

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.778>

<https://orcid.org/0000-0003-2655-4418>

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Rita Steponavičienė

Černobylio atominės elektrinės avarijos ilgalaikės sveikatos pasekmės Lietuvoje

DAKTARO DISERTACIJA

Medicinos ir sveikatos mokslai,
visuomenės sveikata (M 004)

VILNIUS 2025

Disertacija rengta 2020–2024 metais Nacionaliniame vėžio institute.
Disertacija ginama eksternu.

Mokslinė konsultantė – Doc. dr. Giedrė Smailytė (Nacionalinis vėžio institutas, medicinos ir sveikatos mokslai, visuomenės sveikata, M 004).

Gynimo taryba:

Pirmininkas – **prof. dr. Rimantas Stukas** (Vilniaus universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, visuomenės sveikata, M 004).

Nariai:

Doc. dr. Donatas Austys (Vilniaus universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, visuomenės sveikata – M 004),

Prof. dr. Vadim Chumak (Ukrainos nacionalinė medicinos mokslų akademija, nacionalinis radiacinės medicinos tyrimų centras, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001).

Prof. dr. Jolanta Dadonienė (Vilniaus universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina – M 001),

Doc. dr. Goda Elizabeta Vaitkevičienė (Vilniaus universitetas, medicinos ir sveikatos mokslai, medicina, M 001),

Disertacija ginama viešame Gynimo tarybos posėdyje 2025 m. 06 mėn. dieną 27 d. 12 val. Vilniaus universiteto Medicinos fakulteto Didžiojoje auditorijoje.
Adresas: M. K. Čiurlionio g. 21, Vilnius, Lietuva.

Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus universiteto centrinėje bibliotekoje (Universiteto g. 3, LT-01513, Vilnius) ir VU interneto svetainėje adresu: <https://www.vu.lt/naujienos/ivykiu-kalendorius>.

<https://doi.org/10.15388/vu.thesis.778>

<https://orcid.org/0000-0003-2655-4418>

VILNIUS UNIVERSITY

Rita Steponavičienė

Long-Term Health Effects of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident in Lithuania

DOCTORAL DISSERTATION

Medicine and Health Sciences,
Public Health (M 004)

VILNIUS 2025

This dissertation was written between 2020 and 2024 at the National Cancer Institute.

The dissertation is defended on an external basis.

Academic Consultant – Assoc. Prof. Dr. Giedrė Smailytė (National Cancer Institute, Medicine and Health Sciences, Public Health, M 004).

This doctoral dissertation will be defended in a public meeting of the Dissertation Defence Panel:

Chairperson – Prof. Dr. Rimantas Stukas (Vilnius University, Medicine and Health Sciences, Public Health, M 004).

Members:

Assoc. Prof. Dr. Donatas Austys (Vilnius University, Medicine and Health Sciences, Public Health, M 004),

Prof. Dr. Vadim Chumak (Head of laboratory at the National Research Center for Radiation Medicine, Hematology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Medicine and Health Sciences, Medicine, M 001).

Prof. Jolanta Dadonienė (Vilnius University, Medicine and Health Sciences, Medicine, M 001),

Assoc. Prof. Dr. Goda Elizabeta Vaitkevičienė (Vilnius University, Medicine and Health Sciences, Medicine, M 001),

The dissertation will be defended at a public meeting of the Dissertation Defence Panel at 12:00 p.m. on 27 June, 2025 in the Great Auditorium of the Faculty of Medicine of Vilnius University.

Address: Čiurlionio 21, Vilnius, Lithuania.

The text of this dissertation can be accessed at the Library of Vilnius University (Universiteto 3, LT–01513, Vilnius) as well as through the website of Vilnius University: www.vu.lt/lt/naujienos/ivykiu-kalendorius.

SANTRUMPOS

AE	atominė elektrinė
AR	veiksninė rizika (angl. <i>attributable risk</i>)
ČMC	Černobylio medicinos centras
FHMS	Fukušimos sveikatos tyrimų ir pasekmių vertinimo registras (angl. <i>Fukushima Health Management Survey</i>)
Gy	grėjus
IARC	Tarptautinė vėžio tyrimo agentūra (angl. <i>International Agency for Research on Cancer</i>)
ICRP	Tarptautinė radiologinės saugos komisija (angl. <i>The International Commission on Radiological Protection</i>)
IEP	ilginė energijos perdava (LET – angl. <i>linear energy transfer</i>)
INWORKS	Tarptautinis branduolinės pramonės darbuotojų tyrimas (angl. <i>International Nuclear Workers Study</i>)
JS	jonizuojančioji spinduliuotė
NRRW	Nacionalinis radiacijos darbuotojų registras (angl. <i>National Registry for Radiation Workers</i>)
mGy	miligrėjus
mSv	milisivertas
SMS	standartizuotas mirtingumo santykis (angl. <i>standardised mortality ratio</i>)
SR	santykinė rizika
SSS	standartizuotas sergamumo santykis (angl. <i>standardised incidence ratio</i>)
Sv	sivertas
UNSCEAR	Jungtinių Tautų mokslinis komitetas jonizuojančiosios spinduliuotės poveikiui tirti (angl. <i>The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>)

TURINYS

1. ĮVADAS.....	10
2. LITERATŪROS APŽVALGA.....	13
2.1 Jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis žmogaus sveikatai	13
2.1.1 Branduolinių avarijų likviduotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės	17
2.1.1.1 Černobylio AE avarijos likviduotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės.....	17
2.1.1.1.1 Černobylio AE avarijos likviduotojų sergamumas onkologinėmis ligomis	17
2.1.1.1.2 Černobylio AE avarijos likviduotojų mirtingumas	19
2.1.1.2 Branduolinių ginklų pramonės avarijų padarinių likviduotojų mirtingumas	21
2.1.1.3 Fukušimos Daiči AE avarijos padarinių likviduotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės	21
2.1.1.3.1 Fukušimos Daiči avarijos padarinių likviduotojų sergamumas onkologinėmis ligomis	21
2.1.1.3.2 Fukušimos Daiči AE avarijos padarinių likviduotojų mirtingumas.....	22
2.1.2 Branduolinės pramonės darbuotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės.....	22
2.1.2.1 Branduolinės pramonės darbuotojų sergamumas onkologinėmis ligomis.....	22
2.1.2.2 Branduolinės pramonės darbuotojų mirtingumas	23
2.1.2.3 Branduolinių ginklų pramonės darbuotojų sergamumas onkologinėmis ligomis.....	24
2.1.3 Branduolinę taršą patyrusių gyventojų ilgalaikės sveikatos pasekmės	25
2.1.3.1 Branduolinę taršą patyrusių gyventojų mirtingumas.....	25
2.1.3.2 Branduolinę taršą patyrusių gyventojų sergamumas onkologinėmis ligomis.....	27
2.1.3.2.1 Apšvitą patyrusių 0–19 m. amžiaus gyventojų rizika susirgti skydliaukės vėžiu	29

2.1.3.2.1.1 Radiokatyvųjų užterštumą patyrusių 0–19 m. amžiaus gyventojų rizika susirgti skydliaukės vėžiu.....	29
2.1.3.2.1.2 Medicinos diagnostikos ir gydymo tikslais taikomos jonizuojančiosios spinduliuotės įtaka 0–19 m. amžiaus žmonių sergamumui skydliaukės vėžiu.....	33
3. TYRIMO APIMTIS IR METODAI	38
3.1 Duomenų apie tiriamosios grupės asmenis rinkimas ir duomenų bazės sukūrimas	38
3.1.1 Duomenų šaltiniai	38
3.1.2 Tiriamųjų grupės suformavimas.....	40
3.1.2.1 Tiriamųjų grupės suformavimas sergamumui onkologinėmis ligomis (1986–2012 m.) analizuoti	40
3.1.2.2 Tiriamųjų grupės suformavimas mirtingumui (2001–2020 m.) analizuoti	41
3.1.2.3 Tiriamųjų grupės suformavimas, aiškinantis Lietuvos gyventojų, kurie įvykus avarijai buvo 0–19 m. amžiaus, riziką susirgti skydliaukės vėžiu.....	41
3.1.3 Tiriamųjų grupės charakteristika.....	42
3.1.4 Svarbiausi ČAE radioaktyviosios taršos produktai, sukeliantys apšvitą.....	44
3.2 Tyrimo metodai	44
3.2.1 Kintamieji ir jų kategorijos.....	44
3.2.2 Asmens stebėjimo metų skaičiavimas	47
3.2.3 Piktybinių navikų atsiradimo rizikos įvertinimas	47
3.2.4 Mirtingumo rizikos įvertinimas.....	48
3.2.5 Lietuvos gyventojų, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 20 m. amžiaus, sergamumo skydliaukės vėžiu rizikos įvertinimas.....	49
3.2.6 Dozimetrinė apšvitos skydliaukei, patirtos Lietuvos gyventojų po ČEA avarijos, analizė.....	49
4. REZULTATAI.....	52
4.1 Lietuvos Černobylio AE likviduotojų tiriamųjų grupės rizika susirgti onkologinėmis ligomis	52
4.2 Černobylio AE avarijos padarinių likvidavimo darbus atlikusių asmenų gautos jonizuojančiosios spinduliuotės dozės dydžio įtaka rizikai susirgti onkologinėmis ligomis.....	54

4.3 Lietuvos Černobylio avarijos padarinių likviduotojų tiriamųjų grupės mirties priežastys.....	56
4.4 Černobylio AE avarijos padarinių likvidavimo darbus atlikusių asmenų gautos jonizuojančiosios spinduliuotės dozės dydžio įtaka mirtingumo pagal atskiras priežastis rizikai	58
4.5 Rekonstruotos regionams būdingos individualios ir kolektyvinės Lietuvos vaikų bei paauglių skydliaukės jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozės Černobylio avarijos metu, naudojantis radionuklidų aktyvumo matavimais pieno, žolės ir kituose mėginiuose, paimtuose netrukus po avarijos visoje Lietuvos teritorijoje	59
4.6 Černobylio AE avarijos padarinių sąsaja su Lietuvos gyventojų, kurie įvykus avarijai buvo 0–19 m. amžiaus, rizika susirgti skydliaukės vėžiu	63
REZULTATŲ APTARIMAS.....	67
TYRIMO RIBOTUMAI IR GAIRĖS ATEITIES TYRIMAMS	73
IŠVADOS	75
PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS.....	76
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	77
SANTRAUKA / SUMMARY	97
PUBLIKACIJOS IR PRANEŠIMAI	131
PRIEDAI	132
1 priedas. Duomenų šaltiniai, tiriant ČAE padarinių likviduotojų grupę	132
2 priedas. Duomenų šaltiniai, tiriant asmenis, kurie buvo 0–19 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai	133
3 priedas. Tiriamosios grupės sergamumui analizuoti sudarymo schema.....	134
4 priedas. Tiriamosios grupės mirtingumui analizuoti sudarymo schema.....	135
5 priedas. Tiriamosios grupės, skirtos tirti asmenims, kurie buvo 0–19 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai, sudarymo schema.....	136
PADĖKA	137
THANK YOU	138

1. ĮVADAS

Darbo temos aktualumas. Saugus atominių jėgainių eksploatavimas ir išskylančios avarijų grėsmės yra globali problema. Branduolinės taršos pasekmės aplinkai bei žmonių sveikatai yra ilgalaikės, nuolat tiriamos ir susilaukia daug visuomenės dėmesio. Patyrus jonizuojančiąją spinduliuotę (toliau – JS), padidėja tiek onkologinių, tiek neonkologinių susirgimų bei mirtingumo rizika. Net praėjus 37 metams po Černobylio atominės elektrinės (toliau – ČAE) avarijos, iki galo neatsakyti visi klausimai apie ilgalaikius jonizuojančiosios spinduliuotės padarinius žmonių sveikatai.

Itin grėsminga padėtis tapo 2022 m., kai į Ukrainą įsiveržusios ir Černobylio zoną okupavusios Rusijos karinės pajėgos elgėsi su radioaktyviąja tarša visiškai neatsakingai ir nesaugiai, ypač šioje zonoje esančiame Raudonajame miške. Labai aktualus išlieka ir Rusijos okupuotos Zaporožės AE saugumo klausimas. Jis skatina visą Europą peržvelgti, ar tinkamai pasirengta reaguoti į galimą taršą radionuklidais. Taip pat atkreiptinas dėmesys į Astravo AE Lietuvos kaimynystėje keliamas potencialias grėsmes.

Po Černobylio ir Fukušimos branduolinių jėgainių avarijų išmoktos pamokos paskatino mokslininkus bei ekspertus parengti rekomendacijas, kaip pagerinti nuo tokių avarijų nukentėjusių gyventojų pasirengimą, ilgalaikę priežiūrą, diagnostinės atrankos kriterijus ir gyvenimo sąlygas, kad visa tai atitiktų jų poreikius ir būtų išvengta perteklinio nerimo. Daug informacijos apie ilgalaikį jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį sveikatai gauta, išanalizavus Černobylio AE avarijos likviduotojų (likvidavusių avarijos padarinius) sergamumą ir mirtingumą.

Atliekant Černobylio AE taršos likvidavimo darbus, dalyvavo daugiau nei 600 tūkst. asmenų iš visos tuo metu egzistavusios SSRS [1]. Prie šių darbų prisidėjo ir apie 17 tūkst. Estijos, Latvijos bei Lietuvos gyventojų. Didžiausią dalį Baltijos šalių likviduotojų sudarė lietuviai (apie 7 tūkst.). Atliekant Černobylio padarinių tvarkymo darbus, likviduotojai dalyvavo nuo vieno iki penkių mėnesių [2]. Vidutinė vieno likviduotojo apšvitos dozė, patirta per visą avarijos likvidavimo laiką, siekė 100 mSv [3].

Radioaktyvusis jodas yra pavojingas, nes jis skleidžia jonizuojančiąją spinduliuotę, kurios kancerogeniškumas žmogui įrodytas (I grupės kancerogenai) [4–6], tačiau vienareikšmiškų įrodymų, kad jonizuojančioji spinduliuotė lemia didesnę mirtingumą tiek nuo onkologinių, tiek nuo neonkologinių ligų, nepakanka [7], ypač kai kūno apšvita jonizuojančiąja spinduliuote yra mažesnė nei 100 mSv.

Sujungus Lietuvos, Latvijos ir Estijos likviduotojų sveikatos sukauptus duomenis, išryškėjo ilgalaikės pasekmės Baltijos šalių likviduotojų sveikatai ir jų mirtingumo dėl onkologinių bei neonkologinių ligų tendencijos [2].

1990 m. lapkričio 19 d. sveikatos apsaugos ministro įsakymu Nr. 369 įkurtas Lietuvos Respublikos Černobylio medicinos centras (toliau – ČMC), priklausantis VšĮ Sapiegos ligoninei. ČMC, greta kitų funkcijų, buvo pavesta atlikti kasmetinius avarijos padarinių likviduotojų sveikatos patikrinimus ir sukurti duomenų bazę [8]. Šio darbo rezultatai padeda prognozuoti pasekmes gyventojų sveikatai, įvykus branduolinei avarijai ir esant radiologiniam užterštumui.

Darbo temos naujumas. Onkologinės ligos dėl patirtos JS diagnozuojamos praėjus 10–15 m., todėl labai svarbu užtikrinti duomenų rinkimo bei analizės tęstinumą. Pirmieji moksliniai tyrimai Lietuvoje, siekiant analizuoti riziką susirgti skydliaukės vėžiu ir leukemija Lietuvos likviduotojų grupėje, atlikti 1997 m. [8, 9]. Šiuo metu jau sukaupę duomenų analizė rodo, jog Lietuvos likviduotojų onkologinių susirgimų rizika vertinta tik laikotarpiu nuo 1986 m. iki 2007 m., be to, kartu su Baltijos šalių likviduotojų grupe [2]. Iki šiol nebuvo paskelbta išsamios Lietuvos likviduotojų mirčių priežasčių mokslinės analizės, išskyrus „Valstybės žiniose“ pateiktą ataskaitą [8]. Šiame darbe nuodugniai išanalizuota ir įvertinta piktybinių navikų atsiradimo ir mirtingumo nuo jų rizika Černobylio AE avarijos padarinių likviduotojų grupėje laikotarpiu nuo 1986 m. iki 2020 m.

Dėl meteorologinės situacijos pirmomis dienomis Po Černobylio AE avarijos radioaktyvūs debesis sklido ir per Lietuvos teritoriją, labiausiai radioaktyviosiomis iškritomis buvo užterštos pietinė ir vakarinė mūsų respublikos dalys. Šiose teritorijose radioaktyviosios taršos lygis pasiekė tokią ribą, kad teko uždrausti vaikams vartoti ten pagamintą pieną.

Naudojantis radionuklidų aktyvumo matavimais pieno, žolės ir kituose mėginiuose, atkurtos Lietuvos regionams būdingos individualios ir kolektyvinės vaikų bei paauglių po Černobylio avarijos patirtos skydliaukės apšvitos dozės. Iki šiol Europos šalyse po Černobylio AE avarijos nebuvo detalai rekonstruota ir ištirta, kaip visos šalies vaikų bei paauglių skydliaukės sugertoji dozė susijusi su skydliaukės vėžio rizika. Be to, darbe išsamiai išnagrinėta sergamumo skydliaukės vėžiu rizika Lietuvos gyventojams, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 20 m. amžiaus, įvertinus skirtingus radiaktyviosios taršos rajonus 29 metų laikotarpiu. Tokie duomenys iki šiol nuodugniai nebuvo analizuoti.

Tikimasi, kad šis tyrimas ir jo rezultatai atkreips dėmesį į tai, kaip svarbu kaupti bei sisteminti žinias apie ilgalaikes pasekmes nukentėjusiųjų nuo radioaktyviosios taršos sveikatai, ir padės užtikrinti laiku teikiamą bei tikslią

šių asmenų sveikatos priežiūrą, taip sumažinant mirtingumo rodiklius. Ši opi problema išsakoma kasmet minint Černobylio AE avarijos metines. Taip pat darbe įvertinta patirtos apšvitos dozės įtaka sergamumo ir mirtingumo rodikliui tiek dėl onkologinių, tiek dėl neonkologinių susirgimų. Ši informacija vertinga medikams: ji padėtų jiems deramai reaguoti ir imtis adekvačių priemonių galimos branduolinės avarijos atveju. Gyventojams, esant reikalui, būtų užtikrinta adekvati sveikatos priežiūra bei pagalba, išvengiant perteklinio ir nepagrįsto nerimo. Darbe pristatomi rezultatai leidžia prognozuoti pasekmes gyventojų sveikatai, įvykus branduolinei ar radiologinei avarijai ir esant radioaktyviajai taršai (^{131}I , ^{137}Cs).

Darbo tikslas – įvertinti ilgalaikį Černobylio AE avarijos sukeltos radioaktyviosios taršos ir padidėjusios apšvitos poveikį Lietuvos gyventojų sergamumui onkologinėmis ligomis bei mirtingumui.

Darbo uždaviniai:

1. įvertinti onkologinių susirgimų riziką Černobylio AE avarijos padarinių Lietuvos likviduotojų grupėje;
2. nustatyti priklausomybę tarp apšvitos dozės dydžio ir sergamumo onkologinėmis ligomis Černobylio AE avarijos padarinių Lietuvos likviduotojų grupėje;
3. nustatyti mirtingumo dėl atskirų priežasčių riziką Černobylio AE avarijos padarinių Lietuvos likviduotojų grupėje;
4. įvertinti apšvitos dozės dydžio įtaką mirtingumo dėl atskirų priežasčių rizikai Černobylio AE avarijos padarinių likviduotojų grupėje;
5. rekonstruoti individualias ir kolektyvines, regionams būdingas Lietuvos vaikų bei paauglių skydliaukės apšvitos dozes Černobylio avarijos metu, naudojantis radionuklidų aktyvumo matavimais pieno, žolės ir kituose mėginiuose, paimtuose netrukus po avarijos visoje Lietuvos teritorijoje, ir išskirti rajonus pagal radiaktyviosios taršos lygius;
6. įvertinti sergamumą skydliaukės vėžiu visuose Lietuvos regionuose ir nustatyti, kaip tai susiję su vidutinėmis vaikystėje bei paauglystėje gautomis sugertosiomis skydliaukės dozėmis tuose regionuose.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

2.1 Jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis žmogaus sveikatai

Jonizuojančioji spinduliuotė – tai energijos perdavimas elektromagnetinių bangų arba dalelių forma, gebantis jonizuoti aplinką; jo poveikis gali paskatinti gyvųjų organizmų pokyčius. Pagal kilmę jonizuojančioji spinduliuotė skirstoma į gamtinę ir dirbtinę. Dažniausi dirbtinės kilmės jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai, dėl kurių žmogus patiria papildomą apšvitą, yra naudojami medicinos tikslais ir gaminant elektros energiją atominėse elektrinėse [1]. Plečiantis atominei energetikai ir atliekant branduolinių ginklų bandymus, didėja radiokatyvusis užterštumas radionuklidais, jie kaupiasi žmogaus organizme ir lemia papildomą gyventojų apšvitą jonizuojančiąja spinduliuote. Dažniausi radionuklidai: ^{131}I , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{103}Ru , ^{106}Ru [1, 4]. Radiokatyvusis užterštumas atsiranda, netinkamai išimant, gabenant ar saugant radioaktyviąsias atliekas, taip pat tai gali būti kitos nenumatytos ir nepageidaujamos veiklos pasekmė [6]. Plėtojant branduolinių ginklų pramonę ir atliekant bandymus, dažniausiai naudojami radionuklidai ^{239}Pu , ^3H , ^{235}U . Įvykus atominės elektrinės avarijai, kai radioaktyviųjų medžiagų patenka į aplinką, užterštumas jomis gali išlikti – tai priklauso nuo jų skilimo pusperiodžio, kuris gali būti nuo kelių valandų iki kelių tūkstančių metų [1]. Po Černobylio AE avarijos aplinkoje pasklido labai daug radioaktyviųjų medžiagų, tarp jų didžiausią poveikį žmonių sveikatai padarė radioaktyvusis jodas ^{131}I ir radioaktyvusis cezis ^{137}Cs (tai –dirbtiniai radionuklidai, natūraliai jų gamtoje nėra) [3, 9, 10].

Pastaraisiais dešimtmečiais, daugėjant diagnostinių bei terapinių procedūrų ir gausėjant taršos radionuklidais, gyventojai patiria papildomą apšvitą jonizuojančiąja spinduliuote. Ji žmogui gali pasireikšti atsitiktiniais (stochastiniais) ir nulemtaisiais (deterministiniais) reiškiniais. Svarbu, kaip radioaktyvieji elementai patenka į organizmą. Galima išorinė apšvita arba vidinė apšvita jonizuojančiąja spinduliuote, kai radioaktyviųjų medžiagų į organizmą patenka su maisto produktais, vandeniu, įkvėpus, per žaizdas ar kūno odą [5, 6]. Skydliaukės vėžiu dažniau susergama, kai radioaktyviųjų elementų patenka į organizmą su maistu, dažniausiai vartojant pieną ir jo produktus. Taip į organizmą patekęs radioaktyvusis jodas ^{131}I selektyviai kaupiasi skydliaukės audinyje (kituose organuose bei audiniuose rečiau), sukeldamas skydliaukės vėžį [10]. Išorinę ir vidinę apšvitas jonizuojančiąja spinduliuote patyrė Černobylio avarijos padarinių likviduotojai, atominės pramonės darbuotojai, taip pat branduolinio ginklo sprogimą bei branduolinės pramonės avarijas išgyvenę žmonės [2, 6, 9].

Epidemiologiniuose tyrimuose, kuriuose nagrinėjama mirtingumo ir sergamumo rizika dėl jonizuojančiosios spinduliuotės, yra labai svarbi patirtos

apšvitos kiekybinė išraiška – dozė. Ji parodo vykstant apšvitai gautos arba sugertos jonizuojančiosios spinduliuotės energijos kiekį. Dažniausiai, atliekant epidemiologinius tyrimus, pateikiami efektinės dozės (matavimo vienetas Sv – sivertas) arba sugertosios dozės (matavimo vienetas Gy – grėjus) rezultatai [7, 11]. Tiek efektinė dozė, tiek sugertoji dozė pagal SI sistemos matavimo vienetus yra matuojama džauliais kilogramui (J kg^{-1}). Slenkstinė deterministinio reiškinio atsiradimo dozė yra 0,1 Gy – tokia pati, kaip ir jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos sukeltų onkologinių ligų [11]. Mažos apšvitos jonizuojančiąja spinduliuote dozės sąvoką 1988 m. pasiūlė Jungtinių Tautų mokslinis komitetas jonizuojančiosios spinduliuotės poveikiui tirti – UNSCEAR (angl. *The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*). Kaip nurodoma 1991 m. Tarptautinės radiologinės saugos komisijos (angl. *The International Commission on Radiological Protection*) dokumente, 60 ICRP yra mažesnė nei 0,2 Gy ir dozės galia neviršija 0,05 mGy/min. [12, 13].

Vertinant radioaktyviosios medžiagos poveikį biologinei sistemai, svarbi ilginė energijos perdava (toliau – IEP, vienetas $\text{keV}/\mu\text{m}$) LET (angl. *linear energy transfer*) – vidutinis greitis, kuriuo elektringosios dalelės savo kelyje perduoda energiją medžiagai. Nuo IEP priklauso biologinio poveikio stiprumas ir tikimybė atkurti jo pasekmes. Kuo didesnė IEP, tuo stipresnis poveikis biologinei sistemai ir mažesnė tikimybė, kad pažeidimas atsinaujins [12].

Apšvita jonizuojančiąja spinduliuote gali pažeisti audinius ir organus, ji sukelia riziką susirgti onkologinėmis bei neonkologinėmis ligomis ir lemia didesnę mirtingumo riziką. Toks poveikis pasireiškia, kai organizmas patiria didesnę nei 0,1–0,2 Gy apšvitos dozę arba kai jos galia didesnė negu 0,005 Gy/h [13, 14, 15].

Siekiant kuo objektyviau įvertinti JS poveikį biologinei sistemai epidemiologinių tyrimų metu, atsižvelgiama į jonizuojančiosios spinduliuotės rūšį [6, 16, 17]. Ši spinduliuotė pagal IEP dydį skirstoma į dvi grupes: mažos IEP ir vidinės didelės IEP apšvitos. Mažos IEP grupę sudaro išorinė apšvita, dar skaidoma į didelės bei mažos dozių galios, ir vidinė apšvita. Vidinės didelės IEP apšvita susideda iš radono apšvitos ir kitos JS (1 lentelė).

Epidemiologiniai kohortiniai, atvejo ir kontrolės tyrimai yra labai svarbūs, siekiant įrodyti ilgalaikį jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos poveikį sveikatai [6, 17]. Itin daug visuomenės dėmesio bei perteklinio nerimo sukelia JS kancerogeninis poveikis, kuris tęsiasi visą apšvitą patyrusio žmogaus gyvenimą. Išskiriami kohortinių tyrimų privalumai: atliekant šiuos tyrimus, yra gausi apšvitą patyrusių asmenų imtis, išgyvenusieji stebimi kelis dešimtmečius, išsamiai analizuojamas piktybinių navikų atsiradimas ir mirtingumas nuo jų (1 lentelė).

1 lentelė. Kohortiniai ir atvejo ir kontrolės epidemiologiniai IEP spinduliuotės poveikio tyrimai

Maža IEP						
Išorinė didelės dozės galios apšvita						
Tyrimas	Mirtingumas / Sergamumas	Tiriamoji grupė		Tyrimo laikotarpis (metai)	JS apšvitos tipas	JS apšvitos sąsaja su konkrečiomis ligomis
		Charakteristika	Valstybė			
Atominį sprogimą išgyvenę žmonės Preston ir kt. [18]	Padidėjęs mirtingumas	50 113 apšvitą patyrusių žmonių, 36 459 nepatyrę apšvitos, iš jų 55,5 % moterų, amžius: 0–90 m.	Japonija	5–45 m.	Išorinė gama ir neutronų JS	Leukemija, galvos bei kaklo, stemplės, skrandžio, storosios ir tiesiosios žarnos, kepenų, tulžies pūslės, kasos, plaučių, kaulų, odos, krūties, gimdos kaklelio, gimdos, kiaušidžių, šlapimo pūslės, inkstų, galvos smegenų piktybinės ligos, limfoma, mieloma
Atominį sprogimą išgyvenę žmonės Preston ir kt. [18]	Dažniau atsirandantis piktybiniai navikai	37 270 apšvitą patyrusių žmonių, 42 702 nepatyrę apšvitos, iš jų 55,5 % moterų, amžius: 0–>90 (28,4)	Japonija	13–42 m.	Išorinė gama ir neutronų JS	Leukemija, ne Hodžkino limfoma, mieloma, burnos ertmės, seilių liaukos, stemplės, skrandžio, storosios ir tiesiosios žarnos, kepenų, tulžies pūslės, kasos, plaučių, krūties, odos (ne melanoma), gimdos, kiaušidžių, prostatos, šlapimo pūslės, CNS, skydliaukės piktybinės ligos
Išorinė mažos dozės ir mažos dozės galios apšvita						
Branduolinių jėgainių darbuotojai [19]	Nepadidėjęs mirtingumas	114 900 vyrų	Japonija	5 m.	Išorinė apšvita	Leukemija ir kt. piktybinės ligos
Branduolinių jėgainių darbuotojai [20]	Padidėjęs sergamumas	176 000 vyrų	Japonija	7 m.	Išorinė apšvita	Dozės sąsaja su skrandžio, stemplės, tiesiosios žarnos piktybinėmis ligomis ir mielominės ligos
Branduolinių jėgainių darbuotojai [21]	Nenustatyta mirtingumo padidėjimo	95 673 darbuotojai, iš jų 15 % moterų	Kanada, JK, JAV	43 m.	Išorinė apšvita	Piktybinės ir nepiktybinės ligos
Branduolinių jėgainių darbuotojai [22]	Nenustatyta mirtingumo padidėjimo	174 541 darbuotojas, iš jų 9 % moterų	JK	47 m.	Išorinė apšvita	Sąsaja su apšvita ir mirtingumu nuo širdies kraujagyslių ligų
Selafildo atominis kompleksas (branduolinių ginklų pramonė) [23]	Nepadidėjęs mirtingumas / sergamumas	10 028 didesnės apšvitos darbuotojai, 3 711 kitų darbuotojų, iš jų 19 % moterų	JK	40 m.	Išorinė apšvita	Didesnis sergamumas pleuros ir skydliaukės piktybinėmis ligomis
Hanfordas (branduolinių ginklų gamybos pramonė) [24]	Padidėjęs mirtingumas dėl piktybinių ligų	32 643 darbuotojai, iš jų 24 % moterų	JAV	Iki 43 m.	Išorinė apšvita	Didesnis mirtingumas nuo visų piktybinių navikų, leukemijos. Sąsaja tarp JS apšvitos dozės ir sergamumo kasos karcinoma bei Hodžkino limfoma

Maža IEP						
Tyrimas	Mirtingumas / Sergamumas	Tiriamoji grupė		Tyrimo laikotarpis (metai)	JS apšvitos tipas	JS apšvitos sąsaja su konkrečiomis ligomis
		Charakteristika	Valstybė			
Černobylio AE avarija: Rusijos avarijos padarinių likviduotojai [25]	Padidėjęs sergamumas	114 504 vyrai, amžius – nuo 20 iki 55 m.	Rusija	0–9 m.	Išorinė apšvita	Nustatyta sąsaja tarp JS apšvitos dozės ir piktybinių navikų susidarymo
Vidinė mažos dozės galios apšvita						
Tečios upės aplinkos gyventojai [26]	Mirtingumas	26 485 asmenys, iš jų 58 % moterų, amžius: 0–96 m.	Rusija	39 m.	Apšvitos dozės įvertinimas pagal aplinkoje išmatuotą gama spinduliuotės dozės galią	Leukemija, limfoma, skrandžio, kepenų, plaučių, krūties, kaulų vėžys
Maršalo salų gyventojai, patyrę branduolinių bandymų taršą [27]	Sergamumas	2 273 apšvitą patyrę gyventojai, iš jų 55 % moterų, amžius: 5–60 m.	Maršalo salos	29–31 m.	Nustatytos vidutinės dozės, įvertinus atstumą nuo hipocentro	Skydliaukės ligos
Didelės IEP apšvita						
„Majak“ darbuotojai, dirbantys plutoniu užterštoje aplinkoje [28]	Mirtingumas	4 186 asmenys, paveikti radioaktyviojo plutonio (1 479 įdarbinti iki 1959 m.), 14 644 darbuotojai (5 174 įdarbinti iki 1959 m.), iš jų 25 % moterų	Rusija	47 m.	Išorinė ir vidinė alfa dalelių spinduliuotės apšvita	Didesnis mirtingumas nuo plaučių, kepenų ir kaulų piktybinių navikų
Selafildo atominio komplekso (branduolinių ginklų pramonė) darbuotojai, dirbantys plutoniu užterštoje aplinkoje [23]	Nepadidėjęs mirtingumas, bet padidėjęs sergamumas plaučių vėžiu	5 203 plutonio užterštoje aplinkoje dirbantys asmenys, 4 609 iš jų išmatuota apšvita, 5 179 darbuotojai, neturintys tiesioginio kontakto su plutonium, 4 003 – dirbantys ne jonizuojančioje aplinkoje, iš jų 19 % moterų	JK	46 m. mirtingu mui ir 40 m. sergamu mui vertinti	Išorinė ir vidinė apšvita	Skrandžio, storosios žarnos, kasos, plaučių, pleuros, krūties, prostatos, šlapimo pūslės, smegenų, ne Hodžkino limfoma, leukemija

Prie trūkumų galima būtų priskirti tai, kad ne visada apšvitos dozė nustatoma individualiais dozimetrais, dažnai pritrūksta informacijos apie kitus rizikos veiksnius (pavyzdžiui, žalingus įpročius, gyvenimo būdą), o radioaktyvusis užterštumas neretai būna mišrus: – ^{131}I (vidinė ir išorinė apšvita), ^{137}Cs (vyrauja išorinė, bet galima ir vidinė apšvita), ^{90}Sr (vidinė beta dalelių apšvita, radionuklidas kaupiasi kauluose), ^{103}Ru (vidinė beta dalelių ir gama išorinė apšvita), ^{106}Ru (vidinė beta dalelių apšvita), ^{239}Pu (vidinė alfa dalelių ir gama išorinė apšvita; pavojingiausia išorinė apšvita, taip pat vidinė – įkvėpus), ^3H (vyrauja vidinė apšvita beta dalelėmis), ^{235}U (vyrauja vidinė alfa dalelių apšvita).

Nustatyta, kad jonizuojančioji spinduliuotė daro ilgalaikį poveikį žmogaus sveikatai, analizuojant šias pagrindines tiriamųjų grupes: branduolinių avarių padarinių likviduotojus, branduolinės pramonės darbuotojus ir branduolinę taršą bei medicininę apšvitą patyrusius gyventojus, ypač jaunesnio amžiaus.

2.1.1 Branduolinių avarių likviduotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės

2.1.1.1 Černobylio AE avarijos likviduotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės

1986 m. balandžio 26 d. įvykus Černobylio atominės elektrinės avarijai, į atmosferą pateko labai daug radioaktyviųjų medžiagų. Didžiausią apšvitos poveikį po Černobylio avarijos patyrė avarijos pasekmių likviduotojai. Atliekant Černobylio AE taršos likvidavimo darbus, dalyvavo daugiau nei 600 tūkst. asmenų iš visos tuo metu egzistavusios SSRS [1]. Prie šių darbų taip pat prisidėjo apie 17 tūkst. Estijos, Latvijos bei Lietuvos gyventojų. Didžiausią Baltijos šalių likviduotojų dalį sudarė lietuviai (apie 7 tūkst.) [2].

2.1.1.1.1 Černobylio AE avarijos likviduotojų sergamumas onkologinėmis ligomis

Rusijos avarijos padarinių likviduotojų grupėje standartizuotas sergamumo santykis SSS (angl. *standardised incidence ratio*) tiriamuoju laikotarpiu nuo 1992 m. iki 2008 m. dėl visų onkologinių ligų buvo padidintas (SSS = 1,20; 95 % PI = 1,16–1,25) [25]. 1999 m. konstatuota, kad likviduotojams būdinga didesnė rizika susirgti kvėpavimo organų piktybinėmis ligomis. Statistiškai reikšmingo virškinimo sistemos onkologinių ligų padidėjimo nenustatyta [25].

Praėjus 4–5 metams po patirtos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos, Rusijos likviduotojų kohortoje leukemijos veiksminė rizika AR (angl. *attributable risk*) buvo 45–60 % [25]. Tirta 71 870 asmenų. Jiems išmatuota vidutinė išorinės apšvitos sugertoji dozė siekė 107 mGy. Vertinant leukemijos sergamumo riziką, palyginti du skirtingi laikotarpiai – 1986–1996 m. ir 1997–2001 m. – ir dvi skirtingą apšvitą patyrusių darbuotojų grupės: vienų sugertoji dozė daugiau nei 150 mGy, kitų – mažiau nei 150 mGy. Atlikus šį tyrimą, nustatyta, kad likviduotojai, patyrę didesnę nei 150 mGy išorinę apšvitą, laikotarpiu nuo 1986 m. iki 1996 m. leukemija sirgo 2,2 karto dažniau nei patyrę mažesnę apšvitą. Vis dėlto vėlesniu laikotarpiu (1997–2001 m.) sergamumo leukemija rizika neišryškėjo net ir asmenims, patyrusiems didelę apšvitą [29, 30]. Sunku nustatyti sergamumo skydliaukės vėžiu ir patirtos apšvitos slenkstinę dozę, nes likviduotojai patyrė tiek išorinę, tiek papildomą vidinę apšvitą ¹³¹I. Standartizuotas sergamumo santykis: SSS = 6,62; 95 % PI = 4,63–9,09 [25, 31].

ČAE atliekant padarinių likvidavimo darbus dalyvavo 5 078 Latvijos gyventojai. 1998–2004 m. pastebimai padaugėjo skydliaukės, prostatos ir skrandžio onkologinių ligų. 2005–2007 m. labiausiai padidėjo sergamumas prostatos, skrandžio bei plaučių onkologinėmis ligomis, jis buvo didesnis nei pagal amžių ir lytį atitinkamose grupėse Latvijos gyventojų sergamumo rodiklis [32]. Pastaraisiais metais padaugėjo urogenitalinės sistemos organų piktybinių navikų (daugiausia prostatos ir šlapimo pūslės vėžio) [32, 33]. Pažymėtina, jog onkologinėmis ligomis likviduotojų grupėje serga jaunesnio amžiaus (40–54 m.) vyrai. Likviduotojų tiriamųjų grupėje sergamumas skydliaukės vėžiu buvo 10,6 karto didesnis, palyginti su Latvijos vyrų populiacija, šioje grupėje taip pat sirgo jaunesnio amžiaus asmenys [33]. Pastebėti dažnesni galvos smegenų piktybiniai navikai, sergamumo rizika: SSS = 1,90; 0,62–4,44; 5 atvejai [34].

Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 1986 m. iki 1998 m. – 4 786 asmenims Estijos padarinių likviduotojų grupėje nustatytas didesnis onkologinių ligų skaičius (SSS = 1,17; 95 % PI = 0,92–1,46). Išsiskyrė dažnesnės skydliaukės ir galvos smegenų piktybinės ligos, atitinkamai rizika susirgti šiomis ligomis buvo tokia: SSS = 3,88; 0,47–14,02; SSS = 2,39; 95 % PI = 0,88–5,20; 6 atvejai. Nenustatyta, kad būtų pagausėję leukemijos atvejų [35]. 2023 m. atnaujinus tiriamųjų, iš kurių 4 812 vyrų, analizės duomenis, pasitvirtino ankstesnė informacija, kad padidėjusi vėžio rizika Estijos likviduotojams sietina su žalingais įpročiais: rūkymu ir alkoholio vartojimu, tačiau nėra aiškių įrodymų, jog padidėjusią riziką lemia mažų dozių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvita [36].

Baltijos šalių likviduotojų kohortos 1986–1998 m. tyrimo imtis buvo 10 332 Estijos ir Latvijos likviduotojai. Nustatyta padidėjusi sergamumo skydliaukės (SSS = 7,06; 95 % PI = 2,84–14,55; 7 atvejai) ir smegenų (SSS = 2,14; 95 % PI = 1,07–3,83; 11 atvejų) vėžiu rizika [34]. Lietuvos, Latvijos ir Estijos likviduotojų kohortų sergamumo 1986–2007 m. tyrimas, į kurį buvo įtraukta 17 040 asmenų, patvirtino didesnę skydliaukės ir su alkoholio vartojimu susijusių piktybinių navikų atsiradimo riziką [2].

Tyrimo laikotarpiu – nuo 1986 m. iki 2000 m. – Ukrainos likviduotojų tiriamųjų 110 645 vyrų grupėje didesnę nei 150 mGy išorinę apšvitą patyrusiems asmenims nustatyta dvigubai didesnė, palyginti su Ukrainos vyrų populiacija, rizika susirgti leukemija [37, 38, 39]. Praėjus daugiau nei 20 metų po avarijos (2008–2012 m.), 152 520 tiriamųjų grupėje pastebėtas didesnis sergamumas daugine mieloma (SSS = 1,61, 95 % PI = 1,01–2,21) [40].

2.1.1.1.2 Černobylio AE avarijos likviduotojų mirtingumas

Rusijos likviduotojų (kohorta) mirtingumo analizė apėmė laikotarpį nuo 1992 iki 2008 m., į ją įtraukti visi dalyvavusieji atliekant darbus 1986 ir 1987 m., iš viso 47 141 asmuo [25, 31]. Vidutinė per visą avarijos laiką likviduotojų efektinė dozė siekė 129 mSv, maksimali – 1 240 mSv, o minimali – 0,1 mSv.

Avarijos padarinių likviduotojų grupėje nuo 1997 iki 2005 m. nustatytas didesnis mirtingumas ($SMR \geq 1$) dėl visų mirties priežasčių, palyginti su visos Rusijos gyventojų mirtingumu. Išanalizavus atskiras priežastis, didesnis mirtingumas dėl onkologinių ligų nenustatytas. Likviduotojų grupėje mirtingumas nuo širdies kraujagyslių sistemos ligų 1997–2002 m. gerokai viršijo Rusijos gyventojų mirtingumą dėl šios priežasties, tačiau 2007 ir 2008 m. avarijos padarinių likviduotojų grupės rodikliai buvo mažesni, palyginti su Rusijos vyrų gyventojų mirtingumo rodikliais [25, 31, 41].

Mirtingumo dėl kvėpavimo sistemos ligų rodiklis likviduotojų grupėje taip pat buvo šiek tiek mažesnis, palyginti su Rusijos vyrų populiacijos mirtingumu dėl šios patologijos. Be to, mirtingumo dėl virškinimo sistemos ligų rodiklis likviduotojų grupėje nuo 1994 m. SMR yra >1 . 1986–1992 m. buvo stebėtas didesnis mirtingumas dėl sužalojimų ir apsinuodijimų Rusijos likviduotojų grupėje [41].

Analizuojant apšvitos dozės įtaką mirtingumui dėl onkologinių ligų, nustatytas statistiškai patikimas mirtingumo nuo solidinių navikų padidėjimas [$ERR\ Gy^{-1} = 0,95$; 95 % PI = 0,19–1,89]. Taip pat, įvertinus gautą apšvitą, likviduotojų kohortos grupėje konstatuotas didesnis mirtingumas nuo širdies ir smegenų kraujagyslių sistemos ligų [25, 42]. Kvėpavimo takų, virškinamojo

trakto ir kitų neonkologinių ligų gautos apšvitos įtaka mirtingumui nebuvo nustatyta.

Atliekant pastarąją analizę, tirtos grupės, kuriose likviduotojai patyrė 0–50 mSv, 50–150 mSv ir >150 mSv apšvitos dozes. Tiems likviduotojams, kuriems išmatuota efektinė dozė viršijo 150 mSv, nustatyta 10 % didesnė mirtingumo rizika nei kontrolinėje grupėje. Šios grupės atstovai taip pat patyrė didesnę mirtingumo nuo širdies ir smegenų kraujagyslių sistemos ligų riziką [42].

Latvijos likviduotojų grupėje iš 5 906 asmenų mirė 954, šios mirtys tirtos 1999–2009 m. laikotarpiu, SMR 1 [43]. Pastebėtas didesnis mirtingumas 50–59 m. amžiaus grupėje. 1999 m. dažniausios mirties priežastys buvo išorinės: autoįvykiai, smurtas, apsinuodijimai, savižudybės ir kt. (42,6 % visų mirčių priežasčių likviduotojų grupėje); taip pat pasitaikė nemažai mirčių dėl kardiovaskulinės patologijos (12,8 %) ar onkologinių ligų (12,8 %) [43, 44].

Vėlesniais metais mirtingumas dėl išorinių priežasčių reikšmingai sumažėjo, tačiau padidėjo mirčių nuo kardiovaskulinės patologijos dalis. Mirtingumas dėl onkologinių ligų taip pat didėjo, tačiau šis rodiklis neviršijo Latvijos vyrų populiacijos mirtingumo rodiklių [44]. 2009 m. dažniausios mirties priežastys likviduotojų grupėje buvo kardiovaskulinė patologija (43 %), onkologinės ligos (25,3 %) ir išorinės priežastys (12,7 %). Mirtingumas nuo širdies ir smegenų kraujagyslių sistemos ligų Latvijos likviduotojų tiriamųjų grupėje labiau išreikštas 45–54 m. amžiaus asmenų grupėje [43].

Estijos likviduotojų grupėje buvo 4 831 asmuo, vidutinė išmatuota apšvitos dozė siekė 100 mGy. Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 1986 iki 2020 m. – iš grupės stebimų 4 812 asmenų mirė 1 503 (SMR 1,04; 95 % PI = 0,99–1,09). Nustatytas mirtingumas nuo onkologinių ligų (SMR 1,16; 95 % PI = 1,03–1,28). Padidinta mirties rizika nuo onkologinių ligų susieta su navikais, kurių rizikos veiksniai yra ne tik jonizuojančioji spinduliuotė, bet ir rūkymas bei alkoholio vartojimas [35]. Konstatuotas didesnis mirtingumas nuo kvėpavimo takų tuberkuliozės (SMR 1,15; 95 % PI = 0,68–1,81), tačiau jis dėl mažo atvejų skaičiaus išsamiau neanalizuotas. Nepastebėta didesnio mirtingumo nuo neonkologinių širdies kraujagyslių bei virškinamojo trakto ligų. Vis dėlto savižudybių skaičius išlieka padidėjęs (SMR 1,31; 95 % PI = 1,05–1,56) [35].

Ukrainos likviduotojų kohortoje – 229 884 asmenys [45, 46]. Mirtingumas likviduotojų grupėje didėjo, jis nuo 2004 m. viršijo bendrą Ukrainos populiacijos mirtingumą. Pagrindinė mirties priežastis – širdies ir smegenų kraujagyslių ligos. Išanalizavus išmatuotą apšvitą, užfiksuotas padidėjęs mirtingumas nuo širdies ir smegenų kraujagyslių ligų tais atvejais, kai išmatuota sugertoji dozė buvo didesnė nei 250 mGy [46]. Ukrainos

kohortos grupėje nustatyta didesnė rizika susirgti onkohematologinėmis ligomis, tačiau nepastebėta didesnio mirtingumo nuo šių ligų [39, 40, 47, 48].

2.1.1.2 Branduolinių ginklų pramonės avarių padarinių likviduotojų mirtingumas

Rusijos karinės gamyklos „Majak“ radioaktyvusis užterštumas dėl incidentų fiksuojamas nuo 1948 m. Tačiau 1957 m. įvykusi avarija savo mastu užgožė visus iki tol buvusius incidentus, o labiausiai aplinką teršė ^{239}Pu . „Majak“ darbuotojų kohortoje tirti 25 757 asmenys. Nustatytas didesnis mirtingumas nuo plaučių, kepenų ir kaulų vėžio. Detaliau išanalizavus „Majak“, taip pat Jungtinės Karalystės Selafildo radioaktyviųjų atliekų, susidariusių gaminant branduolinį ginklą, perdirbimo gamyklos darbuotojus, patyrusius radioaktyviojo plutonio apšvitą, nustatyta didesnė mirtingumo nuo plaučių vėžio rizika [23, 49, 50].

Tirti Pietų Karolinoje (JAV) „Savannah River Site“ branduolinių ginklų pramonės 18 883 darbuotojai, dirbę 1950–1986 m. laikotarpiu. Darbuotojai dėl apšvitos radioaktyviuoju plutoniu ir tričiu patyrė didesnę mirtingumo riziką nuo limfoleukemijos (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) ir mieloleukemijos [51].

2.1.1.3 Fukušimos Daiči AE avarijos padarinių likviduotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės

2011 m. kovo 11 d. po itin stipraus žemės drebėjimo susiformavusios didžiulės cunamio bangos užtvindė Japonijoje, Okumos mieste, esančią Fukušimos Daiči AE. Vertinama, jog per šią avariją iš Fukušimos Daiči branduolinės elektrinės į aplinką buvo išmesta apie 17×10^{15} bekerelių ^{137}Cs izotopo, vieno iš pagrindinių radionuklidų, lemiančių ilgalaikę radiologinę taršą įvykus branduolinei avarijai, ir 1.6×10^{17} bekerelių ^{131}I , darančių ilgalaikį poveikį žmonių sveikatai [52].

2.1.1.3.1 Fukušimos Daiči avarijos padarinių likviduotojų sergamumas onkologinėmis ligomis

Likviduojant Fukušimos avarijos padarinius dalyvavusių darbuotojų per visą avarijos likvidavimo laiką patirta efektinė dozė varijavo nuo 6,7 mSv 2013 m. ir 13,9 mSv 2012 m., tačiau nė vieno jų kaupiamoji efektinė dozė neviršijo 20 mSv. Apibendrinant Daiči poveikį likviduotojų sveikatai, darytina prielaida, kad, norint tinkamai įvertinti nedidelių dozių apšvitos sukeltą onkologinių ligų riziką, reikalinga daugiau nei milijono tokių dozių apšvitą

patyrusių žmonių imtis [53, 54, 55]. Apskaičiuota, jog vėliau gyvenime padarinių likviduotojams būdinga didesnė rizika susirgti leukemija ir skydliaukės vėžiu, taip pat jiems gali greičiau atsirasti piktybiniai navikai [56].

2.1.1.3.2 Fukušimos Daiči AE avarijos padarinių likviduotojų mirtingumas

2017 m. asmenų, dalyvavusių atliekant padarinių likvidavimo darbus, įtrauktų į tiriamųjų grupę, buvo 19 808 [57]. Nuo 2014 m. iki 2016 m. prie avarijos padarinių tvarkymo darbų prisidėjo 40 000–50 000 darbininkų. Daugiau nei 100 mSv apšvitos dozę patyrė 174 asmenys, likusių darbuotojų vidutinė išmatuota efektinė dozė siekė 0,6 mSv. Darbuotojų mirtingumo priežasčių analizės rezultatų dar laukiama [55, 57].

2.1.2 Branduolinės pramonės darbuotojų, patyrusių jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitą, ilgalaikės sveikatos pasekmės

Vadovaujantis Jungtinių Tautų mokslinio komiteto jonizuojančiosios spinduliuotės poveikiui tirti ataskaita, maždaug 23 milijonai darbuotojų visame pasaulyje yra veikiami jonizuojančiosios spinduliuotės. Iš jų apie 13 milijonų atstovauja profesijoms, kuriose naudojami natūralūs JS šaltiniai, ir 10 milijonų – profesijoms, susijusioms su dirbtinės kilmės JS šaltinio poveikiu [6, 58].

2.1.2.1 Branduolinės pramonės darbuotojų sergamumas onkologinėmis ligomis

Remiantis Tarptautinės vėžio tyrimo agentūros IARC (angl. *International Agency for Research on Cancer*) inicijuotos Branduolinės industrijos darbuotojų sergamumo vėžiu analizės (IARC15 *Country Study*) duomenimis, didesnė rizika susirgti onkologinėmis ligomis būdinga asmenims, patyrusiems didesnę nei 200 mSv metinę efektinę dozę. Nustatyta, kad susirgti leukemija, plaučių ir pleuros onkologinėmis ligomis labiau rizikuoja nedidelę apšvitą patyrę darbuotojai [58].

Nacionalinis radiacijos darbuotojų registras NRRW (angl. *National Registry for Radiation Workers*) yra didžiausia branduolinės energetikos darbuotojų epidemiologinių tyrimų programa Jungtinėje Karalystėje. Analizuojama į šį registrą nuo 1955 m. iki 2011 m. pabaigos įtrauktų 172 452 asmenų, iš kurių 90 proc. vyrų, patirta JS ir, remiantis sukauptais duomenimis apie ligas, nagrinėjama, kaip solidinių navikų atsiradimo rizika susijusi su mažos dozės apšvita. Kaupiamųjų efektinių mažų dozių intervale dviejų trečdalių darbuotojų dozės buvo mažesnės nei 10 mSv. Atlikus šį tyrimą,

paaikškėjo, kad nustatytos rizikos susirgti onkologinėmis ligomis panašios į tarptautinio branduolinės energetikos darbuotojų INWORKS (angl. *International Nuclear Workers Study*) tyrimo, įtraukusio 308 297 branduolinės pramonės darbuotojus iš Prancūzijos, Jungtinės Karalystės ir Jungtinių Amerikos Valstijų, rezultatus [59]. Pastebėta didesnė rizika susirgti storosios žarnos, šlapimo pūslės ir pleuros vėžiu, tačiau trūksta duomenų, patvirtinančių, kad ši rizika susijusi tik su išorine apšvita, nes nebuvo įvertinti kiti rizikos veiksniai, pvz., mityba ar rūkymas [60]. Nustatyta, jog dėl ilgalaikio mažų apšvitos dozių poveikio padidėja rizika susirgti leukemija, limfoma ir mielominėmis ligomis, kai susiformuoja hematologiniai navikai [61]. Atlikus Jungtinės Karalystės atominės energetikos darbuotojų tyrimo trečią analizę (NRRW-3), skirtą limfomų ir kraujodaros organų piktybinėms ligoms analizuoti, aptiktas statistiškai reikšmingas ryšys tarp apšvitos dozės ir sergamumo ne Hodžkino limfoma bei daugine mieloma. Hodžkino limfomos atveju nenustatyta sąsaja tarp apšvitos dozės ir sergamumo rizikos padidėjimo. Ši sąsaja būdinga tik nedidelei grupei darbuotojų, kurių kaupiamoji efektinė dozė viršija 500 mSv. [62].

2.1.2.2 Branduolinės pramonės darbuotojų mirtingumas

Atlikus tarptautinės vėžio tyrimo agentūros inicijuotą Branduolinės industrijos darbuotojų mirtingumo nuo neonkologinių ligų tyrimą (IARC 15 *Country Study*), buvo nustatyta, jog darbuotojams, patiriantiems santykinai nedidelę apšvitą, būdinga didesnė rizika mirti nuo širdies ir smegenų kraujagyslių ligų [6, 63]. Taip pat šio tyrimo metu nustatyta didesnė rizika mirti nuo onkologinių ligų, išskyrus lėtinę limfoleukemiją [6, 58]. Atlikus Kanados atominių jėgainių darbuotojų mirtingumo analizę, nebuvo užfiksuota didesnė rizika mirti nuo onkologinių ligų [64]. Tarptautiniame branduolinės pramonės darbuotojų tyrime INWORKS pateikta papildomų duomenų, susijusių su mirtingumo rizika, mažos apšvitos dozėmis bei dozės galia [61, 65]. Atlikus šį tyrimą, nustatyta padidėjusi rizika mirti nuo onkologinių ligų (išskyrus kraujodaros organų navikus), apšvitai padidėjus 1 Gy yra 0,47 (ERR (90 % PI = 0,18–0,79)). Tyrimo rezultatai nuolatos atnaujinami. 2023 m. pateikti rezultatai rodo, kad mirtingumo rizika apšvitai padidėjus 1 Gy yra 0,52 (90 % PI = 0,27–0,77), taip pat nustatyta, jog, didėjant apšvitai, santykinis piktybinių navikų atvejų skaičius didėja tiesiškai. Didesnę riziką, kad organizme susiformuos solidiniai piktybiniai navikai, patyrė tie tiriamieji, kuriems buvo išmatuota 0–100 mGy sugertoji dozė [65].

2.1.2.3 Branduolinių ginklų pramonės darbuotojų sergamumas onkologinėmis ligomis

Rusijos karinėje gamykloje „Majak“ nuo 1948 m. iki 1982 m. dirbusių bei dėl onkologinių ligų iki 2004 m. stebėtų asmenų imtį sudaro šiek tiek daugiau nei 22 tūkstančiai asmenų [57, 66]. Visos analizės atliktos, taikant Puasono regresiją, o naudotos dozės apskaičiuotos pagal atnaujintą „Mayak doses – 2008“ tyrimą. Buvo aiškiai parodytas tiesinis ryšys tarp vidinės plutonio apšvitos dozės ir plaučių vėžio rizikos [57]. Įrodyta, kad vidinę apšvitą plutoniu patyrusiems vyrams būdinga didesnė rizika susirgti tiek nesmulkių ląstelių (adenokarcinomos, plokščialąstelinės karcinomos), tiek smulkių ląstelių plaučių vėžiu. Apskaičiuota, jog patiriama didžiausia rizika susirgti plaučių adenokarcinoma: jos perteklinė santykinė rizika (ERR)/Gy yra didžiausia (ERR/Gy = 32,5; 95 % PI = 16,3–71,9), maždaug 11 kartų didesnė nei plokščialąstelinio plaučių vėžio (ERR/Gy = 3,1; 95 % PI = 0,3–9,1), taip pat nustatyta, kad mažiausia rizika susirgti smulkių ląstelių plaučių vėžiu [67]. Kepenų vėžio rizikos ir plutonio poveikio ryšį geriausiai apibūdino tiesinė–kvadratinė (LQ) funkcija, tačiau LQ poveikis sumažėjo, apribojus vidines dozes <2 Gy. Užfiksuota, kad hepatocelulinis vėžys – dažniausias kepenų vėžio tipas, susijęs su vidiniu plutonio poveikiu, o hemangiosarkoma išskirtinai pastebėta, tik esant didelėms vidinėms apšvitos dozėms (>4 Gy). Kaulų ir su jais susijusių jungiamojo audinio piktybinių navikų atsiradimo rizikos tendencija, priklausomai nuo vidinės apšvitos dozės, nebuvo statistiškai reikšminga, tačiau statistiškai reikšmingai didesnė rizika (RR = 13,7; 95 % PI = 3,0–58,5) nustatyta moterims, dirbusioms pavojingiausiame plutonio gamybos objekte iki 1950 m. [5].

1950–1986 m. laikotarpiu įmonėje „Savannah River Site“ dirbusiems branduolinių ginklų pramonės darbuotojams nustatyta didesnė rizika susirgti limfoma ir leukemija. Didesnė rizika susirgti limfomų bei kraujodaros organų onkologinėmis ligomis sietina su patirta išorine apšvita, tačiau specifškai neįrodyta, kad padidėjusi tričio ir onkologinių ligų rizika [6]. Selafildo darbuotojams nustatyta didesnė rizika susirgti plaučių vėžiu, bet ji susijusi su plutonio alfa dalelių vidine apšvita, o ne su išorine gama spinduliuotės apšvita [68].

2.1.3 Branduolinę taršą patyrusių gyventojų ilgalaikės sveikatos pasekmės

2.1.3.1 Branduolinę taršą patyrusių gyventojų mirtingumas

Atominių bombų sprogimus Hirošimoje ir Nagasakyje išgyvenusių žmonių kohorta buvo suformuota, remiantis 1950 m. Japonijos gyventojų surašymo duomenimis. Ją sudarė 93 741 asmuo, gyvenęs 10 km atstumu nuo bombų hipocentro – visi jie buvo suskirstyti į vienuolika amžiaus grupių, – ir 26 580 Hirošimos bei Nagasakio gyventojų, kurių bomboms sprogstant nebuvo šiuose miestuose [69]. Gautos apšvitos dozės buvo vertinamos retrospektyviai. Nustatytos apšvitos dozės svyruoja nuo 0 iki 2 Gy, tik nedidelės grupės – 0,5 % išgyvenusiujų – sugertosios dozės siekė daugiau nei nei 2 Gy [69, 70]. Pagrindinis radioaktyviojo užterštumo radionuklidas Hirošimoje buvo ^{235}U . Kohorta nuolat stebėta, vertinant mirtingumo priežastis [70, 71]. Stebimuoju laikotarpiu – 1950–2003 m. – nustatyta padidėjusi rizika mirti nuo onkologinių ir neonkologinių ligų. Nustatyta padidėjusi rizika mirti dėl patirtos JS nuo šių piktybinių navikų: hematoonkologinių, skrandžio, plaučių, kepenų, krūties, storosios žarnos, tulžies pūslės, stemplės, šlapimo pūslės ir kiaušidžių. Neonkologinių ligų grupėje buvo nustatyta padidėjusi rizika mirti nuo širdies bei smegenų kraujagyslių [71], taip pat kvėpavimo takų, infekcinių ir virškinamojo trakto ligų, ypač kepenų cirozės. Mirtingumo analizė, apimanti laikotarpį nuo 1966 m. iki 2003 m., parodė, kad dažniau mirštama nuo virškinamojo trakto ligų, susijusių su patirta JS, tačiau mirtingumas nuo kepenų cirozės neatskleidė sąsajos su patirta JS. Nenustatyta, kad mirtys dėl išorinių priežasčių ir nuo infekcinių ligų susijusios su patirta apšvita [71].

Trijų mylių saloje, Pensilvanijoje (JAV), tirti 1979 m. įvykusios branduolinės jėgainės avarijos apylinkėse gyvenę 159 684 žmonės. Šio tyrimo rezultatai parodė, kad mirtingumas nuo onkologinių ligų nepadidėjo, tačiau nustatyta sąsaja tarp apšvitos dozės ir rizikos mirti nuo krūties bei kraujodaros sistemos navikų [73]. Pagrindinis radionuklidas per šią avariją buvo ^{131}I ir ^{133}Xe dujos, vidutinė konstatuota sugertoji dozė – 0,15 mGy. Jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozės skydliaukei nesiekė 0,85 mGy [72].

Rusijos karinės gamyklos „Majak“ radioaktyvų užterštumą lėmė ^{90}Sr , ^{137}Cs , daugiausia išplitęs Tečios upės aplinkoje. Jis paveikė toje teritorijoje gyvenusius žmones. Išplėstinėje tiriamųjų grupėje ETRC (angl. *The Extended Techa River Cohort*), kurioje buvo 30 000 asmenų, patyrusių ilgalaikę mažų dozių apšvitą, nustatytas didesnis mirtingumas nuo leukemijos [49]. Šios grupės atstovų mirtingumo analizė leidžia tvirtinti, jog 2,5 % mirčių nuo onkologinių ligų ir 63 % mirčių nuo leukemijos siejamos su patirta JS. Taip

pat nustatyta patirtos apšvitos dozės ir mirtingumo nuo leukemijos tarpusavio priklausomybė. Padidėjusi rizika mirti nuo onkologinių ligų siekia 0,92 (95 % PI = 0,2–1,7), nuo leukemijos – 4,2 (95 % PI = 1,2–13), o nuo leukemijos, išskyrus lėtinę limfocitinę leukemiją, – 6,5 (95 % PI = 1,8–24) [49].

Siekiant įvertinti, kaip mirtingumas dėl ČAE avarijos pakito laikotarpiu nuo 1985 m. iki 2000 m., Europos valstybės buvo suskirstytos pagal gyventojams tekusią viso kūno apšvitos dozę į penkias grupes. Mirtingumo rezultatai pateikti trijose amžiaus grupėse: 0–14, 15–34 ir 35–69 metų. Atlikus tyrimą, padidėjęs mirtingumas nuo onkologinių ir neonkologinių ligų nustatytas tik Ukrainoje gyvenusiems jauniems žmonėms – amžiaus grupėje nuo 15 m. iki 34 m. [74]. Didesni mirtingumo nuo onkologinių ligų rodikliai užfiksuoti vyresniems nei 35 m. ir didesnę nei 1 mSv efektinės dozės apšvitą patyrusiems Baltarusijos bei Ukrainos gyventojams.

Grupei šalių (iš viso 14 Europos valstybių), kurių gyventojams buvo nustatyta vidutinė viso kūno efektinė apšvitos dozė (0,2–0,4 mSv) bei vidutinė lygiavertė dozė skydliaukei (10–24 mSv), priskirta ir Lietuva. Šioje grupėje apskaičiuota, jog iki 2065 m. iš visų mirties nuo vėžio atvejų (išskyrus leukemiją, krūties, odos (ne melanomos) ir skydliaukės vėžį) patirtos apšvitos sukelti atvejai sudarys 0,01 % (2 800 atvejų), leukemijos – 0,03 % (300 atvejų), o krūties vėžio – 0,01 % (300 atvejų) [74].

Po Fukušimos Daiči AE avarijos buvo inicijuotas Fukušimos sveikatos tyrimų ir pasekmių vertinimo registras FHMS (angl. *Fukushima Health Management Survey*). Šio tyrimo populiaciją sudaro 2 057 053 įvairaus amžiaus asmenys, jiems atliekami papildomi diagnostiniai tyrimai, pateikiami psichoemocinės būklės vertinimo klausimynai, vertinant ilgalaikes patirtos JS pasekmes jų sveikatai. Pirmiausia buvo pateikti klausimynai, siekiant įvertinti gyventojų psichologinę būseną netrukus po nelaimingo atsitikimo, taip pat apskaičiuota viso kūno patirta apšvita. Per pirmuosius keturis mėnesius po avarijos ji buvo išmatuota 466 tūkstančiams asmenų. Fukušimos prefektūros, kurioje užfiksuotas didžiausias radioaktyvusis užterštumas, gyventojams išmatuota išorinė efektinė dozė buvo mažesnė nei 5 mSv, o papildoma vidinė apšvitos dozė neviršijo 1 mSv [75]. Reguliariai ir išsamiai vertinama kohortos sveikatos būklė ir atliekami tyrimai. Žmonėms, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 18 m. amžiaus (iš viso 370 tūkstančių asmenų), buvo reguliariai atliekami skydliaukės tyrimai. Radioaktyviausių medžiagų paveiktuose regionuose nenustatyta mirčių, sietinų su apšvita [56, 75, 76, 77].

Stebėtos vyresnių žmonių mirtys, paūmėjus gretutinėms ligoms, taip pat fiksuota statistiškai nereikšmingai padidėjusi savižudybių rizika [76].

2.1.3.2 Branduolinę taršą patyrusių gyventojų sergamumas onkologinėmis ligomis

Praėjus daugiau nei šešiams dešimtmečiams po atominių bombų sprogimo, išgyvenę žmonės jaučia ilgalaikį poveikį sveikatai – jiems dėl patirtos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos gali išsivystyti solidiniai navikai. Atominių bombų sprogmus Hirošimoje ir Nagasakyje išgyvenusiųjų kohortoje padidėjusi rizika susirgti solidiniais navikais išlieka visą gyvenimą. Padidėjusi rizika susirgti leukemija nustatyta, praėjus vos keleriems metams po sprogimo, o antrasis padidėjimas užfiksuotas, praėjus 40–50 m. Nustatyta, jog didžiausia rizika susirgti leukemija ir skydliaukės vėžiu ($ERR/Gy = 1,28$, 95 % $PI = 0,59–2,70$) būdinga žmonėms, kurie sprogimo metu buvo jaunesnio amžiaus [78]. Aiškiausia sąsaja su patirta apšvita nustatyta, kai susergama šlapimtakių vėžiu, antras pagal dažnumą – krūties (tik moterų) vėžys, toliau mažėjančia tvarka rikiuojasi šios ligos: virškinimo sistemos, šlapimo pūslės, kiaušidžių, plaučių, gaubtinės žarnos, stemplės, tulžies pūslės, kepenų ir skrandžio vėžys. Konstatuota, kad vyrai pasižymi didesne rizika susirgti tulžies pūslės ir šlapimtakių vėžiu, o moterys – skrandžio, tiesiosios žarnos ir kitų virškinamojo trakto ligų vėžiu. Didesnė onkologinių ligų rizika buvo statistiškai reikšminga, kai patirta apšvita siekė daugiau nei 0,20 Gy [71, 72, 78, 79].

Ištirti Trijų Mylių saloje įvykusios branduolinės jėgainės avarijos apylinkėse gyvenę 159 684 žmonės. Šio tyrimo rezultatai parodė, jog padidėjusi rizika susirgti leukemija būdinga vyrams, kurie pirmas 10 dienų po avarijos patyrė didesnę išorinę apšvitą (atitinkamai $RR = 1,15$, 95 % $PI = 1,04–1,29$ ir $RR = 1,36$, 95 % $PI = 1,08–1,71$). Šis ryšys nenustatytas moterims [80].

Išplėstinėje Tečios upės tiriamųjų grupėje užfiksuota statiškai reikšminga leukemijos, taip pat solidinių navikų susiformavimo rizika. Atnaujinus analizės duomenis ir įvertinus jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos bei atskirų lokalizacijų navikų atsiradimo tikimybę, pastebėta didesnė rizika susirgti stemplės ir gimdos kūno vėžiu [81].

Vadovaujantis Černobylio AE avarijos pasekmių Europos gyventojams tyrimo vertinimu, visų piktybinių ligų, krūties vėžio ir leukemijos atvejų skaičius pradėjo augti nuo 1981 m. (dar iki ČAE avarijos). Didžiausias susirgimų skaičius pasiektas 1991 m., vėliau užfiksuotas statistiškai reikšmingas visų piktybinių ligų ir krūties vėžio atvejų skaičiaus mažėjimas. Po 1991 m. nenustatyta statistiškai reikšmingo leukemijos atvejų sumažėjimo, pastebėta skydliaukės vėžio atvejų didėjimo tendencija [74]. Manoma, jog tirtuoju laikotarpiu – nuo 1985 m. iki 2000 m. – ČAE sukeltas užterštumas radioaktyviosiomis medžiagomis lėmė vidutiniškai 3 tūkstančių piktybinių navikų (išskyrus leukemiją, odos (ne melanomos) ir skydliaukės vėžio)

atsiradimą [74]. Patvirtinta, jog po šios avarijos didesnė piktybinių navikų atsiradimo rizika būdinga jaunesnio amžiaus žmonėms, ypač ši tendencija pastebima skydliaukės vėžio atveju [82, 83]. Taip pat nustatytas ryšys tarp patirtos apšvitos (ypač radioaktyvumu pasižyminčio ^{131}I) ir rizikos susirgti skydliaukės vėžiu. Regionuose, kurių gyventojai patyrė didesnę nei 0,5 mSv išmatuotą efektinę viso kūno apšvitą, pastebima didesnė piktybinių navikų atsiradimo rizika. Ši rizika Europoje po ČAE vertinama nevienareikšmiškai, nes vėžio registro duomenys kaupiami skirtingai įvairiose šalyse (pvz., nepakankamai kokybiškai tai daryta Baltarusijoje), taip pat skiriasi aktyvi patikra bei ankstyvosios diagnostikos priemonės [74, 82, 83]. Apskaičiuota sergamumo vėžiu, kurį sukėlė po ČAE avarijos patirta JS (kaip rizikos veiksnio), dalis iki 2065 m. Europoje sudarys 0,01 % visų (išskyrus leukemiją, krūties, odos (ne melanomos) ir skydliaukės vėžį) naujai diagnozuotų ligų ir 0,8 % leukemijos atvejų [74].

Grupei šalių (iš viso 14 Europos valstybių), kurių gyventojams nustatyta vidutinė efektinė viso kūno apšvitos dozė (0,2–0,4 mSv) ir vidutinė lygiavertė dozė skydliaukei (10–24 mSv), priskirta ir Lietuva. Šioje grupėje apskaičiuota, jog iki 2065 m. iš visų naujai diagnozuotų vėžio atvejų (išskyrus leukemiją, krūties, odos (ne melanomos) ir skydliaukės vėžį) patirtos JS sukelti atvejai sudarys 0,01 % (4 900 atvejų), leukemijos – 0,03 % (500 atvejų), o skydliaukės vėžio – 1,26 % (5 100 atvejų) [74].

Nuolat atnaujinamoje šiuo metu pateiktoje Fukušimos Daiči sveikatos tyrimų ir pasekmių vertinimo registro ataskaitoje [52, 56, 76] konstatuojama, jog Fukušimos prefektūroje iki šiol nustatyti keli vaikų ir jaunų suaugusiųjų skydliaukės vėžio atvejai greičiausiai nėra susiję su per avariją patirta JS. Neonkologinis ilgalaikis poveikis sveikatai siejamas su patirta psichoemocine trauma įvykus avarijai.

Siekiant įvertinti gyvenime galimą riziką susirgti piktybinėmis ligomis dėl avarijos sukeltos apšvitos, buvo pritaikyti matematiniai modeliai. Jais naudojantis, apskaičiuota, jog berniukams, kuriems nelaimingo atsitikimo metu buvo vieni metai, rizika susirgti leukemija per visą gyvenimą, palyginti su JS nepatyrusia populiacija, padidėja iki 7 proc. Mergaitėms, kurioms nelaimingo atsitikimo metu buvo vieni metai, rizika susirgti krūties vėžiu per visą gyvenimą padidėja iki 6 proc. Mergaitėms, kurioms įvykus nelaimingam atsitikimui buvo vieni metai, rizika susirgti skydliaukės vėžiu per visą gyvenimą didesnė iki 70 proc. Visų lokalizacijų piktybinių navikų atsiradimo rizika mergaitėms, kurioms įvykus nelaimingam atsitikimui buvo vieni metai, per visą gyvenimą padidėja iki 4 proc., palyginti su dėl avarijos apšvitos nepatyrusia populiacija [56, 76].

Apibendrinami galime teigti, jog, vertinant piktybinių navikų atsiradimo po patirtos JS riziką gyvenime, labai svarbu tiksliai apskaičiuoti apšvitos dozės dydį, atsižvelgti į apšvitos trukmę ir įtraukti į analizę kitus rizikos veiksnius. Patirta branduolinės taršos apšvita labiausiai paveikia jaunos žmonės ir vaikus, ji taip pat padidina riziką gyvenime susirgti piktybinėmis ligomis, ypač leukemija ir skydliaukės vėžiu.

2.1.3.2.1 Apšvitą patyrusių 0–19 m. amžiaus gyventojų rizika susirgti skydliaukės vėžiu

2.1.3.2.1.1 Radiokatyvųjų užterštumą patyrusių 0–19 m. amžiaus gyventojų rizika susirgti skydliaukės vėžiu

Atominį sprogimą išgyvenusių žmonių grupėje didesnė rizika susirgti skydliaukės vėžiu buvo nustatyta asmenims, kurie buvo jaunesni nei 10 m. Didžiausia rizika susirgti skydliaukės vėžiu pastebėta, praėjus 15–29 metų po jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio, vėliau ši rizika mažėjo, vis dėlto ji išliko, praėjus ir 40 metų [78, 79].

Po ČAE avarijos 1996 m. pradėta aktyviai stebėti jonizuojančiosios spinduliuotės paveiktus vaikus Baltarusijoje, Ukrainoje ir Rusijoje. Iki 2005 m. nustatyta šiek tiek daugiau nei 4 000 skydliaukės vėžio atvejų (2 lentelė).

Ukrainoje labiausiai užterštose Kijevo, Žytomyro ir Černigovo srityse tirti vaikai, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 18 m. amžiaus, 1986 m. gegužės–birželio mėn. jiems atlikti tiesioginiai skydliaukės radioaktyvumo matavimai. Į šį tyrimą įtraukta daugiau nei 13 tūkst. vaikų. Jiems buvo atliekama skydliaukės ultragarsinė patikra (4 kartus nuo 1998 iki 2015 m.). Tyrimo laikotarpiu nustatyti 157 skydliaukės vėžio atvejai. Tiriamųjų grupėje užfiksuotas skydliaukės vėžio rizikos padidėjimas, apšvitai padidėjus 1 Gy buvo 1,91 karto [83, 84].

Baltarusijoje atlikant tyrimus, vaikų imtis buvo panaši kaip Ukrainoje, įtraukta daugiau nei 11 tūkst. tiriamųjų. Baltarusijoje radioaktyvusis užterštumas labiausiai paveikė Gomelio ir Mogiliovo sritis. Iš viso surengti du aktyvios atrankos etapai: pirmasis vyko nuo 1996 m. iki 2001 m., antrasis – nuo 2002 m. iki 2004 m. Buvo įtartas 101 susirgimų skydliaukės vėžiu atvejis, tačiau biopsijos patvirtinti 77 [86]. 1997–2008 m. perėjus tris kohortinio tyrimo aktyvios atrankos etapus, buvo patvirtinti 158 skydliaukės vėžio atvejai [86]. Iki prasidedant aktyviai atrankai, nustatyti 52 skydliaukės karcinomos atvejai. Šių tyrimų metu vaikams, jaunesniems nei 18 m. amžiaus, buvo atliekama skydliaukės apčiuopa ir skydliaukės ultragarsinis tyrimas.

Nustatyta, jog rizikos padidėjimas dėl apšvitos priklauso nuo sugertosios dozės dydžio, padidėjus 1 Gy, siekė iki 5,04 karto [86].

Labiausiai paveiktose Rusijos srityse (Tulos, Oriolo, Briansko ir Kalugos) ištirta daugiau nei 300 tūkst. vaikų. Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 1991 m. iki 2008 m. – nustatyti 978 skydliaukės karcinomos atvejai. Vaikams, jaunesniems nei 17 m. amžiaus, buvo atliekamas skydliaukės echoskopinis tyrimas. Ištyrus biopsinę medžiagą, skydliaukės vėžio diagnozė patvirtinta 95 proc. atvejų. Statistiškai reikšminga apšvitos rizika skydliaukės vėžiui atsirasti nustatyta jaunesniems nei 9 m. amžiaus vaikams, ypač mergaitėms, jaunesnėms nei 4 m. amžiaus. Joms rizika susirgti skydliaukės vėžiu padidėjo, apšvitai padidėjus 1 Gy, net iki 45,3 karto [87].

Vidutinė vaikų skydliaukės sugertoji dozė įvykus Černobylio branduolinei avarijai siekė 1,8 Gy. Tokia dozė išmatuota 116 tūkst. vaikų iki 7 m. amžiaus [88]. Didžiausia Baltarusijoje ir Ukrainoje fiksuota dozė viršijo 10 Gy [89]. Nors šiose teritorijose gyvenusiems vaikams buvo nustatyta padidėjusi rizika susirgti skydliaukės vėžiu, įvykus branduolinei avarijai ¹³¹I paveiktiems vaikams ją dar galėjo padidinti jodo trūkumas [90, 91]. Atlikus tyrimą nustatyta, jog latentinis laikas po buvusios apšvitos, per kurį susergama skydliaukės karcinomomis, vidutiniškai buvo 4–5 m. [89]. Kitose Europos valstybėse (aktyviausiai Skandinavijoje) atlikus tyrimus, skirtus radioaktyviųjų iškritų iš atmosferos įtakai analizuoti, nenustatyta, kad dėl Černobylio tragedijos pagausėjo vaikų skydliaukės vėžio atvejų [92, 93].

Po Daiči AE avarijos Fukušimoje buvo inicijuota aktyvi vaikų atranka į tyrimą, kurį atliekant ultragarsu ištirtos 381 286 vaikų skydliaukės. Šis tyrimas suskirstytas į tris stebėjimo laikotarpius: 2011–2013 m., 2014–2015 m. ir 2016–2017 m. Galutinis etapas – 2018 m. prasidėjusi ir iki šiol tebevykstanti duomenų analizė. Atrinkti į tyrimą vaikai buvo tiriami, atliekant jiems skydliaukės ultragarsinį tyrimą ir plonos adatos biopsiją iš įtartinų mazgų skydliaukėje. Pirmojo stebėjimo laikotarpiu nustatyta iš viso 116, antrojo – 71 ir trečiojo – 18 skydliaukės vėžio atvejų, 96 proc. iš jų yra papildinės karcinomos atvejai [94]. Išmatuota apšvita vaikams Fukušimos atveju buvo gerokai mažesnė nei po Černobylio avarijos, ji siekė vidutiniškai 35 mGy (0,035 Gy). Atliekant šiuos tyrimus, rizika nebuvo vertinta, pateikiamas tik nustatytas skydliaukės vėžio atvejų skaičius. Autoriai nurodo, kad naujų skydliaukės vėžio atvejų daugėja labiau dėl diagnostinių tyrimų (ultragarsinių tyrimų) gausos nei dėl jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio [94, 95, 96].

2 lentelė. Vaikų rizikos susirgti skydliaukės vėžiu tyrimai po atominių elektrinių avarijų

Įvykis	Valstybė, kurioje tirti vaikai	Šaltinis	Tyrimo pobūdis	Vėžio atvejų skaičius / Tirtų vaikų skaičius*	Apšvitos dozės (Gy)	Apšvita skydliaukei	Rezultatai / Reliatyvi rizika (RR)
A. Černobylio branduolinė avarija (1986 m.)	Ukraina	Cardis ir kt. (2005) [83]	Atvejis ir kontrolė	276/1 300	1 Gy; 1,5 Gy; 2 Gy	¹³¹ I, Telūro izotopas, mišri	RR 7,4 (95 % PI = 3,1–16,3)
		Bogdanova ir kt. (2015) [84]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	115/13 243	≥1 Gy	¹³¹ I, mišri	Didesnė sugertosios apšvitos dozė buvo labiau susijusi su invazine skydliaukės vėžio forma
		Brenner ir kt. (2011) [84]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	65/12 514	Vidutinė dozė 1,7 Gy	¹³¹ I, mišri	RR 1,91 (95 % PI = 0,43–6,34)
		Tronko ir kt. (2006) [97]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	45/13 127	<0,3 Gy (6 990 vaikų); 0,3–1,0 Gy (3 597); ≥1 Gy (2 540)	¹³¹ I, mišri	RR 5,2 (95 % PI = 1,7–27,5) (rizikos padidėjimas, apšvitai padidėjus 1 Gy)
	Baltarusija	Astakhova ir kt. (1998) [85]	Atvejis ir kontrolė	107/214	<0,3 Gy (66/88); 0,3–0,99 Gy (26/15); ≥1 Gy (17/4)	¹³¹ I, mišri	<0,3 Gy palyginti su ≥0,3 Gy – RR 3,11 (95 % PI = 1,67–5,81) ≥1 Gy – RR 5,84 (95 % PI = 1,96–17,3)
		Zablotska ir kt. (2010) [86]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	158/11 970	0–32,80 Gy	¹³¹ I, mišri	RR 2,2 (95 % PI = 0,8–5,5)
	Rusija	Davis ir kt. (2004) [98]	Atvejis ir kontrolė	26/52	0,004–1,64 Gy	¹³¹ I, mišri	RR 1,65 (95 % PI = 0,10–3,20)
		Ivanov ir kt. (2006) [87]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	978/309 130	0,07–0,14Gy	¹³¹ I, mišri	RR 3,22 (95 % PI = 1,56–5,81)
		Kopecky ir kt. (2006) [99]	Atvejis ir kontrolė	66/132	0,00014–2,73 Gy	¹³¹ I, mišri	RR 48,7 (95 % PI = 4,8–1 151)
		Jacob ir kt. (2006) [89]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	1089/623 000	–	¹³¹ I, mišri	RR 18,9 (95 % PI = 11,1–26,7)

Ivykis	Valstybė, kurioje tirti vaikai	Šaltinis	Tyrimo pobūdis	Vėžio atvejų skaičius / Tirtų vaikų skaičius*	Apšvitos dozės (Gy)	Apšvita skyd liaukei	Rezultatai / Reliatyvi rizika (RR)
B. Fukušimos Daiči avarija (2011 m.)	Japonija	Tsuda ir kt. (2014) [100]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	110/298 577	≤35 mGy	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, mišri	RR 13,7 (95 % PI = 7,7–23)
		Ohtsuru ir kt. (2019) [94]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	187/324 301	≤35 mGy	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, mišri	Nevertinta
		Suzuki ir kt. (2018) [101]	Patikra paveiktų vaikų grupėje	152/300 476	≤35 mGy	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, mišri	Nevertinta
		Ohira ir kt. (2020) [95]	Patikra paveiktų vaikų grupėje		≤35 mGy	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, mišri	Nevertinta
		Yamamoto ir kt. (2019) [102].	Patikra paveiktų vaikų grupėje	172/381 286	≤35 mGy	¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, mišri	RR 1,065 (95 % PI = 1,013–1,119) (padidėjus dozei 1 μSv/h)

*Atvejo ir kontrolės tyrimams pateikiamas atvejų ir kontrolinės grupės asmenų skaičius

2.1.3.2.1.2 Medicinos diagnostikos ir gydymo tikslais taikomos jonizuojančiosios spinduliuotės įtaka 0–19 m. amžiaus žmonių sergamumui skydliaukės vėžiu

Skydliaukės vėžio rizikos įvertinimas dėl gydant naudotos jonizuojančiosios spinduliuotės pateiktas septynių tyrimų metaanalizėje. Ji apima 27 084 vaikų, kuriems buvo taikoma medicininė apšvita, duomenis [103, 104]. Į šią metaanalizę įtrauktų tyrimų duomenys ir skydliaukės vėžio išsivystymo rizika pateikiami 3 lentelės A dalyje [104]. Apibendrinus tyrimus nustatyta, kad reliatyvi rizika susirgti skydliaukės vėžiu priklauso nuo jonizuojančiosios spinduliuotės sugertosios ir efektinės dozės: vaikystėje jonizuojančiąja spinduliuote paveikti asmenys patyrė didesnę riziką, kai sugertoji dozė siekė 1 Gy, buvo 7,7 (95 % PI = 2,1–28,7) [104]. Vidutinės skydliaukės apšvitos dozės šioje metaanalizėje buvo 10 Gy. Padidėjusi rizika išliko 30 metų.

Siekiant įvertinti didesnių apšvitos dozių įtaką sergamumui skydliaukės vėžiu, duomenys 2010 m. buvo papildyti dar keliais tyrimais [104, 105, 106]. Nustatyta, jog santykinė rizika susirgti skydliaukės karcinoma atsiranda, kai apšvitos dozė $\leq 0,1$ Gy, ši rizika didėja proporcingai didėjant apšvitos dozei, o jai pasiekus 2–4 Gy, ima didėti eksponentiškai ir pasiekia piką, kai apšvitos dozė yra 30 Gy. Toliau didėjant apšvitos dozei, rizika išlieka padidėjusi, tačiau dozės didėjimas nebeturi įtakos rizikos susirgti didėjimui. Nauji antrieji pirminiai skydliaukės vėžio atvejai buvo nustatyti, praėjus mažiausiai dvejiems metams po ankstesnės apšvitos. Tačiau apibendrinus visus duomenis daroma išvada, jog latentinis ligos atsiradimo periodas yra 5–10 m., o padidėjusi tikimybė susirgti išlieka kelis dešimtmečius [107]. Skydliaukės vėžys buvo vienas iš labiausiai paplitusių antrųjų pirminių piktybinių navikų tarp vaikų, sirgusių hematopoetinės sistemos ir smegenų vėžiu, kuriam gydyti naudota jonizuojančioji spinduliuotė [107, 108].

Diagnostikai vis dažniau naudojami jonizuojančiosios spinduliuotės šaltiniai. Tai kelia susirūpinimą dėl neigiamų padarinių vaikų sveikatai, ypač dėl gausėjančių vėžinių susirgimų atvejų [109]. Siekiant įvertinti kompiuterinės tomografijos keliamą riziką vaikams susirgti onkologinėmis ligomis ir optimizuoti tyrimo atlikimo metodiką, vykdyti tyrimai, jų rezultatai pateikiami 3 lentelės B dalyje. Atlikus kohortinius tyrimus Pietų Korėjoje ir Australijoje, tiriamųjų grupėse reikšmingai padaugėjo skydliaukės vėžio atvejų dėl jonizuojančiosios spinduliuotės, palyginti su kontroline vaikų grupe (rizikos padidėjimas atitinkamai 2, 19 ir 1, 4) [109, 110, 111]. Tyrimas EPI-CT (angl. *Epidemiological study to quantify risks for paediatric computerized tomography and to optimise doses*) vykdytas vienuolikoje Europos šalių. Šiuo

metu surinkti duomenys rodo, kad patiriama didesnė rizika susirgti centrinės nervų sistemos vėžiu ir leukemija, o duomenų apie skydliaukės vėžio riziką dar nėra [109]. Šiuo metu įgyvendinant projektą MEDIRAD (angl. *Implications of Medical Low Dose Radiation Exposure*), Europoje toliau renkami su diagnostinės jonizuojančiosios apšvitos sukeliama padariniais susiję duomenys.

3 lentelė. Vaikų rizikos susirgti skydliaukės vėžiu dėl patirtos jonizuojančiosios spinduliuotės tyrimai

Medicininė apšvita: spindulinė terapija / rentgeno diagnostika	Patologija, autorius, tyrimo laikotarpis	Šaltinis	Tyrimai Pobūdis	Vėžio atvejai / tirtų vaikų skaičius	Sugertoji dozė (Gy)	Skydliaukės apšvita	Santykinė rizika (RR)
A. Spindulinė terapija	Užkrūčio liaukos švitinimas (Rochester ir kt.) (1926–1957)	Ron ir kt, (1995) [104].	Kohortinis	38/2 856	0,03–11 Gy	Išorinė apšvita. Švitinimas rentgeno spinduliais	RR 9,1 (95 % PI = 3,6–28,8)
	<i>Tinea capitis</i> (Dermatofitija) (Werner ir kt.) (1948–1960)		Kohortinis	60/10 834	0,09 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas rentgeno spinduliais	RR 32,5 (95 % PI = 14–57,1)
	Tonzilės (Schneider ir kt.) (1939–1962)	Ron ir kt, (1995) [104].	Kohortinis	309/2 634	0,01–5,8 Gy	Išorinė apšvita. Švitinimas rentgeno spinduliais.	RR 2,5 (95 % PI = 0,6–26)
	Tonzilės (Pottern ir kt.) (1938–1969)		Kohortinis	11/1 590	0,24 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas rentgeno spinduliais	Nevertinta
	Onkologinė liga sirgę vaikai (Tucker ir kt.) (1936–1979)		Atvejais ir kontrolė	23/9 170	1–76 Gy (vidutinė dozė – 12,5 Gy)	Išorinė apšvita Švitinimas didelės energijos rentgeno spinduliuote (megavoltinė rentgeno spinduliuote, t. y. fotonais)	RR 1,1 (95 % PI = 0,4–29,4)
	Hancock ir kt. (1991) [103]		Kohortinis (Hodžkino limfomos gydymas)	6/1 677	44 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas didelės energijos rentgeno spinduliuote (megavoltinė rentgeno spinduliuote, t. y. fotonais)	RR 2,8 berniukams ir 2,2 mergaitėms

Medicininė apšvita: spindulinė terapija / rentgeno diagnostika	Patologija, autorius, tyrimo laikotarpis	Šaltinis	Tyrimai Pobūdis	Vėžio atvejai / tirtų vaikų skaičius	Sugertoji dozė (Gy)	Skyd liaukės apšvita	Santykinė rizika (RR)
	Ronckers ir kt. (2006) [104]		Atvejis ir kontrolė	72/14 361	0–62 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas didelės energijos rentgeno spinduliuote (megavoltinė rentgeno spinduliuote t.y. fotonais)	RR 1,3 (95 % PI = 0,4–4,1)
	Onkologine liga sirgę vaikai Šiaurės šalyse	Svahn-Tapper ir kt. (2006) [105]	Lizdinis atvejis ir kontrolė	14/25 120	<0,1–55,2 Gy, vidutinė dozė – 10,1 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas didelės energijos rentgeno spinduliuote (megavoltinė rentgeno spinduliuote, t. y. fotonais)	>30 Gy RR 21,3 (95 % PI = 0,3–1568)
	Onkologine liga sirgę vaikai Prancūzijoje ir JK	De Vathaire ir kt. (2006) [105]	Kohortinis	14/985	0,5–7 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas didelės energijos rentgeno spinduliuote (megavoltinė rentgeno spinduliuote, t. y. fotonais)	RR 4–8 (apšvitai padidėjus 1 Gy)
	Onkologine liga sirgę vaikai JAV ir Kanadoje	Robison ir kt. (2010) [106]	Kohortinis	119/12 547	0–20 Gy	Išorinė apšvita Švitinimas didelės energijos rentgeno spinduliuote (megavoltinė rentgeno spinduliuote, t. y. fotonais)	RR 14,6 (95 % PI = 6,8–31,5)

Medicininė apšvita: spindulinė terapija / rentgeno diagnostika	Patologija, autorius, tyrimo laikotarpis	Šaltinis	Tyrimai Pobūdis	Vėžio atvejai / tirtų vaikų skaičius	Sugertoji dozė (Gy)	Skydliaukės apšvita	Santykinė rizika (RR)
B Rentgeno diagnostika	2011–2015 metų diagnostinės procedūros	Bernier ir kt. (2019) [109]	Kohortinis	Skydliaukės Ca duomenys nepateikti / 1 170 186	-	Rentgeno spinduliuotė (kompiuterinė tomografija), išorinė apšvita	Didesnė rizika susirgti centrinės nervų sistemos vėžiu ir leukemija
	2006–2015 metų diagnostinės procedūros	Jae–Young Hong ir kt. (2019) [110]	Kohortinis	363/12 068 821	-	Rentgeno spinduliuotė (kompiuterinė tomografija), išorinė apšvita	RR 2,19 (95 % PI = 1,97–2,20)
	1985–2005 metų diagnostinės procedūros	Mathews JD ir kt. (2013) [111]	Kohortinis	258/10 939 680	0,005–0,05 Gy	Rentgeno spinduliuotė (kompiuterinė tomografija), išorinė apšvita	RR 1,4 (95 % PI = 1,23–1,59)

3. TYRIMO APIMTIS IR METODAI

3.1 Duomenų apie tiriamosios grupės asmenis rinkimas ir duomenų bazės sukūrimas

3.1.1 Duomenų šaltiniai

Siekiant atlikti šį tyrimą, gautas Vilniaus regioninio biomedicininio tyrimų etikos komiteto leidimas (1 priedas) (Nr. 158200–17–929–432, 2017 liepos 4 d.).

Informacija apie Černobylio AE avarijos padarinių Lietuvos likviduotojų kohortą iki 2010 m. surinkta, naudojantis 1991 m. sukurto Lietuvos nacionalinio Černobylio registro duomenimis. Į šį registrą pateko duomenys iš toliau išvardytų šaltinių:

- 1) registracijos kortelių, kurios buvo įdiegtos, vadovaujantis 1987 m. Sovietų Sąjungos sveikatos apsaugos ministerijos direktyva Nr. 640-TN. Šiose kortelėse pateikti duomenys 1991 m. perkelti iš asmens sveikatos priežiūros įstaigų į ČMC duomenų bazę;
- 2) SSRS kariuomenės rezervo sąrašų, kurie tapo prieinami ČMC nuo 1991 m. rugsėjo;
- 3) sąrašų ir duomenų, surinktų iš 1989 m. Lietuvoje įsteigto judėjimo „Černobylis“;
- 4) atliekant Černobylio AE tvarkymo darbus dalyvavusių Ignalinos AE darbuotojų sąrašų;
- 5) techninių darbuotojų, siųstų atlikti likvidavimo darbų, sąrašų, gautų iš buvusios Lietuvos SSR statybos ministerijos;
- 6) Vidaus reikalų ministerijos darbuotojų, siųstų palaikyti tvarkos ir drausmės 30 km teritorijoje aplink Černobylio AE, sąrašų.

Siekiant susisteminti duomenis, buvo naudojamas unikalus identifikacinis numeris, jis susietas su Lietuvos gyventojų registro duomenimis.

Nuo 2001 m. sausio tapo įmanoma susieti Higienos instituto Sveikatos informacijos centro duomenų bazės mirtingumo dėl atskirų priežasčių duomenis su likviduotojų identifikaciniu numeriu.

Remiantis Higienos instituto ir Registrų centro duomenimis apie mirties bei tarptautinę migraciją, gauta statistinės informacijos iš Statistikos departamento (nuo 2022 m. liepos 19 d. – Lietuvos Respublikos Valstybės duomenų agentūros). Visus sujungtų duomenų bazės kūrimo darbus, susijusius su naudojimusi individualiais įrašais, atliko Statistikos departamento specialistai, turintys leidimą dirbti su konfidencialia statistine

informacija. Planuojant tolesnius tyrimus ir rodiklių skaičiavimus, buvo pateikta tik agreguota statistinė informacija (dažnių duomenų masyvo formatu).

Lietuvos vėžio registras – tai populiacinis registras, kuriame kaupiami demografiniai bei klinikiniai duomenys apie piktybinių navikų atsiradimą Lietuvoje (nuo 1978 m.) bei mirtis nuo jų (nuo 1990 m.). Šiuo metu Nacionaliniame vėžio institute, elektroninėje laikmenoje, yra sukaupta informacijos apie 6 917 Černobylio AE avarijos likviduotojus iš Lietuvos, 1986–1991 m. dirbusius avarijos zonoje. Duomenų bazėje nurodytas kiekvieno asmens vardas, pavardė, asmens kodas, gimimo data, adresas išvykstant į avarijos zoną, atvykimo ir išvykimo iš Černobylio laikas, apšvitos dozė. Atlikus tyrimą, sugretinus duomenis su Vėžio registru, nustatyta mirusių asmenų mirties data ir priežastis, diagnozavus piktybinę ligą, užfiksuota nustatymo data ir susirgimo vieta.

Pagrindinis Vėžio registro duomenų šaltinis – „Pranešimas apie pirmą kartą nustatytą piktybinio naviko diagnozę“ (forma Nr. 090/a). „Medicininis mirties liudijimas“ (forma Nr. 106/a) – papildomas duomenų šaltinis sergamumo duomenų bazei papildyti ir onkologinių ligų registracijos kokybei kontroliuoti, taip pat onkologinių ligonių mirties faktui, datai, mirties priežastčiai nustatyti, jau užregistravus piktybinės ligos atvejį. Pateikti Černobylio likviduotojų ir jų sergamumo bei mirtingumo duomenų rinkimo 1986–2020 m. šaltiniai (žr. 1 priedą).

Iš sukauptos likviduotojų duomenų bazės apie tiriamuosius asmenis surinkta toliau išvardyta informacija:

- vardas;
- pavardė;
- identifikacijos numeris;
- gimimo data;
- lytis;
- gyvenamoji vieta;
- patirtos apšvitos dozė;
- onkologinės ligos nustatymo data;
- susirgimo onkologine liga vieta;
- mirties data;
- mirties priežastis.

Norint patikslinti nežinomas mirties priežastis, buvo naudojamos mirties aktų įrašais iš Civilinės metrikacijos archyvų. Iki 1997 m. Vėžio registras onkologinių ligų diagnozėms bei mirties priežastims koduoti naudojo devintosios peržiūros Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų

klasifikaciją (TLK–9, PSO 1977), o nuo 1998 m. – dešimtosios peržiūros Tarptautinę statistinę ligų ir sveikatos problemų klasifikaciją (TLK–10, PSO 1992).

Tiriant įvykus ČAE avarijai Lietuvos Respublikoje gyvenusių jaunesnių nei 20 m. asmenų riziką susirgti skydliaukės vėžiu, naudotasi duomenimis, sukauptais Lietuvos vėžio registre, LR Valstybinių duomenų agentūroje bei fizinių ir technologijos mokslų centre (žr. 2 priedą.).

Iš sukauptos LR teritorijoje gyvenusių asmenų, kurie įvykus ČAE avarijai buvo jaunesni nei 20 m. amžiaus, duomenų bazės apie tiriamuosius asmenis surinkta toliau išvardyta informacija:

- gimimo data;
- lytis;
- gyvenamoji vieta;
- rekonstruota sugertoji skydliaukės apšvitos dozė;
- skydliaukės vėžio ligos nustatymo data.

3.1.2 Tiriamųjų grupės suformavimas

3.1.2.1 Tiriamųjų grupės suformavimas sergamumui onkologinėmis ligomis (1986–2012 m.) analizuoti

Černobylio AE avarijos padarinių likviduotojų iš Lietuvos sergamumo onkologinėmis ligomis rizika įvertinta, naudojantis retrospektyvinio kohortinio tyrimo metodu [112]. Iš viso į likviduotojų kohortą buvo įtraukta 6 917 asmenų. Siekiant susisteminti asmenis, kuriems buvo nustatytas AE avarijos padarinių likviduotojo statusas, naudotas unikalus identifikacinis numeris, nuo 1992 m. jis buvo susietas su Lietuvos gyventojų registro duomenimis. Nuo to laiko likviduotojų imtį sudarė 6 272 su unikaliu identifikaciniu numeriu susieti asmenys (dalis jų mirė ar emigravo iki 1992 m.; 123 asmenys buvo ne Lietuvos Respublikos piliečiai, turėję laikiną leidimą gyventi Lietuvoje).

Tyrimui atrinkti asmenys, grįžę iš ČAE likvidavimo darbų, stebėti ilgiau nei vienus metus. Iki 2012 m. gruodžio 31 d. į minėtą tiriamąjį laikotarpį buvo įtraukti 6 917 asmenų duomenys. Tai – asmenys, kurie 1986–1990 m. dalyvavo atliekant Černobylio AE padarinių likvidavimo darbus, buvo teritorijoje, nutolusioje nuo Černobylio AE ne daugiau kaip 30 km atstumu, ir kuriems buvo išmatuotos apšvitos dozės (žr. 3 priedą). Tyrimo metu, susiejus Vėžio registro duomenų bazę su unikaliu identifikaciniu numeriu, buvo skaičiuojamos likviduotojams naujai diagnozuotos onkologinės ligos. Diagnozė pateikiama, vadovaujantis Tarptautine statistine ligų ir sveikatos sutrikimų klasifikacija, dešimtuosiu pataisytu ir papildytu leidimu. Tyrimo

laikotarpiu nustatytas likviduotojų onkologinių ligų skaičius, lokalizacija, likviduotojų atvykimo į ČAE zoną amžius, tikslus atvykimo laikas, buvimo ČAE zonoje trukmė (dienomis) ir amžius baigiantis stebėjimo laikotarpiui. Į tyrimo grupę nebuvo įtraukta 210 asmenų, nes jų stebėjimo laikotarpis buvo trumpesnis nei vieni metai. Sergamumui analizuoti naudoti 6 707 asmenų duomenys (žr. 4 priedą).

3.1.2.2 Tiriamųjų grupės suformavimas mirtingumui (2001–2020 m.) analizuoti

Černobylio AE avarijos padarinių likviduotojų iš Lietuvos rizikos mirti dėl atskirų priežasčių įvertinta, naudojantis retrospektyvinio kohortinio tyrimo metodu [112]. Iš viso į likviduotojų kohortą buvo įtraukta 6 917 asmenų. Siekiant susisteminti žmones, kuriems buvo nustatytas AE avarijos padarinių likviduotojo statusas, naudotas unikalus identifikacinis numeris (asmens kodas), jis buvo susietas su Lietuvos gyventojų registro duomenimis.

Tyrimui atrinkti po 2001 m. sausio 1 d. Lietuvoje likusių gyvų likviduotojų asmens duomenys: lytis, amžius, mirties data ir priežastis iki 2020 m. gruodžio 31 d. Į minėtą tyrimo laikotarpį buvo įtraukti 5 562 asmenų duomenys. Tai – asmenys, kurie 1986–1990 m. dalyvavo atliekant Černobylio AE padarinių likvidavimo darbus, buvo teritorijoje, nutolusioje nuo Černobylio AE ne daugiau kaip 30 km atstumu, ir kuriems buvo išmatuotos apšvitės dozės (žr. 2 priedą). Tyrimo laikotarpiu nustatytas likviduotojų mirties laikas ir priežastis. Į tyrimo grupę nebuvo įtraukti 906 jau iki 2001 m. mirę ir 282 emigravę asmenys, 158 asmenų duomenų sukaupta nepakankamai, o 9 asmenų nepateikta mirties priežastis. Mirtingumui analizuoti naudoti 5 562 asmenų duomenys (žr. 3 priedą).

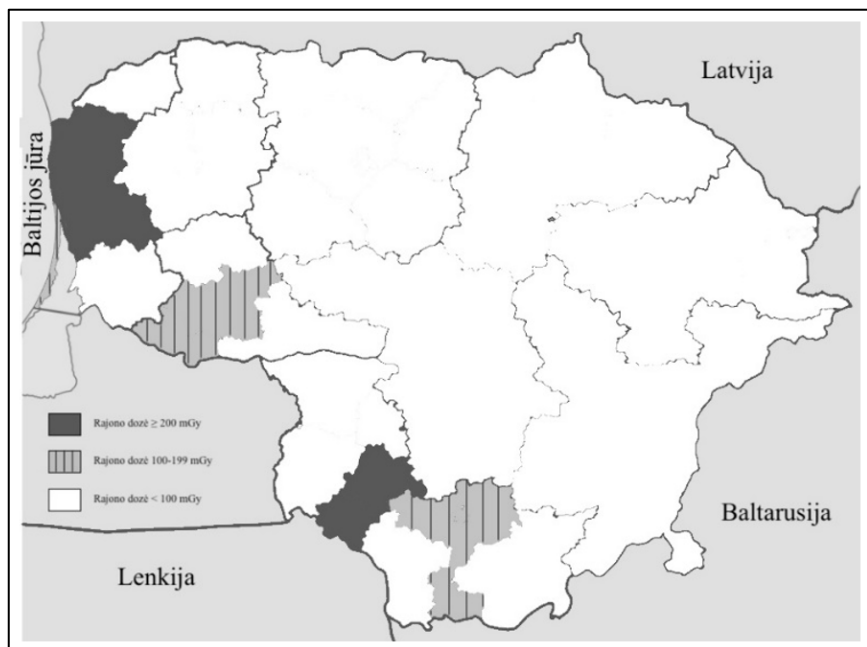
3.1.2.3 Tiriamųjų grupės suformavimas, aiškinantis Lietuvos gyventojų, kurie įvykus avarijai buvo 0–19 m. amžiaus, riziką susirgti skydliaukės vėžiu

LR teritorijoje gyvenusių asmenų, kurie įvykus ČAE avarijai buvo 0–9 m. ir 0–19 m. amžiaus, riziką susirgti skydliaukės vėžiu įvertinta, naudojantis retrospektyvinio ekologinio tyrimo metodu [112].

Į tyrimą įtraukti tie skydliaukės vėžio atvejai, kurie buvo diagnozuoti ir patekę į Vėžio registrą nuo 1991 m. sausio 1 d. iki 2015 m. gruodžio 31 d. (žr. 5 priedą).

Siekdami duomenų tęstinumo ir vientisumo, pasirinkome 1989 m. galiojusią Lietuvos administracinio skirstymo sistemą (44 rajonai ir 11 miestų), nors 1994 m. buvo įgyvendinta dalinė administracinė reforma. Atsižvelgiant į 1986 m., įvykus avarijai, vaikams iki 4 m. išmatuotą

skydliaukės sugertąją apšvitos dozę, Lietuvos teritorijoje išskirtos trys gyvenamosios vietos grupės, pagrįstos surašymo informacija: 1) 200 mGy ir didesnė apšvita, 2) 100 mGy – 199 mGy, 3) mažiau nei 100 mGy (žr. 6 pav.).



6 pav. Surašymo informacija pagrįstos gyvenamosios vietos grupė

3.1.3 Tiriamųjų grupės charakteristika

Į tyrimą sergamumui analizuoti buvo įtraukti 6707, o mirtingumui analizuoti – 5 562 asmenys, kurie tiriamuoju laikotarpiu gyveno Lietuvoje ir buvo pripažinti likviduotojais. Baigiantis stebėjimo laikotarpiui, iš tiriamųjų grupės narių 3 640 (65,4 %) buvo gyvi, 1 922 (34,6 %) – mirę.

Žinomas likviduotojų amžius jiems atvykus į Černobylio AE tvarkymo teritoriją, atvykimo laikas, trukmė dienomis, apšvitos dozė, amžius baigiantis stebėjimo laikotarpiui (4 lentelė), taip pat piktybinių navikų atsiradimas, mirties data ir mirties priežastis.

Sergamumo stebėjimo laikotarpio pradžia – 1986 m. balandžio 26 d., pabaiga – 2012 gruodžio 31 d. Tiriamų likviduotojų asmens stebėjimo metai (angl. *person-years*) buvo skaičiuojami dienų tikslumu, įvertinant kiekvieno likviduotojo indėlį kiekvienu laikotarpiu kiekvienoje amžiaus grupėje.

Mirtingumo priežasčių tyrimo pradžia – 2001 m. sausio 1 d., pabaiga – 2020 gruodžio 31 d. Tuomet asmens identifikacijos numeris buvo susietas su mirties atvejų ir jų priežasčių valstybės registru, kuriuos nuo 2010 m. tvarko Higienos institutas.

4 lentelė. Tiriamųjų grupės charakteristika

Charakteristikos	Skaičius	%
Iš viso	6 707	100,0
Gyvybinė būklė (2012 m. gruodžio 31 d.)		
gyvas	4 793	71,5
miręs	1 538	22,9
emigravo ar pranyko iš registro	376	5,6
Amžius, atvykus į Černobylio sritį (metai)		
<20	144	2,2
20–29	2 422	36,1
30–39	3 065	45,7
40–49	908	13,5
>=50	66	1,0
nežinoma	102	1,5
vidutinis atvykimo į Černobylio zoną laikas (metai, mėnuo)	32,2	
1986 m. balandžio–gegužės mėn.	500	7,4
1986 m. birželio–gruodžio mėn.	1 849	27,6
1987–1990 m.	4 256	63,5
nežinoma	102	1,5
Buvimo Černobylio teritorijoje trukmė (dienomis)		
<30	440	6,6
30–89	3 444	51,3
90–149	1 530	22,8
150–209	829	12,4
>=210	362	5,4
nežinomas	102	1,5
Dokumentuota dozė (mSv)		
<50,0	924	13,8
50,0–99,9	1 666	24,8
100,0–149,9	1 036	15,4
150,0–199,9	453	6,8
200,0–249,9	722	10,8
250+	151	2,3
nežinomas	1 755	26,2
vidurkis	109,6	
Amžius stebėjimo pabaigoje (metai)		
<50	1 784	26,6
50–59	3 159	47,1
60–69	1 564	23,3
70–79	189	2,8
>=80	11	0,2
vidurkis	54,3	

Rizikos rodikliai apskaičiuoti taikant netiesioginės standartizacijos metodą [113, 114]. Ilgalaičių sergamumo ir mirtingumo pokyčių analizė atlikta, naudojantis klasikinius sergamumo bei mirtingumo tendencijų vertinimo metodus [115].

3.1.4 Svarbiausi ČAE radioaktyviosios taršos produktai, sukeliantys apšvitą

Černobylio avarijos padarinių likviduotojai patyrė vidinę ir išorinę apšvitą, kai įvykus avarijai išsiskyrė radioaktyvieji elementai ir jų skilimo produktai (5 lentelė). Daugiausia ir labiausiai išreikštų pasekmių žmonių sveikatai turi radioaktyvusis jodo izotopas ^{131}I , kuris skildamas skleidžia beta ir gama spindulius (skilimo pusperiodis – 8 d., todėl jis svarbus, vertinant ankstyvus jonizuojančiosios spinduliuotės sukeltus padarinius sveikatai), ^{134}Cs (skilimo pusperiodis – 2 m.) bei ^{137}Cs (skilimo pusperiodis – 30 m.) [116]. Dalis radioaktyviųjų elementų pateko ir į dirvožemį (^{95+}Zr , ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{132}Te , ^{132}I , ^{140+}Ba , ^{140}La). Šie elementai pasižymi ilgu skilimo pusperiodžiu, be to, jų sukeltą apšvitą bei poveikį sudėtinga įvertinti [1, 4, 5, 6, 12].

5 lentelė. Svarbiausi radioaktyvieji elementai, išsiskyrę dėl ČAE avarijos

Radioaktyvusis elementas	Skilimo pusperiodis	Išorinė apšvita	Vidinė apšvita	Kaupimasis organizme
^{131}I	8 dienos	15 %	82 %	Skyd liaukėje
^{137}Cs	30 metų	60 %–70 %	30 %	Visuose organuose vienodai
^{134}Cs	2 metai	40 %	60 %	Lastelėse

3.2 Tyrimo metodai

3.2.1 Kintamieji ir jų kategorijos

Šio tyrimo kintamieji buvo parinkti pagal turimus duomenis, siekiant objektyviau interpretuoti gautus tyrimo rezultatus ir palyginti juos su kitų šalių bei kitų tyrėjų gautais rezultatais. Stengiantis įvertinti, kaip Černobylio AE avarijos sukelta apšvita paveikė Lietuvos likviduotojų sergamumą bei mirtingumą nuo piktybinių navikų ir vaikų bei jaunų žmonių (iki 20 m.) sergamumą skyd liaukės vėžiu, buvo pasirinkti demografiniai ir dozimetriniai duomenys.

Demografiniai kintamieji

Lytis. Tyrimo metu atskirai buvo skaičiuojamas berniukų ir mergaičių, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 20 m. amžiaus, sergamumas skyd liaukės vėžiu. Černobylio AE likviduotojų kohortą sudarė tik vyrai, todėl mirtingumas ir sergamumas lygintas su vyrų populiacijos sergamumo bei mirtingumo rodikliais.

Amžius. ČAE Lietuvos likviduotojai, atvykę į užterštą teritoriją, pagal amžių buvo suskirstyti į penkias grupes: jaunesnius nei 20 m., nuo 20 m. iki 29 m., nuo 30 m. iki 39 m., nuo 40 m. iki 50 m. ir vyresnius nei 50 m. žmones. Vertinant likviduotojų mirtingumą, nebuvo atsižvelgta į amžių, o vertinant sergamumą, pasirinktos dvi amžiaus grupės: į pirmąją pateko jaunesni, į antrąją – vyresni nei 30 m. asmenys.

Analizuojant vaikų (0–9 m.) ir jaunų žmonių (0–19 m. amžiaus) sergamumą, amžiaus grupės paskirstytos penkerių metų intervalais (0–4 m., 5–9 m., 10–14 m., 15–19 m., 20–24 m., 25–29 m., 30–34 m., 35–39 m., 40–44 m., 45–49 m., 50–54 m., 55–59 m., 60–64 m., 65–69 m., 70–74 m., 75–79 m., 80–84 m., 85 ir daugiau metų). 0–4 m. amžiaus vaikams buvo išmatuota apšvitos dozė skydliaukei.

Gyvenamoji vieta. Vertinant ČAE avarijos padarinių likviduotojų mirtingumą ir sergamumą, šis kintamasis nebuvo pasitelktas.

Pagal 1986 m., įvykus avarijai, vaikams iki 4 m. rekonstruotą sugertąją dozę skydliaukei Lietuvos teritorijoje išskirtos trys gyvenamosios vietos grupės, pagrįstos surašymo informacija: mažesnė nei 100 mGy, nuo 100 iki 200 mGy ir didesnė nei 200 mGy.

Dozimetriniai duomenys. Patirta išorinė apšvita avarijos padarinių likviduotojams buvo matuojama individualiais (retais atvejais) ar grupės dozimetrais arba apskaičiuojama, įvertinus darbo aplinkoje išmatuotus apšvitos dydžius [117]. Individualiai dozimetrijai dažniausiai būdavo naudojami termoluminescenciniai dozimetrai (TLD) [117]. Patirtos likviduotojų efektinės apšvitos dozės buvo dokumentuojamos ir užfiksuojamos tuo metu Sovietų Sąjungoje galiojusiuose karinės prievolės dokumentuose, tačiau manoma, jog daugeliu atvejų jos buvo nurodomos klaidingai [3, 117, 118]. Didžiausios apšvitos dozės vertės buvo išmatuotos 1986–1987 m., ilgainiui jos mažėjo. Dozės dydžiui taip pat svarbi ir trukmė, t. y. kiek laiko likviduotojai buvo užterštoje zonoje [117, 118]. 1986–1990 m. išmatuota ir oficialiai dokumentuota vidutinė efektinė dozė likviduotojams buvo 120 mSv [3, 117, 118]. Minimali dokumentuota Lietuvos likviduotojų kohortoje efektinė apšvitos dozė buvo mažesnė nei 50 mSv, o didžiausia siekė 250 mSv. Pradėjus telkti Lietuvos likviduotojų kohortą, iš pradžių surinkti 5 446 asmenys. Iš jų tik 3 756 likviduotojų patirta apšvita buvo dokumentuota [119].

Biologinė dozimetrija, paremta chromosomų pažaidų analize, greta klinikinių simptomų bei fizikinės dozimetrijos, jau yra tapusi neatsiejama avarinių apšvitos dozių įvertinimo dalimi [120, 121]. Biologinė dozimetrija atlikta Lietuvos likviduotojų kraujo mėginiuose, naudojant glikoforiną A, padedantį nustatyti eritrocitų mutacijas. Šis tyrimas buvo atliktas 173 Lietuvos

likviduotojams, galutinė išvada suformuluota 48 asmenims [122]. Palyginus Lietuvos likviduotojų gautus biodozimetrijos duomenis su Estijos ir Latvijos likviduotojų kohortos biodozimetrijos bei dokumentuotomis dozėmis, daroma išvada, kad nurodytos vidutinės efektinės apšvitos dozės buvo 100–110 mSv, tačiau maksimalios ir minimalios efektinės apšvitos dozės vertės varijuoja [120, 121, 122]. Pasitelkiant citogenetinės analizės metodą, nustatytos nestabilių chromosomų aberacijos 183 tirtų likviduotojų periferinio kraujo limfocituose. Šiuo būdu užfiksuotos išorinės apšvitos efektinės dozės varijuoja nuo 40 mSv iki 249 mSv (vidutiniškai 130 mSv) [122, 123].

Analitinis apšvitos dozės rekonstrukcijos RADRUE (angl. *Realistic Analytical Dose Reconstruction and Uncertainty Estimation*) metodas buvo taikytas, siekiant įvertinti likviduotojų, paveiktų jonizuojančiąja spinduliuote, apšvitos dozes. Naudojantis šiuo metodu, nustatyta, kad vidutinė sugertoji apšvitos dozė tiriamiesiems iš Baltarusijos (11 mGy) buvo gerokai mažesnė nei likviduotojams iš Lietuvos ir Rusijos Federacijos (daugiau nei 100 mGy) arba iš Estijos ir Latvijos (apie 50 mGy). Panašiai, kaip ir kaulų čiulpų dozės, vidutinė skydliaukės išorinės spinduliuotės lygiavertė dozė tiriamiesiems iš Baltarusijos (12 mSv) buvo gerokai mažesnė nei jų kolegoms iš Lietuvos ir Rusijos Federacijos (daugiau kaip 100 mSv) arba iš Estijos (apie 90 mSv) ir Latvijos (apie 70 mSv). RADRUE metodas buvo naudojamas 1 459 asmenų, dalyvavusių likviduojant Černobylio avarijos padarinius ir atliekant tris epidemiologinius tyrimus (vieną Ukrainos bei Amerikos ir du Baltarusijos, Baltijos šalių, Rusijos bei IARC tyrimus), išorinės apšvitos efektinėms dozėms apskaičiuoti [124]. RADRUE metodu nustatytos neapibrėžtys, išreikštos geometriniais standartiniais nuokrypiais, svyravo nuo 1,1 iki 5,8, aritmetinis vidurkis – 1,9 [124].

Radioaktyviojo jodo matavimai pirmą dieną po avarijos parodė, kad jo koncentracija ore buvo 10 kartų didesnė už įprastą [125, 126]. Orai lėmė skirtingą Lietuvos regionų taršą dėl radioaktyviųjų iškritų (žr. 6 priedą). Po ČAE avarijos Lietuvoje tiesiogiai ^{131}I aktyvumas vaikų skydliaukėse nebuvo tirtas. Tačiau buvo atlikti radiologiniu požimiū s svarbūs bandiniai – ganyklų žolės ir pieno taršos ^{131}I matavimai visuose Lietuvos rajonuose [125]. Taip pat įvertintos vidutinės sugertosios apšvitos dozės vaikų skydliaukėms ir jų kitimo ribos visoje Lietuvos teritorijoje, vadovaujantis 1989 m. administraciniu skirstymu (44 rajonai ir 11 miestų) pagal taršos laipsnį [127, 128].

Retrospektyvios dozimetrijos modelis LIETDOS buvo sukurtas ir išbandytas, naudojant biosferos modeliavimo ir vertinimo programos pavyzdį [116]. Šis modelis yra skirtas maisto grandinei modeliuoti, iškritų atmosferoje sklaidai ir apšvitos dozei įvertinti. Bendradarbiaujant su Lietuvos energetikos institutu, LIETDOS buvo naudojama, vertinant radioaktyvųjų užterštumą hipotetinės

Ignalinos AE avarijos atveju. LIETDOS poveikio žmonėms vertinimo submodelis sudarytas iš šių elementų: išorinės apšvitos atmosferoje, išorinės apšvitos dėl iškritų ir vidinės apšvitos dėl įkvepiamo ¹³¹I bei užterštų maisto produktų vartojimo. Atsižvelgiama į gyventojų gyvenimo būdą ir maitinimosi įpročius. LIETDOS biosferos ir žmonių poveikio submodeliai sprendžiami diferencialine lygtimi, lygčių sistemomis ir skaitiniu būdu, taikant Adamso ir Moultono Gear BDF metodą (Daugiažingsnių skirtumų metodų stabilumas) [127, 128].

3.2.2 Asmens stebėjimo metų skaičiavimas

Asmens stebėjimo metai pradėti skaičiuoti tą dieną, kai likviduotojai grįžo į Lietuvą. Tyrimui atrinkti asmenys, grįžę iš ČAE likvidavimo darbų, stebėti ilgiau nei vienus metus. Tiriamiems likviduotojams asmens stebėjimo metai (angl. *person-years*) buvo skaičiuojami dienų tikslumu, įvertinant kiekvieno likviduotojo indėlį į stebėjimo metus kiekvienu laikotarpiu kiekvienoje amžiaus grupėje.

Vaikų ir jaunų žmonių grupės stebėjimo metai skaičiuoti visą tyrimo laikotarpį, pradedant nuo ČAE avarijos dienos.

3.2.3 Piktybinių navikų atsiradimo rizikos įvertinimas

Atliekant tyrimą, buvo tiriamas sergamumas piktybinėmis ligomis likviduotojų grupėje ir vertinama asmenų, kurie įvykus ČAE avarijai buvo 0–19 m. amžiaus, tikimybė susirgti skydliaukės vėžiu.

Tiriamuoju laikotarpiu – 1986–2012 m. – kiekvieno darbuotojo amžius ir numatomų piktybinių navikų skaičius buvo skaičiuojamas pamečiui, o likviduotojai buvo stratifikuoti į šias penkmetines amžiaus grupes: jaunesnius nei 20 m., nuo 20 m. iki 29 m., nuo 30 m. iki 39 m., nuo 40 m. iki 50 m. ir vyresnius nei 50 m.

Tikėtinas piktybinių ligų skaičius tiriamojoje grupėje apskaičiuotas, padauginus pamečiui asmens stebėjimo metų rodiklius šalyje tiriamuoju laikotarpiu i-oje amžiaus grupėje iš atitinkamų standartinės Lietuvos vyrų populiacijos sergamumo vėžiu rodiklių i-oje amžiaus grupėje. Standartizuotas sergamumo santykis (SSS) – tai santykis tarp užregistruotų susirgimų ir tikėtino piktybinių navikų skaičiaus.

$$SSS = \frac{\text{Nustatytų atvejų skaičius}}{\text{Tikėtinų atvejų skaičius}}$$

Standartizuoto sergamumo santykio rodiklių 95 proc. pasikliautiniai intervalai apskaičiuoti, padarius prielaidą, kad stebimi tiriamieji pasiskirsto pagal Puasono dėsnį.

3.2.4 Mirtingumo rizikos įvertinimas

ČAE likviduotojų mirtingumo rizikai įvertinti naudota palyginamoji grupė buvo visos Lietuvos vyrų populiacija. Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 2001 m. iki 2020 m. – tiriamieji ir standartiniai vyrų vidutinio gyventojų skaičiaus duomenys buvo kasmet gaunami iš Lietuvos Respublikos Valstybės duomenų agentūros ir atliekant tyrimą naudotų duomenų šaltinių (žr. 1 priedą). Absoliutus mirčių skaičius (iš viso) tiriamojoje populiacijoje gautas iš atliekant mūsų tyrimą naudotų duomenų šaltinių (žr. 1 priedą). Šie duomenys pasitelkiami tikėtinam mirčių skaičiui pagal amžių ir bendram tikėtinam mirčių skaičiui tiriamojoje populiacijoje apskaičiuoti [112, 113, 114].

Mirtingumo rizikos rodiklis skaičiuotas, taikant netiesioginės standartizacijos metodą, kai stebimas standartinės populiacijos mirčių skaičius pagal amžiaus grupes dalijamas iš standartinės populiacijos gyventojų skaičiaus kiekvienoje amžiaus grupėje, taip apskaičiuojant standartinės populiacijos mirtingumą visose amžiaus grupėse [112, 113, 114, 115].

Tiriamosios populiacijos gyventojų skaičių i-oje amžiaus grupėje padauginus iš standartinės populiacijos mirtingumo toje pačioje i-oje amžiaus grupėje, nustatomas tikėtinas mirčių skaičius kiekvienoje tiriamosios populiacijos amžiaus grupėje. Apskaičiavus tiriamosios populiacijos tikėtiną mirčių skaičių, susumuojamas tikėtinas mirčių skaičius visose tiriamosios populiacijos amžiaus grupėse. Standartizuotas mirtingumo santykis (SMR) apskaičiuojamas, padalijus stebimą tiriamosios populiacijos mirčių skaičių iš tikėtino mirčių skaičiaus tiriamojoje populiacijoje.

$$SMR = \frac{\text{stebimas mirčių skaičius tiriamojoje populiacijoje}}{\text{tikėtinas mirčių skaičius tiriamojoje populiacijoje}}$$

Darant prielaidą, kad duomenys pasiskirstė pagal Puasono skirstinį, buvo apskaičiuoti 95 % pasikliautiniai intervalai (PI) rizikos rodikliui (SMR) [113].

Standartizuoto mirtingumo apatinis 95 % PI rodiklis = Standartizuotas mirtingumo rodiklis – 1,96 x SP.

Standartizuoto mirtingumo viršutinis 95 % PI rodiklis = Standartizuotas mirtingumo rodiklis + 1,96 x SP.

Standartinė paklaida (SP):

Standartizuoto mirtingumo rodiklio SP =	$\frac{\sqrt{\left(\sum \frac{(\text{tikėtinas mirčių sk.})^2}{(\text{absoliutus stebimas mirčių sk.})}\right)}}{\text{standartinės populiacijos dydis}}$
---	---

Rezultatai vertinti kaip statistiškai reikšmingi, kai $p < 0,05$. Statistinė duomenų analizė atlikta, naudojantis statistinės programos STATA 11 versija (StataCorp. 2009. College Station, TX: StataCorp LP).

3.2.5 Lietuvos gyventojų, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 20 m. amžiaus, sergamumo skydliaukės vėžiu rizikos įvertinimas

Taikant tiesioginės standartizacijos metodą (Europos standartas), buvo apskaičiuotas standartizuotas pagal amžių sergamumo skydliaukės vėžiu rodiklis tiriamuoju laikotarpiu (1991–2015 m.).

Santykinė rizika (*rate ratio*) – tai sergamumo rodiklio paveiktoje grupėje ir sergamumo rodiklio nepaveiktoje (arba mažiau paveiktoje) lyginamojoje grupėje santykis [112, 113, 114, 115].

$$\text{Santykinė rizika} = \frac{\text{Sergamumas}_{\text{paveiktoje populiacijoje}}}{\text{Sergamumas}_{\text{nepaveiktoje (mažiau paveiktoje) populiacijoje}}}$$

Sergamumo santykio rodiklių 95 proc. pasikliautiniai intervalai apskaičiuoti, padarius prielaidą, kad stebimi tiriamieji pasiskirsto pagal Puasono dėsnį. Rezultatai vertinti kaip statistiškai reikšmingi, kai $p < 0,05$. Statistinė duomenų analizė atlikta, naudojantis MedCalc statistine programa, 22.021 versija (MedCalc Software Ltd) ir R versija 4.1.0 (R statistinių skaičiavimų projektas) [129].

3.2.6 Dozimetrinė apšvitos skydliaukei, patirtos Lietuvos gyventojų po ČEA avarijos, analizė

Tiesiogiai ^{131}I aktyvumas vaikų skydliaukėse po ČAE avarijos Lietuvoje nebuvo matuotas, apšvitos dozė skydliaukei apskaičiuota netiesiogiai.

^{131}I aktyvumo žolėje matavimai buvo atlikti visuose Lietuvos regionuose ir normalizuoti 1986 m. gegužės 2 d. [125, 127]. Pastebėta sumažėjusi radioaktyviojo jodo aktyvumo koncentracija augaluose dėl radioaktyviojo skilimo ir atmosferos šalinimo procesų (atmosferos poveikio) nuo lapų paviršių. Maksimalus radioaktyviojo jodo tūrinis aktyvumas piene $C_{\text{max_pienas}}$ (Bq/l) buvo apskaičiuotas (žr. (1) formulę) pagal žolės

aktyvumo matavimus, taikant efektyvųjį koeficientą k , susiejant vidutinį radiokatyviojo jodo aktyvumą piene (Bq/l) su ^{131}I nusėdimo tankiu (Bq/m²) ir darant prielaidą apie tam tikrą vidutinį karvių ganyklos žolės derlių Y (visoje Lietuvos teritorijoje nustatyta vieninga Y vertė, kuri yra 0,4 kg/m²), taip pat sausų radiokatyvių iškritų žolėje koeficientą f (visoje Lietuvos teritorijoje nustatyta vieninga f vertė 0,2):

$$C_{\max_pienas} = \frac{k \cdot C_{\max_žolė}}{f} \quad (1)$$

čia Y – vidutinis žolės derlingumas ganykloje. Empiriškai nustatytos koeficiento k reikšmės skyrėsi santykinai mažai užterštoje Lietuvos I zonoje $k=0,16 \pm 0,04$ m²/l ir labai užterštoje II zonoje $k=0,23 \pm 0,02$ m²/l

Atlikus ^{131}I matavimus karvių piene, nustatyta, kad jo koncentracija neviršijo leistinų normų (370 Bq/l) tik centriniuose ir šiauriniuose Lietuvos regionuose, o vakariniuose bei pietiniuose rajonuose tūrinis aktyvumas galėjo viršyti 1000 Bq/l [125, 126]. Todėl Lietuvos teritorija buvo suskirstyta į tris regionus pagal užterštumo lygį: 1) palyginti švarų, 2) vidutiniškai užterštą ir 3) labai užterštą.

Įvertinta, jog radioaktyviojo jodo skilimo išdava yra eksponentinis aktyvumo piene mažėjimas. Apskaičiuotas efektyvus aktyvumo mažėjimo greitis λ_{off} , jis skyrėsi priklausomai nuo užterštumo regiono: $\lambda_{\text{off}}=0,13$ d⁻¹ ir $\lambda_{\text{off}}=0,16 \pm 0,03$ d⁻¹ atitinkamai 1, 2 ir 3 regionuose [125]. Siekiant įvertinti skydliaukės sugertosios apšvitės dozes dėl pieno vartojimo, buvo nustatytas integralinis aktyvumas piene I_{pienas} (Bq·d/l). Eksponentinė radiokatyviojo jodo piene aktyvumo kitimo laike funkcija apskaičiuota pagal pieno aktyvumo matavimų dinamiką Lietuvoje [125, 126, 127]. Integralinis I_{pienas} buvo apskaičiuotas (žr. (2) formulę) kiekvienam rajonui ir miestui pagal šią išraišką:

$$I_{\text{pienas}} = A \int_0^{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{\text{on}}}}\right) \cdot e^{-\lambda_{\text{off}} \cdot t} dt = C_{\max_pienas} \cdot \left(1 - \frac{\lambda_{\text{off}} \cdot \tau_{\text{on}}}{1 + \lambda_{\text{off}} \cdot \tau_{\text{on}}}\right) \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{\text{off}}} + \tau_{\text{on}}\right)^{1 + \lambda_{\text{off}} \cdot \tau_{\text{on}}} \cdot \tau_{\text{on}}^{-\lambda_{\text{off}} \cdot \tau_{\text{on}}} \quad (2)$$

A yra normalizuojantis daugiklis, siejamas su išmatuotu didžiausiu pieno aktyvumu $C_{\max_pienas}$ pagal šią priklausomybę:

$$A = C_{\max_pienas} \cdot \lambda_{\text{off}} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_{\text{off}}} + \tau_{\text{on}}\right)^{1 + \lambda_{\text{off}} \cdot \tau_{\text{on}}} \cdot \tau_{\text{on}}^{-\lambda_{\text{off}} \cdot \tau_{\text{on}}} \quad (3)$$

τ_{on} yra aktyvumo didėjimo trukmės iki eksponentinės funkcijos maksimumo (d) parametras (žr. (3) formulę).

¹³¹I aktyvumo pikas piene buvo stebimas maždaug $t_{max}=3$ dienos nuo aktyvumo didėjimo pradžios ir atitiko gegužės 2 d. [125, 128]. Todėl $\tau_{on}=1,8$ d ir $\tau_{on}=2,3$ d vertės buvo nustatytos, atsižvelgiant į priklausomybę kiekvienam rajonui 1, 2, 3 atitinkamai pagal loff vertes. Įvertinus šiuos kintamuosius, apskaičiuotos ekvivalentinės skydliaukės apšvitos dozės vaikams (0–4 m. amžiaus) (žr. (4) formulę), pritaikius retrospektyviosios dozimetrijos modelį LIETDOS, įdiegtą Fizinių ir technologijos mokslų centre [128].

$$t_{max} = \tau_{on} \cdot \ln \left(1 + \frac{1}{\lambda_{off} \cdot \tau_{on}} \right) \quad (4)$$

Kartu su Fizinių ir technologijos mokslo centro tyrėju apskaičiavome vidutines vaikų bei jaunų suaugusiųjų skydliaukės apšvitos dozes ir jų kitimo intervalus trijuose Lietuvos regionuose, išskirtuose pagal užterštumo laipsnį. Su pienu gautos apšvitos dozių koeficientai apskaičiuoti, remiantis Tarptautinės radiologinės saugos komisijos (ICRP) 67 (ICRP, 1993) ir Federalinių rekomendacijų ataskaita (FGR)13. Įvertintas vidutinis pieno suvartojimas amžiaus grupėse: 0,55 l/d 0–1 metų kūdikiams, 0,6 l/d 2–16 metų vaikams ir 0,64 l/d suaugusiesiems [126], taip pat įvesta dozės korekcija dėl papildomo 5 proc. įkvepiamo ¹³¹I aktyvumo. Atliekant tyrimą, atsižvelgta į tai, jog krūtimi maitinami kūdikiai nuo 3 mėn. amžiaus buvo primaitinami karvės pienu ir vidutiniškai suvartojo 0,55 l/d.

Atsižvelgus į gamtines sąlygas ir gyventojų maitinimosi įpročius, atrodo mažai tikėtina, kad radioaktyvusis jodas pateko į organizmą valgant žalumynus bei salotas, todėl tai nebuvo vertinta.

Lietuvoje, skirtingai nei kaimyninėje Lenkijoje, iš karto po avarijos kalio jodido tabletės gyventojams nebuvo centralizuotai skiriamos, todėl, vertinant apšvitos dozes, nereikėjo atsižvelgti į skydliaukės blokavimo poveikį [130, 131].

4. REZULTATAI

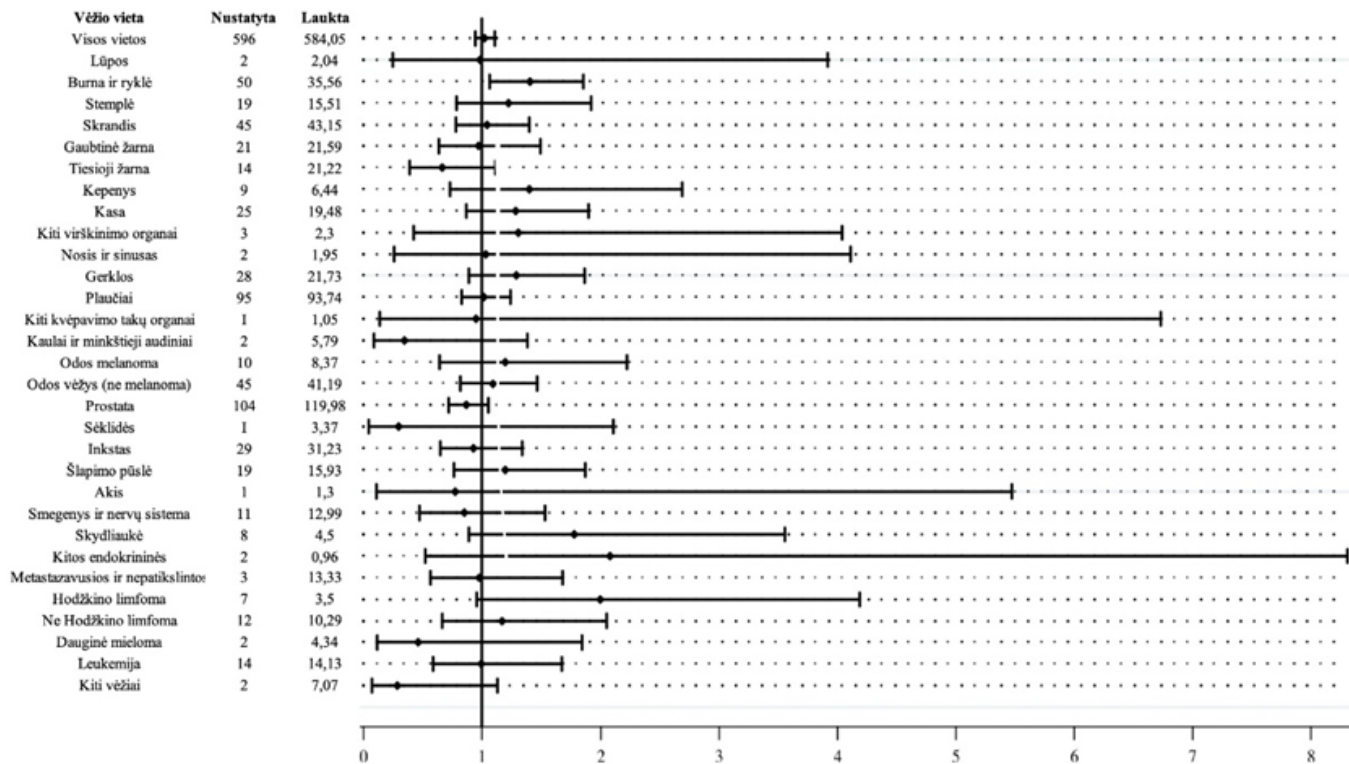
4.1 Lietuvos Černobylio AE likviduotojų tiriamųjų grupės rizika susirgti onkologinėmis ligomis

Per visą stebėjimo laikotarpį iki 2012 m. pabaigos 4 793 asmenys iš Lietuvos likviduotojų kohortos buvo gyvi, 1 538 mirę ir 376 – dingę iš stebėjimo zonos arba emigravę (4 lentelė). Trečdalis kohortos narių į Černobylio teritoriją atvyko 1986 m., iš jų 500 pirmaisiais avarijos mėnesiais (balandį ir gegužę). Vidutinis stebimųjų amžius, atvykus į Černobylį, buvo 32 metai (mediana – 31 m.), o vidutinis amžius stebėjimo pabaigoje siekė 54 metus (mediana – 55 m.).

Per visą tyrimo laikotarpį diagnozuoti 596 piktybinių navikų atvejai (žr. 7 pav.), o standartizuotas sergamumo santykis – SSS sudarė 1,02. Palyginti su bendrąja Lietuvos populiacija, nustatytas didesnis sergančiųjų Hodžkino limfoma atvejų skaičius likviduotojų grupėje (SSS = 2,00, 95 % PI = 0,95–4,19) ir padidėjusi rizika susirgti skydliaukės vėžiu (SSS = 1,78, 95 % PI = 0,98–3,56). Užfiksuotas didesnis sergamumas burnos bei ryklės vėžiu (SSS = 1,41, 95 % PI = 1,07–1,86). Su alkoholio vartojimu ir rūkymu susijusi rizika susirgti vėžiu buvo šiek tiek didesnė, tačiau apatinė PI riba – mažesnė nei vienas (SSS = 1,16, 95 % PI = 0,99–1,37 ir SSS = 1,09, 95 % PI = 0,98–1,21). Išanalizavus per visą tiriamąjį laikotarpį užfiksuotus tik lėtinės limfoleukemijos atvejus, nustatyta, jog sergamumas SSS buvo 1,20 (95 % PI = 0,57–2,51).

Reikšmingai didesnė rizika susirgti skydliaukės vėžiu (SSS = 2,90, 95 % PI = 1,09–7,72) nustatyta jaunesniems nei 30 m. likviduotojams (7 lentelė). Likviduotojams, atvykusiems pirmaisiais mėnesiais po Černobylio AE avarijos, užfiksuota daugiau skydliaukės ir leukemijos susirgimų (išskyrus lėtinę limfoleukemiją), atitinkamai šių ligų SSS – 1,93 (95 % PI = 0,62–5,98) ir 2,01 (95 % PI = 0,90–4,46). Atvykusiems vėliau (1987–1990 m.) skydliaukės vėžio SSS siekė 1,74 (95 % PI = 0,72–4,17), o leukemijos (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) SSS – 0,19 (95 % PI 0,03–1,38). Tiriamiesiems, praleidusiems ČEA zonoje mažiau nei 90 dienų, nustatyta daugiau skydliaukės vėžio susirgimų, SSS – 2,30 (95 % PI = 1,03–5,12). Atitinkamai likviduotojams, užtrukusiems ilgiau nei 90 dienų ČEA zonoje, nustatyta mažiau skydliaukės vėžio susirgimų, SSS – 1,10 (95 % PI = 0,27–4,38).

Likviduotojų amžius, atvykimo laikas ir buvimo trukmė ČEA zonoje – nė vienas iš šių veiksnių apskritai neturėjo reikšmingo poveikio rizikai susirgti onkologinėmis ligomis, leukemija (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) ir galvos smegenų vėžiu (7 lentelė). Didesnė rizika susirgti skydliaukės vėžiu nustatyta jaunesniems likviduotojams ir tiems, kurie praleido avarijos zonoje mažiau nei 90 dienų.



7 pav. Nustatytų bei tikėtinų piktybinių navikų atvejų skaičius ir standartizuotas sergamumo santykis Lietuvos ČAE likviduotojų kohortoje 1986–2012 m.

4.2 Černobylio AE avarijos padarinių likvidavimo darbus atlikusių asmenų gautos jonizuojančiosios spinduliuotės dozės dydžio įtaka rizikai susirgti onkologinėmis ligomis

Siekiant įvertinti riziką susirgti onkologėmis ligomis ir patirtos apšvitos dozės priklausomybę tarp Lietuvos Černobylio likviduotojų, buvo pasirinktos visų lokalizacijų piktybinių navikų, smegenų, skydliaukės ir leukemijos (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) diagnozės. Duomenys apie išorinės apšvitos dozę buvo žinomi 4 952 likviduotojams, 1 755 atvejais apšvitos dozė liko nenustatyta. Vidutinė efektinė apšvitos dozė buvo 109,6 mSv, mediana – 99 mSv. Tiriamųjų grupė, priklausomai nuo dokumentuotos per visą avarijos likvidavimo laiką apšvitos dozės, buvo suskirstyta į dvi kategorijas: patyrusius mažesnę nei 100 mSv apšvitą ir patyrusius didesnę nei 100 mSv apšvitą. Išanalizavus piktybinių navikų atsiradimo priklausomybę pagal išmatuotą apšvitos dozę, nustatyta, kad didesnės apšvitos dozės turėjo įtakos rizikai susirgti skydliaukės vėžiu (7 lentelė). Tiriamiesiems, kuriems dokumentuota efektinė dozė buvo didesnė nei 100 mSv, piktybiniai navikai patvirtinti 199 atvejais, kai laukta 194,52 atvejų, o standartizuotas sergamumo santykis sudarė 1,02 (95 % PI = 0,89–1,18).

Nustatyta didesnė piktybinių navikų atsiradimo rizika: galvos smegenų piktybinių navikų SSS – 1,15 (95 % PI = 0,48–2,77), skydliaukės vėžio SSS – 3,13 (95 % PI = 1,30–7,52) ir leukemijų (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) SSS – 1,40 (95 % PI = 0,52–3,73). Per tiriamąjį laikotarpį galvos smegenų vėžiu susirgo penki tiriamieji (patyrę didesnę nei 100 mSv apšvitą), palyginti su dviem atvejais (patyrę mažesnę nei 100 mSv apšvitą) (7 lentelė). Atitinkamai skydliaukės vėžiu susirgo penki ir leukemija (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) keturi didesnės apšvitos grupės likviduotojai, palyginti su vienu ir dviem atvejais mažesnės apšvitos likviduotojais.

7 lentelė. 1986–2012 m. stebėtas pasirinktų vėžio atvejų skaičius ir standartizuotas sergamumo santykis (SSS) Lietuvos ČAE likviduotojų grupėje, vertinant jų amžių atvykimo metu, buvimo Černobylio zonoje trukmę ir dokumentuotą išorinės apšvitos dozę

Susirgimo vėžiu vieta	TLK–10 kodas	Nustatyta	Tikėtina	SSS	95 % PI	Susirgimo vėžiu vieta	TLK–10 kodas	Nustatyta	Tikėtina	SSS	95 % PI
Amžius <30 metų						Amžius ≥ 30 metų					
Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	69	78,97	0,87	(0,69–1,11)	Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	519	495,79	1,05	(0,96–1,14)
Smegenys	C71	4	3,28	1,22	(0,46–3,25)	Smegenys	C71	7	8,97	0,78	(0,37–1,64)
Skydliaukė	C73	4	1,38	2,9	(1,09–7,72)	Skydliaukė	C73	4	3,06	1,31	(0,49–3,49)
Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	3	2,02	1,49	(0,48–4,61)	Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	4	6,12	0,65	(0,25–1,74)
Atvykimo metai – 1986 m.						Atvykimo metai – 1987–1990					
Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	197	200,5	0,98	(0,85–1,13)	Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	391	374,26	1,04	(0,95–1,15)
Smegenys	C71	3	4,31	0,7	(0,22–2,16)	Smegenys	C71	8	7,94	1,01	(0,5–2,02)
Skydliaukė	C73	3	1,56	1,93	(0,62–5,98)	Skydliaukė	C73	5	2,88	1,74	(0,72–4,17)
Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	6	2,99	2,01	(0,9–4,46)	Leukemija, išskyrus C9,11	C91–C95	1	5,15	0,19	(0,03–1,38)
Trukmė <90 dienų						Trukmė ≥ 90 dienų					
Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	336	325,7	1,03	(0,93–1,15)	Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	252	249,06	1,01	(0,89–1,14)
Smegenys	C71	7	7,13	0,98	(0,47–2,06)	Smegenys	C71	4	5,12	0,78	(0,29–2,08)
Skydliaukė	C73	6	2,61	2,3	(1,03–5,12)	Skydliaukė	C73	2	1,83	1,1	(0,27–4,38)
Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	4	4,72	0,85	(0,32–2,26)	Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	3	3,42	0,88	(0,28–2,72)
Dozė <100 mSv						Dozė ≥ 100 mSv					
Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	256	229,35	1,12	(0,99–1,26)	Visos vietos / lokalizacijos	C00–C96	199	194,52	1,02	(0,89–1,18)
Smegenys	C71	2	4,86	0,41	(0,1–1,65)	Smegenys	C71	5	4,34	1,15	(0,48–2,77)
Skydliaukė	C73	1	1,75	0,57	(0,08–4,06)	Skydliaukė	C73	5	1,6	3,13	(1,3–7,52)
Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	2	3,15	0,63	(0,16–2,54)	Leukemija, išskyrus C91,1	C91–C95	4	2,86	1,4	(0,52–3,73)

4.3 Lietuvos Černobylio avarijos padarinių likviduotojų tiriamųjų grupės mirties priežastys

Per visą 20 metų stebėjimo laikotarpį mirė 1 922 tiriamieji, o standartizuotas mirtingumo santykis – SMR buvo 1,07. Palyginti su bendrąja Lietuvos populiacija, nustatyta didesnė mirčių nuo onkologinių ligų rizika likviduotojų grupėje (SMR = 1,15, 95 % PI = 1,06–1,26). Užfiksuota, kad mirtingumo nuo onkologinių ligų rizika panaši į mirtingumo nuo kraujotakos sistemos ir smegenų kraujagyslių ligų riziką (8 lentelė). Kraujotakos sistemos ligų grupėje didžiausia rizika mirti nustatyta nuo hipertenzinės ligos (SMR = 1,37, 95 % PI = 0,99–1,89), antrąją vietą užėmė ūminis miokardo infarktas (SMR = 1,24, 95 % PI = 0,97–1,57), o mažiausia pasirodė širdies išeminės ligos rizika (SMR = 1,12, 95 % PI = 1,02–1,23). Mirčių nuo smegenų kraujagyslių ligų tiriamųjų grupėje buvo 118, kai laukta 81,05 (SMR = 1,46, 95 % PI = 1,22–1,74).

Didesnė rizika mirti nustatyta nuo tuberkuliozės. Per tyrimo laikotarpį mirė 66 tiriamieji (vietoj lauktų 51), kuriems 2001–2020 m. laikotarpiu buvo diagnozuota tuberkuliozė (8 lentelė). Siekiant išsamiau įvertinti mirčių riziką tuberkulioze sergantiems Černobylio likviduotojams, buvo pasirinktos dvi diagnozės: plaučių tuberkuliozės ir miliarinės tuberkuliozės. Didžiausia mirtingumo rizika nustatyta sergantiesiems mialiarine tuberkuliozės forma (SMR = 1,77, 95 % PI = 0,95–3,30).

8 lentelė. Mirčių skaičius ir standartizuotas mirtingumo santykis Lietuvos Černobylio avarijos padarinių likviduotojų tiriamųjų grupėje 2001–2020 m.

Mirties priežastis	TLK–10 kodas	Nustatyta	Tikėtina	SMR	95 % PI
Visos priežastys	A00–Y98	1 922	1 790,16	1,07	(1,03–1,12)
Tam tikros infekcinės ir parazitų sukeltos ligos	A00–B99	54	47,93	1,13	(0,86–1,47)
Plaučių tuberkuliozė	A15–A16	23	20,34	1,13	(0,75–1,70)
Tuberkuliozė	A15–A19	33	26,14	1,26	(0,90–1,78)
Miliarinė tuberkuliozė	A19	10	5,64	1,77	(0,95–3,30)
Sepsis	A40–A41	11	9,51	1,16	(0,64–2,09)
Piktybiniai navikai	C00–C97	478	414,23	1,15	(1,06–1,26)
Navikai <i>in situ</i> ir gerybiniai navikai	D00–D48	7	4,93	1,42	(0,68–2,98)
Kraujo bei kraujodaros organų ligos ir tam tikri sutrikimai, susiję su imuniniais mechanizmais	D50–D89	2	0,94	2,13	(0,53–8,50)
Endokrininės, mitybos ir medžiagų apykaitos ligos	E00–E89	10	15,39	0,65	(0,35–1,21)

Mirties priežastis	TLK–10 kodas	Nustatyta	Tikėtina	SMR	95 % PI
Psichikos ir elgesio sutrikimai	F00–F99	3	5,33	0,56	(0,18–1,74)
Psichikos ir elgesio sutrikimai dėl alkoholio vartojimo	F10	3	3,37	0,89	(0,29–2,76)
Nervų sistemos ligos	G00–G99	17	26,46	0,64	(0,40–1,03)
Nervų sistemos degeneracija, sukelta alkoholio	G31.2	3	2,90	1,03	(0,33–3,20)
Akių ir ausų ligos	H00–H95	0	0,11	–	–
Kraujotakos sistemos ligos	I00–I99	744	680,24	1,09	(1,02–1,18)
Hipertenzinės ligos	I10–I15	37	27,02	1,37	(0,99–1,89)
Širdies išeminės ligos	I20–I25	464	413,37	1,12	(1,02–1,23)
Ūminis miokardo infarktas	I21	67	54,10	1,24	(0,97–1,57)
Smegenų kraujagyslių ligos	I60–I69	118	81,05	1,46	(1,22–1,74)
Kvėpavimo sistemos ligos	J00–J99	80	74,00	1,08	(0,87–1,35)
Pneumonija	J12–J18	43	3,61	1,21	(0,90–1,63)
Lėtinės apatinių kvėpavimo takų ligos	J40–J47	29	31,24	0,93	(0,65–1,34)
Virškinimo sistemos ligos	K00–K93	134	134,46	1,00	(0,84–1,18)
Skrandžio opa	K25–K27	7	13,78	0,51	(0,24–1,07)
Kepenų ligos	K70–K76	92	90,22	1,02	(0,83–1,25)
Alkoholinė kepenų liga	K70	44	43,45	1,01	(0,75–1,36)
Kepenų cirozė ir fibrozė	K74	37	35,47	1,04	(0,76–1,44)
Lėtinis alkoholinis pankreatitas	K86.0	0		–	–
Odos ir poodžio ligos	L00–L99	0	1,98	–	–
Jungiamojo audinio ir raumenų bei skeleto ligos	M00–M99	2	3,43	0,58	(0,15–2,33)
Lyties ir šlapimo sistemos ligos	N00–N99	7	8,88	0,79	(0,38–1,65)
Simptomai, požymiai ir nenormalūs klinikiniai bei laboratoriniai radiniai, neklasifikuojami kitur	R00–R99	49	37,41	1,31	(0,99–1,73)
Nelaimingi atsitikimai	V00–Y89	335	334,42	1,00	(0,90–1,11)
Tyčiniai susižalojimai	X60–X84	87	86,73	1,00	(0,81–1,24)
Atsitiktinis apsinuodijimas alkoholiu bei jo poveikis	X45	32	34,25	0,93	(0,66–1,32)
Atsitiktinis apsinuodijimas kenksmingomis medžiagomis ir jų poveikis	X40–X49	52	49,27	1,06	(0,80–1,39)
Priežastys, sietinos su alkoholio vartojimu		98	101,61	0,96	(0,79–1,18)
Visos kitos išorinės priežastys	Y10–Y34	12	27,11	0,44	(0,25–0,78)

4.4 Černobylio AE avarijos padarinių likvidavimo darbus atlikusių asmenų gautos jonizuojančiosios spinduliuotės dozės dydžio įtaka mirtingumo pagal atskiras priežastis rizikai

Siekiant įvertinti, kaip Lietuvos Černobylio likviduotojams būdinga mirtingumo rizika susijusi su per visą avarijos likvidavimo laikotarpį jų patirta apšvitos doze, buvo pasirinktos piktybinių navikų, kraujotakos sistemos ir smegenų kraujagyslių ligos. Tiriamųjų grupė, priklausomai nuo dokumentuotos per visą avarijos laiką apšvitos dozės, buvo suskirstyta į tris efektyvių dozių kategorijas: patyrusius apšvitą, mažesnę nei 100 mSv, patyrusius apšvitą, didesnę nei 100 mSv, ir tuos, kurių apšvitos dozė nežinoma. Išanalizavus likviduotojų mirtingumo priklausomybę nuo išmatuotos apšvitos dozės, nustatyta, kad didesnės dozės neturėjo įtakos mirtingumo rizikai nuo kraujotakos sistemos ligų, širdies išeminės ligos, ūminio miokardo infarkto, smegenų kraujagyslių ligų ir piktybinių navikų (9 lentelė). Užfiksuota 16 tiriamųjų, kuriems dokumentuota efektyvi dozė buvo didesnė nei 100 mSv, mirčių nuo hipertenzinių ligų atvejų, kai laukta 9,55 (SMR = 1,68, 95 proc. PI 1,03–2,74).

9 lentelė. Stebėtas pasirinktų mirties priežasčių skaičius ir standartizuotas mirtingumo santykis (SMR) Lietuvos Černobylio atominės elektrinės avarijos padarinius likvidavusių darbuotojų kohortoje pagal dokumentuotą išorinės apšvitos dozę 2001–2020 m.

Dokumentuotos apšvitos dozės (mSv)	Nustatyta	Tikėtina	SMR	95 % PI
I00–I99 kraujotakos sistemos ligos				
<100,0	318	265,53	1,20	(1,07–1,34)
≥100,0	252	236,80	1,06	(0,94–1,20)
Nežinoma	174	177,91	0,98	(0,84–1,13)
I10–I15 hipertenzinės ligos				
<100,0	15	10,73	1,40	(0,84–2,32)
≥100,0	16	9,55	1,68	(1,03–2,74)
Nežinoma	6	6,74	0,89	(0,40–1,98)
I20–I25 širdies išeminės ligos				
<100,0	196	161,33	1,21	(1,06–1,40)
≥100,0	150	143,07	1,05	(0,89–1,23)
Nežinoma	118	108,98	1,08	(0,90–1,30)
I21 ūminis miokardo infarktas				

Dokumentuotos apšvitos dozės (mSv)	Nustatyta	Tikėtina	SMR	95 % PI
<100,0	27	21,36	1,26	(0,87–1,84)
≥100,0	17	18,93	0,90	(0,56–1,44)
Nežinoma	23	13,81	1,67	(1,11–2,51)
I60–I69 smegenų kraujagyslių ligos				
<100,0	51	31,17	1,64	(1,24–2,15)
≥100,0	40	27,58	1,45	(1,06–1,98)
Nežinoma	27	22,30	1,21	(0,83–1,77)
C00–97 piktybiniai navikai				
<100,0	223	164,62	1,35	(1,19–1,54)
≥100,0	135	144,24	0,94	(0,79–1,11)
Nežinoma	120	105,36	1,14	(0,95–1,36)

4.5 Rekonstruotos regionams būdingos individualios ir kolektyvinės Lietuvos vaikų bei paauglių skydliaukės jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozės Černobylio avarijos metu, naudojantis radionuklidų aktyvumo matavimais pieno, žolės ir kituose mėginiuose, paimtuose netrukus po avarijos visoje Lietuvos teritorijoje

Priklausomai nuo taršos regiono, išmatuotos sugertosios dozės vaikų skydliaukėse svyravo tarp maksimalios – 272,9 mGy – vertės Vakarų Lietuvoje ir atitinkamai minimalios – 1,5 mGy – vertės Šiaurės Lietuvoje (10 lentelė).

10 lentelė. Rekonstruotos regionams būdingos individualios ir kolektyvinės Lietuvos vaikų bei paauglių skydliaukės jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozės Černobylio avarijos metu, naudojantis radionuklidų aktyvumo matavimais pieno, žolės ir kituose mėginiuose, paimtuose netrukus po avarijos visoje Lietuvos teritorijoje

Vietovė	A	B	C	D	E	Amžius įvykus ČAE avarijai (metai)				
						0	1	2	3	4
Palangos m.	27,7	27 700	3	II	12 742	272,9	265,4	258,8	227,9	198,4
Klaipėdos m.	24,4	24 400	3	II	0	240,4	233,8	227,9	200,8	174,7
Klaipėdos r.	24,4	24 400	3	II	11 224	240,4	233,8	227,9	200,8	174,7
Kalvarijos	20,3	20 300	3	II	9 338	200,0	194,5	189,6	167,1	145,4
Kretingos r.	20,3	20 300	3	II	9 338	200,0	194,5	189,6	167,1	145,4
Marijampolės	20,3	20 300	3	II	9 338	200,0	194,5	189,6	167,1	145,4
Druskininkų	19,95	19 950	3	II	9 177	196,5	191,2	186,4	164,2	142,9
Neringos	17	17 000	3	II	7 820	167,5	162,9	158,8	139,9	121,7
Varėnos r.	14,8	14 800	3	II	6 808	145,8	141,8	138,3	121,8	106,0
Tauragės r.	12,2	12 200	2	II	5 612	134,6	131,0	127,7	112,5	97,9
Pagėgių	11	11 000	3	II	5 060	108,4	105,4	102,8	90,5	78,8
Jurbarko r.	7,5	7 500	2	II	3 450	82,8	80,5	78,5	69,1	60,2
Skuodo r.	7,6	7 600	3	I	2 432	52,1	50,7	49,4	43,5	37,9
Šilalės r.	6	6 000	1	I	1 920	46,1	44,8	43,7	38,5	33,5
Plungės r.	5,5	5 500	3	I	1 760	37,7	36,7	35,7	31,5	27,4
Utenos r.	4,4	4 400	1	I	1 408	33,8	32,9	32,0	28,2	24,6
Vilniaus m.	2,6	2 600	2	II	1 196	28,7	27,9	27,2	24,0	20,9
Vilniaus r.	2,6	2 600	2	II	1 196	28,7	27,9	27,2	24,0	20,9
Šilutės r.	2,5	2 500	3	II	1 150	24,6	24,0	23,4	20,6	17,9
Joniškio r.	1,9	1 900	1	II	874	21,0	20,4	19,9	17,5	15,2
Rokiškio r.	2,7	2 700	1	I	864	20,7	20,2	19,7	17,3	15,1
Šalčininkų r.	2,1	2 100	3	II	966	20,7	20,1	19,6	17,3	15,0
Vilkaviškio r.	1,8	1 800	2	II	828	19,9	19,3	18,8	16,6	14,4
Šakių r.	1,5	1 500	2	II	690	16,6	16,1	15,7	13,8	12,0
Pakruojo r.	1,4	1 400	1	II	644	15,5	15,0	14,7	12,9	11,2
Švenčionių r.	2	2 000	1	I	640	15,4	14,9	14,6	12,8	11,2

Vietovė	A	B	C	D	E	Amžius įvykus ČAE avarijai (metai)				
						0	1	2	3	4
Trakų r.	2	2 000	2	I	640	15,4	14,9	14,6	12,8	11,2
Kazlų Rūdos	1,5	1 500	3	II	690	14,8	14,4	14,0	12,3	10,7
Alytaus r.	1,8	1 800	3	I	576	12,3	12,0	11,7	10,3	9,0
Anykščių r.	1,6	1 600	1	I	512	12,3	11,9	11,6	10,3	8,9
Ignalinos r.	1,6	1 600	1	I	512	12,3	11,9	11,6	10,3	8,9
Prienų r.	1,6	1 600	2	I	512	12,3	11,9	11,6	10,3	8,9
Zarasų r.	1,6	1 600	1	I	512	12,3	11,9	11,6	10,3	8,9
Lazdijų r.	1,2	1 200	3	II	552	11,8	11,5	11,2	9,9	8,6
Mažeikių r.	1,2	1 200	3	II	552	11,8	11,5	11,2	9,9	8,6
Alytaus m.	1,7	1 700	3	I	544	11,7	11,3	11,0	9,7	8,5
Birštono	1,5	1 500	2	I	480	11,5	11,2	10,9	9,6	8,4
Kupiškio r.	1,5	1 500	1	I	480	11,5	11,2	10,9	9,6	8,4
Visagino m.	1,3	1 300	1	I	416	10,0	9,7	9,5	8,3	7,3
Kauno m.	1,2	1 200	1	I	384	9,2	9,0	8,7	7,7	6,7
Rietavo	1,2	1 200	3	I	384	8,2	8,0	7,8	6,9	6,0
Telšių r.	1,2	1 200	3	I	384	8,2	8,0	7,8	6,9	6,0
Akmenės r.	1	1 000	1	I	320	7,7	7,5	7,3	6,4	5,6
Kauno r.	1	1 000	1	I	320	7,7	7,5	7,3	6,4	5,6
Pasvalio r.	0,9	900	1	I	288	6,9	6,7	6,6	5,8	5,0
Ukmergės r.	0,9	900	1	I	288	6,9	6,7	6,6	5,8	5,0
Elektrėnų	0,8	800	2	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Jonavos r.	0,8	800	1	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Kaišiadorių r.	0,8	800	2	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Molėtų r.	0,8	800	1	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Šiaulių m.	0,8	800	1	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Šiaulių r.	0,8	800	1	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Širvintų r.	0,8	800	1	I	256	6,1	6,0	5,8	5,1	4,5
Biržų r.	0,75	750	1	I	240	5,8	5,6	5,5	4,8	4,2
Kelmės r.	0,7	700	1	I	224	5,4	5,2	5,1	4,5	3,9
Panevėžio m.	0,7	700	1	I	224	5,4	5,2	5,1	4,5	3,9

Vietovė	A	B	C	D	E	Amžius įvykus ČAE avarijai (metai)				
						0	1	2	3	4
Panevėžio r.	0,7	700	1	I	224	5,4	5,2	5,1	4,5	3,9
Kėdainių r.	0,5	500	1	I	160	3,8	3,7	3,6	3,2	2,8
Radviliškio r.	0,5	500	1	I	160	3,8	3,7	3,6	3,2	2,8
Raseinių r.	0,2	200	1	I	64	1,5	1,5	1,5	1,3	1,1

A – ^{131}I aktyvumas žolėje, išmatuotas 1986 m. gegužės 2 d. (maksimali vertė), kBq/kg šviežio svorio

B – ^{131}I aktyvumas žolėje, išmatuotas 1986 m. gegužės 2 d., Bq/kg šviežio svorio

C – taršos regionas (1 – neužterštas, 2 – vidutinė tarša, 3 – labai užterštas)

D – taršos zona (I – švaresnė, II – užteršta) pagal išmatuotą žolės taršos aktyvumą ir radionuklidų sudėtį

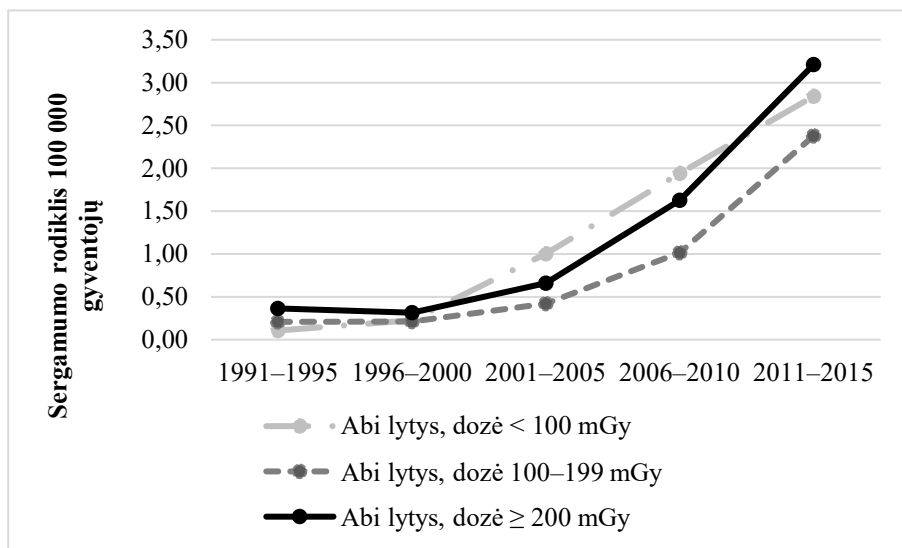
E – žolės produktyvumas, kg/m²

4.6 Černobylio AE avarijos padarinių sąsaja su Lietuvos gyventojų, kurie įvykus avarijai buvo 0–19 m. amžiaus, rizika susirgti skydliaukės vėžiu

Asmenims, kurie įvykus ČAE avarijai buvo 0–19 m. amžiaus, per visą tyrimo laikotarpį diagnozuoti 817 skydliaukės vėžio atvejai, o tiems, kurie buvo jaunesni nei 9 m. amžiaus, – 266 vėžio atvejai.

Atlikę tyrimą, nustatėme, kad labiausiai užterštuose rajonuose, vertinant vaikų ir paauglių (kurie buvo 0–19 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai) grupę, vyrų sergamumo rodiklis padidėjo nuo 0 (1991 m.) iki 1,56/100 000 gyv. 2015 m., o moterų – nuo 0 iki 4,84/100 000 gyv. Atitinkamai labiausiai užterštuose rajonuose gyvenusių vaikų grupėje sergamumo rodiklis padidėjo nuo 0 iki 0,66 vyrams ir nuo 0 iki 2,53 moterims.

Palyginkime: analizė parodė, kad per tą patį laikotarpį mažai ir vidutiniškai užterštų teritorijų gyventojų sergamumo rodikliai abiejų lyčių paauglių (kurie buvo 0–19 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai) grupėje padidėjo, jie svyravo nuo 0,11–0,21/100 000 gyventojų 1991–1995 m. iki 2,38–2,84/100 000 gyventojų 2011–2015 m. Pagal amžių standartizuoti sergamumo skydliaukės vėžiu rodikliai per penkerių metų laikotarpį (1991–2015 m.) šiek tiek padidėjo abiejų lyčių paauglių, kurie įvykus avarijai gyveno labiausiai užterštuose regionuose, grupėje (8 pav.).



8 pav. Pagal amžių standartizuoti sergamumo skydliaukės vėžiu rodikliai (0–19 m.) grupėje pagal užterštumo lygį 1991–2015 m. laikotarpiu

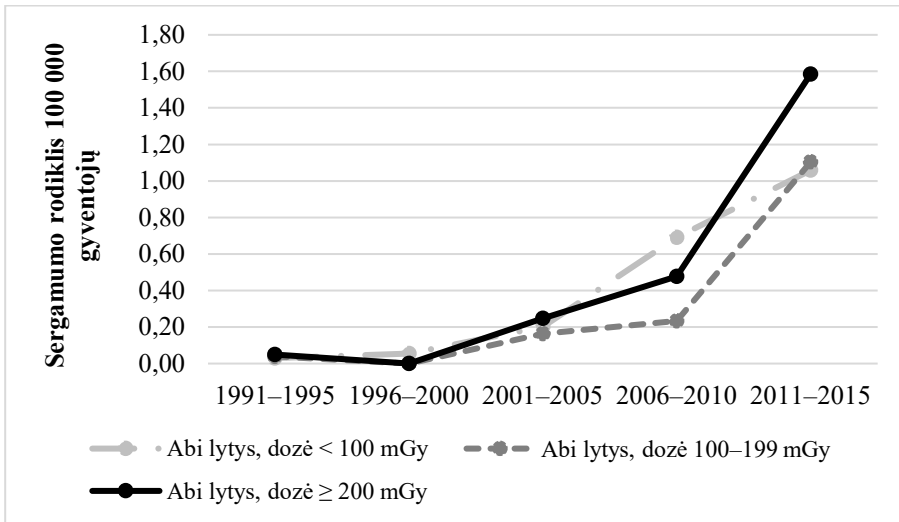
Santykinė skydliaukės vėžio rizika labiausiai užterštų rajonų gyventojų grupėje šiek tiek padidėjo, ji 1991–1995 m. laikotarpiu siekė 3,37 (95 % PI =

1,19–8,45, $p=0,01$) (10 lentelė). Tiriant vėlesnius laikotarpius, paaiškėjo, kad santykinė skydliaukės vėžio rizika labiausiai užterštuose rajonuose išliko padidėjusi tik 1996–2000 m.

10 lentelė. Santykinė skydliaukės vėžio rizika (SR) vaikų (0–19 m.) grupėje pagal apskaičiuotą metinę konkrečios teritorijos individualią dozę ir kalendorinį laikotarpį

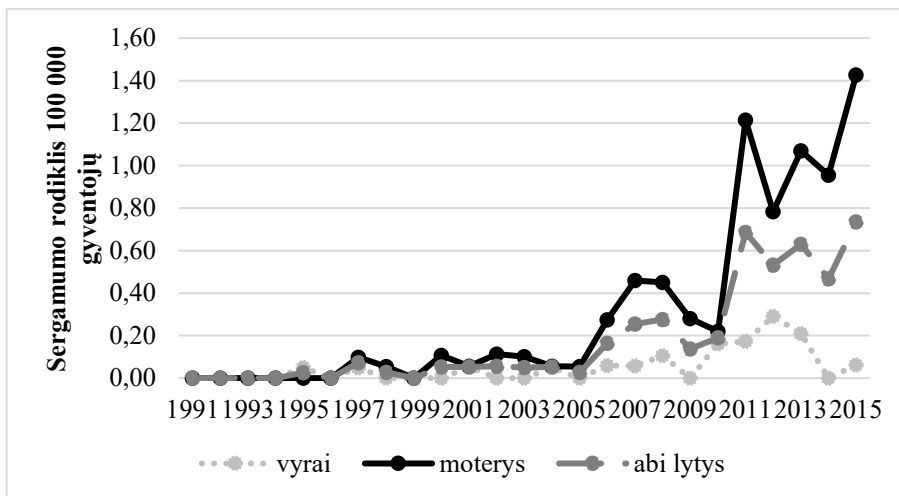
Laikotarpis	Dozės (mGy)	Atvejų skaičius	RR	95 % PI	p – reikšmė
1991–1995	<100	18	1		
	100–199	5	1,9	0,56–5,36	0,2
	>200	7	3,37	1,19–8,45	0,01
1996–2000	<100	37	1		
	100–199	5	0,8	0,28–2,30	0,87
	>200	6	1,35	0,46–3,22	0,49
2001–2005	<100	145	1		
	100–199	10	0,42	0,2–0,8	0,004
	>200	13	0,66	0,35–1,18	0,15
2006–2010	<100	261	1		
	100–199	22	0,52	0,32–0,80	0,001
	>200	30	0,84	0,56–1,23	0,37
2011–2015	<100	328	1		
	100–199	43	0,83	0,59–1,15	0,26
	>200		1,13	0,82–1,52	0,43

Tiriamuoju laikotarpiu abiejų lyčių vaikų (kurie buvo 0–9 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai) sergamumo rodikliai labiausiai užterštuose rajonuose išaugo nuo 0,05/100 000 1991–1995 m. iki 1,59/100 000 2011–2015 m.



9 pav. Atsižvelgiant į amžių standartizuoti sergamumo skydliaukės vėžiu rodikliai (0–9 m.) grupėje pagal užterštumo lygį 1991–2015 m. laikotarpiu

Be to, palyginę asmenų, kurie buvo vaikai įvykus avarijai, grupės sergamumo skydliaukės vėžiu rodiklius per penkerių metų laikotarpį (1991–2015 m.) pagal lytį (10 pav.), nustatėme, kad moterų sergamumas 1995 m. buvo 0/100 000 gyventojų, 2011 m. jis reikšmingai padidėjo iki 1,21/100 000 gyventojų (tiriamosios grupės moterų amžius – 25–34 m.) ir 2015 m. jau siekė 1,43/100 000 gyventojų (tiriamosios grupės moterų amžius – 29–38 m.).



10 pav. Atsižvelgiant į amžių standartizuoti sergamumo skydliaukės vėžiu rodikliai (0–9 m.) grupėje pagal lytį 1991–2015 m. laikotarpiu

Atliekant tyrimą, išsamiau išanalizuota santykinė skyd liaukės vėžio rizika vaikų grupėje. Labiausiai užterštuose rajonuose gyvenusių vaikų santykinė rizika 1991–1995 ir 2011–2015 m. laikotarpiais buvo padidėjusi, tačiau statistiškai reikšmingų skirtumų nenustatyta (11 lentelė).

11 lentelė. Santykinė skyd liaukės vėžio rizika (RR) vaikų (0–9 m.) grupėje pagal apskaičiuotą metinę konkrečios teritorijos individualią dozę ir kalendorinį laikotarpį

Laikotarpis	Dozė (mGy)	Atvejų skaičius	RR	95 % PI	p – reikšmė
1991–1995	<100	5	1		
	100–200	1	1,34	0,03–11,96	0,74
	>200	1	1,69	0,36–15,12	0,61
1996–2000	<100	9	1		
	100–200	0			
	>200	0			
2001–2005	<100	30	1		
	100–200	4	0,82	0,21–2,32	0,75
	>200	5	1,24	0,38–3,23	0,63
2006–2010	<100	94	1		
	100–200	5	0,33	0,10–0,8	0,005
	>200	9	0,7	0,31–1,39	0,31
2011–2015	<100	116	1		
	100–200	19	1,04	0,61–1,71	0,83
	>200	24	1,51	0,93–2,36	0,07

Labiausiai užterštuose rajonuose tiriamuoju laikotarpiu gyvenusių vaikų sergamumo rodiklis pradėjo didėti nuo 2001 m. ir didėjo iki 2015 m. Paauglių sergamumas sparčiau didėjo 2006–2015 m. laikotarpiu. Rajonuose, kuriuose individualios gautos dozės viršijo 200 mGy, gyvenusių paauglių, palyginti su jų bendraamžiais (0–19 m.) iš mažiau užterštų rajonų, santykinė rizika susirgti skyd liaukės vėžiu buvo didesnė 1991–1995 m.

REZULTATŲ APTARIMAS

Atlikus šį tyrimą, buvo nustatyta likviduotojams būdinga piktybinių navikų atsiradimo tikimybė iki 2012 m. Apskritai visų lokalizacijų piktybinių navikų atsiradimo rizika Lietuvos likviduotojų grupėje yra panaši į visos Lietuvos vyrų populiacijos sergamumo rodiklius. Atlikus tyrimą nustatyto visų lokalizacijų piktybinių navikų susidarymo rodikliai koreliuoja su Latvijos ir Estijos bendros kohortos, susidedančios iš daugiau nei dešimt tūkstančių likviduotojų (tyrimo laikotarpiu nuo 1986 m. iki 1998 m.), rodikliais [2, 34]. Šio tyrimo rezultatai iš esmės atitiko Baltijos šalių ČAE avarijos padarinių likviduotojų kohortai būdingus piktybinių navikų atsiradimo rezultatus [2]. Daugelio tyrimų rezultatai parodė, jog jonizuojančioji spinduliuotė yra kancerogeninis veiksnys, ypač paveikus asmenims, patyrusiems didesnę apšvitą, ir piktybinių navikų rizika išlieka visą gyvenimą [1, 12, 71, 104].

Daugelis tyrimų, kuriuose analizuotas limfinio ir kraujodaros organų piktybinių navikų susiformavimo rizikos įvertinimas asmenims, paveiktiems jonizuojančiąja spinduliuote, parodė didesnę riziką susirgti leukemija, mielomine liga ir Hodžkino limfoma, tačiau mūsų tyrimas šios tendencijos nepatvirtino. Palyginti su bendrosios Lietuvos vyrų populiacijos sergamumu limfinio ir kraujodaros organų piktybiniais navikais, likviduotojų grupėje pastebėta daugiau Hodžkino limfomos atvejų, bet šis rodiklis statistiškai nereikšmingas. Rusijos ir Ukrainos ČAE likviduotojams buvo nustatytas reikšmingai didesnis sergamumas leukemija ir mielomine liga [25, 29, 37, 38, 39, 40], tačiau Baltijos šalių avarijos padarinių likviduotojų kohortoje tai nepasitvirtino [2]. Vis dėlto mūsų tyrimo rezultatai atskleidė tendenciją, kad leukemija dažniau serga jaunesni likviduotojai, atvykę į ČAE zoną 1986 m. ir patyrę didesnę apšvitą (daugiau nei 100 mSv).

Įvertinus riziką, kad jonizuojančiąja spinduliuote paveiktiems tiriamiesiems gali išsivystyti solidiniai navikai įvykus branduolinei avarijai, atskleista reikšmingai didesnė rizika susirgti skydliaukės vėžiu. Šio tyrimo rezultatai patvirtina ir anksčiau skelbtų Baltijos šalių kohortos tyrimo rezultatus (1986–1998 m.) bei atnaujintus minėtos kohortos rezultatus (1986–2007 m.). Mūsų tyrime nustatyta statistiškai reikšminga skydliaukės vėžio rizika jaunesniems likviduotojams, patyrusiems didesnę nei 100 mSv apšvitą per visą avarijos likvidavimo laiką ir išbuvusiems ČAE zonoje mažiau nei 90 dienų. Sunku nustatyti sergamumo skydliaukės vėžiu ir apšvitos slenkstinę dozę, nes likviduotojai patyrė tiek išorinę, tiek papildomą vidinę apšvitą ^{131}I , tačiau padidėjusi santykinė skydliaukės vėžio rizika 100 mGy yra 0,38 (95 % PI = 0,10–1,09) [132].

Svarbu paminėti, kad sergamumas skydliaukės vėžiu, įvykus branduolinėms avarijoms, taip pat padidėja dėl to, kad atliekami pertekliniai tyrimai arba vykdoma aktyvi atranka. Tai patvirtina daugelio tyrėjų iš skirtingų šalių tyrimų rezultatai, be to, ši versija atitinka C. A. Stillerio ir kt. aprašytą „skriningo efektą“ [133, 134]. Lietuvos likviduotojų tiriamoje grupėje išvengta perteklinio besimptomės ligos diagnozavimo, nes nuo 2000 m. nebuvo taikomos papildomos diagnostinės priemonės.

Atlikus šį tyrimą, nustatyta rizika susirgti smegenų vėžiu, ypač būdinga jaunesnio amžiaus ir patyrusiems didesnę nei 100 mSv efektinę dozę likviduotojams, iš esmės atitinka rezultatus, gautus tyrinėjant Estijos ir Latvijos likviduotojų kohortą [2, 32, 34]. Svarbu paminėti, kad mūsų tyrime nustatyti tik piktybinių smegenų navikų atvejai, neanalizuojant nepiktybinių galvos smegenų navikų susiformavimo. Kituose tyrimuose teigiama, kad asmenims, patyrusiems išorinę apšvitą dėl radiokatyviojo užterštumo, nustatyta didesnė nepiktybinių galvos smegenų navikų atsiradimo rizika. Pavyzdžiui, pastebėta, jog atominės bombos sprogimą išgyvenusiems tiramiesiems būdinga statistiškai reikšmingai didesnė rizika susirgti švanoma. Taip pat nustatyti dažnesni meningiomų, gliomų ir hipofizės navikų atvejai. Užfiksuota, kad nervų sistemos navikų, išskyrus švanomą, perteklinė rizika buvo didesnė vyrams nei moterims ir tiems asmenims, kurie patyrė apšvitą vaikystėje [135, 136].

Panašūs rezultatai, susiję su burnos ir ryklės piktybinių navikų atsiradimu, nustatyti Lietuvos, Baltijos šalių bei Rusijos likviduotojų kohortose. Pagrindiniai šiuos susirgimus lemiantys rizikos veiksniai yra rūkymas ir alkoholis [137]. Aptikta didesnė rizika susirgti stemplės, gerklų, kepenų, šlapimo pūslės ir kasos piktybinėmis ligomis taip pat sietina su rūkymu bei alkoholio vartojimu.

Atliekant šį 20 metų laikotarpį apimančią tyrimą, analizuota mirčių rizika tarp Lietuvos Černobylio avarijos padarinių likviduotojų, 1986–1990 m. laikotarpiu dirbusių avarijos zonoje. Tyrimo rezultatai parodė, kad mirtingumo rizika tiriamųjų grupėje yra statistiškai reikšmingai didesnė negu bendrojoje Lietuvos populiacijoje. Patirta didžiausia rizika mirti nuo onkologinių, kraujotakos, tuberkuliozės ir smegenų kraujagyslių ligų. Kraujotakos sistemos ligų grupėje didžiausia likviduotojų mirtingumo rizika užfiksuota tarp sirgusiųjų hipertenzine liga, o tuberkuliozės – tarp sirgusiųjų miliarine tuberkuliozės forma. Šio tyrimo rezultatai iš esmės atitiko kitų epidemiologinių tyrimų, atliktų skirtingų autorių, analizavusių branduolinių avarijų pasekmes, rezultatus [138, 139, 140, 141]. Šiame darbe nustatytos Lietuvos likviduotojų mirtingumo priežastys ir rodikliai buvo panašūs į kitų šalių Černobylio likviduotojų tiriamųjų grupės rezultatus [25, 30, 35, 41, 43,

47]. Pažymėtina, kad mirtingumo rizika patyrus apšvitą skiriasi, priklausomai nuo radioaktyviosios medžiagos ir jos spinduliuotės rūšies (alfa, beta dalelės, gama, rentgeno bei elektromagnetinė spinduliuotė ar neutronai), patirtos apšvitos būdo (išorinė ar vidinė), apšvitos dozės, dozės galios, ilginės energijos perdavos ir ekspozicijos trukmės [4, 5, 6, 12, 17, 136]. Įvykus branduolinėms avarijoms išsiskyrusios radioaktyviosios medžiagos pasižymi skirtingais apšvitos būdais, dėl to mirtingumo priežastys skiriasi skirtingose tiriamųjų grupėse [4, 5, 6, 12]. Po Černobylio AE avarijos žmonės patyrė vidinę beta dalelių, pasižyminčių didesniu tropizmu skydliaukei, ir išorinę gama elektromagnetinių bangų apšvitą. Įvykus Fukušimos Daiči AE avarijai – selektyviai skydliaukę veikiančią beta dalelių apšvitą. Branduolinės pramonės darbuotojai patiria mažų dozių išorinę gama elektromagnetinę ir beta dalelių apšvitą. Ištikus branduolinių ginklų pramonės avarijoms, atliekant bandymus ir vykstant sprogamui, labiausiai organizmą paveikia vidinė apšvita alfa dalelėmis. Šis poveikis pasireiškia plaučių, kaulų, kraujodaros organų bei virškinamojo trakto pažeidimais ir išorine gama elektromagnetinių bangų apšvita. Analizuojant sergamumą ir mirtingumą, kurį lemia jonizuojančioji spinduliuotė, apšvitos dozės dažniausiai pateikiamos efektinės arba sugertosios dozių išraiškomis, atsižvelgiant į skirtingus apšvitos būdus [4, 5, 6, 12, 17, 136].

Rizika mirti nuo piktybinių navikų padidėja, praėjus 10–15 metų po patirtos apšvitos. Vadovaujantis daugelio kitų tyrimų duomenimis, mirtingumo padidėjimas dėl patirtos apšvitos dažniausiai siejamas su šiomis onkologinėmis ligomis: hematoonkologinėmis, plaučių, kepenų, skrandžio. Daugelio tyrimų rezultatai parodė, kad limfinio ir kraujodaros piktybinių ligų grupėje didžiausia rizika mirti nuo leukemijos (išskyrus lėtinę limfoleukemiją). Ukrainos likviduotojų grupėje buvo pastebėtas didesnis sergamumas daugine mieloma, tačiau neužfiksuota didesnės mirtingumo nuo šios ligos rizikos [40]. Šio tyrimo rezultatai nepatvirtino ryšio tarp apšvitos dozės ir didesnės mirtingumo nuo onkologinių ligų rizikos. Tačiau kiti tyrėjai nustatė, kad, dozei padidėjus, statistiškai reikšmingai padidėja mirtingumo nuo onkologinės ligos rizika [31, 41, 47].

Daugumos kitose šalyse atliktų tyrimų duomenimis, didesnė mirtingumo rizika būdinga kraujotakos ir smegenų kraujagyslių ligomis sergantiems asmenims [25, 42, 139, 140]. Gauti rezultatai yra suderinami su šio tyrimo rezultatais. Daugelyje tyrimų buvo pastebėtas apšvitos dozės ir dozės galios ryšys su padidėjusia mirtingumo nuo kraujotakos ir smegenų kraujagyslių ligų rizika, tačiau šiame tyrime nustatyta, kad didesnė apšvitos dozė lemia didesnę mirtingumą, išskyrus hipertenzinės ligos atvejus. Pažymėtina, kad yra keletas

rizikos veiksnių, didinančių mirtingumo nuo kraujotakos ir smegenų kraujagyslių ligų riziką.

Išanalizavus mirtingumą Lietuvos likviduotojų grupėje, nustatyta padidėjusi rizika mirti nuo tuberkuliozės, išsiskyrė mirtingumas nuo miliarinės tuberkuliozės. Atlikus šį tyrimą, nustatyta padidėjusi mirtingumo rizika galbūt yra išskirtinė, kitų šalių tyrėjų rezultatuose padidėjusi mirtingumo nuo tuberkuliozės rizika nepabrėžiama. Yra žinoma, kad pagrindiniai rizikos veiksniai, dėl kurių išsivysto miliarinė tuberkuliozės forma, yra pakartotinas kontaktas su sukėlėju ir susilpnėjęs organizmo atsakas (imunosupresija), ypač būdingas vyresnio amžiaus žmonėms ir asmenims, sergantiems cukriniu diabetu [14]. Imuninio atsako pokyčiai atitinka N. Kurjane ir kt. aprašytą imuninės sistemos sutrikimą Latvijos likviduotojų grupėje, net praėjus daugiau nei dešimčiai metų po avarijos [143].

Visų Černobylio likviduotojų tiriamųjų grupėse apšvita matuota nevienodai, buvo sąmoningai klaidinami tiek likviduotojai, tiek visuomenė. Tai lėmė žmonių nepasitikėjimą bei perteklinį nerimą ir sukėlė ilgalaikių psichologinių pasekmių. Nustatyta, kad padaugėjo mirčių dėl išorinių priežasčių, pirmuosius kelerius metus po avarijos. Tiriamuoju laikotarpiu – nuo 2001 m. iki 2020 m. – Lietuvos likviduotojų grupėje neužfiksuota padidėjusi mirtingumo rizika nei dėl savižudybių, nei nuo ligų, sietinų su alkoholio vartojimu. Pažymėtina, kad Lietuva pagal savižudybių skaičių, tenkantį 100 000 gyventojų, pirmauja ne tik Europoje, bet ir visame pasaulyje [144, 145].

Įvertinus mūsų tyrimo rezultatus, siejamus su mirtingumu ir sergamumu, ČAE likviduotojai atitinka IEP išorinės mažos dozės ir mažos dozės galios apšvitos tyrėjų rezultatus.

Šiame darbe nustatyta, kad vaikai, kuriems apšvita skydliaukei buvo didesnė nei 100 mGy, dažniau sirgo skyd liaukės vėžiu gyvenime. Šio tyrimo rezultatai iš esmės atitinka kitų tyrėjų pateikiamas išvadas, jog rizika susirgti skyd liaukės vėžiu didžiausia vaikams, patyrusiems apšvitą, didesnę nei 100 mGy [130]. Atrinkta vaikų rizikos grupė susieta su išmatuota didžiausia tarša atitinka SHAMISEN (angl. *Nuclear Emergency Situations – Improvement of Medical And Health Surveillance*) projektą, kurį įgyvendinant 50 ekspertų iš 10 šalių grupė išsamiai tyrė gyventojus, patyrusius Černobylio ir Fukušimos avarijas, analizavo poveikį žmonių sveikatai ir, remdamiesi įrodymais pagrįstais tyrimais, parengė rekomendacijas, padedančias pagerinti nukentėjusiųjų sveikatos būklę. Šiose rekomendacijose atsižvelgiama ne tik į radiacinę apsaugą bei fizinę sveikatą, bet ir į psichinę sveikatą. Įgyvendinant projektą SHAMISEN, parengtose rekomendacijose siūloma, įvykus branduolinei avarijai, atlikti patikrą tik didelei rizikos grupei priskiriamiems

žmonėms – vaikams ir paaugliams, kurių skydliaukei išmatuota sugertoji dozė yra didesnė nei 100 mGy–500 mGy [130].

Svarbu paminėti, kad 1998–2002 m. ir 2008–2012 m. laikotarpiais nustatyta daugiau skydliaukės vėžio atvejų vaikams ir paaugliams iki 19 m. amžiaus. Šis pokytis sietinas su tuo, kad paplito ultragarso aparatai gydymo įstaigose ir pradėta dažniau atlikti magnetinio rezonanso ir plonos adatos biopsijos tyrimus, visuomenei susirūpinus branduolinių avarijų pasekmėmis [146, 147]. Mūsų tyrimo laikotarpis sutampa su pasauline skydliaukės vėžio atvejų gausėjimo tendencija, įprastai siejama su išaugusiu diagnostiniu aktyvumu ir diagnostikos priemonių pažanga [146, 147]. Tačiau, pasak C. R. Smittenaaro ir kt., būtina išsiaiškinti sergamumo šia liga didėjimą lemiančius rizikos veiksnius [148]. Atlikus šį tyrimą nustatyta padidėjusi rizika susirgti skydliaukės vėžiu (kaip ilgalaikė pasekmė) vaikams ir paaugliams, kuriems išmatuota didesnė nei 100 mGy skydliaukės apšvita, labiau sietina su ČAE avarijos sukeltu radiokatyviuoju užterštumu. Lietuvoje, kitaip nei Baltarusijoje, Ukrainoje ar Rusijoje, po ČAE avarijos nebuvo taikyta aktyvi skydliaukės patikra jaunesniems nei 19 m. amžiaus asmenims, todėl išvengta „patikros efekto“.

Šiame darbe analizuota sąsaja tarp ČAE avarijos sukeltos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos ir vaikų bei paauglių rizikos susirgti skydliaukės vėžiu, neatsižvelgiant į papildomus rizikos veiksnius. Pastebėta, jog Baltarusijoje ir Ukrainoje vaikams buvo nustatyta padidėjusi skydliaukės vėžio rizika, įvykus branduolinei avarijai ^{131}I paveiktiems vaikams ją dar galėjo padidinti jodo trūkumas [91]. Remiantis atliktų epidemiologinių tyrimų duomenimis, galima teigti, kad Lietuva tuomet buvo priskirta lengvo ir vidutinio jodo deficito regionui [149].

Šiame tyrime nustatyta santykinė skydliaukės vėžio rizika labiausiai užterštų rajonų gyventojų grupėje statistiškai reikšmingai padidėjo, 1991–1995 m. laikotarpiu ji siekė 3,37 (95 % PI = 1,19–8,45, $p=0,01$). Pažymėtina, jog šioje grupėje užfiksuoti 7 skydliaukės vėžio atvejai. Šis rezultatas patvirtina ir kitų tyrėjų pastebėjimą, kad liga latentiskai atsiranda, praėjus penkeriems metams po patirtos ČAE apšvitos [83, 90]. Šiame tyrime, skirtingai nei kitų Lietuvos tyrėjų darbuose [150], buvo analizuojama tai pačiai žmonių grupei (asmenims, kurie įvykus ČAE avarijai buvo jaunesni nei 20 m. amžiaus) būdinga rizika susirgti skydliaukės vėžiu laikotarpiu nuo 1991 m. iki 2015 m. Nustatyta, kad jonizuojančiąja spinduliuote paveiktiems (dėl branduolinių avarijų, gydymo ar diagnostikos tikslais) jauniems žmonėms latentiskai skydliaukės vėžys išsivysto / atsiranda per 5–10 m., o rizika susirgti šia liga išlieka visą gyvenimą [18, 89].

Siekiant nustatyti riziką susirgti vėžiu po Černobylio AE avarijos, 40 Europos šalių buvo įvertintos radioaktyviosios ^{131}I , ^{134}Cs ir ^{137}Cs taršos vidutinės apšvitos dozės [132]. Lietuvoje mums pavyko įvertinti riziką susirgti skydliaukės vėžiu dėl Černobylio radioaktyviųjų iškritų, pasitelkiant išmatuotas apšvitos skydliaukei dozes jaunesniems nei 4 m. amžiaus vaikams ir jas susiejant su sergamumo rodikliais skirtingos taršos rajonuose. Šiame tyrime apskaičiuotos apšvitos dozės vaikų skydliaukei skirtinguose Lietuvos rajonuose, taikant retrospektyviosios dozimetrijos modelį LIETDOS. Šie skaičiavimai yra detalesni bei išsamesni ir skiriasi nuo anksčiau literatūroje pateiktų duomenų [127]. Daugiacentrinio tyrimo [74] analizės rezultatai rodo, kad Lietuva pagal užterštumo lygį pateko į tą pačią grupę, kaip ir vakarinė Baltarusijos dalis (Gardino bei Minsko sritys), Bosnija ir Hercegovina, Bulgarija, Graikija, Kroatija, Moldova, Rumunija, Rusijos Federacijos Kalugos sritis, Slovakija, Slovėnija ir didžioji dalis Ukrainos (išskyrus labiausiai užterštas teritorijas). Lietuvoje apskaičiuota jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio priskiriamoji dalis (angl. *attributable fractions*), leidžianti prognozuoti sergamumą skydliaukės vėžiu, iki 2065 m. buvo apie 1,26 % visose amžiaus grupėse, taip pat ji siekė iki 2,14 % poveikio asmenims, kurie įvykus avarijai buvo jaunesni nei 15 m.

TYRIMO RIBOTUMAI IR GAIRĖS ATEITIES TYRIMAMS

Bandydami nustatyti ilgalaikį jonizuojančiosios spinduliuotės poveikį rizikos susirgti onkologinėmis ligomis ir mirtingumo analizei, neišvengėme tam tikrų ribotumų.

Pirma, dėl dozimetrinių duomenų netikslumų ir trūkumo, kurį aptarėme metodikos skyrelyje, vertinant onkologinių ligų ir apšvitos dozės sąsajas, tiriamieji buvo suskirstyti į dvi grupes pagal efektinę dozę per visą likvidavimo laiką: iki 100 mSv ir daugiau nei 100 mSv. Grupėje likviduotojų, kuriems tekusi apšvitos dozė buvo didesnė nei 100 mSv, nustatyta statistiškai patikima padidėjusi rizika susirgti skydliaukės vėžiu, tačiau atkreiptinas dėmesys į tai, jog išlieka nežinoma mažesnių apšvitos dozių įtaka skydliaukės vėžio rizikai. Tiriamųjų imtis buvo pakankama rezultatų statistiniam patikimimui įvertinti, tačiau net 1 755 atvejais dozė nebuvo dokumentuota, tad šie asmenys neįtraukti į analizę, ir tai atitinkamai galėtų koreguoti tyrimo rezultatus.

Be to, analizuojant mirtingumą, susiduriama su dozimetrinių duomenų netikslumu bei jų stoka (468 atvejai), dėl to sunkiau vertinti padidėjusį mirtingumą nuo kraujotakos sistemos, smegenų kraujagyslių ligų. Vertinant naudotos skydliaukės vėžio rizikos ir jonizuojančiosios spinduliuotės poveikio vaikams bei paaugliams sąsajos rekonstruotos, o ne tiesiogiai išmatuotos dozės skydliaukei. Ateityje, atliekant tokius tyrimus, būtų svarbu užtikrinti, kad apšvitos dozės likviduotojams būtų matuojamos ir dokumentuojamos, vadovaujantis numatytais Radiacinės saugos centro reikalavimais.

Antra, atliekant šį darbą, nebuvo analizuojami kiti rizikos veiksniai, galintys turėti įtakos likviduotojų sergamumui onkologinėmis ligomis ir mirtingumui (pvz., mityba, gyvensena, žalingi įpročiai). Be to, tiriant ankstyvame amžiuje jonizuojančiąja spinduliuote paveiktus vaikus ir paauglius, nevertinti jodo trūkumas, endokrininės sistemos veikla bei mitybos įpročiai. Ateityje būtų svarbu atsižvelgti į šiuos tyrimo ribotumus ir, pasirenkant tiriamuosius, į analizę įtraukti kelis papildomus rizikos veiksnius.

Trečia, šiame darbe pasitelkti du tyrimo metodai: retrospektyvinis kohortinis ir ekologinis. Kaip jau minėta, taikant retrospektyvinį kohortinį tyrimo metodą, stebimieji asmenys paprastai prarandami. Tyrimo duomenų vertė sumažėja, jeigu praradimo procentas yra iki 30–40 % [151]. Vertinant likviduotojų sergamumo onkologinėmis ligomis riziką nuo 1986 m. iki 2012 m., prarasta ~ 3 % stebimųjų asmenų, o analizuojant mirtingumą siekia ~ 20 % stebimųjų asmenų. Ekologinių tyrimų vienetas yra populiacija, grupė žmonių, o ne individas, todėl, analizuojant rezultatus, individualus ryšys tarp

rizikos veiksnio (jonizuojančiosios spinduliuotės) ir ligos nevertintas: nežinoma, kaip susirgęs skydliaukės vėžiu žmogus buvo veikiamas rizikos veiksnio (jonizuojančiosios spinduliuotės) [151]. Kaip jau minėta, taip pat nebuvo analizuojami kiti rizikos veiksniai, galintys turėti įtakos vaikų ir paauglių rizikai susirgti skydliaukės vėžiu. Ateityje atliekant tokius tyrimus, būtų svarbu išskirti ir įtraukti į tyrimą tik tuos asmenis, kuriems išmatuota skydliaukės sugertoji dozė yra didesnė nei 100 mGy.

IŠVADOS

1. Piktybinių navikų atsiradimo rizika ČAE padarinių likviduotojų grupėje nebuvo didesnė už Lietuvos vyrų populiacijos sergamumą.
2. Asmenims, patyrusiems didesnę apšvitos dozę nei 100 mSv likviduojant avariją, nustatyta didesnė skydliaukės, galvos smegenų piktybinių navikų ir leukemijos (išskyrus lėtinę limfoleukemiją) atsiradimo rizika. Nustatyta didesnė rizika susirgti skydliaukės vėžiu jaunesniems likviduotojams ir tiems, kurie praleido ČAE taršos zonoje mažiau nei 90 dienų.
3. Mirtingumas ČAE padarinių likviduotojų grupėje buvo panašus, kaip ir Lietuvos vyrų populiacijoje. Nustatyta padidėjusi rizika mirti nuo onkologinių, kraujotakos sistemos, tuberkuliozės ir smegenų kraujagyslių ligų.
4. Lietuvos tiriamiesiems, kurie, likviduodami avariją, patyrė didesnę nei 100 mSv apšvitos dozę, nustatyta didesnė mirtingumo nuo hipertenzinių ligų rizika.
5. Rekonstravus regionams būdingas individualias ir kolektyvines Lietuvos vaikų bei paauglių skydliaukės sugertąsias dozes Černobylio avarijos metu, naudojantis radionuklidų aktyvumo matavimais pieno, žolės ir kituose mėginiuose, paimtuose netrukus po avarijos, nustatytos skirtingos Lietuvos radiokatyviojo užterštumo teritorijos.
6. Lietuvos teritorijose, kurioms būdingas didžiausias radioaktyvusis užterštumas, nustatyta didesnė vaikų rizika susirgti skydliaukės vėžiu; santykinės sergamumo skydliaukės vėžiu rizikos skirtumai skirtingo užterštumo teritorijose buvo statistiškai patikimi 0–19 m. amžiaus grupėje.

PRAKTINĖS REKOMENDACIJOS

Suprantant tyrimų, kuriuose analizuojamas ilgalaikis jonizuojančiosios spinduliuotės poveikis žmonių sveikatai, svarbą, rekomenduojama toliau kaupti likviduotojų sveikatos duomenis, surinktus po Černobylio AE avarijos. Sisteminis ir išsamus likviduotojų grupėje nustatytų ligų bei mirties priežasčių vertinimas užtikrintų laiku teikiamą ir tikslią šių asmenų sveikatos priežiūrą.

Valstybinės atominės energetikos saugos inspekcijos parengtos rekomendacijos gyventojams, kaip elgtis ištikus branduolinei avarijai, yra itin svarbios ūmiu nelaimės periodu. Esant tokiai situacijai, būtų labai svarbu imtis koordinuotų veiksmų kartu su gydymo įstaigomis, kad gyventojams būtų užtikrinta adekvati sveikatos priežiūra bei pagalba, vengiant perteklinio ir nepagrįsto nerimo.

Siekiant identifikuoti nukentėjusiųjų nuo jonizuojančiosios spinduliuotės (radiaktyviojo užterštumo) rizikos grupes, rekomenduojama sukurti atitinkamas valdymo gaires, apimančias toliau nurodytus elementus:

- parengti prevencijos programą radiacinės avarijos padarinių likviduotojams, kuriems per visą avarijos likvidavimo laikotarpį teko 100 mSv ir didesnė apšvitos dozė. Įgyvendinant programą, tirti šių sistemų ir organų pažeidimus: kraujotakos bei smegenų kraujagyslių, galvos smegenų piktybinių susirgimų ir leukemijos, o jaunesniems nei 30 m. – skydliaukės. Prevencines programas koordinuoja Sveikatos apsaugos ministerija;
- nuolat atnaujinti ir skleisti jau parengtas Radiacinės saugos centro mokymo programas ir rengti seminarus, skirtus visuomenės sveikatos priežiūros specialistams bei medicinos personalui, siekiant išmokyti gyventojus deramai elgtis, ištikus branduolinei avarijai;
- pasitelkti visuomenės sveikatos specialistus, siekiant apsaugoti gyventojus nuo perteklinio nerimo: atnaujinti ir skleisti mokslu pagrįstas žinias apie Černobylio AE avarijos sukulto radioaktyviojo užterštumo pasekmes sveikatai.

Labai svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad šiame darbe išsamūs ir patikimi duomenys kaupiami nuo 1986 m. (taigi jau 39 metus), todėl, planuojant tęsti tokio tipo veiklą ateityje, būtina inicijuoti Černobylio AE likviduotojų kohortos tyrimą, panašiai, kaip buvo atlikti išgyvenusiųjų atominės bombų sprogimus Hirošimoje ir Nagasakyje kohortos tyrimai, apėmę visą jų gyvenimą. Tyrėjai pasirenge tęsti numatytus darbus.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2011). *Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with scientific annexes. Volume II. Annex D: Health effects due to radiation from the Chornobyl accident*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/ce8f288a-en>
2. Rahu, K., Hakulinen, T., Smailyte, G., Stengrevics, A., Auvinen, A., Inskip, P. D., Boice, J. D., Jr, & Rahu, M. (2013). Site-specific cancer risk in the Baltic cohort of Chernobyl cleanup workers, 1986–2007. *European Journal of Cancer (Oxford, England: 1990)*, 49(13), 2926–2933. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2013.04.014>
3. Chumak V. V. (2007). Physical dosimetry of Chernobyl cleanup workers. *Health Physics*, 93(5), 452–461. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000278842.39156.93>
4. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, & International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2000). *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Ionizing radiation, part 1: X- and gamma (γ)- radiation, and neutrons* (75). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/93>
5. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, & International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2001). *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Ionizing radiation, part 2: Some internally deposited radionuclides* (78). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/96>
6. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, & International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2012). *Radiation. A review of human carcinogens* (100 D). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/121>
7. Cardis, E., Vrijheid, M., Blettner, M., Gilbert, E., Hakama, M., Hill, C., Howe, G., Kaldor, J., Muirhead, C. R., Schubauer-Berigan, M., Yoshimura, T., Bermann, F., Cowper, G., Fix, J., Hacker, C., Heinmiller, B., Marshall, M., Thierry-Chef, I., Utterback, ... Veress, K. (2005). Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort

- study in 15 countries. *BMJ (Clinical research ed.)*, 331(7508), 77. <https://doi.org/10.1136/bmj.38499.599861.E0>
8. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro įsakymas dėl Černobylio AE avarijos padarinių likviduotojų sveikatos palaikymo 2006-2010 metų programos. 2006 m. birželio 1 d. Nr. V-457. *Valstybės žinios*, 2006, nr. 85-3332.
 9. Kesminiene A., Kurtinaitis J., & Rimdeika G. (1997). The study of Chernobyl clean-up workers from Lithuania. *Acta Med Lituanica*, 2, 55–61.
 10. Steponavičienė, R., & Smailytė, G. (2021). Jonizuojančiuoju spinduliuotė ir vaikų skydliaukės vėžys. *Visuomenės sveikata*, 2(93), 16–23.
 11. Rühm, W., Laurier, D., & Wakeford, R. (2022). Cancer risk following low doses of ionising radiation - Current epidemiological evidence and implications for radiological protection. *Mutation research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 873, 503436. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2021.503436>
 12. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2020). *Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2019 report to the General Assembly, with scientific annexes*. United Nations. <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2019.html>
 13. Harrison, J. D., Balonov, M., Bochud, F., Martin, C., Menzel, H. G., Ortiz-Lopez, P., Smith-Bindman, R., Simmonds, J. R., & Wakeford, R. (2021). ICRP Publication 147: Use of Dose Quantities in Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, 50(1), 9–82. <https://doi.org/10.1177/0146645320911864>
 14. Ferrari, C., Manenti, G., & Malizia, A. (2023). Sievert or Gray: Dose Quantities and Protection Levels in Emergency Exposure. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(4), 1918. <https://doi.org/10.3390/s23041918>
 15. Leuraud, K., Richardson, D. B., Cardis, E., Daniels, R. D., Gillies, M., Haylock, R., Moissonnier, M., Schubauer-Berigan, M. K., Thierry-Chef, I., Kesminiene, A., & Laurier, D. (2021). Risk of cancer associated with low-dose radiation exposure: comparison of results between the INWORKS nuclear workers study and the A-bomb survivors study. *Radiation and Environmental Biophysics*, 60(1), 23–39. <https://doi.org/10.1007/s00411-020-00890-7>
 16. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes. Volume II: Effects*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/47a75909-en>

17. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. (1994). *Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 1994 report to the General Assembly, with scientific annexes*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/3ac74466-en>
18. Preston, D. L., Shimizu, Y., Pierce, D. A., Suyama, A., & Mabuchi, K. (2003). Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiation Research*, 160(4), 381–407. <https://doi.org/10.1667/RR3049>
19. Hosoda, Y., Kuba, M., & Miyake, T. (1997). First analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986-1992. *Journal of Health Physics*, 32(2), 173–184.
20. Iwasaki, T., Murata, M., Ohshima, S., Miyake, T., Kudo, S., Inoue, Y., Narita, M., Yoshimura, T., Akiba, S., Tango, T., Yoshimoto, Y., Shimizu, Y., Sobue, T., Kusumi, S., Yamagishi, C., & Matsudaira, H. (2003). Second Analysis of Mortality of Nuclear Industry Workers in Japan, 1986-1997. *Radiation Research*, 159(2), 228–238. [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2003\)159\[0228:SAOMON\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2003)159[0228:SAOMON]2.0.CO;2)
21. Cardis, E., Gilbert, E. S., Carpenter, L., Howe, G., Kato, I., Armstrong, B. K., Beral, V., Cowper, G., Douglas, A., & Fix, J. (1995). Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Radiation Research*, 142(2), 117–132. <https://doi.org/10.2307/3579020>
22. Muirhead, C. R., O'Hagan, J. A., Haylock, R. G., Phillipson, M. A., Willcock, T., Berridge, G. L., & Zhang, W. (2009). Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers. *British Journal of Cancer*, 100(1), 206–212. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6604825>
23. Douglas, A., Omar, R., & Smith, P. (1994). Cancer mortality and morbidity among workers at the Sellafield plant of British Nuclear Fuels. *British Journal of Cancer*, 70(6), 1232–1243. <https://doi.org/10.1038/bjc.1994.479>
24. Gilbert, E. S., Omohundro, E., Buchanan, J. A., & Holter, N. A. (1993). Mortality of workers at the Hanford site: 1945-1986. *Health Physics*, 64(6), 577–590. <https://doi.org/10.1097/00004032-199306000-00001>
25. Ivanov, V. K., Kashcheev, V. V., Chekin, S., Yu., Maksioutov, M. A., Tumanov, K. A., Kochergina, E. V., Shchukina, N. V., & Tsyb, A. F. (2011). Заболеваемость и смертность участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС: оценка радиационных рисков, период наблюдения 1992-2008 гг. [Morbidity and mortality among emergency workers of the Chernobyl accident:

- Assessment of radiation risks for the follow-up period of 1992-2008]. *Радиационная гигиена*, 4(2), 40–49.
26. Kosenko, M. M., Degteva, M. O., & Petrushova, N. A. (1991). Otsenka radiatsionnogo riska induktsii leŭkoza na osnovanii analiza posledstviŭ oblucheniia naseleniia na Iuzhnom Urale [Assessment of radiation risk of leukemia induction based on the analysis of the consequences of population irradiation in Southern Ural]. *Vestnik Akademii meditsinskikh nauk SSSR*, (8), 23–28.
 27. Hamilton, T. E., van Belle, G., & LoGerfo, J. P. (1987). Thyroid neoplasia in Marshall Islanders exposed to nuclear fallout. *JAMA*, 258(5), 629–635. <https://doi.org/10.1001/jama.1987.03400050071030>
 28. Koshurnikova, N. A., Bysogolov, G. D., Bolotnikova, M. G., Khokhryakov, V. F., Kreslov, V. V., Okatenko, P. V., Romanov, S. A., & Shilnikova, N. S. (1996). Mortality among personnel who worked at the Mayak complex in the first years of its operation. *Health Physics*, 71(1), 90–93. <https://doi.org/10.1097/00004032-199607000-00015>
 29. Ivanov, V. K., Tsyb, A. F., Gorsky, A. I., Maksioutov, M. A., Khait, S. E., Preston, D., & Shibata Y. (2003). Elevated leukemia rates in Chernobyl accident liquidators. Rapid responses. *BMJ*, 319, 145.
 30. Иванов В., & Цыб А. (2005). Медицинские радиологические последствия Чернобыля: данные Национального регистра [Medicininēs radiologinēs Černobylio avarijos pasekmēs: nacionalinio registro duomenys]. *Врач*, 6, 58–59.
 31. Иванов, В. К. (2010). *Ликвидаторы: радиологические последствия Чернобыля* [Likvidatoriai: radiologinēs Černobylio pasekmēs]. Центр содействия социально-экологическим инициативам атомной отрасли.
 32. Reste, J., Kurjane, N., Zvagule, T., Eglite, M., & Gabrusheva, N. (2012). Oncological morbidity pattern of Chernobyl accident workers from Latvia. Iš *IFEH 12th World Congress on Environmental Health, Vilnius, Lithuania, May 22-27, 2012* (pp. 105–108).
 33. Vanadzins, I., Reste, J., Kurjane, N., Zvagule, T., Gabruseva, N., & Eglite, M. (n.d.). Oncologic morbidity of Chernobyl accident clean-up workers from Latvia in late period after disaster. [Santrauka iš World Health Organization, International Agency for Research on Cancer]. <https://co-cher.iarc.who.int/description-of-work/abstracts/vanadzins-i-oncologic-morbidity-abstract.pdf>
 34. Rahu, M., Rahu, K., Auvinen, A., Tekkel, M., Stengrevics, A., Hakulinen, T., Boice, J. D., Jr, & Inskip, P. D. (2006). Cancer risk among Chernobyl cleanup workers in Estonia and Latvia, 1986-1998.

- International Journal of Cancer*, 119(1), 162–168.
<https://doi.org/10.1002/ijc.21733>
35. Rahu, K., Rahu, M., Zeeb, H., Auvinen, A., Bromet, E., & Boice, J. D., Jr (2023). Suicide and other causes of death among Chernobyl cleanup workers from Estonia, 1986 - 2020: an update. *European Journal of Epidemiology*, 38(2), 225–232. <https://doi.org/10.1007/s10654-022-00957-3>
 36. Rahu, K., Rahu, M., Auvinen, A., Zeeb, H., & Boice, J. D. (2023). Cancer incidence among Chernobyl cleanup workers from Estonia: A 34-year follow-up. *International Journal of Cancer*, 153(7), 1347–1355 <https://doi.org/10.1002/ijc.34633>
 37. Romanenko, A., Bebesko, V., Hatch, M., Bazyka, D., Finch, S., Dyagil, I., Reiss, R., Chumak, V., Bouville, A., Gudzenko, N., Zablotska, L., Pilinskaya, M., Lyubarets, T., Bakhanova, E., Babkina, N., Trotsiuk, N., Ledoschuk, B., Belayev, Y., Dybsky, S. S., ... Howe, G. (2008). The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chornobyl cleanup workers from Ukraine: I. Study methods. *Radiation Research*, 170(6), 691–697. <https://doi.org/10.1667/RR1402.1>
 38. Chumak, V. V., Romanenko, A. Ye., Voillequé, P. G., Bakhanova, E. V., Gudzenko, N., Hatch, M., Zablotska, L. B., Golovanov, I. A., Luckyanov, N. K., Sholom, S. V., Kryuchkov, V. P., & Bouville, A. (2008). The Ukrainian-American Study of Leukemia and Related Disorders among Chornobyl Cleanup Workers from Ukraine: II. Estimation of Bone Marrow Doses. *Radiation Research*, 170(6), 698–710. <https://doi.org/10.1667/RR1403.1>
 39. Romanenko, A. Y., Finch, S. C., Hatch, M., Lubin, J. H., Bebesko, V. G., Bazyka, D. A., Gudzenko, N., Dyagil, I. S., Reiss, R. F., Bouville, A., Chumak, V. V., Trotsiuk, N. K., Babkina, N. G., Belyayev, Y., Masnyk, I., Ron, E., Howe, G. R., & Zablotska, L. B. (2008). The Ukrainian-American study of leukemia and related disorders among Chornobyl cleanup workers from Ukraine: III. Radiation risks. *Radiation Research*, 170(6), 711–720. <https://doi.org/10.1667/RR1404.1>
 40. Bazyka, D. A., Gudzenko, N. A., Dyagil, I. S., Babkina, N. G., Chumak, V. V., Bakhanova, E. V., Paramonov, V. V., & Romanenko, A. Y. (2013). Multiple myeloma among Chornobyl accident clean-up workers – state and perspectives of analytical study. *Problemy radiatsiinoi medytsyny ta radiobiologii*, (18), 169–172.
 41. Ivanov, V. K., Gorski, A. I., Maksoutov, M. A., Tsyb, A. F., & Souchkevitch, G. N. (2001). Mortality among the Chernobyl emergency workers: estimation of radiation risks (preliminary analysis). *Health*

- Physics*, 81(5), 514–521. <https://doi.org/10.1097/00004032-200111000-00005>
42. Ivanov, V. K., Maksioutov, M. A., Chekin, S. Y., Petrov, A. V., Biryukov, A. P., Kruglova, Z. G., Matyash, V. A., Tsyb, A. F., Manton, K. G., & Kravchenko, J. S. (2006). The risk of radiation-induced cerebrovascular disease in Chernobyl emergency workers. *Health Physics*, 90(3), 199–207. <https://doi.org/10.1097/01.HP.0000175835.31663.ea>
 43. Reste, J., Kurjane, N., Zvagule, T., Eglite, M., Cirule, J., & Gabrusheva, N. (2011). Mortality Analysis in Chornobyl Cleanup Workers from Latvia. *Iš August 2011 Conference: 14th International Congress of Radiation Research at: Warszawa, Poland*.
 44. https://www.researchgate.net/publication/264205649_Mortality_Analysis_in_Chernobyl_Clean-up_Workers_from_Latvia
 45. Reste, J., Zvagule, T., Kurjāne, N., Šķesters, A., Silova, A., Eglīte, M., Cīrūle, J., Gabruševa, N., Zīverts, A., & Čurbakova, E. (2016). Investigations on Health Conditions of Chernobyl Nuclear Power Plant Accident Recovery Workers from Latvia in Late Period after Disaster. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 70(5) 257–265. <https://doi.org/10.1515/prolas-2016-0040>
 46. Bebeshko, V. G., Bazyka, D. A., & Buzunov, V. (2007). Chernobyl: Current situation of non-cancer diseases. *International Congress Series*, 1299, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.09.004>.
 47. Bazyka, D., Prysyazhnyuk, A., Gudzenko, N., Dyagil, I., Belyi, D., Chumak, V., & Buzunov, V. (2018). Epidemiology of Late Health Effects in Ukrainian Chornobyl Cleanup Workers. *Health Physics*, 115(1), 161–169. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000000868>
 48. Kashcheev, V. V., Chekin, S. Y., Maksioutov, M. A., Tumanov, K. A., Kochergina, E. V., Kashcheeva, P. V., Shchukina, N. V., & Ivanov, V. K. (2015). Incidence and mortality of solid cancer among emergency workers of the Chernobyl accident: assessment of radiation risks for the follow-up period of 1992–2009. *Radiation and Environmental Biophysics*, 54(1), 13–23. <https://doi.org/10.1007/s00411-014-0572-3>
 49. Kesminiene, A., Evrard, A.-S., Ivanov, V. K., Malakhova, I. V., Kurtinaitis, J., Stengrevics, A., Tekkel, M., Anspaugh, L. R., Bouville, A., Chekin, S., Chumak, V. V., Drozdovitch, V., Gapanovich, V., Golovanov, I., Hubert, P., Illichev, S. V., Khait, S. E., Kryuchkov, V. P., Maceika, E., & Cardis, E. (2008). Risk of Hematological Malignancies among Chornobyl Liquidators. *Radiation Research*, 170(6), 721–735. <https://doi.org/10.1667/RR1231.1>

50. Krestinina, L. Y., Preston, D. L., Ostroumova, E. V., Degteva, M. O., Ron, E., Vyushkova, O. V., Startsev, N. V., Kossenko, M. M., & Akleyev, A. V. (2005). Protracted radiation exposure and cancer mortality in the Techa River Cohort. *Radiation Research*, 164(5), 602–611. <https://doi.org/10.1667/rr3452.1>
51. Sokolnikov, M., Preston, D., & Stram, D. O. (2017). Mortality from solid cancers other than lung, liver, and bone in relation to external dose among plutonium and non-plutonium workers in the Mayak Worker Cohort. *Radiation and Environmental Biophysics*, 56(1), 121–125. <https://doi.org/10.1007/s00411-016-0670-5>
52. Richardson, D. B., Wing, S., & Wolf, S. (2007). Mortality among workers at the Savannah River Site. *American Journal of Industrial Medicine*, 50(12), 881–891. <https://doi.org/10.1002/ajim.20511>
53. Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey. (2022). *Annual Report of the Fukushima Health Management Survey*. <https://fhms.jp/en/fhms/outline/report/>
54. Fukunaga, H., & Asano, T. (2022). A brief overview of the registration system of radiation exposure doses for decontamination workers and their occupational health management. *Journal of Occupational Health*, 64(1), e12357. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12357>
55. Hiraoka, K., Tateishi, S., & Mori, K. (2015). Review of health issues of workers engaged in operations related to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Journal of Occupational Health*, 57(6), 497–512. <https://doi.org/10.1539/joh.15-0084-RA>
56. Kitamura, H., Okubo, T., Kodama, K., & Nuclear Emergency Workers Study Group. (2018). Epidemiological study of health effects in Fukushima Nuclear Emergency Workers-study design and progress report. *Radiation Protection Dosimetry*, 182(1), 40–48. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy136>
57. World Health Organization. (2013). *Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241505130>
58. Labutina, E. V., Kuznetsova, I. S., Hunter, N., Harrison, J., & Koshurnikova, N. A. (2013). Radiation risk of malignant neoplasms in organs of main deposition for plutonium in the cohort of Mayak workers with regard to histological types. *Health Physics*, 105(2), 165–176. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e31828f57df>
59. Cardis, E., Vrijheid, M., Blettner, M., Gilbert, E., Hakama, M., Hill, C., Howe, G., Kaldor, J., Muirhead, C. R., Schubauer-Berigan, M., Yoshimura,

- T., Bermann, F., Cowper, G., Fix, J., Hacker, C., Heinmiller, B., Marshall, M., Thierry-Chef, I., Utterback, D., ... Veress, K. (2007). The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks. *Radiation Research*, 167(4), 396–416. <https://doi.org/10.1667/RR0553.1>
60. Richardson, D. B., Cardis, E., Daniels, R. D., Gillies, M., O'Hagan, J. A., Hamra, G. B., Haylock, R., Laurier, D., Leuraud, K., Moissonnier, M., Schubauer-Berigan, M. K., Thierry-Chef, I., & Kesminiene, A. (2015). Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ*, 351, h5359. <https://doi.org/10.1136/bmj.h5359>
 61. Hunter, N., Haylock, R. G. E., Gillies, M., & Zhang, W. (2022). Extended analysis of solid cancer incidence among the Nuclear Industry Workers in the UK: 1955-2011. *Radiation Research*, 198(1), 1–17. <https://doi.org/10.1667/RADE-20-00269.1>
 62. Leuraud, K., Richardson, D. B., Cardis, E., Daniels, R. D., Gillies, M., O'Hagan, J. A., Hamra, G. B., Haylock, R., Laurier, D., Moissonnier, M., Schubauer-Berigan, M. K., Thierry-Chef, I., & Kesminiene, A. (2015). Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study. *The Lancet. Haematology*, 2(7), e276–e281. [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(15\)00094-0](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(15)00094-0)
 63. Hunter, N., & Haylock, R. (2022). Radiation risks of lymphoma and multiple myeloma incidence in the updated NRRW-3 cohort in the UK: 1955-2011. *Journal of Radiological Protection: Official Journal of the Society for Radiological Protection*, 42(1), 10.1088/1361-6498/abee96. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abee96>
 64. Vrijheid, M., Cardis, E., Ashmore, P., Auvinen, A., Bae, J.-M., Engels, H., Gilbert, E., Gulis, G., Habib, R., Howe, G., Kurtinaitis, J., Malker, H., Muirhead, C., Richardson, D., Rodriguez-Artalejo, F., Rogel, A., Schubauer-Berigan, M., Tardy, H., Telle-Lamberton, M., ... Veress, K. (2007). Mortality from diseases other than cancer following low doses of ionizing radiation: results from the 15-Country Study of nuclear industry workers. *International Journal of Epidemiology*, 36(5), 1126–1135. <https://doi.org/10.1093/ije/dym138>
 65. Zablotska, L. B., Lane, R. S., & Thompson, P. A. (2014). A reanalysis of cancer mortality in Canadian nuclear workers (1956-1994) based on revised exposure and cohort data. *British Journal of Cancer*, 110(1), 214–223. <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.592>

66. 65. Richardson, D. B., Leuraud, K., Laurier, D., Gillies, M., Haylock, R., Kelly-Reif, K., Bertke, S., Daniels, R. D., Thierry-Chef, I., Moissonnier, M., Kesminiene, A., & Schubauer-Berigan, M. K. (2023). Cancer mortality after low dose exposure to ionising radiation in workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS): cohort study. *BMJ (Clinical research ed.)*, 382, e074520. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-074520>
67. Hunter, N., Kuznetsova, I. S., Labutina, E. V., & Harrison, J. D. (2013). Solid cancer incidence other than lung, liver and bone in Mayak workers: 1948-2004. *British Journal of Cancer*, 109(7), 1989–1996. <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.543>
68. Tokarskaya, Z. B., Okladnikova, N. D., Belyaeva, Z. D., & Drozhko, E. G. (1997). Multifactorial analysis of lung cancer dose-response relationships for workers at the Mayak nuclear enterprise. *Health Physics*, 73(6), 899–905. <https://doi.org/10.1097/00004032-199712000-00003>
69. Riddell, A. E., Battersby, W. P., Peace, M. S., & Strong, R. (2000). The assessment of organ doses from plutonium for an epidemiological study of the Sellafield workforce. *Journal of Radiological Protection: Official Journal of the Society for Radiological Protection*, 20(3), 275–286. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/20/3/302>
70. Double, E. B., Mabuchi, K., Cullings, H. M., Preston, D. L., Kodama, K., Shimizu, Y., Fujiwara, S., & Shore, R. E. (2011). Long-term radiation-related health effects in a unique human population: lessons learned from the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 5 Suppl 1(0 1), S122–S133. <https://doi.org/10.1001/dmp.2011.21>
71. Cullings, H. M., Fujita, S., Funamoto, S., Grant, E. J., Kerr, G. D., & Preston, D. L. (2006). Dose estimation for atomic bomb survivor studies: its evolution and present status. *Radiation Research*, 166(1 Pt 2), 219–254. <https://doi.org/10.1667/RR3546.1>
72. Ozasa, K., Shimizu, Y., Suyama, A., Kasagi, F., Soda, M., Grant, E. J., Sakata, R., Sugiyama, H., & Kodama, K. (2012). Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950-2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Radiation Research*, 177(3), 229–243. <https://doi.org/10.1667/rr2629.1>
73. Preston, D. L., Ron, E., Tokuoka, S., Funamoto, S., Nishi, N., Soda, M., Mabuchi, K., & Kodama, K. (2007). Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiation Research*, 168(1), 1–64. <https://doi.org/10.1667/RR0763.1>

74. Talbott, E. O., Youk, A. O., McHugh, K. P., Shire, J. D., Zhang, A., Murphy, B. P., & Engberg, R. A. (2000). Mortality among the residents of the Three Mile Island accident area: 1979-1992. *Environmental Health Perspectives*, 108(6), 545–552. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108545>
75. Cardis, E., Krewski, D., Boniol, M., Drozdovitch, V., Darby, S. C., Gilbert, E. S., Akiba, S., Benichou, J., Ferlay, J., Gandini, S., Hill, C., Howe, G., Kesminiene, A., Moser, M., Sanchez, M., Storm, H., Voisin, L., & Boyle, P. (2006). Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. *International Journal of Cancer*, 119(6), 1224–1235. <https://doi.org/10.1002/ijc.22037>
76. Institute for Information Design Japan. (n.d.). *Japan Radiation Map*. Žiūrēta 2023 m. rugpjūčio 12 d., iš <https://jciv.iidj.net/map/>
77. Tsuboi, M., Sawano, T., Nonaka, S., Hori, A., Ozaki, A., Nishikawa, Y., Zhao, T., Murakami, M., & Tsubokura, M. (2022). Disaster-related deaths after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident - Definition of the term and lessons learned. *Environmental Advances*, 8, 100248, <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100248>
78. Yasumura, S., Ohira, T., Ishikawa, T., Shimura, H., Sakai, A., Maeda, M., Miura, I., Fujimori, K., Ohto, H., & Kamiya, K. (2022). Achievements and Current Status of the Fukushima Health Management Survey. *Journal of Epidemiology*, 32(Suppl_XII), S3–S10. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20210390>
79. Furukawa, K., Preston, D., Funamoto, S., Yonehara, S., Ito, M., Tokuoka, S., Sugiyama, H., Soda, M., Ozasa, K., & Mabuchi, K. (2013). Long-term trend of thyroid cancer risk among Japanese atomic-bomb survivors: 60 years after exposure. *International Journal of Cancer*, 132(5), 1222–1226. <https://doi.org/10.1002/ijc.27749>
80. Ozasa K. (2016). Epidemiological research on radiation-induced cancer in atomic bomb survivors. *Journal of Radiation Research*, 57 Suppl 1(Suppl 1), i112–i117. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrw005>
81. Han, Y. Y., Youk, A. O., Sasser, H., & Talbott, E. O. (2011). Cancer incidence among residents of the Three Mile Island accident area: 1982-1995. *Environmental Research*, 111(8), 1230–1235. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.08.005>
82. Davis, F. G., Yu, K. L., Preston, D., Epifanova, S., Degteva, M., & Akleyev, A. V. (2015). Solid Cancer Incidence in the Techa River Incidence Cohort: 1956–2007. *Radiation Research*, 184(1), 56–65. <https://doi.org/10.1667/RR14023.1>
83. Yablokov, A. V., Nesterenko, V. B., & Nesterenko, A. V. (2009). 15. Consequences of the Chernobyl catastrophe for public health and the

- environment 23 years later. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1181, 318–326. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04841.x>
84. Cardis, E., Kesminiene, A., Ivanov, V., Malakhova, I., Shibata, Y., Khrouch, V., Drozdovitch, V., Maceika, E., Zvonova, I., Vlassov, O., Bouville, A., Goulko, G., Hoshi, M., Abrosimov, A., Anoshko, J., Astakhova, L., Chekin, S., Demidchik, E., Galanti, R., ... Williams, D. (2005). Risk of thyroid cancer after exposure to ¹³¹I in childhood. *Journal of the National Cancer Institute*, 97(10), 724–732. <https://doi.org/10.1093/jnci/dji129>
 85. Brenner, A. V., Tronko, M. D., Hatch, M., Bogdanova, T. I., Oliynik, V. A., Lubin, J. H., Zablotska, L. B., Tereschenko, V. P., McConnell, R. J., Zamotaeva, G. A., O'Kane, P., Bouville, A. C., Chaykovskaya, L. V., Greenebaum, E., Paster, I. P., Shpak, V. M., & Ron, E. (2011). I-131 dose response for incident thyroid cancers in Ukraine related to the Chernobyl accident. *Environmental Health Perspectives*, 119(7), 933–939. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002674>
 86. Astakhova, L. N., Anspaugh, L. R., Beebe, G. W., Bouville, A., Drozdovitch, V. V., Garber, V., Gavrilin, Y. I., Khrouch, V. T., Kuvshinnikov, A. V., Kuzmenkov, Y. N., Minenko, V. P., Moschik, K. V., Nalivko, A. S., Robbins, J., Shemiakina, E. V., Shinkarev, S., Tochitskaya, S. I., & Waclawiw, M. A. (1998). Chernobyl-related thyroid cancer in children of Belarus: a case-control study. *Radiation Research*, 150(3), 349–356. <https://doi.org/10.2307/3579983>
 87. Zablotska, L. B., Ron, E., Rozhko, A. V., Hatch, M., Polyanskaya, O. N., Brenner, A. V., Lubin, J., Romanov, G. N., McConnell, R. J., O'Kane, P., Evseenko, V. V., Drozdovitch, V. V., Luckyanov, N., Minenko, V. F., Bouville, A., & Masyakin, V. B. (2011). Thyroid cancer risk in Belarus among children and adolescents exposed to radioiodine after the Chernobyl accident. *British Journal of Cancer*, 104(1), 181–187. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6605967>
 88. Ivanov, V. K., Gorski, A. I., Tsyb, A. F., Maksioutov, M. A., Tumanov, K. A., & Vlasov, O. K. (2006). Radiation-epidemiological studies of thyroid cancer incidence among children and adolescents in the Bryansk oblast of Russia after the Chernobyl accident (1991-2001 follow-up period). *Radiation and Environmental Biophysics*, 45(1), 9–16. <https://doi.org/10.1007/s00411-006-0039-2>
 89. Baverstock, K., & Williams, D. (2006). The Chernobyl Accident 20 Years On: An Assessment of the Health Consequences and the International Response. *Environmental Health Perspectives*, 114(9), 1312–1317. <https://doi.org/10.1289/ehp.9113>

90. Jacob, P., Bogdanova, T. I., Buglova, E., Chepurniy, M., Demidchik, Y., Gavrillin, Y., Kenigsberg, J., Kruk, J., Schotola, C., Shinkarev, S., Tronko, M. D., & Vavilov, S. (2006). Thyroid cancer among Ukrainians and Belarusians who were children or adolescents at the time of the Chernobyl accident. *Journal of radiological protection: official journal of the Society for Radiological Protection*, 26(1), 51–67. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/26/1/003>
91. Cardis, E., Howe, G., Ron, E., Bebeshko, V., Bogdanova, T., Bouville, A., Carr, Z., Chumak, V., Davis, S., Demidchik, Y., Drozdovitch, V., Gentner, N., Gudzenko, N., Hatch, M., Ivanov, V., Jacob, P., Kapitonova, E., Kenigsberg, Y., Kesminiene, A., ... Zvonova, I. (2006). Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on. *Journal of Radiological Protection: Official Journal of the Society for Radiological Protection*, 26(2), 127–140. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/26/2/001>
92. Shakhtarin, V. V., Tsyb, A. F., Stepanenko, V. F., Orlov, M. Y., Kopecky, K. J., & Davis, S. (2003). Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident. *International Journal of Epidemiology*, 32(4), 584–591. <https://doi.org/10.1093/ije/dyg205>
93. But, A., Kurtio, P., Heinävaara, S., & Auvinen, A. (2006). No increase in thyroid cancer among children and adolescents in Finland due to Chernobyl accident. *European journal of cancer (Oxford, England: 1990)*, 42(8), 1167–1171. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2006.03.006>
94. Sali, D., Cardis, E., Sztanyik, L., Auvinen, A., Bairakova, A., Dontas, N., Grosche, B., Kerekes, A., Kusic, Z., Kusoglu, C., Lechpammer, S., Lyra, M., Michaelis, J., Petridou, E., Szybinski, Z., Tominaga, S., Tulbure, R., Turnbull, A., & Valerianova, Z. (1996). Cancer consequences of the Chernobyl accident in Europe outside the former USSR: a review. *International Jjournal of Cancer*, 67(3), 343–352. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0215\(19960729\)67:3<343::AID-IJC7>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0215(19960729)67:3<343::AID-IJC7>3.0.CO;2-R)
95. Ohtsuru, A., Midorikawa, S., Ohira, T., Suzuki, S., Takahashi, H., Murakami, M., Shimura, H., Matsuzuka, T., Yasumura, S., Suzuki, S. I., Yokoya, S., Hashimoto, Y., Sakai, A., Ohto, H., Yamashita, S., Tanigawa, K., & Kamiya, K. (2019). Incidence of Thyroid Cancer Among Children and Young Adults in Fukushima, Japan, Screened With 2 Rounds of Ultrasonography Within 5 Years of the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. *JAMA*

- Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, 145(1), 4–11.
<https://doi.org/10.1001/jamaoto.2018.3121>
96. Midorikawa, S., Ohtsuru, A., Murakami, M., Takahashi, H., Suzuki, S., Matsuzuka, T., Shimura, H., Ohira, T., Suzuki, S. I., Yasumura, S., Yamashita, S., Ohto, H., Tanigawa, K., & Kamiya, K. (2018). Comparative Analysis of the Growth Pattern of Thyroid Cancer in Young Patients Screened by Ultrasonography in Japan After a Nuclear Accident: The Fukushima Health Management Survey. *JAMA Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, 144(1), 57–63.
<https://doi.org/10.1001/jamaoto.2017.2133>
 97. Takanoa T. Overdiagnosis of Juvenile Thyroid Cancer. (2020). *European Thyroid Journal*, 9(3), 124–131.
<https://doi.org/10.1159/000503323>
 98. Tronko, M. D., Howe, G. R., Bogdanova, T. I., Bouville, A. C., Epstein, O. V., Brill, A. B., Likhtarev, I. A., Fink, D. J., Markov, V. V., Greenebaum, E., Olijnyk, V. A., Masnyk, I. J., Shpak, V. M., McConnell, R. J., Tereshchenko, V. P., Robbins, J., Zvinchuk, O. V., Zablotska, L. B., Hatch, M., ... Beebe, G. W. (2006). A cohort study of thyroid cancer and other thyroid diseases after the Chernobyl accident: thyroid cancer in Ukraine detected during first screening. *Journal of the National Cancer Institute*, 98(13), 897–903. <https://doi.org/10.1093/jnci/djj244>
 99. Davis, S., Stepanenko, V., Rivkind, N., Kopecky, K. J., Voillequé, P., Shakhtarin, V., Parshkov, E., Kulikov, S., Lushnikov, E., Abrosimov, A., Troshin, V., Romanova, G., Doroschenko, V., Proshin, A., & Tsyb, A. (2004). Risk of thyroid cancer in the Bryansk Oblast of the Russian Federation after the Chernobyl Power Station accident. *Radiation Research*, 162(3), 241–248. <https://doi.org/10.1667/rr3233>
 100. Kopecky, K. J., Stepanenko, V., Rivkind, N., Voillequé, P., Onstad, L., Shakhtarin, V., Parshkov, E., Kulikov, S., Lushnikov, E., Abrosimov, A., Troshin, V., Romanova, G., Doroschenko, V., Proshin, A., Tsyb, A., & Davis, S. (2006). Childhood thyroid cancer, radiation dose from Chernobyl, and dose uncertainties in Bryansk Oblast, Russia: a population-based case-control study. *Radiation Research*, 166(2), 367–374. DOI: <https://doi.org/10.1667/RR3596.1>
 101. Tsuda, T., Tokinobu, A., Yamamoto, E., & Suzuki, E. (2016). Thyroid Cancer Detection by Ultrasound Among Residents Ages 18 Years and Younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 27(3), 316–322. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000385>
 102. Yamashita, S., Suzuki, S., Suzuki, S., Shimura, H., & Saenko, V. (2018). Lessons from Fukushima: Latest Findings of Thyroid Cancer After the

- Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *Thyroid: Official Journal of the American Thyroid Association*, 28(1), 11–22. <https://doi.org/10.1089/thy.2017.0283>
103. Yamamoto, H., Hayashi, K., & Scherb, H. (2019). Association between the detection rate of thyroid cancer and the external radiation dose-rate after the nuclear power plant accidents in Fukushima, Japan. *Medicine*, 98(37), e17165. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000017165>
 104. Hancock, S. L., Cox, R. S., & McDougall, I. R. (1991). Thyroid diseases after treatment of Hodgkin's disease. *The New England Journal of Medicine*, 325(9), 599–605. <https://doi.org/10.1056/NEJM199108293250902>
 105. Ron, E., Lubin, J. H., Shore, R. E., Mabuchi, K., Modan, B., Pottern, L. M., Schneider, A. B., Tucker, M. A., & Boice, J. D., Jr. (1995). Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiation Research*, 141(3), 259–277. <https://doi.org/10.2307/3579003>
 106. Ronckers, C. M., Sigurdson, A. J., Stovall, M., Smith, S. A., Mertens, A. C., Liu, Y., Hammond, S., Land, C. E., Neglia, J. P., Donaldson, S. S., Meadows, A. T., Sklar, C. A., Robison, L. L., & Inskip, P. D. (2006). Thyroid cancer in childhood cancer survivors: a detailed evaluation of radiation dose response and its modifiers. *Radiation Research*, 166(4), 618–628. <https://doi.org/10.1667/RR3605.1>
 107. Svahn-Tapper, G., Garwicz, S., Anderson, H., Shamsaldin, A., De Vathaire, F., Olsen, J. H., Døllner, H., Hertz, H., Jonmundsson, G., Langmark, F., Lanning, M., Sankila, R., Tulinius, H., & Möller, T. (2006). Radiation dose and relapse are predictors for development of second malignant solid tumors after cancer in childhood and adolescence: a population-based case-control study in the five Nordic countries. *Acta oncologica (Stockholm, Sweden)*, 45(4), 438–448. <https://doi.org/10.1080/02841860600658633>
 108. Bhatti, P., Veiga, L. H., Ronckers, C. M., Sigurdson, A. J., Stovall, M., Smith, S. A., Weathers, R., Leisenring, W., Mertens, A. C., Hammond, S., Friedman, D. L., Neglia, J. P., Meadows, A. T., Donaldson, S. S., Sklar, C. A., Robison, L. L., & Inskip, P. D. (2010). Risk of second primary thyroid cancer after radiotherapy for a childhood cancer in a large cohort study: an update from the childhood cancer survivor study. *Radiation Research*, 174(6), 741–752. <https://doi.org/10.1667/RR2240.1>
 109. Turcotte, L. M., Liu, Q., Yasui, Y., Arnold, M. A., Hammond, S., Howell, R. M., Smith, S. A., Weathers, R. E., Henderson, T. O., Gibson, T. M., Leisenring, W., Armstrong, G. T., Robison, L. L., & Neglia, J. P. (2017). Temporal Trends in Treatment and Subsequent Neoplasm Risk Among 5-

- Year Survivors of Childhood Cancer, 1970-2015. *JAMA*, 317(8), 814–824. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.0693>
110. Bernier, M. O., Baysson, H., Pearce, M. S., Moissonnier, M., Cardis, E., Hauptmann, M., Struelens, L., Dabin, J., Johansen, C., Journy, N., Laurier, D., Blettner, M., Le Cornet, L., Pokora, R., Gradowska, P., Meulepas, J. M., Kjaerheim, K., Istad, T., Olerud, H., ... Kesminiene, A. (2019). Cohort Profile: the EPI-CT study: a European pooled epidemiological study to quantify the risk of radiation-induced cancer from paediatric CT. *International Journal of Epidemiology*, 48(2), 379–381g. <https://doi.org/10.1093/ije/dyy231>
 111. Hong, J. Y., Han, K., Jung, J. H., & Kim, J. S. (2019). Association of Exposure to Diagnostic Low-Dose Ionizing Radiation With Risk of Cancer Among Youths in South Korea. *JAMA Network Open*, 2(9), e1910584. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.10584>
 112. Mathews, J. D., Forsythe, A. V., Brady, Z., Butler, M. W., Goergen, S. K., Byrnes, G. B., Giles, G. G., Wallace, A. B., Anderson, P. R., Guiver, T. A., McGale, P., Cain, T. M., Dowty, J. G., Bickerstaffe, A. C., & Darby, S. C. (2013). Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ (Clinical research ed.)*, 346, f2360. <https://doi.org/10.1136/bmj.f2360>
 113. Breslow, N. E., & Day, N. E. (1987). Statistical methods in cancer research. Volume II – The Design and Analysis of Cohort Studies. *IARC Scientific Publications*, (82), 1–406.
 114. Mekšriūnaitė, S. (2017). *Rodiklių standartizacija. Metodinės rekomendacijos*. Higienos institutas. Žiūrėta 2023 m. rugpjūčio 21 d., iš <https://hi.lt/uploads/pdf/leidiniai/Rekomendacijos/Rodikliu%20standartizacija.pdf>
 115. Mekšriūnaitė, S. (2017). *Rodiklių standartizacija. Metodinės rekomendacijos*. Higienos institutas. Žiūrėta 2023 m. rugpjūčio 21 d., iš <https://hi.lt/uploads/pdf/leidiniai/Rekomendacijos/Rodikliu%20standartizacija.pdf>
 116. Mekšriūnaitė, S. (2018). Dažnio rodiklių skirtumo statistinio reikšmingumo vertinimas pagal pasikliautinuosius intervalus. Metodinės rekomendacijos. Higienos institutas. Žiūrėta 2023 m. rugpjūčio 21 d., iš <https://hi.lt/uploads/pdf/leidiniai/Rekomendacijos/Dazniu%20intervalas.pdf>
 117. International Atomic Energy Agency. (2003). Testing of environmental transfer models using Chernobyl fallout data from the Iput River catchment area, Bryansk Region, Russian Federation: Report of the Dose

- Reconstruction Working Group of BIOMASS Theme 2. Part of the IAEA Co-ordinated Research Project on Biosphere Modelling and Assessment (BIOMASS). <https://www.iaea.org/publications/6711/testing-of-environmental-transfer-models-using-chernobyl-fallout-from-the-iput-river-catchment-area-bryansk-region-russian-federation>.
118. Крючков, В. П., Мазурик, В. К., Носовский, А. В., & Носовский, А. (1996). *Ретроспективная дозиметрия участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС*. Седа-стиль.
 119. Pitkevitch, V. A., Ivanov, V. K., Tsyb, A. F., Maksyoutov, M. A., Matiash, V. A., & Shchukina, N. V. (1997). Exposure levels for persons involved in recovery operations after the Chernobyl accident. Statistical analysis based on the data of the Russian National Medical and Dosimetric Registry (RNMDR). *Radiation and Environmental Biophysics*, 36(3), 149–160. <https://doi.org/10.1007/s004110050066>
 120. Kesminiene A., Rimdeika G., Kurtinaitis J., Bigbee W. L., & Boice J. D. (1996). The pilot study of clean-up workers from Lithuania. In *International conference on radiation and health: Program and book of abstracts* (p. 57). Radiation and Health Isreal. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/012/28012819.pdf
 121. Bigbee, W. L., Jensen, R. H., Veidebaum, T., Tekkel, M., Rahu, M., Stengrevics, A., Kesminiene, A., Kurtinaitis, J., Auvinen, A., Hakulinen, T., Servomaa, K., Rytömaa, T., Obrams, G. I., & Boice, J. D., Jr (1996). Glycophorin A biodosimetry in Chernobyl cleanup workers from the Baltic countries. *BMJ (Clinical research ed.)*, 312(7038), 1078–1079. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7038.1078>
 122. Bigbee, W. L., Jensen, R. H., Veidebaum, T., Tekkel, M., Rahu, M., Stengrevics, A., Auvinen, A., Hakulinen, T., Servomaa, K., Rytömaa, T., Obrams, G. I., & Boice, J. D., Jr (1997). Biodosimetry of Chernobyl cleanup workers from Estonia and Latvia using the glycophorin A in vivo somatic cell mutation assay. *Radiation Research*, 147(2), 215–224. <https://doi.org/10.2307/3579423>
 123. Lazutka, J. R., & Dedonyte, V. (1995). Increased frequency of sister chromatid exchanges in lymphocytes of Chernobyl clean-up workers. *International Journal of Radiation Biology*, 67(6), 671–676. <https://doi.org/10.1080/09553009514550791>
 124. Littlefield, L. G., McFee, A. F., Salomaa, S. I., Tucker, J. D., Inskip, P. D., Sayer, A. M., Lindholm, C., Mäkinen, S., Mustonen, R., Sorensen, K., Tekkel, M., Veidebaum, T., Auvinen, A., & Boice, J. D., Jr (1998). Do recorded doses overestimate true doses received by Chernobyl

- cleanup workers? Results of cytogenetic analyses of Estonian workers by fluorescence in situ hybridization. *Radiation Research*, 150(2), 237–249. <https://doi.org/10.2307/3579859>
125. Kryuchkov, V., Chumak, V., Maceika, E., Anspaugh, L. R., Cardis, E., Bakhanova, E., Golovanov, I., Drozdovitch, V., Luckyanov, N., Kesminiene, A., Voillequé, P., & Bouville, A. (2009). Radrue method for reconstruction of external photon doses for Chernobyl liquidators in epidemiological studies. *Health Physics*, 97(4), 275–298. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181ac9306>
 126. Nedveckaitė, T., Filistovičius, V., Petrulis, R., Dauskurdis, S., Tamulėnaitė, O., & Čypas, K. (1989). Lietuvos TSR kultūrinių ganyklų užteršimo radionuklidais po Černobylio AE avarijos ypatumai. *Atmosferos fizika*, 14, 80–86
 127. Mastauskas, A., Nedveckaitė, T., & Filistovic, V. (1997). *Consequences of the Chernobyl accident in Lithuania (IAEA-TECDOC-964(v2))*. International Atomic Energy Agency. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:29013363
 128. Nedveckaitė, T., & Filistowicz, W. (1995). Estimates of thyroid equivalent dose in Lithuania following the Chernobyl accident. *Health Physics*, 69(2), 265–268. <https://doi.org/10.1097/00004032-199508000-00012>
 129. Nedveckaitė, T., Filistovic, V., Mastauskas, A., & Thiessen, K. (2004). Thyroid dosimetry in the western trace of the Chernobyl accident plume. *Radiation Protection Dosimetry*, 108(2), 133–141. <https://doi.org/10.1093/rpd/nch016>
 130. MedCalc Software Ltd. *Comparison of two rates*. https://www.medcalc.org/calc/rate_comparison.php (Version 22.009; žiūrėta 2023 m. rugsėjo 2 d.)
 131. IARC Expert Group on Thyroid Health Monitoring after Nuclear Accidents. (2018). *Thyroid health monitoring after nuclear accidents. IARC Technical Publication* (46). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Technical-Publications/Thyroid-Health-Monitoring-After-Nuclear-Accidents-2018>
 132. Drozdovitch, V., Bouville, A., Chobanova, N., Filistovic, V., Ilus, T., Kovacic, M., Malátová, I., Moser, M., Nedveckaitė, T., Völkle, H., & Cardis, E. (2007). Radiation exposure to the population of Europe following the Chernobyl accident. *Radiation Protection Dosimetry*, 123(4), 515–528. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncl528>
 133. Kesminiene, A., Evrard, A.-S., Ivanov, V. K., Malakhova, I. V., Kurtinaitis, J., Stengrevics, A., Tekkel, M., Chekin, S., Drozdovitch,

- V., Gavrilin, Y., Golovanov, I., Kryuchkov, V. P., Maceika, E., Mirkhaidarov, A. K., Polyakov, S., Tenet, V., Tukov, A. R., Byrnes, G., & Cardis, E. (2012). Risk of Thyroid Cancer among Chernobyl Liquidators. *Radiation Research*, 178(5), 425–436. <https://doi.org/10.1667/RR2975.1>
134. Li, M., Dal Maso, L., & Vaccarella, S. (2020). Global trends in thyroid cancer incidence and the impact of overdiagnosis. *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*, 8(6), 468–470. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(20\)30115-7](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(20)30115-7)
 135. Stiller, C. A. (2001). Thyroid cancer following Chernobyl. *European Journal of Cancer (Oxford, England: 1990)*, 37(8), 945–947.
 136. Preston, D. L., Ron, E., Yonehara, S., Kobuke, T., Fujii, H., Kishikawa, M., Tokunaga, M., Tokuoka, S., & Mabuchi, K. (2002). Tumors of the nervous system and pituitary gland associated with atomic bomb radiation exposure. *Journal of the National Cancer Institute*, 94(20), 1555–1563. <https://doi.org/10.1093/jnci/94.20.1555>
 137. Bondy, M. L., Scheurer, M. E., Malmer, B., Barnholtz-Sloan, J. S., Davis, F. G., Il'yasova, D., Kruchko, C., McCarthy, B. J., Rajaraman, P., Schwartzbaum, J. A., Sadetzki, S., Schlehofer, B., Tihan, T., Wiemels, J. L., Wrensch, M., Buffler, P. A., & Brain Tumor Epidemiology Consortium. (2008). Brain tumor epidemiology: Consensus from the Brain Tumor Epidemiology Consortium. *Cancer*, 113(S7), 1953–1968. <https://doi.org/10.1002/cncr.23741>
 138. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, & International Agency for Research on Cancer Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2012). *Personal habits and indoor combustions. A review of human carcinogens* (100 E). International Agency for Research on Cancer. <https://publications.iarc.fr/122>
 139. Little, M. P., Azizova, T. V., Richardson, D. B., Tapio, S., Bernier, M. O., Kreuzer, M., Cucinotta, F. A., Bazyka, D., Chumak, V., Ivanov, V. K., Veiga, L. H. S., Livinski, A., Abalo, K., Zablotska, L. B., Einstein, A. J., & Hamada, N. (2023). Ionising radiation and cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ (Clinical research ed.)*, 380, e072924. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-072924>
 140. Azizova, T. V., Grigoryeva, E. S., & Hamada, N. (2023). Dose rate effect on mortality from ischemic heart disease in the cohort of Russian Mayak Production Association workers. *Scientific Reports*, 13(1), 1926. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28954-w>

141. Dauer, L. T., Brooks, A. L., Hoel, D. G., Morgan, W. F., Stram, D., & Tran, P. (2010). Review and evaluation of updated research on the health effects associated with low-dose ionising radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 140(2), 103–136. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq141>
142. Prisyazhiuk, A., Pjatak, O. A., Buzanov, V. A., Reeves, G. K., & Beral, V. (1991). Cancer in the Ukraine, post-Chernobyl. *Lancet (London, England)*, 338(8778), 1334–1335. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)92632-c](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)92632-c)
143. Boushab, B. M., & Basco, L. K. (2019). Miliary tuberculosis and acute respiratory distress syndrome. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*, 16, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.jctube.2019.100113>
144. Kurjane, N., Bruvere, R., Shitova, O., Romanova, T., Jaunalksne, I., Kirschfink, M., & Sochnevs, A. (2001). Analysis of the immune status in Latvian Chernobyl clean-up workers with nononcological thyroid diseases. *Scandinavian Journal of Immunology*, 54(5), 528–533. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3083.2001.00997.x>
145. World Health Organization Regional Office for Europe. (n.d.). *European Health Information Gateway: Indicators Explorer*. Žiūrēta 2023 m. liepos 6 d., iš <https://gateway.euro.who.int/en/hfa-explorer/>
146. World Health Organization. (n.d.). *Data platform: WHO Mortality Database*. Žiūrēta 2024 m. vasario 11 d., iš <https://platform.who.int/mortality>
147. Furuya-Kanamori, L., Bell, K. J. L., Clark, J., Glasziou, P., & Doi, S. A. R. (2016). Prevalence of Differentiated Thyroid Cancer in Autopsy Studies Over Six Decades: A Meta-Analysis. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 34(30), 3672–3679. <https://doi.org/10.1200/JCO.2016.67.7419>
148. Lee, J. H., & Shin, S. W. (2014). Overdiagnosis and screening for thyroid cancer in Korea. *The Lancet*, 384(9957), 1848. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62242-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62242-X)
149. Smittenaar, C. R., Petersen, K. A., Stewart, K., & Moitt, N. (2016). Cancer incidence and mortality projections in the UK until 2035. *British Journal of Cancer*, 115(9), 1147–1155. <https://doi.org/10.1038/bjc.2016.304>
150. Gerasimov, G., & Delange, F. (1998). An overview of IDD status, control programmes and salt supplementation in the countries of Central and Eastern Europe (CEE), Commonwealth of Independent States (CIS) and Baltic States (BS). Iš F. Delange, A. Robertson, E. McLoughney, & G. Gerasimov (Eds.). *Elimination of iodine deficiency disorders (IDD) in Central and Eastern Europe, the Commonwealth of*

- Independent States, and the Baltic States: Proceedings of a conference held in Munich, Germany, 3-6 September 1997.* World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/83307>
151. Bérontienė, R., Jašinskienė, E., Kiudalienė, R., Kuprionis, G., Makštienė, J., Macaitytė, R., Marčiulionytė, D., Poškienė, L., Šemetaitė, A., Šidlauskas, V., Valickas, R., Žalinkevičius, R., & Verkauskienė, R. (2017). Thirty-Five Years of Thyroid Cancer Experience in a Paediatric Population: Incidence Trends in Lithuania between 1980 and 2014. *European Thyroid Journal*, 6(1), 40–46. <https://doi.org/10.1159/000450921>
152. Grabauskas, V. J., Misevičienė, I., Padaiga, Ž., Klumbienė, J., Petkevičienė, J., Zaborskis, A., Domarkienė, S., Tamošiūnas, A., Milašauskienė, Ž., Šumskas, L., Dudzevičius, J. E., & Dičkutė, J. (2003). Fundamentinė epidemiologija : bendrasis vadovėlis. Kaunas :: Kauno medicinos universiteto Spaudos ir leidybos centro leidykla,, 2003. <https://hdl.handle.net/20.500.12512/73392>

SANTRAUKA / SUMMARY

ABBREVIATIONS

AR	Attributable risk
CMC	Chernobyl Medical Center
CLL	Chronic lymphocytic leukaemia
FHMS	Fukushima Health Management Survey
Gy	Gray
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICRP	The International Commission on Radiological Protection
INWORKS	International Nuclear Workers Study
IR	Ionising radiation
LET	linear energy transfer
mGy	milliGray
mSv	millisievert
NPP	Nuclear power plant
NRRW	National Registry for Radiation Workers
PID	personal identification number
RR	Relative risk
SIR	Standardised incidence ratio
SMR	Standardised mortality ratio
Sv	Sievert
UNSCEAR	The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

INTRODUCTION

The relevance of the topic. The safe operation of nuclear power plants and the threats posed by accidents are global problems. The consequences of atomic pollution for the environment and human health are long-term, continuously studied, and they attract considerable public attention. Exposure to *Ionizing Radiation* (IR) increases the risk of oncological and non-oncological diseases and mortality. Even after as many as 39 years since the accident at Chernobyl *Nuclear Power Plant* (NPP), questions about the long-term health effects of ionising radiation still remain unanswered.

The situation became particularly ominous in 2022, when the Russian military forces that invaded Ukraine and occupied the Chernobyl zone were completely irresponsible and unsafe about radioactive contamination, especially in the ‘Red Forest’ zone. The security of the Russian-occupied Zaporizhzhia NPP remains a topical issue, prompting Europe to review its readiness to respond adequately to possible radionuclide contamination. Currently, a very disturbing situation is being observed because of the military conflict at the door of Europe’s largest NPP in Ukraine (i.e., Zaporizhzhia NPP) and because of the doubts about compliance with the international safety standards in Astravets NPP, recently constructed in Belarus, 20 km east of the border of Lithuania and about 40 km from its highly populated metropolitan area of the capital.

Lessons learned from the Chernobyl and Fukushima accidents have led scientists and experts to develop recommendations to improve the preparedness, long-term care, diagnostic screening criteria, and living conditions of the populations affected by such accidents. Those recommendations will ensure that people affected by nuclear accidents will meet their needs and avoid excessive anxiety. Much of the information on the long-term health effects of IR has been obtained from the analysis of the morbidity and mortality of the Chernobyl accident survivors (mostly, NPP accident clean-up workers).

Over 600,000 people from the former USSR, and around 17,000 from specifically Estonia, Latvia, and Lithuania were involved in the Chernobyl clean-up work [1]. The most significant representation of the Baltic clean-up workers were Lithuanians (about 7,000). The Chernobyl clean-up work lasted between one to five months [2]. The average radiation dose per clean-up worker was 100 mSv [3].

Radioactive iodine ^{131}I and ionizing radiation are recognized to be human carcinogens [4, 5, 6]. However, there is not enough clear evidence to prove that

ionizing radiation leads to increased mortality from both cancerous and non-cancerous diseases, especially when the exposure is less than 100 mSv [7].

The Lithuanian Chernobyl Medical Centre, established in 1990, created a database of Chernobyl clean-up workers, which is now operated at the National Cancer Institute. Data on health screening, long-term health outcomes, and mortality were collected and analyzed in the Chernobyl Health Maintenance Programme 2006–2010 [8]. Combining the health data of Lithuanian, Latvian, and Estonian survivors highlighted the long-term health consequences for survivors in the Baltic States and the trends in oncological and non-oncological mortality.

The novelty of the topic. Oncological diseases are diagnosed after 10–15 years of ionizing radiation exposure; therefore, it is crucial to ensure continuity in data collection and analysis. The first scientific study in Lithuania to analyze the risk of thyroid cancer and leukaemia in a group of Lithuanian clean-up workers started in 1997. The risk of cancer incidence in the cohort of the Baltic clean-up workers (within the Lithuanian cohort) was analyzed only from 1986 to 2007. No detailed scientific analyses of the causes of deaths of Lithuanian clean-up workers have been published so far, and only a report in the State-run *Valstybės žinios (Official Gazette)* was presented [8]. This work provides a detailed analysis and assessment of the risk of malignant neoplasm morbidity and mortality in a cohort of Chernobyl NPP accident clean-up workers covering the period from 1986 to 2020.

After the Chernobyl NPP accident, the meteorological situation in the first few days spread a radioactive cloud over Lithuania, with the southern and western parts of the country being the most contaminated by radioactive fallout. In these areas, the levels of nuclear contamination reached such prominence that it was necessary to restrict the consumption of milk produced in those territories to children. By using radionuclide activity measurements in milk, grass, and other samples, this study has reconstructed the individual and collective doses of thyroid irradiation to children and adolescents in the entire territory of Lithuania in the first weeks of May following the Chernobyl NPP accident. In addition, the risk of thyroid cancer in the Lithuanian population under 20 years of age at the time of the accident has been examined in detail.

The risk of thyroid cancer in the Lithuanian population under 20 years of age at the time of the accident has been analyzed in detail by evaluating different radioactive contamination areas over a 29-year study period. To the best of our knowledge, comprehensive studies of this depth and duration have not yet been conducted anywhere else in Europe. Furthermore, detailed analyses of such data have not been performed up to this point.

This study aims to underscore the significance of gathering and organizing information regarding the long-term health effects of radioactive contamination. By doing so, it seeks to facilitate timely and targeted healthcare interventions for IR affected individuals, thereby reducing mortality rates. This critical issue is underscored annually on the anniversary of the Chernobyl disaster. This study evaluates the effects of IR on morbidity and mortality rates associated with both oncological and non-oncological diseases. The insights garnered from this research would empower medical professionals to respond effectively and implement appropriate measures during a nuclear incident. Furthermore, it would ensure that the population receives adequate healthcare and support whenever necessary, while mitigating unnecessary and unwarranted anxiety. The findings presented in this work hold significance for forecasting potential health consequences for the community in the occurrence of a nuclear or radiological accident, particularly in instances of radioactive contamination (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs).

The aim of the study

To assess the long-term impact of the radioactive contamination and increased exposure caused by the Chernobyl NPP accident on oncological morbidity and mortality in Lithuania.

Objectives

1. To assess the risk of oncological diseases in the cohort of Lithuanian clean-up workers of the Chernobyl NPP accident;
2. To determine the relationship between the effective dose of external irradiation and the incidence of oncological diseases in the cohort of Lithuanian clean-up workers of the Chernobyl NPP accident;
3. To determine the risk of cause-specific mortality in the cohort of Lithuanian clean-up workers of the Chernobyl NPP accident;
4. To determine the relationship between the effective dose of external irradiation and the risk of cause-specific mortality in the cohort of Lithuanian clean-up workers of the Chernobyl NPP accident;
5. To reconstruct individual and collective, region-specific thyroid radiation doses in Lithuanian children and adolescents at the time of the Chernobyl NPP accident by using measurements of radionuclide activity in milk, grass, and other samples taken shortly after the accident throughout Lithuania and to determine districts according to levels of radioactive pollution;

6. To assess the incidence of thyroid cancer in all regions of Lithuania and the association with the average thyroid radiation doses received during childhood and adolescence in particular regions.

Materials and methods

Data Sources

Based on Regulation No. 369 issued by the Minister of Health of the Republic of Lithuania on November 19, 1990, the Chernobyl Medical Centre of the Republic of Lithuania was established (referred to as the *CMC*), which was located in the Sapiega Hospital. One of the responsibilities of the CMC was to conduct annual health monitoring of the cohort of Lithuanian clean-up workers of the Chernobyl NPP accident and to maintain a database. Information of the cohort of Lithuanian clean-up workers of the Chernobyl NPP accident up to 2010 was collected by using data from the Lithuanian National Chernobyl Register established in 1991. This register included data from the following sources:

1. Registration cards were introduced by the Soviet Union Ministry of Health Directive No 640-TN of 1987. The data from these cards were transferred from personal healthcare facilities to the CMC database in 1991;
2. The USSR Army Reserve lists, which became available to the CMC in September 1991;
3. Lists and records of Lithuanian Movement *Chernobyl*.
4. Lists and certificates of Ignalina Nuclear Power Plant (NPP) staff were sent to Chernobyl. The Ignalina NPP authorities certified these documents.
5. Lists of technical workers sent to Chernobyl by the Ministry of Construction. The Ministry's authorities certified them.
6. Lists of the Ministry of Internal Affairs. They include persons sent to the Chernobyl area to maintain order in a 30-kilometer area; they were certified by Ministry authorities.

To organize and process the data, we used a unique identification number connected to the Lithuanian population register. In January 2001, the linking of the mortality data by cause from the Hygiene Institute's Health Information Centre database with the clean-up workers' identification numbers became possible.

Statistical information was retrieved on deaths and international migration based on data on deaths and international migration from the

Institute of Hygiene and the Centre of Registers of the Republic of Lithuania, obtained from the Department of Statistics (State Data Agency of the Republic of Lithuania from 19 July 2022). All the work on the development of the merged database, related to the use of individual records, has been carried out by specialists of the Statistics Department, who are authorised to work with confidential statistical information. Only the aggregated statistical information was made available for further studies and epidemiological data analysis.

The Lithuanian Cancer Registry is a population-based registry that collects demographic and clinical data on the incidence of malignant neoplasms in Lithuania (since 1978) and deaths from malignant neoplasms (since 1990). Currently, the National Cancer Institute has information on 6,917 Chernobyl NPP accident clean-up workers from Lithuania who worked in the Chernobyl accident zone in 1986–1991 in a database. The database contains the name, surname, personal identification number, date of birth, address at the time of departure to the accident zone, time of arrival and departure from Chernobyl, and the dose of exposure to IR for each person. The date and cause of death for deceased persons are determined by matching the data with the Cancer Registry, and, in the case of a diagnosis of malignancy, the date of diagnosis and the localization of the disease are known.

The main data source from the Cancer Registry is the *Notification of the first diagnosis of malignancy* (Form 090/a). The *Medical Death Certificate* (form 106/a) is an additional data source to supplement the morbidity database and monitor the quality of the registration of oncological diseases. It also establishes the fact of cancer patients' deaths, the date of death, and the cause of death in the case of a malignant disease already registered.

The following information was collected from the clean-up workers' database on the persons under investigation:

- name;
- last name;
- identification number;
- date of birth;
- gender;
- place of residence;
- the dose of exposure to IR;
- date of cancer diagnosis;
- primary site of the cancer;
- date of death;
- cause of death.

Death records from the Civil Registry archives were used for unknown causes of death. Until 1997, the Cancer Registry used the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Ninth Revision (ICD-9, WHO 1977), and, since 1998, the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, Tenth Revision (ICD-10, WHO 1992), to encode the diagnoses of cancer and the cause of death.

The study utilized data from the Lithuanian Cancer Registry, the State Data Agency of the Republic of Lithuania, and the Centre for Physical and Technological Sciences to examine the risk of thyroid cancer among individuals under the age of 20 residing in the Republic of Lithuania during the Chernobyl NPP accident.

The following information was collected from the database of persons living in the territory of the Republic of Lithuania and under the age of 20 at the time of the accident at the Chernobyl NPP, regarding the persons under investigation:

- date of birth;
- gender;
- place of residence;
- reconstructed individual and collective dose of IR to the thyroid gland in every municipality (district and city);
- date of diagnosis of thyroid cancer.

Data linkage formation for cancer cases analysis of the Chernobyl NPP accident Lithuanian clean-up workers cohort

A unique identification number was used to systematise the data, which was linked to the Lithuanian population register.

In January 2001, linking the mortality data by cause from the Hygiene Institute's Health Information Centre database with the clean-up workers identification number became possible.

Based on data on deaths and international migration retrieved from the Institute of Hygiene and the State Enterprise Centre of Registers, statistical information was obtained from the Statistical Office.

The study population was followed upon return from the Chernobyl area. The study was confined to workers under observation for more than one year after returning from Chernobyl. Unique PIDs were introduced in Lithuania in 1992. They were available for 93.6% (6272) of the cohort members (the data were unavailable for those who died or emigrated before 1992, and for 123 persons who were non-citizens but were permanently living in Lithuania). Information on the vital status, emigration, and the date of death was obtained

from the Central Population Register. Cancer cases were identified by the Lithuanian Cancer Registry by linkage procedures using PID or/and sex, name, and the date of birth. The systematic information on all new cancers diagnosed in Lithuania is available from 1978 (since 1998, with PID). Cancer diagnoses were coded according to the WHO 10th Revision of the *International Classification of Diseases* (ICD-10).

Data linkage formation for mortality analysis of the Chernobyl NPP accident Lithuanian clean-up workers cohort

The initial cohort in Lithuania consisted of 6,917 men who worked in the Chernobyl area (the 30 km zone around the Chernobyl nuclear power plant and the surrounding territories) during the years 1986–1990 and who had an official record documenting their service. The information collected included the personal identification number (PID), surname, given name(s), father's name (commonly used during the Soviet time), the date of birth, the place of residence, and the reported external radiation dose.

Information on the vital status, emigration, and the date of death was obtained from the Central Population Register. Causes of death for the period of 2001–2020 were identified by linking with the Lithuanian Causes of Death Registry (causes of death are available since 2001) by using PID. Data linkage was not possible for the previous period.

For the mortality risk analysis, we identified all cohort members living in Lithuania on 1 January 2001. We excluded 915 cohort members who had died before 2001, 282 due to emigration, and 158 due to loss to follow-up. Finally, 5,562 clean-up workers were included in the study analysis, contributing to 93 545.32 person-years. The mean follow-up time was 16.82 years (range 0.02–20.00), and the median follow-up time was 20 years.

Data linkage formation for thyroid cancer incidence in the Lithuanian population exposed to Chernobyl fallout early in life

Cancer incidence and population data

Follow-up for thyroid cancer incidence started in 1991 to allow for a 5-year latency period for possibly radiation-related thyroid cancer to occur. Data on thyroid cancer incidence were obtained from the Lithuanian Cancer Registry (hereinafter – Registry). The Registry covers the entire population of the Republic of Lithuania (3.04 million according to the 2011 census). It is located at the National Cancer Center, which has recently operated as the National Cancer Institute. The main data sources are notifications collected from all hospitals and diagnostic centers in Lithuania. This information was complemented by death certificates stating a cancer diagnosis and by

notifications from regional health centers. The study was based on all cases of thyroid cancer reported to the Registry during the years 1991–2015. We used the 1986–2015 population data (by age, sex, and calendar year) of the Department of Statistics of the Republic of Lithuania. For comparability and integrity of the data, we chose to follow the administrative division system of Lithuania that was in place in 1989 (44 districts and 11 cities). However, a partial administrative reform took place in 1994. Thyroid cancer incidence rates were calculated for the entire population and for two age groups at the time of exposure groups. The first group included those who were 0–9 years old at the time of the Chernobyl accident, whereas the second group (aged 0–19 years) also included those who were adolescents and young adults. Incidence rates were tabulated by municipalities and a 5-year period of diagnosis.

Dosimetry

Since no direct thyroid activity measurements were performed in Lithuania after the accident, the thyroid radiation dose due to ^{131}I intake had to be evaluated indirectly. The internal thyroid dose was mainly due to consuming fresh cow's milk, and, to a lesser extent, green vegetables and inhalation. Pasture grass and milk contamination measurements have been carried out in almost all regions of Lithuania after the accident till the 19th of May 1986. Measurements of the dose rate taken at the altitude of 1 m above the ground surface (mostly due to ^{131}I , $^{132}\text{Te} + ^{132}\text{I}$ and ^{133}I isotopes) in Vilnius on the first day after the Chernobyl NPP accident showed values ten times higher than usual. Despite only dry deposition, the weather conditions led to different levels of exposure to radioactive fallout in different regions of Lithuania, as the initial cloud passed only over the Southern and Western parts of the country. Averaged age-dependent thyroid doses were estimated for every municipality (district and city). The thyroid dose estimates were obtained based on radioiodine activity in milk, which was reconstructed by using data of ^{131}I activity measurements in grass C max _grass (Bq/kg f.w.), available almost for all districts of Lithuania and normalized prior to the 2nd of May 1986. The reduction of radioiodine activity concentration in plants due to radioactive decay, atmospheric removal from leaf surfaces process (weathering), and growth dilution was considered. Since we did not have individual information on breastfeeding, we assumed the same (0.55L/day) consumption of cow's milk for all 0–1-year-old babies, as the common practice from the age of 3 months was to supplement mother's milk with cow's milk. No radioiodine ingestion with green vegetables was assumed, as consuming wild sorrel or field-grown leafy vegetables was not common from

the end of April to the beginning of May in Lithuania. Since stable iodine distribution was not applied in Lithuania at the time of the accident, we did not consider the effect of thyroid blocking.

Study Design and Statistical Methods

Cancer cases analysis of the Chernobyl NPP accident Lithuanian clean up workers cohort

In our retrospective cohort study, *Standardized Incidence Ratios* (SIR) were calculated with a program package, *Stata 10* (StataCorp LP, College Station, TX, USA), as ratios between the number of cancer cases observed in the cohort and the expected values. The expected numbers were calculated by multiplying the number of person-years at risk (stratified by 5-year age categories and 1-year calendar periods) by the corresponding cancer incidence rates in the Lithuanian male population. The 95% confidence intervals (CI) for SIR were calculated while assuming that the observed number of cases followed a Poisson distribution. Clean-up workers who died or emigrated were followed until the date of these events, while all the others were followed till the end of 2012. Person-years were calculated up to the last known date for workers lost to follow-up. Detailed analysis was performed for all cancer sites combined and for specific sites: central nervous system (CNS) (C70–C72), thyroid gland (C73) and leukaemia (excluding chronic lymphocytic leukaemia (CLL)) (C91–C95, except C91.1). In our study, we calculated SIRs for alcohol-related (C01–C15, C18–C22, C32) and smoking-related (C01–C16, C18–C22, C25, C30–C34, C64–C68, C92) cancer sites combined.

The Regional Ethical Committee approval was obtained for this study (No 158200-17-929-432, 4 July 2017).

Mortality analysis of the Chernobyl NPP accident in the Lithuanian clean up workers cohort

In our retrospective cohort study, age and calendar period-standardized mortality ratios (SMRs) were calculated by dividing the observed deaths among clean-up workers by the expected number of deaths, calculated by using the national rates for males only. By assuming the cause-specific number of deaths followed a Poisson distribution and that our data followed a Poisson distribution, 95% confidence intervals (CIs) for SMRs were calculated. We analyzed alcohol-related causes of death separately (ICD-10 codes F10, G31.2, G62.1, I42.6, K70, K86.0, X45) and cancer-related (including alcohol, smoking, and radiation-related) death causes. For cancer deaths and deaths from all circulatory diseases, hypertensive disease, ischemic heart disease, myocardial infarction, and cerebrovascular diseases, we also

performed an analysis of death risk by documented external radiation dose (<100 mSv and ≥ 100 mSv).

All statistical analyses were done by using STATA, version 11; StataCorp., College Station, Texas, USA.

The Regional Ethical Committee approval was obtained for this study; it was extended (No 158200-17-929-432, 4 July 2017).

Thyroid cancer incidence trends in the Lithuanian population exposed to Chernobyl fallout early in life

Age-standardized incidence rates were calculated for each calendar year for all ages combined and age-specific rates using the direct method (world standard population). Five-year age categories were used (the lowest group 0–4, and the highest as 85+). *Relative risk* (RR) analysis was based on three cumulative municipality-specific thyroid dose categories estimated for 0–year-old children at the time of the Chernobyl accident. The reference group consisted of individuals who received less than 100 mGy to their thyroid. The next two groups were considered as “higher-risk individuals,” according to the recommendation of the expert group of the *International Agency for Research on Cancer* (IARC/WHO) (those exposed in utero or during childhood or adolescence with a thyroid dose of 100–500 mGy (IARC Expert Group on Thyroid Health Monitoring After Nuclear Accidents, 2018)). The second group included residents from the medium dose category region who received a thyroid dose between 100 and 199 mGy; the third group were residents from the most contaminated Western region of Lithuania (high dose category region) who received 200 mGy or more to the thyroid. The Relative risk of thyroid cancer was calculated for two different groups of age at the time of the Chernobyl accident, by using 5-year calendar periods and average cumulative municipality-specific dose categories. The analysis used *MedCalc* version 22.021 (MedCalc Software Ltd) and *R* version 4.1.0 (R Project for Statistical Computing).

The data were collected in accordance with the Cancer Registry Act, which does not require an informed consent statement or an ethics statement for the analysis of the Cancer Registry data.

Results

Cancer cases analysis of the Chernobyl NPP accident Lithuanian clean-up workers cohort

The final cohort comprises 6707 men (after exclusion of 210 workers with the follow-up shorter than a year). By the end of 2012, 71.5% of the Lithuanian Chernobyl cleanup workers were alive, 22.9% deceased, and 5.6%

lost to follow-up or emigrated (**Table 1**). The cohort contributed 149,119 person-years to the study. One third of the cohort members entered the Chernobyl area in 1986, and 7.4% did that in the first month after the accident. The mean age at the entry to Chernobyl was 32 years (median – 31 years), while the mean age at the end of the follow-up was 54 years (median – 55 years). The external radiation dose was available for 73.8% of the cohort members with mean and median doses of 109.6 mSv and 99 mSv, respectively. Over the follow-up period, a total of 596 cancer cases was observed in the cohort, against 584 expected (SIR 1.02; 95% CI 0.94, 1.11) (**Fig. 1**). The highest SIR's, although statistically non-significant, were found for Hodgkin's lymphoma (SIR 2.00; 95% CI 0.95, 4.19) and thyroid cancer (SIR 1.78; 95% CI 0.89, 3.56). Only the incidence of mouth and pharynx cancer cases was significantly increased compared to the expected scores (SIR 1.41; 95% CI 1.07, 1.86) (**Fig. 1**). Risks of alcohol-related and of smoking-related cancer sites combined were somewhat elevated, but the lower CI limit was below unity (SIR 1.16; 95% CI 0.99, 1.37 and SIR 1.09; 95% CI, 0.98, 1.21, respectively). SIR for CLL, when analysed separately, was 1.20 (95% CI 0.57, 2.51). We conducted more detailed analyses to assess the impact of age at arrival and the year of arrival to Chornobyl, the duration of stay, and the documented dose on the incidence of all cancers combined as well as of leukaemia (excluding CLL), thyroid, and CNS cancer (**Table 2**). None of those had a significant impact on all cancer sites combined and on CNS cancer and leukaemia (excluding CLL). Nevertheless, an increased risk of thyroid cancer was observed among cleanup workers who were younger than 30 years old when entering the Chernobyl zone (SIR 2.90; 95% CI 1.09, 7.72), whose radiation dose was above 100 mSv (SIR 3.13; 95% CI 1.30, 7.52) and who had a shorter duration of stay (SIR 2.30; 95% CI 1.03, 5.13).

Table 1

Characteristics of Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers.

Characteristics	No.	%
Total	6707	100.0
Vital status (31 December 2012)		
alive	4793	71.5
dead	1538	22.9
emigrated or lost	376	5.6
Age at arrival in the Chernobyl area (years)		
< 20	144	2.2
20–29	2422	36.1
30–39	3065	45.7
40–49	908	13.5
≥ 50	66	1.0
unknown	102	1.5
mean	32.2	
Time of arrival in the Chernobyl area (year, month)		
1986, April–May	500	7.4
1986, June–December	1849	27.6
1987–1990	4256	63.5
unknown	102	1.5
Duration of stay in the Chernobyl area (days)		
<30	440	6.6
30–89	3444	51.3
90–149	1530	22.8
150–209	829	12.4
≥210	362	5.4
unknown	102	1.5
Documented dose (mSv)		
<50.0	924	13.8
50.0–99.9	1666	24.8
100.0–149.9	1036	15.4
150.0–199.9	453	6.8
200.0–249.9	722	10.8
250+	151	2.3
unknown	1755	26.2
mean	109.6	
Age at the end of follow-up (years)		
<50	1784	26.6
50–59	3159	47.1
60–69	1564	23.3
70–79	189	2.8
≥80	11	0.2
mean	54.3	

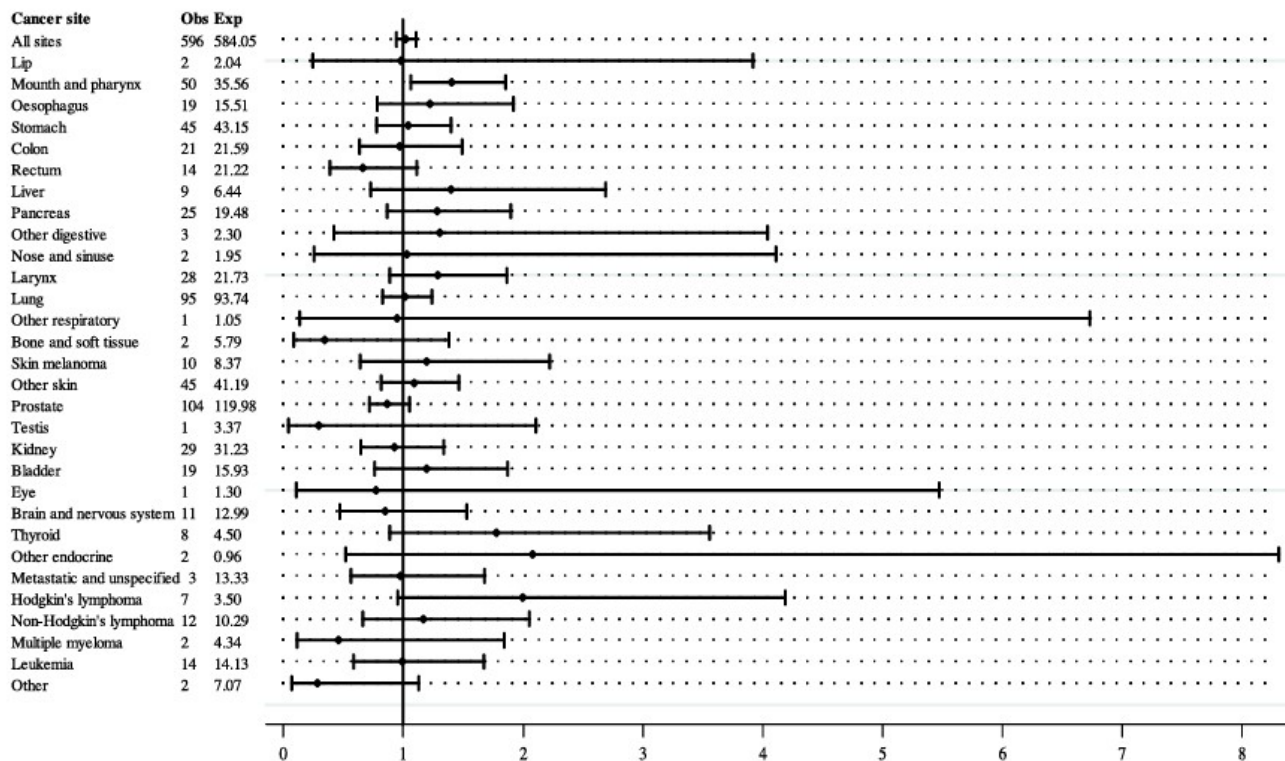


Fig. 1. Observed and expected numbers of cancer cases and standardized incidence ratios (SIR) in the Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers, 1986–2012.

Table 2

Observed numbers of selected types of cancer and standardized incidence ratios (SIR) in the Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers by the age at arrival, year of arrival, duration of stay in Chernobyl area and documented external radiation dose, 1986-2012.

Cancer site	ICD-10	OBS	EXP	SIR	CI95L	CI95U	Cancer site	ICD-10	OBS	EXP	SIR	CI95L	CI95U
Age* <30 years							Age* ≥ 30 years						
All sites	C00-C96	69	78.97	0.87	0.69	1.11	All sites	C00-C96	519	495.79	1.05	0.96	1.14
Brain	C71	4	3.28	1.22	0.46	3.25	Brain	C71	7	8.97	0.78	0.37	1.64
Thyroid	C73	4	1.38	2.90	1.09	7.72	Thyroid	C73	4	3.06	1.31	0.49	3.49
Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	3	2.02	1.49	0.48	4.61	Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	4	6.12	0.65	0.25	1.74
Arrival year* 1986							Arrival year* 1987–1990						
All sites	C00-C96	197	200.50	0.98	0.85	1.13	All sites	C00-C96	391	374.26	1.04	0.95	1.15
Brain	C71	3	4.31	0.70	0.22	2.16	Brain	C71	8	7.94	1.01	0.50	2.02
Thyroid	C73	3	1.56	1.93	0.62	5.98	Thyroid	C73	5	2.88	1.74	0.72	4.17
Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	6	2.99	2.01	0.90	4.46	Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	1	5.15	0.19	0.03	1.38
Duration* <90 days							Duration* ≥ 90 days						
All sites	C00-C96	336	325.70	1.03	0.93	1.15	All sites	C00-C96	252	249.06	1.01	0.89	1.14
Brain	C71	7	7.13	0.98	0.47	2.06	Brain	C71	4	5.12	0.78	0.29	2.08
Thyroid	C73	6	2.61	2.30	1.03	5.12	Thyroid	C73	2	1.83	1.10	0.27	4.38
Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	4	4.72	0.85	0.32	2.26	Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	3	3.42	0.88	0.28	2.72
Dose** <100 mSv							Dose** ≥ 100 mSv						
All sites	C00-C96	256	229.35	1.12	0.99	1.26	All sites	C00-C96	199	194.52	1.02	0.89	1.18
Brain	C71	2	4.86	0.41	0.10	1.65	Brain	C71	5	4.34	1.15	0.48	2.77
Thyroid	C73	1	1.75	0.57	0.08	4.06	Thyroid	C73	5	1.60	3.13	1.30	7.52
Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	2	3.15	0.63	0.16	2.54	Leukaemia, excl.C91.1	C91-C95	4	2.86	1.40	0.52	3.73

SIR = standardised incidence ratio; CI95U = 95 % Confidence Interval Upper Limit; CI95 L = 95 % Confidence Interval Lower Limit.

* 102 cleanup workers with unknown age at arrival, year of arrival and duration of stay excluded.

** 1755 cleanup workers with unknown documented dose excluded.

Mortality analysis of the Chernobyl NPP accident Lithuanian clean-up workers cohort

A total of 5562 of Lithuanian clean-up workers were included in mortality analysis (**Table 3**).

Table 3. Characteristics of the Lithuanian cohort of Chernobyl clean-up workers

Characteristics	No.	%
Total	5562	100.0
Vital status (31 December 2020)		
alive	3640	65.4
dead	1922	34.6
Age at arrival in the Chernobyl area (years)		
< 20	118	2.1
20–29	2076	37.3
30–39	2565	46.1
40–49	699	12.6
≥ 50	45	0.8
unknown	59	1.1
Time of arrival in the Chernobyl area (year, month)		
1986, April–May	415	7.5
1986, June–December	1513	27.2
1987–1990	3575	64.3
unknown	59	1.1
Duration of stay in the Chernobyl area (days)		
<30	362	6.5
30–89	2913	52.4
90–149	1272	22.9
150–209	670	12.0
≥210	286	5.1
unknown	59	1.1
Documented dose (mSv)		
<100.0	2174	39.1
≥100.0	2020	36.3
unknown	1368	24.6

During the twenty-year follow-up period, 1,922 deaths occurred, yielding an overall SMR of 1.07 (95% CI 1.03–1.12) (Tables 4, 5).

Table 4. Observed numbers of deaths and standardized mortality ratios (SMR) in the Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers, 2001–2020

Causes of death	ICD-10	OBS	EXP	SMR	95% CI	
All causes	A00–Y98	1922	1790.16	1.07	1.03	1.12
Certain infectious and parasitic diseases	A00–B99	54	47.93	1.13	0.86	1.47
Tuberculosis	A15–A19	33	26.14	1.26	0.90	1.78
Respiratory tuberculosis	A15–A16	23	20.34	1.13	0.75	1.70
Miliary tuberculosis	A19	10	5.64	1.77	0.95	3.30
Sepsis	A40–A41	11	9.51	1.16	0.64	2.09
Malignant neoplasms	C00–C96	478	414.23	1.15	1.06	1.26
Upper aerodigestive tract	C01–C14, C32	70	48.56	1.44	1.14	1.82
Digestive organs	C15–C26	143	126.99	1.13	0.96	1.33
Trachea, bronchus, lung	C33–C34	126	111.75	1.13	0.95	1.34
Brain	C71	9	12.11	0.74	0.39	1.43
Thyroid gland	C73	1	0.81	1.23	0.17	8.77
Leukaemia	C91–C95	11	9.46	1.16	0.64	2.10
Alcohol-related sites		143	114.96	1.24	1.06	1.47
Smoking-related sites		376	139.05	2.70	2.44	2.99
Radiation-related sites		266	216.65	1.23	1.09	1.38
Diseases of the blood and blood-forming organs	D50–D89	2	0.94	2.13	0.53	8.50
Endocrine, nutritional, and metabolic diseases	E00–E89	10	15.39	0.65	0.35	1.21
Mental and behavioural disorders	F00–F99	3	5.33	0.56	0.18	1.74
Alcohol-related mental diseases	F10	3	3.37	0.89	0.29	2.76
Diseases of the nervous system	G00–G99	17	26.46	0.64	0.40	1.03
Degeneration of the nervous system due to alcohol	G31.2	3	2.90	1.03	0.33	3.20
Diseases of the eye (adnexa) and ear	H00–H95	0	0.11	–	–	–
Diseases of the circulatory system	I00–I99	744	680.24	1.09	1.02	1.18
Hypertensive diseases	I10–I15	37	27.02	1.37	0.99	1.89
Ischaemic heart diseases	I20–I25	464	413.37	1.12	1.02	1.23
Acute myocardial infarction	I21	67	54.10	1.24	0.97	1.57
Cerebrovascular diseases	I60–I69	118	81.05	1.46	1.22	1.74

A slightly elevated mortality risk was observed for malignant neoplasms (SMR 1.15, 95% CI 1.06–1.26), all circulatory diseases (SMR 1.09, CI 95% 1.02–1.18), ischemic heart disease (SMR 1.12, 95% CI, 1.02–1.23), and cerebrovascular diseases (SMR 1.46, 95% CI, 1.22–1.74). Borderline significantly elevated risk was found for hypertension (SMR 1.37, 95% CI 0.99–1.89), and acute myocardial infarction (SMR 1.24, 95% CI 0.97–1.57).

Furthermore, higher mortality risks were observed for alcohol-related and radiation-related, but mostly for smoking-related cancer sites (SMR 2.44, CI, 2.44–2.99).

Mortality risk from alcohol-related diseases (ICD-10 codes F10, G31.2, K70, K86.0) or accidental poisoning by and exposure to alcohol (ICD-10 code X45) was not elevated. The risk of suicide in the cohort was also not elevated in comparison to the general male population.

A more detailed analysis was performed for circulatory system diseases and malignant neoplasms (**Table 5**). No differences in the mortality risk were observed between the lower and higher dose groups; for most of them, the risk was higher in the lower radiation dose group, with an exception for hypertensive disease, where the risk of death was significantly higher in the group with exposure higher than 100 mSv dose compared to the general population. 478 malignant neoplasm death cases were detected (223 cases <100mSv and 135 cases >100 mSv), and the SMR results were statistically insignificant.

Table 5. The observed number of selected causes of death and standardized mortality ratios in the Lithuanian cohort of Chernobyl clean-up workers by external radiation dose, 2001–2020

Documented dose (mSv)	OBS	EXP	SMR	95% CI	
I00–I99 Circulatory system					
<100.0	318	265.53	1.20	1.07	1.34
≥100.0	252	236.80	1.06	0.94	1.20
Unknown	174	177.91	0.98	0.84	1.13
I10–I15 Hypertensive diseases					
<100.0	15	10.73	1.40	0.84	2.32
≥100.0	16	9.55	1.68	1.03	2.74
Unknown	6	6.74	0.89	0.40	1.98
I20–I25 Ischaemic heart disease					
<100.0	196	161.33	1.21	1.06	1.40
≥100.0	150	143.07	1.05	0.89	1.23
Unknown	118	108.98	1.08	0.90	1.30
I21 Acute myocardial infarction					
<100.0	27	21.36	1.26	0.87	1.84
≥100.0	17	18.93	0.90	0.56	1.44
Unknown	23	13.81	1.67	1.11	2.51
I60–I69 Cerebrovascular diseases					
<100.0	51	31.17	1.64	1.24	2.15
≥100.0	40	27.58	1.45	1.06	1.98
Unknown	27	22.30	1.21	0.83	1.77
C00–97 Malignant neoplasms					
<100.0	223	164.62	1.35	1.19	1.54
≥100.0	135	144.24	0.94	0.79	1.11
Unknown	120	105.36	1.14	0.95	1.36

Thyroid cancer incidence trends in Lithuanian population exposed to Chernobyl fallout early in life

Dosimetry

Estimated average thyroid doses due to ^{131}I intake of the Lithuanian inhabitants in all municipalities showed a large variation and were dependent on the age and the region of residence. Variation of thyroid doses due to age is caused by different dose coefficients, which are typical for various age groups because of differences in the thyroid weight. However, thyroid dose variation among the municipalities was caused by varying levels of ^{131}I in fallouts.

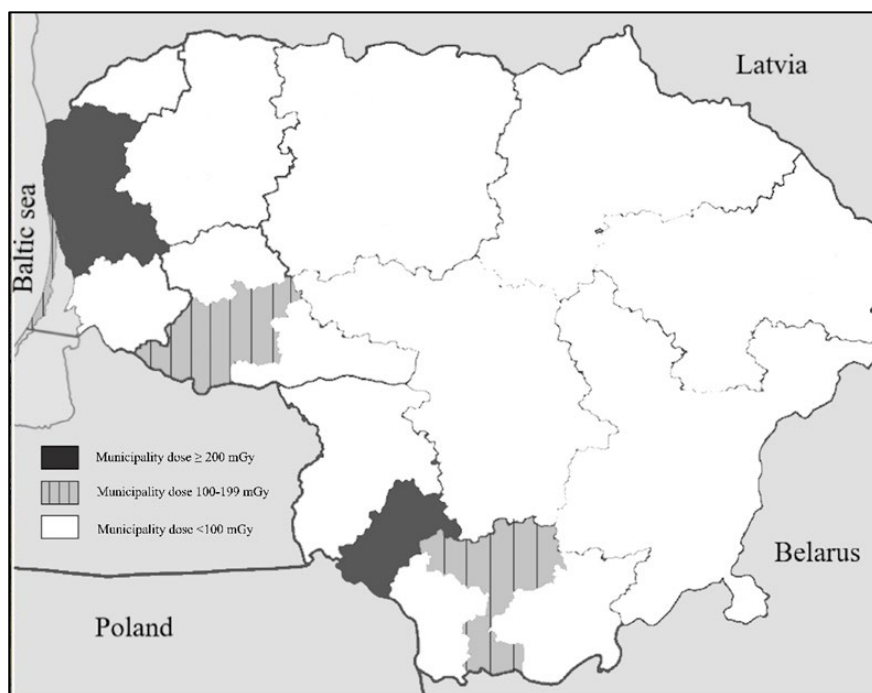


Figure 2. Lithuanian municipalities, according to the average municipality-specific thyroid doses due to ^{131}I intake at the age of 0 at the time of the Chernobyl accident.

The average age-dependent thyroid doses (mGy) varied by dose in terms of municipality and were notably higher for the youngest children (0–2 years of age), approximately 15 times more than for other age groups. Depending on the municipality contamination level, the thyroid dose estimates for 0-year-old babies ranged from 270 mGy in Western Lithuania to 1.5 mGy in Central and Northern Lithuania.

Table 6. Estimated average age-dependent thyroid doses (mGy) by dose region (averaged over the municipalities assigned to the considered region with low/medium/high dose ranges estimated for 0-year-old children)

Thyroid dose range category (region)	Age at the time of the accident (years)											
	0	1	2	3	4	5	7	9	10	12	15	18 (adult)
<100 mGy	15.4	14.9	14.6	12.8	11.2	9.4	7.5	5.7	4.8	4.1	3.1	2.1
100 -199 mGy	150.6	146.5	142.8	125.8	109.5	92.4	73.9	55.9	46.7	40.2	30.6	20.7
≥200 mGy	225.6	219.4	213.9	188.5	164.0	138.5	110.8	83.8	69.9	60.2	45.8	31.0

Incidence rate

Over the study period (1991–2015), a total of 81.2 million person-years of observation and 5,664 cases of thyroid cancer (874 among males and 4,790 among females) were registered in the entire Lithuanian population. Thyroid cancer incidence rates were considerably higher among females compared to males, with a ratio of 5:1. Among these, 817 cases were diagnosed in the age group from 0 to 19 years at the time of the Chernobyl accident, and 266 cases in the age group from 0 to 9 years (21.4 and 10.2 million person-years, respectively).

In Lithuania, age-standardized thyroid cancer incidence rates have notably increased since 2000 and reached a peak in 2009, particularly in females, then slightly decreased and stabilized (**Figure 3**).

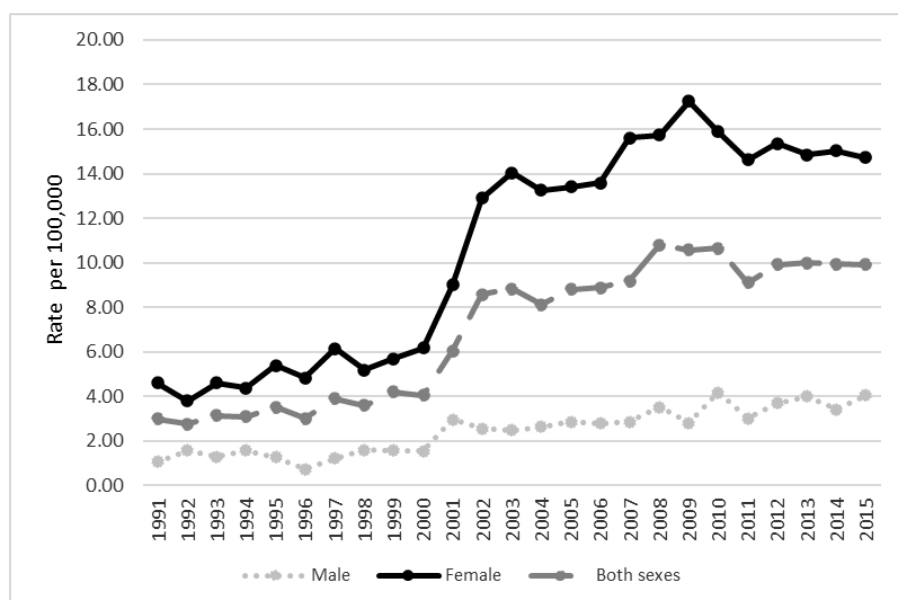


Figure 3. Age-standardised thyroid cancer incidence rates in the whole of Lithuanian population, by sex, 1991–2015

Similarly to the entire population, the thyroid cancer incidence rates also started rising after 2000 in the age group of 0–19 years at the time of the accident and increased among both sexes, from 0.05 in 1991 to 2.52 in 2015 (**Figure 4**).

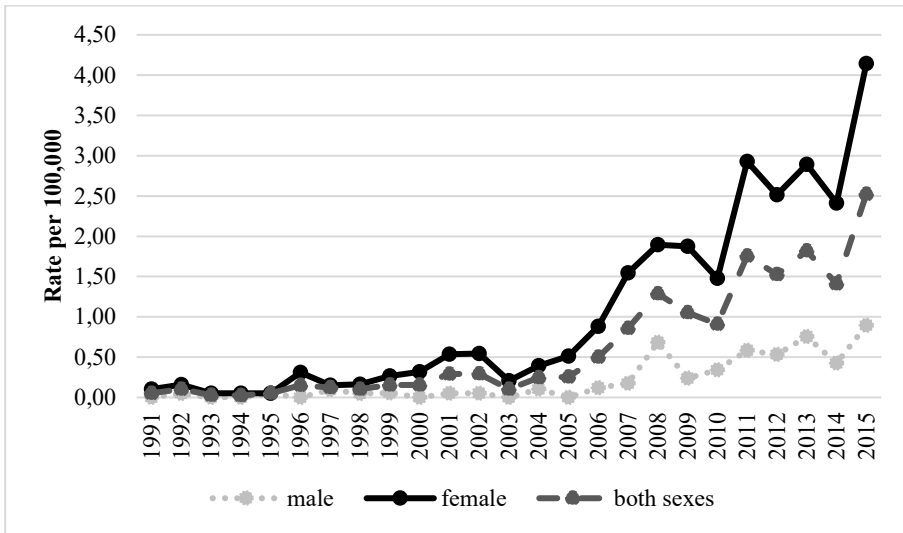


Figure 4. Age-standardised thyroid cancer incidence rates in the age group 0–19 years at the time of the Chernobyl accident in the whole of Lithuania, by sex, 1991–2015

Analysis of the age-standardised thyroid cancer incidence rates by a 5-year-period among those who were 0–19 at the time of the accident demonstrated similar trends in all three cumulative thyroid dose categories, except the slightly steeper increase observed after 2001 among residents of the most contaminated municipalities (**Figure 5**).

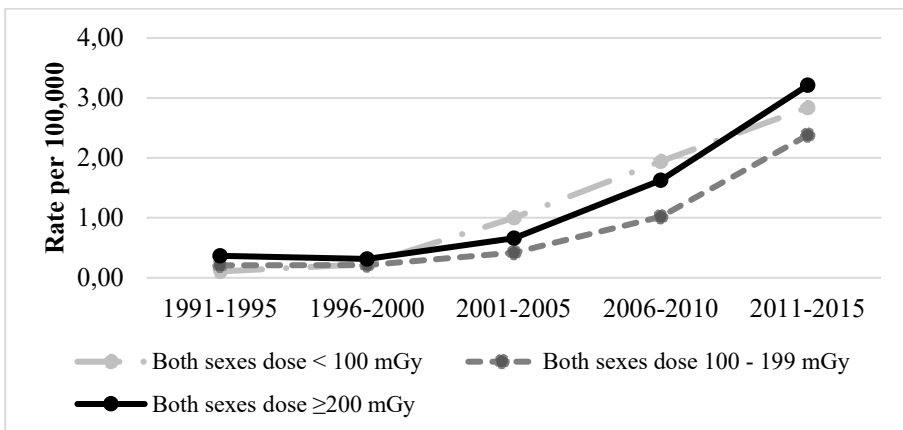


Figure 5. Age-standardised thyroid cancer incidence rates in the age group of 0–19 years at the time of the Chernobyl accident by cumulative thyroid dose category

We also found that thyroid cancer incidence increased over the study period in the youngest group at the time of the Chernobyl accident (0–9 years), particularly among females, i.e. from 0 in 1991 to 1.43 in 2015 (**Figure 6**).

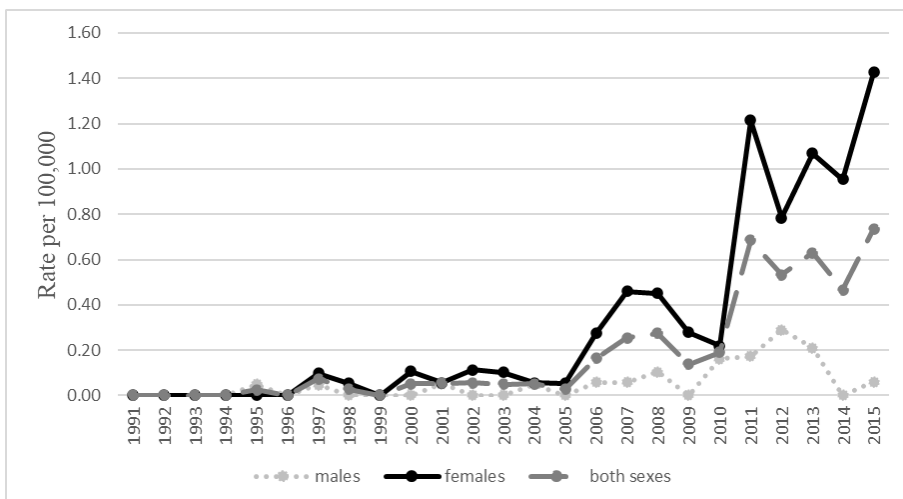


Figure 6. Age-standardised thyroid cancer incidence rates in the age group of 0–9 years at the time of the Chernobyl accident the whole of Lithuanian population, by sex, 1991–2015

Furthermore, in this age group, we compared the thyroid cancer incidence rates between the three cumulative thyroid dose categories (**Figure 7**). Although thyroid cancer incidence rates had an increased noticeably in the last two observation periods in all three dose categories, a higher increase was observed in the highest dose category in 2011–2015.

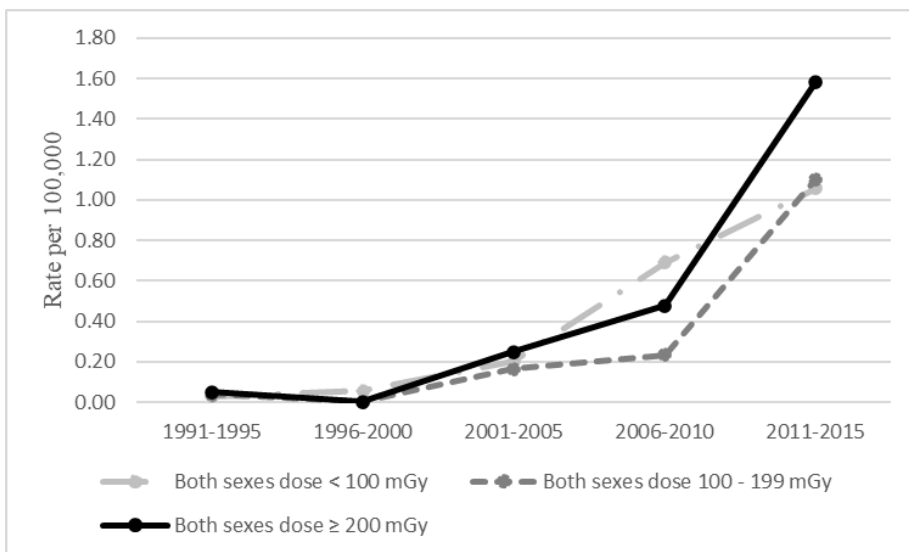


Figure 7. Age-standardised thyroid cancer incidence rates in the group of 0–9 years at the time of the Chernobyl accident by cumulative thyroid dose category

Relative risk analyses

In the age group of 0–19 years at the time of the Chernobyl accident, the thyroid cancer relative risk was significantly increased (RR 3.37; 95% CI: 1.19–8.45, $p=0.01$) in the highest cumulative dose category, compared to the lowest, in the earliest observation time period (1991–1995), although this observation was based on 7 cases only (**Table 7**). It remained increased in the following 5-year calendar period but then decreased, with almost no difference observed between the highest and the lowest dose categories in the 2011–2015 period.

In the youngest at the time of the Chernobyl accident age group (0–9 years of age), due to the small numbers of thyroid cancer cases observed in the higher dose categories, the evaluation was impossible in the earlier study periods, although some tendency of an increased RR in the highest dose category appeared in the most recent period of 2011–2015 (**Table 8**).

Table 7. Relative risk (RR) of thyroid cancer in the age group of 0–19 years at the time of the Chernobyl accident by 5-year calendar period and average cumulative municipality-specific dose category

Period	Dose category (mGy)	Number of cases	RR	95% CI	p-value
1991–1995	<100 mGy	18	1		
	100 -199 mGy	5	1.9	0.56-5.36	0.22
	≥200 mGy	7	3.37	1.19-8.45	0.01
1996–2000	<100 mGy	37	1		
	100 -199 mGy	5	0.8	0.28-2.30	0.87
	≥200 mGy	6	1.35	0.46-3.22	0.49
2001–2005	<100 mGy	145	1		
	100 -199 mGy	10	0.42	0.2-0.8	0.004
	≥200 mGy	13	0.66	0.35-1.18	0.15
2006–2010	<100 mGy	261	1		
	100 -199 mGy	22	0.52	0.32-0.80	0.001
	≥200 mGy	30	0.84	0.56-1.23	0.37
2011–2015	<100 mGy	328	1		
	100 -199 mGy	43	0.83	0.59-1.15	0.26
	≥200 mGy	50	1.13	0.82-1.52	0.43

Table 8. Relative risk (RR) of thyroid cancer in the age group of 0–9 years at the time of the Chernobyl accident by 5-year calendar period and average cumulative municipality-specific dose category

Period	Dose category (mGy)	Number of cases	RR	95% CI	p-value
1991–1995	<100 mGy	5	1		
	100 -199 mGy	1	1.34	0.03-11.96	0.74
	≥200 mGy	1	1.69	0.36-15.12	0.61
1996–2000	<100 mGy	9	1		
	100 -199 mGy	0			
	≥200 mGy	0			
2001–2005	<100 mGy	30	1		
	100 -199 mGy	4	0.82	0.21-2.32	0.75
	≥200 mGy	5	1.24	0.38-3.23	0.63
2006–2010	<100 mGy	94	1		
	100 -199 mGy	5	0.33	0.10-0.8	0.005
	≥200 mGy	9	0.7	0.31-1.39	0.31
2011–2015	<100 mGy	116	1		
	100 -199 mGy	19	1.04	0.61-1.71	0.83
	≥200 mGy	24	1.51	0.93-2.36	0.07

DISCUSSION

This study determined the incidence of malignant neoplasms in a cohort of the Chernobyl NPP accident cleanup workers up to 2012. The overall incidence of malignant neoplasms in all localisations in the Lithuanian cleanup workers cohort is similar to that in the Lithuanian male population. The overall incidence of malignant neoplasms in all localisations found in the study correlates with that of the Latvian and Estonian cohort of more than 10,000 cleanup workers in the study period from 1986 to 1998 [2, 34]. The results of this study were broadly in line with the malignant tumour incidence results of the Baltic cohort of the Chernobyl NPP accident cleanup workers [2]. Many studies have shown that ionizing radiation is a carcinogenic factor, especially in those exposed to higher levels of radiation, and that the risk of malignant tumours persists throughout life [1, 12, 71, 104].

Many studies analyzing risk assessment of lymphoid and hematopoietic malignancies among those exposed to ionizing radiation have shown an increased risk of leukaemia and Hodgkin's lymphoma. Still, our study did not confirm this trend. Compared with the incidence of lymphoid and hematopoietic malignancies in the general Lithuanian male population, a higher incidence of Hodgkin's lymphoma was observed in the cohort of the Chernobyl NPP accident cleanup workers, but this was not statistically significant.

Unlike the Russian and Ukrainian Chernobyl NPP accident cleanup workers, who had a significantly higher incidences of leukaemia and myeloma [25, 29, 37, 38, 39, 40], this was not confirmed in the Baltic cohort of Chernobyl NPP accident cleanup workers [2]. However, our results show a trend towards a higher incidence of leukaemia in the younger cleanup workers group who arrived in the Chernobyl area in 1986 and were exposed to higher doses (more than 100 mSv).

The assessment of the incidence of solid tumours among those exposed to ionising radiation after the nuclear accident showed a significantly higher risk of thyroid cancer. The results of this study corroborate the results of the previously published Baltic cohort study (1986–1998) and the updated results of this cohort (1986–2007) [34, 36]. In our study, a statistically significant risk of thyroid cancer was found in younger clean-up workers group who were exposed to more than 100 mSv and spent less than 90 days in the Chernobyl NPP accident area. It is difficult to determine the threshold dose for the incidence of thyroid cancer and the threshold dose because the clean-up workers were exposed to both external and additional internal ¹³¹I. Still, the

increased relative risk of thyroid cancer at 100 mGy is 0.38 (95% CI = 0.10–1.09) [132].

It is important to note that the increase in the thyroid cancer incidence after nuclear accidents is also due to overdiagnosis or active screening, which is supported by the results of many studies by investigators from different countries and is consistent with the *screening effect* described by C.A. Stiller et al. [133, 134]. In the Lithuanian cohort, overdiagnosis of asymptomatic disease has been avoided as no additional diagnostic tools have been applied since 2000.

The risk of brain cancer found in this study, especially in younger clean-up workers and those exposed to more than 100 mSv, is broadly in line with the results in the Estonian and Latvian cleanup workers cohort [2, 32, 34]. It is important to note that our study only identified malignant brain tumours and did not analyze the incidence of non-malignant brain tumours. Other studies have reported a higher incidence of non-malignant brain tumours in patients exposed to external exposure due to nuclear contamination. For example, a statistically significant increase in the incidence of schwannoma was found in survivors of an atomic bomb explosion. Also, there was an increased incidence of meningiomas, gliomas and pituitary tumours. The excess risk of nervous system tumours other than schwannoma was higher in men than in women and in those who were exposed in childhood [135, 136].

Similar incidence rates of oropharyngeal malignancies were found in the Lithuanian, Baltic, and Russian cohorts. Smoking and alcohol are the main risk factors for the development of these diseases [137]. Higher risks of oesophageal, laryngeal, liver, bladder and pancreatic malignancies were also found to be associated with smoking and alcohol consumption.

In this study, covering 20 years, the risk of death among Lithuanian Chernobyl NPP accident clean-up workers who worked in the accident area between 1986 and 1990 was analyzed. The study results showed that the risk of mortality in the study group is statistically significantly higher than in the general Lithuanian population. The highest risk of death was due to oncological, circulatory, tuberculosis and cerebrovascular diseases. In the group of circulatory system diseases, the risk of death was higher among those with hypertensive disease, and, in the group of tuberculosis, among those with miliary tuberculosis. The results of this study were broadly consistent with other epidemiological studies conducted by different authors analysing the consequences of nuclear accidents [138, 139, 140, 141]. The causes and rates of mortality among Lithuanian clean-up workers identified in this study were similar to those of the Chernobyl clean-up workers in other countries [25, 30, 35, 41, 43, 47]. It should be noted that the risk of mortality after exposure

varies depending on the type of radioactive material and its radiation (alpha, beta particles, gamma, X-rays and electromagnetic radiation or neutrons), the route of exposure (external or internal), the dose, the dose rate, the linear energy transfer, and the duration of exposure [4, 5, 6, 12, 17, 136]. Radioactive materials released in nuclear accidents have different exposure pathways, and this results in differences in the causes of mortality in different groups of subjects [4, 5, 6, 12]. Following the Chernobyl accident, people were exposed to internal beta particles, which are more trophic for the thyroid gland, and to external gamma electromagnetic waves. The Fukushima Daiichi accident resulted in exposure to beta particles selectively affecting the thyroid gland. Nuclear industry workers are exposed to low-dose external gamma electromagnetic and beta particle radiation. In the event of accidents, tests and explosions in the nuclear weapons industry, the main effects on the body are due to internal exposure to alpha-particles, which cause diseases of the lungs, bones, haematopoietic organs and gastrointestinal tract, and less to external gamma electromagnetic radiation. In analyses of morbidity and mortality due to ionising radiation, exposure doses are usually presented in terms of effective or absorbed doses due to different exposure routes [4, 5, 6, 12, 17, 136].

The increased risk of mortality due to malignant tumours occurs 10–15 years after exposure. Many other studies have shown that the increase in mortality due to radiation exposure is most often associated with the following oncologic diseases: haemato-oncology, lung, liver, and stomach. Many studies have shown that, in the group of lymphoid and haematopoietic malignancies, the highest risk of mortality is in the case of leukaemia (except chronic lymphocytic leukaemia). A higher incidence of multiple myeloma was observed in the Ukrainian group of liquidators, but no higher mortality risk was observed for this disease [40]. The results of this study did not support an association between a radiation dose and an increased risk of cancer mortality. However, other investigators have found a statistically significant increase in the risk of oncological mortality with increasing the dose of radiation [31, 41, 47].

Most studies in other countries have found a higher risk of mortality among clean-up workers with circulatory and cerebrovascular disease [25, 42, 139, 140]. The results obtained are consistent with those of the present study. Many studies have found an association between a radiation dose and a dose rate and an increased risk of circulatory and cerebrovascular disease mortality. Still, this study found that a higher radiation dose resulted in higher mortality, except for hypertensive disease. It should be noted that several risk factors increase the risk of mortality due to circulatory and cerebrovascular diseases.

The analysis of mortality in the group of Lithuanian clean-up workers cohort showed an increased risk of mortality due to tuberculosis, with mortality due to miliary tuberculosis standing out. The increased mortality risk found in this study may be unique, and the increased mortality risk due to tuberculosis is not distinguishable in the researcher's results in other countries. Repeated exposure to the causative agent and impaired host response (immunosuppression) are known to be the main risk factors for the development of miliary tuberculosis, especially in older age and in patients with diabetes mellitus [14]. The changes in the immune response are consistent with the immune impairment described by N. Kurjane et al. in the Latvian Chernobyl NPP accident cleanup workers group, even more than ten years after the accident [143].

In all Chernobyl groups, exposure was measured unequally, by deliberately misleading both the clean-up workers and the public, leading to mistrust, excessive anxiety, and long-term psychological consequences. The increase in deaths from external causes was detected in the first few years after the accident.

From 2001 to 2020, no increased risk of mortality from either suicide or alcohol-related diseases has been observed in the Lithuanian cohort. It should be noted that Lithuania is the leading country in terms of suicide rate per 100 000 inhabitants, not only in Europe but also in the world [144, 145].

Considering the mortality and morbidity results of our study, Chernobyl clean-up workers are consistent with the results of low LET external low-dose and low-dose-rate IR investigation results.

Our study has found that children with thyroid exposures greater than 100 mGy were more likely to develop thyroid cancer during their lifetime. The results of this study are broadly consistent with the findings of other investigators that the risk of thyroid cancer is highest in children exposed to more than 100 mGy [130]. The selection of the risk group of children in this study linked to the measured peak exposure is in line with the SHAMISEN (Nuclear Emergency Situations – Improvement of Medical and Health Surveillance) project, in which a team of 50 experts from 10 countries has conducted in-depth studies on the population affected by the Chernobyl and Fukushima disasters to determine the impact on human health and to provide evidence-based recommendations to improve the health status of the victims, which take into account not only radiation protection and physical health, but also mental health. The SHAMISEN guidelines suggest that, in the event of a nuclear accident, screening should be limited to high-risk groups, such as children and adolescents, with an absorbed dose to the thyroid gland of more than 100 mGy-500 mGy [130].

It is important to note that an increase in the number of thyroid cancers detected in children and adolescents under 19 years of age was observed between 1998–2002 and 2008–2012. This is attributed to the proliferation of ultrasound machines in medical institutions and the increased use of MRI and fine-needle biopsy examinations due to public concern about the consequences of nuclear accidents [146, 147]. Our study period coincides with a global trend of increasing thyroid cancer incidence, which is commonly associated with an increased diagnostic activity and advances in diagnostic tools [146, 147]. Still, according to C.R. Smittenaar et al., identifying the risk factors underlying the increase in the incidence of this disease is essential [148]. The increased risk of thyroid cancer (as a long-term consequence) found in this study in children and adolescents with thyroid exposures measured above 100 mGy is more likely to be attributable to the contamination from the Chernobyl accident. In Lithuania, unlike Belarus, Ukraine, or Russia, no active thyroid screening has been applied to persons under 19 years of age after the Chernobyl NPP accident, thus avoiding the *screening effect*.

This study analysed the association between radiation exposure from the Chernobyl NPP accident and the risk of thyroid cancer in children and adolescents without taking into account additional risk factors. An increased risk of thyroid cancer has been observed in children in Belarus and Ukraine. It may have been further increased by iodine deficiency in children exposed to ^{131}I from the nuclear accident [91]. According to epidemiological studies, Lithuania was then classified as a region of mild to moderate iodine deficiency [149].

The relative risk of thyroid cancer found in this study was statistically significantly increased in the group of inhabitants living in the most contaminated districts, reaching 3.37 (95% CI = 1.19–8.45, $p = 0.01$) in the period of 1991–1995, and it is worth noting that 7 cases of thyroid cancer were diagnosed in this group. This result confirms the latency of the disease 5 years after exposure to the Chernobyl NPP accident [83, 90]. In our study, in contrast to the work of other Lithuanian researchers [150], the risk of thyroid cancer was analysed in the same group of people (those who were younger than 20 years of age at the time of the Chernobyl NPP accident) for the period from 1991 to 2015. It was found that the latency period for thyroid cancer in young people exposed to ionising radiation (from a nuclear accident, for treatment, or for diagnostic purposes) is 5–10 years, and the risk of thyroid cancer persists for life [18, 89].

To determine the risk of cancer after the Chernobyl accident, mean doses of radioactive ^{131}I , ^{134}Cs and ^{137}Cs contamination have been estimated in 40 European countries [132]. To estimate the risk of thyroid cancer due to the

Chernobyl fallout in Lithuania, we were able to use measured thyroid doses in children under 4 years of age and relate them to incidence rates in different contamination areas. In the present study, the estimated doses to the thyroid gland of children in other regions of Lithuania by using the LIETDOS retrospective dosimetry model are more detailed and comprehensive and differ from those reported previously in the literature [127]. The results of the multicentre analysis [74] show that Lithuania is in the same group as the Western part of Belarus (Grodno and Minsk oblasts), Bosnia and Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Greece, Moldova, Romania, the Russian Federation, Bulgaria, Greece, Moldova, Slovakia, Slovenia and most of Ukraine (excluding the most contaminated areas). For Lithuania, the estimated attributable fractions of exposure to ionising radiation to predict the incidence of thyroid cancer were around 1.26% by 2065 for all age groups, and up to 2.14% of the exposure at the time of the accident for those under 15 years of age.

CONCLUSIONS

1. The overall incidence of malignant neoplasms in the group of clean-up workers was not higher than in the Lithuanian male population.
2. An increase in the incidence of thyroid, brain malignancies, and leukaemia (excluding chronic lymphocytic leukaemia) was found in those exposed to an average effective dose above 100 mSv. A higher risk of thyroid cancer was found in younger clean-up workers and in those who spent less than 90 days in the area of contamination after the Chernobyl NPP accident.
3. The mortality rate in the group of survivors was similar to that in the general population of Lithuanian men. There was an increase in mortality due to oncological, circulatory system, cerebrovascular diseases and tuberculosis.
4. Lithuanian clean-up workers with higher exposure, >100 mSv, had a higher risk of mortality from hypertensive diseases.
5. Reconstruction of individual and collective, region-specific thyroid radiation doses of Lithuanian children and adolescents during the Chernobyl accident using measurements of radionuclide activity in milk, grass, and other samples that were taken shortly after the accident has identified different contamination areas of Lithuania.
6. In the most contaminated areas of Lithuania, children and adolescents had a higher risk of thyroid cancer, and the differences in the relative risk of thyroid cancer between the different contaminated areas were statistically significant in the age group of 0–19 years.

PUBLICATIONS

Research articles directly related to the scope of the doctoral dissertation published in journals with a citation index (IF) in the Clarivate Analytics Web of Science platform:

1. Smailyte, G., Kaceniene, A., Steponaviciene, R., & Kesminiene, A. (2021). Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers: Cancer incidence follow-up 1986-2012. *Cancer epidemiology*, 74, 102015. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2021.102015>
2. Steponaviciene, R., Maceika, E., Kesminiene, A., & Smailyte, G. (2024). Recent insights into trends of thyroid cancer incidence in Lithuanian population exposed to Chernobyl fallout early in life. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283, 116789. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116789>
3. Steponaviciene, R., Kesminiene, A., Kaceniene, A., & Smailyte, G. (2025). *Lithuanian Cohort of Chernobyl Clean-up Workers: Mortality Follow-up (2001-2020)*. Manuscript is under revision.

Scientific presentations on the theme of the dissertation:

- Presentation: 3rd Baltic Congress of Paediatric Radiology. October 5-7. 2023 Vilnius. “Ionising radiation and thyroid cancer in children“, Rita Steponavičienė.
- Presentation: 7th Global Virtual Conference on Pediatrics and Neonatology (Pediatrics Network 2024). December 09-10, 2024 (US Eastern Time). Day 2 December 10, 2024 09:00 - 09:20 Title: Ionising radiation in early life and thyroid cancer, what do we know? Rita Steponaviciene, National Cancer Institute, Lithuania.

CURRICULUM VITAE

Institution	External Beam Radiation Therapy Department National Cancer Institute, Santariškių 1, Vilnius LT-08406, Lithuania
Phone	37065215045
Email	rita.steponaviciene@nvc.santa.lt

EDUCATION

2008	Graduated from radiotherapy residency with Cum Laude.
2004-2008	Oncological radiotherapy residency Medical Faculty, Vilnius University, Lithuania
2000-2001	Initial residency Medical Faculty, Vilnius University, Lithuania
1994-2000	Diploma Studies, Physician Medical Faculty, Vilnius University, Lithuania

PROFESSIONAL EXPERIENCE

Date	Institution	Position
2023.01.09 Till now	Vilnius University Hospital Santaros Klinikos	Haematology, oncology and transfusion center. Radiation oncologist
2021.01.26 till now	Vilniaus kolegija higher education institution	Lecturer
2022.12.19 till now	National Cancer Institute	Radiation oncologist, Thoracic Oncology Department
2014 - till now	National Cancer Institute	Radiation oncologist, External Beam Radiation Therapy Department
2015 - till now	National Cancer Institute	Radiation oncologist, Outpatient Department
2008-2014	Vilnius University Institute of Oncology	Radiation oncologist

PUBLIKACIJOS IR PRANEŠIMAI

Straipsniai disertacijos tema leidiniuose, turinčiuose cituojamumo rodiklį (Impact Factor) Clarivate Analytics Web of Science (CA WoS) duomenų bazėje:

1. Smailyte, G., Kaceniene, A., Steponaviciene, R., & Kesminiene, A. (2021). Lithuanian cohort of Chernobyl cleanup workers: Cancer incidence follow-up 1986-2012. *Cancer epidemiology*, 74, 102015. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2021.102015>
2. Steponaviciene, R., Maceika, E., Kesminiene, A., & Smailyte, G. (2024). Recent insights into trends of thyroid cancer incidence in Lithuanian population exposed to Chernobyl fallout early in life. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283, 116789. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116789>
3. Steponaviciene, R., Kesminiene, A., Kaceniene, A., & Smailyte, G. (2025). *Lithuanian Cohort of Chernobyl Clean-up Workers: Mortality Follow-up (2001-2020)*. Rankraštis pateiktas pakartotinei peržiūrai po korekcijų.

Kitos publikacijos mokslo leidiniuose:

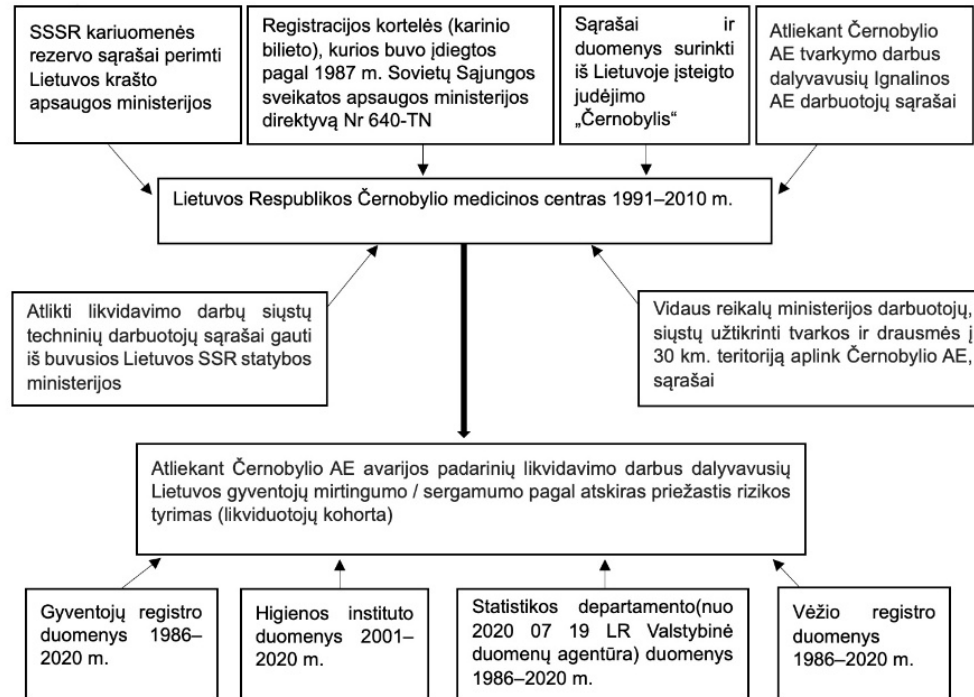
1. Steponavičienė, R., & Smailytė, G. (2021). Jonizuojančiuoju spinduliuotė ir vaikų skydliaukės vėžys. *Visuomenės sveikata*, 2(93), 16–23.

Pranešimai mokslinėse konferencijose:

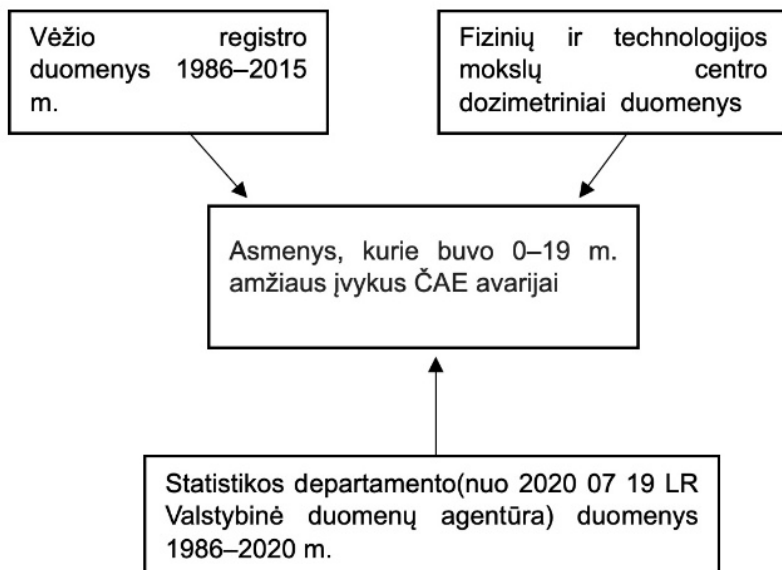
- Pranešimas: 3rd Baltic Congress of Paediatric Radiology. 2023m. Spalio 5-7d. Vilnius. “Ionising radiation and thyroid cancer in children“, Rita Steponavičienė.
- Pranešimas: 7th Global Virtual Conference on Pediatrics and Neonatology (Pediatrics Network 2024). December 09-10, 2024 (US Eastern Time). Day 2 December 10, 2024 09:00 - 09:20 Title: Ionising radiation in early life and thyroid cancer, what do we know? Rita Steponaviciene, National Cancer Institute, Lithuania.

PRIEDAI

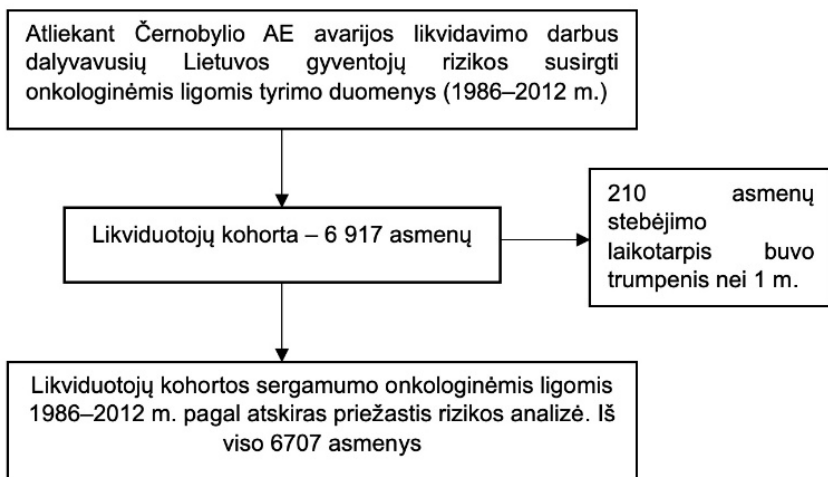
1 priedas. Duomenų šaltiniai, tiriant ČAE padarinių likviduotojų grupę



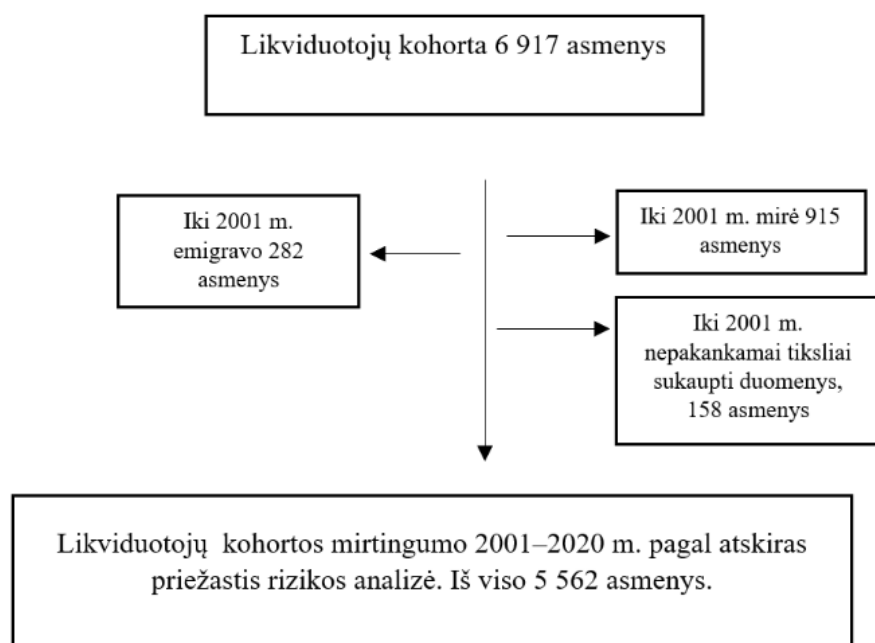
2 priedas. Duomenų šaltiniai, tiriant asmenis, kurie buvo 0–19 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai



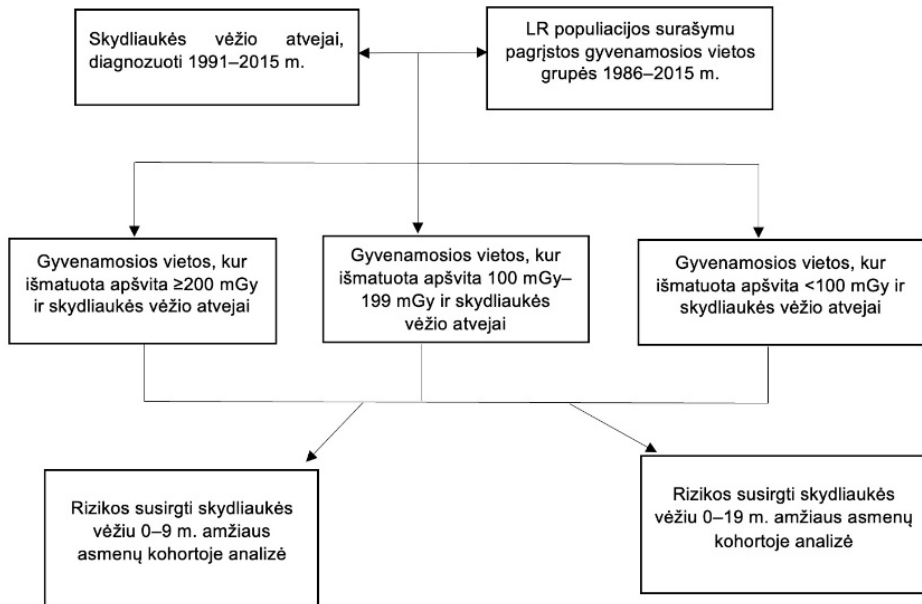
3 priedas. Tiriamosios grupės sergamumui analizuoti sudarymo schema



4 priedas. Tiriamosios grupės mirtingumui analizuoti sudarymo schema



5 priedas. Tiriamosios grupės, skirtos tirti asmenims, kurie buvo 0–19 m. amžiaus įvykus ČAE avarijai, sudarymo schema



PADEKA

Didžiausią padėką reiškiu savo mokslinei konsultantei doc. dr. Giedrei Smailytei už visokeriopą pagalbą, vertingus patarimus, kantrybę, palaikymą, mokslines publikacijas ir rūpestingą vadovavimą.

Dėkoju dr. Aušrelei Kesminienei už vertingus patarimus, mokslines diskusijas, perduotą patirtį, įžvalgas, idėjas ir pagalbą rengiant mokslines publikacijas.

Širdingai ačiū dr. Evaldai Maceikai už neįkainojamą pagalbą rekonstruojant apšvitos dozes, mokslines diskusijas, patarimus, pasiūlymus ir pagalbą rengiant mokslines publikacijas.

Esu labai dėkinga Visuomenės sveikatos katedros vadovui prof. dr. Rimantui Stukui už nuoširdų indėlį ir patarimus disertacijos rengimo procese.

Dėkoju disertacijos recenzentams prof. dr. Nomedai Valevičienei, doc. dr. Birutei Gricienei ir doc. dr. Donatui Ausčiui už vertingas pastabas padėjusias pagerinti šios disertacijos kokybę ir mokslinę vertę.

Dėkoju Nacionalinio Vėžio Centro Radiacinės medicinos centro vadovui dr. Jonui Veniui ir visiems skyriaus gydytojams už suteiktą galimybę derinti doktorantūros rengimą eksternu su darbu spindulinės terapijos skyriuje ir palaikymą.

Dėkoju Nacionalinio Vėžio instituto epidemiologijos laboratorijos mokslinei darbuotojai Augustei Kačėniene už suteiktą metodinę paramą, įžvalgas ir patarimus.

Atskirai noriu padėkoti savo šeimai ir artimiesiems už kantrybę, meilę ir palaikymą.

THANK YOU

I would like to take a moment to express my heartfelt gratitude to my scientific advisor, Assoc. Prof. Dr. Giedrė Smailytė. Her support, guidance, and encouragement have meant so much to me throughout this journey.

I am also thankful to Dr. Aušrelė Kesminienė for her helpful advice and insightful discussions, which greatly contributed to my research and the writing of my scientific papers.

A special thank you goes to Dr. Evaldas Maceika, who provided invaluable assistance in understanding complex research data. His suggestions and support were crucial in shaping my work.

I am deeply appreciative of Prof. Dr. Rimantas Stukas, the Head of the Department of Public Health, for his thoughtful guidance during my dissertation process.

I would like to acknowledge the reviewers of my dissertation - Prof. Dr. Nomeda Valevičienė, Assoc. Prof. Dr. Birutė Gricienė, and Assoc. Prof. Dr. Donatas Austys. Their constructive feedback helped me enhance the quality and impact of my work.

I am grateful to Dr. Jonas Venius, Head of the Radiation Medicine Centre at the National Cancer Centre, and the dedicated doctors in his department for allowing me to integrate my doctoral thesis writing with my work in the Radiation Therapy Department. Their support has been invaluable.

I would also like to thank Augustė Kačėnienė, a researcher at the Epidemiology Laboratory of the National Cancer Institute, for her expert advice and insights that helped guide my research.

Lastly, my deepest appreciation goes to my family and relatives for their unwavering love, patience, and encouragement throughout this process. Thank you for being my biggest supporters.

UŽRAŠAMS

Vilniaus universiteto leidykla
Saulėtekio al. 9, III rūmai, LT-10222 Vilnius
El. p. info@leidykla.vu.lt, www.leidykla.vu.lt
bookshop.vu.lt, journals.vu.lt
Tiražas 14 egz.