ore esančių $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I

Patalpa, kurioje darbuotojas dirbtų	Metinė efektinė vidinės apšvitos dozė, μSv		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I	Suminė abiejų radionuklidų
Gama kamera, patalpa Nr. 62	$3,17 \cdot 10^{-2}$	0,23	0,25
Laukiamasis	$1,72 \cdot 10^{-3}$	0,34	0,36

Vidinės apšvitos dozių nuo ore esančių $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I įvertinimas, kintant darbo pobūdžiui

Branduolinės medicinos poskyrio darbuotojams apšvita vertinta pagal 4 lentelėje pateiktus tyrimų rezultatus, Onkologinės radioterapijos skyriaus – pagal tyrimų duomenis, nurodytus 5b lentelėje. Vertinimo rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Metinės efektinės vidinės apšvitos dozės nuo ore esančių $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I , įvertintos pagal tyrimų rezultatus, gautus kintant darbo pobūdžiui

Darbo patalpa	Dirbant 2000 val. per metus, apšvita, μSv			Dirbant 546 val. per metus, apšvita, μSv		
	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I	Abiejų radionuklidų	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{131}I	Abiejų radionuklidų
Branduolinės medicinos poskyrio didysis procedūrinis kabinetas	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$
Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpa	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$6,2 \cdot 10^{-1}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$

8 lentelė. ^{131}I tūrinio aktyvumo aerolinėje ir dujinėje frakcijose įvertinimo rezultatai

	Branduolinės medicinos poskyrio didysis procedūrinis kabinetas			Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpa		
	^{131}I tūrinis aktyvumas, Bq/m^3					
	Aerolinėje frakcijoje	Dujinėje frakcijoje	Bendras	Aerolinėje frakcijoje	Dujinėje frakcijoje	Bendras
Vidutinė vertė	0,025	1,5	1,53	0,035	2,05	2,09

9 lentelė. Metinės efektinės vidinės apšvitos dozės nuo ^{131}I aerolinėje ir dujinėje frakcijose

Branduolinės medicinos poskyrio didysis procedūrinis kabinetas	Onkologinės radioterapijos skyriaus fasavimo patalpa
Metinė efektinė vidinės apšvitos dozė, μSv	
Dirbant 2000 val. per metus	Dirbant 546 val. per metus
27	7,3

Vidinės apšvitos dozės nuo ore esančių beta radionuklidų įvertinimas, patalpose kintant darbo pobūdžiui

Apšvitai įvertinti panaudoti tyrimų duomenys, pateikti 5a lentelėje. Vertinant konservatyviai darbuotojui tenkanti metinė efektinė dozė siektų iki 19 μSv per metus, jei patalpos ore vyrautų ^{131}I ir / arba ^{89}Sr radionuklidai ir jų aktyvumas ore būtų 1 Bq/m^3 . Vertinant realistiškiau laikyta, kad Onkologinės radioterapijos skyriuje radiofarmakologinių skysto ir kapsulėmis ^{131}I dalijimo procedūrą darbuotojas atlieka vidutiniškai 2 mėnesius per metus. Todėl vertinant apšvitą, gaunamą darbuotojų, dirbančių fasavimo patalpoje, laikyta, kad per metus įkvepiamo oro tūris yra 504 m^3 , bei remtasi 5a lentelėje pateiktais beta radionuklidų tūrinio aktyvumo matavimų rezultatais. Nustatyta, kad darbuotojai šiuo atveju gautų metinę efektinę dozę iki 4,0 μSv per metus, jei patalpos ore būtų ^{131}I ir / arba ^{89}Sr radionuklidų.

Vidinės apšvitos dozės nuo ore esančių skirtingų formų ^{131}I įvertinimas

Pasinaudojant 4 bei 5b lentelėse pateiktais tyrimų duomenimis, ^{131}I aerozolinėje ir dujinėje frakcijose tūrinio aktyvumo įvertinimo rezultatai nurodomi 8 lentelėje. Savaitės trukmės oro taršos tyrimų rezultatai panaudoti apšvitos dozėms įvertinti nuo galimai ore esančių ^{131}I aerozolinėje ir dujinėje frakcijose. Metinės efektinės dozės įvertintos pagal anksčiau aprašytą metodiką ir pateiktos 9 lentelėje.

IŠVADOS

1. Atlikus oro taršos radionuklidais tyrimus, nustatyta, kad beveik visų tirtų patalpų ore yra radionuklidų, su kuriais dirbama toje arba šalia esančiose patalpose, tačiau aktyvumai nėra dideli, bet radionuklidai aptikti ir patalpose, kuriose tyrimų

metu veikia su radionuklidais atliekama nebuvo, t. y. nustatyta kryžminė patalpų tarša.

2. Tyrimai parodė, kad tomis dienomis, kai dirbama su radiofarmakologiniais preparatais, patalpų ore radionuklido aktyvumas yra didesnis, tačiau patalpų oro taršos radionuklidais dėsnigumo tarp darbo su atvirais jonizuojančios spinduliuotės šaltiniais ir radiofarmakologinio preparato dalijimo kapsulėmis nenustatyta.
3. Įvertinus apšvitą, kurią gali nulemti $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ir ^{131}I patalpų ore, nustatyta, kad didžiausia apšvita, kurią gautų per metus 2000 val. su radiofarmakologiniais preparatais dirbantis darbuotojas, būtų lygi 0,6 μSv , vertinant pagal faktinį dirbtą laiką – 0,2 μSv .
4. Įvertinta apšvita nuo I^{131} aerozolinėje ir dujinėje frakcijose patalpų ore ir didžiausia apšvita, kurią sukeltų I^{131} , esantis tiek dujinėje, tiek aerozolinėje frakcijose, būtų lygi 27 μSv per metus.
5. Tyrimai atskleidė, kad VU OI Branduolinės medicinos poskyryje dirbančių darbuotojų radiacinei saugai užtikrinti reikėtų koreguoti veiklos procedūras, siekiant patalpose išvengti kryžminės taršos.
6. Tyrimus dėl VU OI patalpų taršos radionuklidais reikėtų tęsti, kad būtų galima detaliau išaiškinti situaciją ir atlikti tikslesnį darbo vietų higieninį įvertinimą, panaudojant įrangą tiek aerozolinėje, tiek dujinėje frakcijose esančių radionuklidų aktyvumui nustatyti.

Padėka. Autoriai dėkoja Vilniaus universiteto Onkologijos instituto Radiacinės saugos tarnybos specialistams už pagalbą organizuojant tyrimus bei teikiant informaciją, kuri buvo reikalinga tyrimų rezultatams įvertinti. Asmeninė padėka Renatai Ofomalai už pagalbą organizuojant tyrimus bei apibendrinant tyrimų rezultatus.

Straipsnis gautas 2009-09-24, priimtas 2010-01-05

Literatūra

1. Lietuvos higienos norma HN 77:2002 „Radiacinė sauga ir kokybės laidavimas branduolinėje medicinoje“. Valstybės žinios. 2003;21-916.
2. Darbuotojų apšvitos ir darbo vietų monitoringų tvarka. Valstybės žinios. 2000;38-1086.
3. Lietuvos higienos norma HN 73:2001 „Pagrindinės radiacinės saugos normos“. Valstybės žinios. 2002;11-388.
4. Lietuvos higienos norma HN 112:2001 „Vidinės apšvitos monitoringo reikalavimas“. Valstybės žinios. 2001;66-2425.
5. Assessment of occupational exposure due to intake of radionuclides safety guide. IAEA Safety Standards Series No. RS-G_1.2, p. 226.
6. Methods for Assessing Occupational Radiation Doses due to Intakes of Radionuclides. IAEA Safety Series Reports, No. 37. Vienna, Austria.
7. Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. Physics in Nuclear Medicine. Edition 3, 2003.
8. Radiacinės saugos centro 2008 metų veiklos ataskaita. Radiacinės saugos centras, 2009.
9. Aerosol Monitor FHT 59 C Operating Instruction. Thermo Electron Corporation, 1999.
10. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment, IAEA Safety Reports Series No. 19.
11. Mietelski JW et al. Inhalation dose due to presence of ^{131}I in air above septic tank system of endocrinology hospital. Radiation Protection Dosimetry. 2005;117(4):395-401.

Estimation of intakes due to volatile radiopharmaceuticals for medical staff of nuclear medicine department

Rima Ladygienė, Asta Orentienė, Laima Pilkytė
Radiation Protection Centre

Summary

Aims. The purpose of this investigation was to measure concentrations of radionuclides at working places at Vilnius University Oncology Institute (VU OI), to estimate doses and to suggest radiation protection measures, if necessary.

Methods. Measurements of concentrations of radionuclides in air in working rooms were performed using portable device FHT 59C, which typically is designed for measurement of gross beta and indoor radon. Minimal detectable activity using this device is 1 Bq/m³. The air suction tube was placed in breathing zone of the worker. Air filtration was performed using simple glass fiber filter for the estimation of concentrations of ^{99m}Tc. Measurements of filters were performed by gamma spectrometer with high purity Ge detector. Effective dose was estimated using general dose calculation models and the results of radionuclide concentration measurements obtained during this investigation. Breathing rate 1.2 m³/h, working hours 2000 (conservative estimation) and 546 hours (more realistic situation) and dose coefficients for inhalation were used in the calculations. Ratio of 1:58 for radioiodine in the aerosol and gaseous form was used.

Results. Investigation showed that only very small concentrations of radionuclides were present in the working area. There were no differences between the rooms where radiopharmaceuticals were given to patients and other premises. The highest measured concentrations were: for ^{99m}Tc (7.0 ± 2.0) mBq/m³ and for ¹³¹I – (62 ± 6) mBq/m³. Small concentrations of radioiodine were measured in the air even at the moment when capsular radioiodine was

submitted to patients. Conservative estimation of internal doses due to the presence of gamma emitters in working space showed that the highest dose for the medical staff would be 1.1 μSv in the case of 2000 working time hours, and 0.2 μSv for more realistic situations (when the working time is 546 hours per year). It was found, that the dose related to radioiodine (in aerosol and gaseous forms) was not higher than 0.1 mSv per year.

According to the estimated doses, no additional radiation protection measures were necessary at VUOI. However it was recommended to investigate working procedures for the avoidance of possible cross contamination of premises.

Investigation of radionuclides in air at the working places where volatile radiopharmaceutical solutions were used showed that only very small concentrations of radionuclides were present there in 2007. It was suggested that radiation protection measures were appropriate for the staff at Vilnius University Oncology Institute.

Keywords: internal exposure, radiopharmaceutical solutions, indirect method.

Correspondence to Rima Ladygienė,
Radiation Protection Centre,
Kalvarijų 153, LT-08220 Vilnius, Lithuania.
E-mail: r.ladygiene@rsc.lt

Received 24 September 2009, accepted 5 January 2010