

e-ISSN: 2345-0592 Online issue Indexed in <i>Index Copernicus</i>	Medical Sciences Official website: www.medicosciences.com	
--	--	---

Lens in the context of low-to-medium doses of Ionizing radiation: both sacrifice and life-saver

Emilija Narvydaitė¹, Rasa Strupaitė-Šileikienė²

¹*Vilnius University, Faculty of Medicine, Vilnius, Lithuania*

²*Vilnius University Hospital Santaros Klinikos, Center of Eye Diseases, Vilnius, Lithuania*

Abstract

Background and aim: increased exposure to small doses of radiation concerns scientists. The lens is one of the most radiation-sensitive structures, reacting to even small doses of radiation. The aim of this work is to examine the damage to the lens by low-to-medium doses of ionizing radiation (IR), discuss the common sources of radiation, propose rational methods of reducing them, and present it as a potential indicator of radiation risk.

Materials and methods: overviewing 50 literature sources (2011-2023) in English on PubMed excluding articles on high-dose radiation and therapeutic procedures involving such doses.

Results: lens proteins are highly susceptible to mutations and damage, affecting the development of cataracts. Low-dose prolonged exposure to IR could cause the development of posterior subcapsular, cortical cataracts. Appropriately using radiation protection measures may reduce the incidence of cataract development. However, the lens may be useful for suspecting the effects of low-to-medium doses of IR on diagnostically difficult-to-access organs, their systems.

Conclusions: low-to-medium doses of IR will be more relevant. The adverse effects of low doses cannot be noticed immediately. The lens is extremely sensitive to even low doses of IR and is distinguished from other affected organs by its accessibility. The importance of radiation should be emphasized in the process of cataractogenesis; the idea of the lens as a life-saver-indicator could be applied in developing new radiation safety strategies.

Keywords: low-dose radiation, ionizing radiation, crystalline lens, cataract, radiation protection, radiation monitoring

Lęšiukas mažų ir vidutinių jonizuojančios radiacijos dozių fone: ir auka, ir gelbėtojas

Emilija Narvydaitė¹, Rasa Strupaitė-Šileikienė

¹Vilniaus universiteto Medicinos fakultetas, Vilnius, Lietuva

²Vilniaus universiteto ligoninė Santaros klinikos, Akių ligų centras, Vilnius, Lietuva

Santrauka

Įvadas ir tikslas: vis dažniau susiduriame su nedidelėmis radiacijos dozėmis, tad vis daugiau mokslininkų yra susirūpinę jų poveikiu žmogaus organizmui. Akies lęšiukas yra viena iš jautriausių organizmo struktūrų, reaguojanti net į mažas radiacijos dozes. Darbo tikslas yra apžvelgiant prieinamą mokslinę literatūrą, panagrinėti mažų ir vidutinių dozių jonizuojančiosios spinduliuotės (JS) žalą akies lęšiukui, aptarti vis dažniau sutinkamus radiacijos šaltinius, pasiūlyti racionalius jų mažinimo būdus ir pristatyti jį kaip galimą radiacinio pavojaus indikatorius.

Metodika: atlikta mokslinės literatūros ir straipsnių paieška duomenų bazėje PubMed. Buvo atrinkti ir apžvelgti 50 literatūros šaltinių anglų kalba. Pasirinkti šaltiniai apima 2011-2023 metų laikotarpį. Nebuvo įtraukti straipsniai, susiję su didelių dozių radiacija ir gydomosiomis procedūromis, kurių metu naudojamos didelės radiacijos dozės.

Rezultatai: lęšiuko baltymai yra labai jautrūs mutacijoms ir pažeidimams, kas daro įtaką kataraktos vystymuisi. Mažų dozių ilgai eksponuojama jonizuojanti radiacija yra rizikos veiksnys užpakalinės subkapsulinės ir žievinės kataraktos vystymuisi. Tinkamas apsaugos priemonių nuo radiacijos taikymas gali sumažinti kataraktos vystymosi paplitimą ateityje. Lęšiukas gali būti naudingas įtariant mažų bei vidutinių dozių JS poveikį diagnostškai sunkiau prieinamiems organams ir jų sistemoms.

Išvados: ateityje mažų ir vidutinių dozių JS aktualumas ateityje tik didės. Neigiamą nedidelių dozių poveikį iškart pamatyti sudėtinga. Lęšiukas yra itin jautrus net ir mažų dozių jonizuojančiai radiacijai ir išsiskiria iš kitų paveikių organų savo prieinamu. Reikėtų atkreipti ypatingą dėmesį į radiacijos svarbą kataraktogenezės procese bei iškelti lęšiuko kaip organizmo gelbėtojo-indikatoriaus idėją, kuri galėtų būti pritaikoma kuriant naujas radiacinės saugos strategijas.

Raktažodžiai: mažų dozių radiacija, jonizuojanti spinduliuotė, kristaliniis lęšis, katarakta, radiacinė sauga, radiacijos monitoringas.

1. Įvadas

Apie radiacijos sukeliama neigiamą poveikį žmonių sveikatai žinoma jau nuo 20 a., tačiau didžiausias dėmesys buvo skiriamas didelių dozių jonizuojančių spindulių (JS) sukeliama žalai [1]. Vis tik yra duomenų, kad net ir mažos, vidutinės radiacijos dozės kelia pavojų žmogaus organizmui [2]. Nedidelės radiacijos dozės yra susijusios su genetiniais ir epigenetiniais pokyčiais, įvairiais fiziologiniais sutrikimais [3], DNR ir chromosomų pažeidimais, ląstelių mirtimi bei ankstyvu audinių pažeidimu [4]. Sparčios technologijų pažangos fone, mažų dozių jonizuojanti spinduliuotė vis dažniau sutinkama kasdieniame gyvenime [5] bei plačiai naudojama medicinoje diagnostikos, gydymo tikslais [4]. Taip pat dėl vis didėjančio taikymo įvairiose medicinos specialybose daugėja JS paveiktų asmenų – pacientų, medicinos specialistų skaičius [6]. Reikia įvertinti ir tai, kad su nedidelių dozių JS yra susiduriama kur kas dažniau nei su atsitiktinėmis didelėmis radiacijos dozėmis [1, 2]. Todėl JS biologinis poveikis dabar aktualus ne tik kaip praeityje įvykusių atominių nelaimių padarinys [6]. Apskaičiuota, kad kiekvienas žmogus šiais laikais kasmet gauna apie 3 mSv vien kasdienės aplinkos sukurtos foninės spinduliuotės [7].

Šiomis dienomis vis daugiau mokslininkų yra susirūpinę nedidelių radiacijos dozių poveikiu žmogaus organizmui [1]. Studijos su radiacijos poveikiu žmogaus organizmui yra limituotos ir jų dar nėra pakankamai [8], tad svarbu plėsti žinias šiuo klausimu, nes mažų bei vidutinių dozių radiacijos poveikis yra aktualus kiekvienam 21 a. žmogui. Kadangi mažų dozių radiacija yra pavojinga įvairiems žmogaus organams, svarbu nuolatos ieškoti naujų sugertos radiacijos diagnostikos būdų ir užkirsti kelią didesniems lėtiniais pažeidimams. Dėl

gero prieinamumo, išvystytos diagnostikos ir didelio jautrumo radiacijai ypač aktualu tyrinėti mažų ir vidutinių dozių radiacijos poveikį akies struktūroms [6]. Jau seniai žinoma, kad akies lęšiukas yra itin jautrus radiacijai [9] ir yra viena iš jautriausių radiacijai organizmo struktūrų [5, 6, 9]. Todėl svarbu tyrinėti poveikį akies lęšiukui - radiacinę kataraktą kaip galimą pagalbą apsaugant visą žmogaus organizmą nuo žalingo ilgalaikio mažų ir vidutinių jonizuojančios radiacijos poveikio.

2. Darbo metodika

Buvo atlikta mokslinės literatūros ir straipsnių paieška duomenų bazėje PubMed. Atrinkti ir apžvelgti 50 literatūros šaltinių anglų kalba. Pasirinkti šaltiniai apima 2011-2023 metų laikotarpį. Nebuvo įtraukti straipsniai, susiję su didelių dozių radiacija ir gydomosiomis procedūromis, kurių metu naudojamos didelės radiacijos dozės.

3. Rezultatai

3.1 Radiacijos rūšys, šaltiniai ir poveikis ląstelėms

Radiacija (spinduliuotė) gali būti jonizuojanti arba nejonizuojanti. Jonizuojanti spinduliuotė - tai energija arba dalelės (protonai, elektronai, neutronai), gaminamos nestabilių radioaktyviųjų medžiagų atomų, vadinamų radionuklidais [10]. Ši energija bei dalelės gali jonizuoti aplinkos, pro kurią praeina, atomus [11]. Jonizuojantys yra rentgeno, gama spinduliai, kurių gauname iš aplinkos – kosmoso radiacijos, radono dujų bei diagnostinių procedūrų metu [12]. Ląstelių lygmenyje jonizuojanti spinduliuotė gali sukelti jų mirtį ar citogenetinės informacijos pasikeitimus, o visa tai lemia nepageidaujamas audinių reakcijas – detereministinius efektus [11]. Biologinio poveikio matas, kuris priklauso

nuo sugertos radiacijos dozės kiekio ir jonizacijos intensyvumo gyvoje ląstelėje, vadinamas ekvivalentine doze. Šios dozės vienetas yra Sivertas (Sv), taip pat naudojami ir milisivertai (mSv). Tarptautinis (*Système International*, SI) sugertos dozės matavimo vienetas yra Grėjus (Gy) [10]. Ląstelių, audinių pažeidimo mastai priklauso nuo sugertos dozės. Maža radiacijos dozė yra $< 0,1$ Gy, vidutinė - $> 0,1$ Gy ir $< 0,5$ Gy, didelė - $> 0,5$ Gy [2]. Tiek jonizuojanti, tiek nejonizuojanti spinduliuotė sukelia žalą žmogaus organizmo ląstelėms molekulinio lygmeniu - lemia DNR pažeidimus, paveikia baltymus, lipidus. Galimi ir kiti poveikio ląstelėms mechanizmai, bet tokių studijų dar trūksta [12].

Nejonizuojanti radiacija turi pernelyg mažai energijos, kad sukeltų jonizacijos procesus [10]. Tokiais spinduliais laikomi ultravioletiniai spinduliai, matomoji šviesa, infraraudonieji spinduliai, kurių daugiausiai gaunama iš saulės šviesos bei įvairių gydomųjų procedūrų, mikrobangos ir radiobangos [12]. Elektromagnetiniame spektre riba tarp jonizuojančios ir nejonizuojančios spinduliuotės laikomi ultravioletiniai spinduliai (UV), kurie dar laikomi nejonizuojančia radiacija [13], tačiau čia bus nagrinėjami tik jonizuojančios radiacijos sukelti efektai.

3.2 Lęšiukas ir slenkstinė radiacijos dozė

Akies lęšiukas turi unikalią ląstelių ir baltymų architektūrą – jį sudaro vienas sluoksnis kubinių epitelio ląstelių, kurios diferencijuojasi į lęšio skaidulas [14, 15]. Tiek kubinėse ląstelėse, tiek skaidulose yra gausu kristalinių – skaidrių, šviesą laužančių baltymų [15, 16]. Šie baltymai natūraliomis sąlygomis dešimtmečiais priešinasi agregacijai [16]. Skaidulinės ląstelės sudaro lęšio branduolį ir yra tvarkingai išsidėsčiusios,

kas yra svarbu jo skaidrumui bei šviesos pralaidumui [15]. Lęšiuko skaidulų išsiriavimą, kamieninių ląstelių aktyvaciją, dauginimąsi ir diferenciaciją reguliuoja epigenetiniai, augimo, transkripcijos faktoriai bei imuninės sistemos bei kiti signalai ir jų sąveika [17]. Šiems procesams tinkamai veikiant, prieš ekvatorių esančioje germinacinėje zonoje vyksta mitotinis dalijimasis [15], kurio dėka lęšiuko ląstelės geba regeneruoti [17]. Paveikus šiuos mechanizmus, gali išsivystyti lemiami pokyčiai lęšiuko struktūroje.

Tarptautinė radiacinės saugos komisija (TRSK) virš 60 metų laikosi nuomonės, kad akies lęšiukas – tai viena iš jonizuojančiai spinduliuotei jautriausių organizmo struktūrų [5, 6, 9]. Nors apie ypač didelį lęšiuko jautrumą buvo žinoma jau anksčiau, 2011 m. Tarptautinė radiacinės saugos komisija (International Commission on Radiological Protection, ICRP) paskatino skirti ypatingą dėmesį JS sukeltam poveikiui akies lęšiui ir paskelbė Seulo pareiškimą, kuriuo sumažino kataraktos slenkstį iki 0,5 Gy, o lęšiuko ekvivalentinės dozės ribą – nuo 150 mSv per metus iki 20 mSv per metus, skaičiuojant nustatytais 5 metų laikotarpiais, jokiais metais neviršijant 50 mSv [6, 18, 19]. Šis naujas kataraktos slenkstis nustatytas remiantis tuo metu turėtais epidemiologiniais įrodymais. Tačiau literatūroje aprašoma, kad tipiškas klinikinis radiacinės kataraktos vaizdas gali susidaryti paveikus žymiai mažesnėmis nei 0,25 Gy JS dozėmis [6]. Dar nėra pakankamai epidemiologinių tyrimų, kurie padėtų nustatyti itin tikslią lęšiuko slenkstinę radiacijos dozę [20], tačiau panašu, kad katarakta gali pradėti vystytis ir esant mažesnėms JS apšvitos dozėms. Tad vis dar reikia išlaikyti budrumą slenkstinės radiacijos dozės lęšiukui klausimu.

3.3 Kataraktos klasifikacija ir patogenezė

Išskiriami trys pagrindiniai kataraktos tipai: žievinė, užpakalinė subkapsulinė ir branduolinė [21]. Kataraktos skirstomos į įgimtas, antrines - trauminės ir vaistų sukeltas [22]. Radiacijos indukuota katarakta yra priskiriama trauminių kataraktų grupei, kuri apima mechaninius, radiacijos poveikio, elektrinius ir cheminius lęšiuko pažeidimus [23]. Šie pažeidimai išsivysto dėl to, kad kristaliniai lęšiuko baltymai yra jautrūs mutacijoms, pažeidimams ar senėjimo procesui. Dėl to kristaliniai ima agreguoti, kas lemia lęšio drumstėjimą ir kataraktą [16]. Tačiau mažų ir vidutinių dozių radiacijos sukeltos kataraktos mechanizmai dar nėra visiškai aiškūs. Didelis jautrumas mažoms JS dozėms gali būti siejamas su nenormalia epitelio ląstelių proliferacija ir diferenciacija, oksidaciniu stresu ir lęšio kristalinių baltymų denatūracija [5]. Nepataisomas arba nevisiškai ištaisytas DNR pažeidimas sukelia HLEC1 pogrūpio ląstelių augimo sulėtėjimą, indukuodamas priešlaikinį senėjimą ir sukeldamas klonogeninę inaktyvaciją [24]. Mažų dozių JS paveikia germinacinę (germinative zone) ir pereinamąją (transitional zone) zonas periferinėje lęšiuko dalyje – vyksta biologinių procesų visuma, apimanti DNR pažaidų taisymo sulėtėjimą ir tuo pat metu vykstančią padidėjusią ląstelių proliferaciją [25]. Kitame ląstelių pogrūpyje augimas skatinamas per dar nežinomas mechanizmus, todėl, autorių teigimu, reikia tolimesnių tyrimų [24, 25]. Taip pat, bandant suprasti radiacinės kataraktogenezės vystymosi mechanizmą, 2019 m. buvo sukurtas pirmasis biologiškai pagrįstas jonizuojančiosios spinduliuotės kataraktogenezės matematinis modelis *in silico*, galintis pateikti duomenų apie ryšį tarp JS dozės ir kataraktos atsiradimo įvairiame amžiuje. Šis modelis toliau

taikytas siekiant įvertinti kataraktos dažnį po lėtinės JS ekspozicijos visą gyvenimą. Autoriai tikisi, kad šis darbas ateityje padės prognozuoti radiotoksinę riziką ne tik iš profesinės ir visuomenės radiacinės saugos pusės, bet bus reikšmingas ir komplikacijų po radioterapijos kontekste [26]. Mažų dozių JS įtaką kataraktos vystymuisi tirti ganėtinai sudėtinga, reikia atlikti daugiau ilgos trukmės studijų. Tad galutinio sutarimo dėl radiacijos sukeltos kataraktogenezės mechanizmo dar kol kas nėra.

3.4 Nedidelės radiacijos dozės paveiktose teritorijose

TRSK pagrindine radiacinio pavojaus vertinimo priemone laiko vieną ilgalaikį plataus masto epidemiologinį tyrimą. Ši kohortinė studija, atlikta su Hirošimos ir Nagasagio atominius bombardavimus išgyvenusiais Japonijos gyventojais, parodė, kad net ir esant mažoms dozėms, jonizuojanti spinduliuotė gali pakenkti ląstelių genetinei medžiagai, o neigiamas poveikis gali pasireikšti ir prabėgus daugeliui metų [27]. Kitos epidemiologinės studijos, atliktos su iš Černobylio likviduotais asmenimis, JAV radiotechnologais ir Rusijos „Mayak“ branduolinio komplekso darbuotojais bei kitais paveiktais asmenimis patvirtino, kad net ir mažos radiacijos dozės padidina užpakalinės subkapsulinės ir žievinės kataraktos išsivystymo riziką [2, 6]. Branduolinės kataraktos vystymuisi radiacija turi mažesnę poveikį lyginant su kitomis kataraktos rūšimis [2]. Kitame, aštuonerių metų trukmės tyrime buvo stebėti radiacija užterštoje Černobylio teritorijoje gyvenusių 461 vaikų lęšiukai. Lęšio subkapsuliniuose sluoksniuose nustatytas nedidelis drumstumas, tačiau pokyčiai panašūs į išgyvenusiu atominę bombą asmenų lęšiukų pokyčius. Tiesa, didesnio užterštumo zonos

gyvenusių asmenų lęšių drumstumas buvo žymiai ryškesnis nei mažesnės dozės radiacijos veikiamų tiriamųjų (18,97 %, palyginti su 9,3 %, $p < 0,05$). Nors įvairiuose tyrimuose didžiausias naujų radiacinės kataraktos atvejų skaičius registruotas iškart po Černobylio katastrofos, naujų atvejų tose teritorijose atsiranda net sumažėjus radiaciniam poveikiui ir praėjus net 29 metams [6]. Dar vieno tyrimo rezultatai buvo labai panašūs – gauti duomenys patvirtino padidėjusią žievinės ir užpakalinės subkapsulinės kataraktos vystymosi riziką mažų dozių radiacijos veikiamiems Kinijos gyventojams [28]. Tad net ir mažų dozių ilgai eksponuojama radiacija yra rizikos veiksnys užpakalinės subkapsulinės ir žievinės kataraktos vystymuisi.

3.5 Profesinė veikla ir radiacija

Sveikatos priežiūros specialistai, dirbantys su diagnostinėmis ar intervencinėmis procedūromis, kurių metu naudojama JS, turi reikšmingai didesnę riziką kataraktos išsivystymui. Alhasan ir kt. tyrė medicinos darbuotojus, patiriančius JS darbe. Jie turėjo žymiai didesnę užpakalinės subkapsulinės kataraktos ir bet kokio lęšiuko drumstumo riziką nei tie, kurie nebuvo veikiami JS profesinėje veikloje ($p < 0,05$). Didžiausią riziką subkapsulinės kataraktos vystymuisi turėjo slaugytojai (rizikos koeficientas = 4,00), antroje vietoje – intervenciniai kardiologai (rizikos koeficientas = 3,85) [29]. Rose ir kt. tyrime tirta intervencinių radiologų grupė ir nustatyta, kad užpakalinės subkapsulinės ir žievinės kataraktos paplitimas buvo 18,8% ekspnuotųjų ir 13,9% neekspnuotųjų grupėje. Užpakalinės subkapsulinės kataraktos paplitimas ekspnuotųjų grupėje buvo 5,9% ir 2,8% neekspnuotųjų grupėje, o šansų santykis buvo 2,2 (95% pasikliautinasis intervalas [PI]: 0,58; 8,61). Nors tyrime

kataraktos padidėjimas nebuvo statistiškai reikšmingas paveiktos grupės atžvilgiu, kliniškai reikšmingas buvo [30]. Profesija, kurioje tenka susidurti su nedidelėmis radiacijos dozėmis, taip pat gali būti susijusi su radiacine katarakta.

3.6 Kompiuterinės tomografijos metu gaunama radiacija

Kompiuterinė tomografija (KT) plačiai naudojama ligų diagnostikoje. Jos metu užfiksuojama daugybė kūno srities ar organo rentgeno vaizdų, o šie vaizdai atkuriami į kompiuteriu kurtas nuotraukas [7]. KT metu pacientas gauna žymiai didesnę JS dozę nei atliekant paprastą rentgenografiją, paprastai apie 40–50 kartų daugiau [31]. Atliekant galvos KT, žmogus gauna apie 2 mSv [7], o kaklo – apie 2,8 mSv radiacijos [26]. Vienas tyrimas parodė, kad galvos ir kaklo KT padidino kataraktos riziką atliekant ≥ 5 KT tyrimus. 1–2 KT tyrimai taip pat padidino kataraktos riziką, nors ir nežymiai [32]. Atliekant pakartotinius galvos smegenų KT tyrimus, kurių paciento ištyrimo ir gydymo metu gali būti atlikta net 14, akies lęšiuko gaunama radiacijos dozė gali viršyti 600 mSv [33]. Tačiau paprastai teisės aktuose JS dozės ribojimai pacientams nėra nurodyti, nes sveikatos apsauga visada yra pagrįsta klinikiniu poreikiu – nauda lyginama su rizika [32]. Vis tik taikant nepamainomus diagnostinius metodus, kurie paveikia pacientą sąlyginai didesne radiacijos doze, svarbu įvertinti galimą žalą akies lęšiukui.

3.7 Gaunamos radiacijos mažinimo būdai

Kad būtų sumažinta kataraktos išsivystymo rizika, siejama su profesine veikla, svarbu imtis tinkamų kontrolės priemonių. Norint užtikrinti optimalią apsaugą nuo radiacijos, reikia derinti skirtingus radiacinės saugos įtaisus, tačiau galvos, kaklo, ypač akių lęšių apsauga ir

stebėjimas dar nėra pakankamai išvystytas [34]. Šiuo metu rekomenduojama kiek tik įmanoma sumažinti lęšiuko per ilgą laiką gaunamos radiacijos dozę bei periodiškai atlikti profilaktinius sveikatos patikrinimus, didelį dėmesį skiriant lęšių drumstumo įvertinimui [30, 35, 36]. Siekiant užtikrinti efektyvų lęšio gaunamos radiacijos dozės sekimą, turi būti tariamasi su apmokytais radiacinės saugos specialistais, o įrašai apie patirtą radiacijos dozę turi būti išsaugomi. Ypatingas dėmesys turėtų būti skiriamas darbuotojams, kurie per 1 metus reguliariai gauna > 15 mSv [36]. Norint sumažinti radiacinės kataraktos riziką su JS dirbantiems sveikatos priežiūros specialistams, klinikinėje praktikoje turi būti įdiegti nauji apsauginiai akiniai su integruotu dozimetru [34]. Kuriami naujausios kartos dozimetrai, kurie gali fiksuoti personalo gaunamą radiaciją visais kampais. Stebėjimas realiuoju laiku naudojantis dozimetrais yra naudingas siekiant sumažinti medicinos personalo gaunamą radiaciją ir užtikrinti tinkamą apsaugą [37]. Svarbu registruoti darbuotojų lęšiukų gaunamas radiacijos dozes.

Ne ką mažiau svarbus ir darbuotojų mokymas apie galimą darbe patiriamos radiacijos poveikį akims. Buvo atliktas tyrimas, kurio tikslas - įvertinti intervencinės radiologijos darbuotojų kristalinių kūnelių gautos radiacijos dozę atliekant įprastines intervencines procedūras. Jo metu paaiškėjo, kad operatoriaus akis yra veikiamas tam tikra spinduliuotės doze, bet praktinis akių apsaugos nuo radiacijos priemonių naudojimas yra labai mažas [38]. Svarbu tinkamai apmokyti darbuotojus, paaiškinti radiacijos sukeliama pavojų lęšiui, užtikrinti apsauginių skydelių, priemonių su dozimetrais prieinamumą ir tinkamą kasdieninį naudojimą [30, 35, 36]. Kita - Portugalijos universitetinėje

ligoninėje atlikta skerspjūvinė studija parodė, kad tokie darbuotojų mokymai ir profilaktiniai sveikatos patikrinimai yra efektyvūs ir juose dalyvavę darbuotojai efektyviau laikosi tinkamų dozimetru naudojimo. Todėl praktikoje tai yra naudingos darbuotojų radiacinės saugos didinimo strategijos [39]. Tinkamas darbuotojų mokymas ir nuolatinis apsaugos priemonių naudojimas, gaunamų radiacijos dozių sekimas bei kontrolė darbe gali sumažinti lęšiuko drumsčių išsivystymo riziką.

KT metu galima naudoti tam tikrus metodus, kurie padėtų sumažinti lęšiuko gaunamą JS dozę. Įrodyta, kad kaklo KT metu pakeitus kaklo pozicionavimą ir pakreipus galvą (orbitomeatalinė linija turėtų būti statmena stalui), sumažinus skanavimo diapazoną (viršutinė riba – ties stulpelio apačia, apatinė – ties krūtinkaulio *fossa jugularis sternalis*) ir vamzdžio potencialą, objektyvo dozė sumažėjo 89% ($p < 0,0001$). Priešingai nei kiti anksčiau aprašyti dozės mažinimo metodai, šių metodų taikymas nereikalauja sudėtingų techninių sprendimų ir yra nesunkiai pritaikomas praktikoje [40]. Radiacijos dozės mažinimas ir optimizavimas yra labai svarbus siekiant išvengti kataraktos atsiradimo dėl lęšiuko spinduliuotės. Išsaugant tinkamą vaizdo kokybę klinikinėje praktikoje, būtina sumažinti spinduliuotės dozę vieno tyrimo metu [33]. Ne ką mažiau yra svarbu registruoti paciento gautos radiacijos dozes medicininuose įrašuose, tam sukurtos naujos normos [41]. Tad reikia skatinti naujų ir jau žinomų lęšiuko gaunamos radiacijos mažinimo vaizdinių tyrimų metu būdų integraciją kasdieninėje klinikinėje praktikoje.

4. Diskusija

Atsakant į klausimą, ar mažos radiacijos dozės gyventojams tikrai yra pavojingos, nuomonės

išsiskiria. Vieni tyrėjai bando įrodyti, kad grėsmė reali, kiti mano, jog nerimauti nereikėtų. Tad mažų dozių JS efektas žmonių sveikatai vis dar išlieka neaiškus ir sukelia daug diskusijų [42]. Vis tik, dėl sparčios technologijų pažangos didėja JS ekspozicija. Iki 19 a. pab. Žmonių gauta apšvita buvo iš natūralių šaltinių, bet per pastaruosius 120 metų prisidėjo ir dirbtinių šaltinių skleidžiama apšvita, kuri kai kuriose šalyse dabar net lenkia natūraliąją. Be to, jau prieš daugiau nei 10 metų *US National Council on Radiation Protection & Measurements* (NCRP) pranešė, kad didžioji dalis šių dirbtinių JS šaltinių yra medicininės procedūros [43]. Vis tik mažų ir vidutinių dozių JS apšvita didėja dėl aplinkos, medicininės ir profesinės šaltinių [44]. Tad tikėtina, kad vystantis medicinai ir modernėjant pasauliui nedidelių dozių apšvita bus vis aktualesnė tema.

Be to, didėja ir kataraktos papildymas visame pasaulyje. Pasauliniu mastu kataraktos paplitimo skaičius išaugo 129,17 % nuo $42\,336,68 \times 10^3$ 1990 m. iki $97\,022,04 \times 10^3$ 2019 m. ir manoma, kad artimiausiais dešimtmečiais didės [45]. Kataraktogenezės reiškinys yra sudėtingas, turintis daug etiologinių faktorių [46], kurie gali veikti to paties individo akies lęšiuką tuo pačiu metu. Todėl kalbant apie nedidelių dozių JS įtakotą kataraktogenezę pacientų gyvenime, būtų sudėtinga įvertinti, ar kataraktą lėmė būtent radiacija, nes tai – multifaktorinis reiškinys. Tačiau svarbu išlaikyti budrumą ir toliau tyrinėti galimą kataraktos plitimo ir nedidelių JS dozių šaltinių gausėjimo sąsajas. Be to, vis dar trūksta išsamių epidemiologinių tyrimų, kurie padėtų tiksliai įvertinti slenksinę jonizuojančios radiacijos dozę lęšiukui [20], tad detalesni atsako į dozę tyrimai padėtų spręsti apie lėtai eksponuojamų JS įtaką kataraktos vystymuisi ir kurti naujas prevencijos priemones. Jau yra

racionalių ir nesudėtingų lęšiuko apsaugos nuo JS būdų, kuriuos minėjome, tačiau išsamesni tyrimai būtų svarbūs ieškant inovatyvesnių, didesnio efekto apsaugos nuo kasdienių JS metodų. Tad nedidelių dozių JS vieta kataraktos patogenezėje ir lęšiuko apsaugos nuo radiacijos būdai turėtų tapti vis didesniu fokusu ir ateityje. Nors lęšiukas yra viena jautriausių JS žmogaus organizmo struktūrų [5, 6, 9], žinoma, kad mažos ir vidutinės dozės yra žalingos ir kitiems organams. Mažų ir vidutinių JS dozių poveikis ląstelėms dažnai yra subkliniškas, tačiau laikui bėgant gali reikšmingai paveikti smegenų funkciją ir struktūrą. Suaugusiųjų smegenys paprastai laikomos mažiau jautriomis spinduliutei nei kiti organai. Tačiau naujausi tyrimai rodo, kad ląstelių ciklo sustojimas, sinapsinis remodeliavimasis, demielinizacija, lėtinis uždegimas, ląstelių migracija ir pakitusi genų ekspresija, vykstanti dėl nedidelių dozių JS ekspozicijos smegenų ląstelių lygmeniu, gali pakenkti sveikatai ir bloginti gyvenimo kokybę [44]. Taip pat yra epidemiologiniais tyrimais grįstų įrodymų, kad mažų dozių JS iš esmės ir ilgam keičia imuninę sistemą, nes yra paveikiami T limfocitai, ypač CD4+, taip pat ir humoralinis imunitetas [47]. Tad mažų ir vidutinių dozių JS paveikia gyvybiškai svarbius organus ir sistemas. Nedidelių dozių JS ekspozicijos problema yra ne tik lęšiuko, bet galimai ir viso organizmo lygmenyje.

Be viso to, mažos JS dozės, kaip įtariama, turi kancerogeninį poveikį, kuris pasireiškia net ir po dešimtmečių tiek paveiktiems asmenims, tiek vėlesnėms kartoms. Be to, ląstelės, kurios išgyvena po mažų dozių poveikio, nors atrodo normalios, kaupia žalą, kuri išryškėja jų palikuonyse. Pavyzdžiui, nekloninės chromosomų aberacijos, kurios gali būti aptiktos net ląstelėse, kurios nebuvo tiesiogiai apšvitintos.

Tai vyksta dėl molekulinų signalų mainų ir sudėtingos audinių reakcijos, apimančios kaimynines arba tolimes ląsteles [48]. Tai tik keli žalingo mažų ir vidutinių JS dozių poveikio pavyzdžiai. Tad mechanizmai sudėtingi ir dar ne iki galo aiškūs. Nedidelių JS dozių sukelta biologinį poveikį žmogaus organizmui nustatyti sunku, ypač veikiant mažesnei nei 100 mSv dozėmis [49]. Reikia laiko šiems mechanizms nuodugniai suvokti, išanalizuoti ir kontroliuoti, o kadangi efektas yra genetiniame lygmenyje, kliniškai žala stebima neiškart.

Didelį dėmesį radiacinei kataraktogenezei reikėtų skirti ne tik dėl to, kad katarakta vis dar yra viena dažniausių regėjimo sutrikimo bei aklumo priežasčių pasaulyje [50], bet ir dėl akies kaip organo potencialo tapti ankstyvu radiacinio pavojaus indikatoriumi. Lęšiuko savybes ir didelį jautrumą radiacijai būtų galima kryptingai panaudoti siekiant kurti ankstyvas prevencijos strategijas ne tik akių apsaugos lygmenyje. Šios struktūros savybės galėtų pasitarnauti norint sumažinti didėjančią radiotoksiškumą ne tik ypač JS jautrių struktūrų lygyje, bet ir viso organizmo mastu. Pavyzdžiui, anksti įvertinus radiacijos sukeltus pokyčius lęšiuje, ypač kalbant apie užpakalinę subkapsulinę ir žievinę kataraktą, susijusią su nedidelių dozių JS, būtų galima atidžiau stebėti radiacijos poveikį centrinei nervų sistemai (CNS) ir užkirsti kelią ilgalaikėms, grėsmę žmogaus organizmui keliančioms komplikacijoms [6]. Akies lęšiuko ištyrimas yra priinama, sąlyginai nesudėtinga ir neinvazyvi procedūra, todėl galėtų būti pritaikoma įvertinant žalingą nedidelių dozių JS poveikį žmogaus organizmui bei ieškant patikimų apsaugos būdų. Lęšiukas turi didelį potencialą tapti radiacinės saugos indikatoriumi, ypač ilgai eksponuojamų mažų ir vidutinių dozių radiacijos kontekste.

5. Išvados

Panašu, kad mažų ir vidutinių dozių JS sukeliama poveikio žmogaus organizmui aktualumas ateityje tik didės. JS pirmiausia daro žalą akies lęšiukui molekulinio lygmeniu ir skatina jo drumstėjimą. Svarbu tinkamai įvertinti akies lęšiuko gaunamas radiacijos dozes diagnostinių procedūrų metu bei su radiacija dirbantiems asmenims. Taikant tinkamas prevencines priemones bei jas integruojant kasdienėje praktikoje, galima sumažinti radiacinės kataraktos išsivystymo riziką. Akies lęšis yra unikali struktūra, kurios savybes būtų galima panaudoti įvertinant pavojų visam žmogaus organizmui, ypač gyvybiškai svarbiems organams. Lęšiuko kaip gelbėtojo-indikatoriaus idėja galėtų būti pritaikoma kuriant radiacinės saugos strategijas.

Literatūros sąrašas

1. Burgio E, Piscitelli P, Migliore L. Ionizing Radiation and Human Health: Reviewing Models of Exposure and Mechanisms of Cellular Damage. An Epigenetic Perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018 Sep;15(9):E1971. DOI: 10.3390/ijerph15091971. PMID: 30201914; PMCID: PMC6163535.
2. Little MP et al. Low- and moderate-dose non-cancer effects of ionizing radiation in directly exposed individuals, especially circulatory and ocular diseases: a review of the epidemiology. *International journal of radiation biology* vol. 97, 2021. 782-803. doi:10.1080/09553002.2021.1876955.
3. Tang FR, Loke WK, Khoo BC. Low-dose or low-dose-rate ionizing radiation-induced bioeffects in animal models. *Journal of Radiation Research*. 2017 Mar;58(2):165-182.

DOI: 10.1093/jrr/rrw120. PMID: 28077626; PMCID: PMC5439383.

4. Carante MP, Ballarini F. Radiation Damage in Biomolecules and Cells. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020 Nov;21(21):E8188. DOI: 10.3390/ijms21218188. PMID: 33139616; PMCID: PMC7662447.

5. Hamada N, Azizova TV, Little MP. An update on effects of ionizing radiation exposure on the eye. *The British Journal of Radiology*. 2020 Nov;93(1115):20190829. DOI: 10.1259/bjr.20190829. PMID: 31670577; PMCID: PMC8519632.

6. Loganovsky KN, Marazziti D, Fedirko PA, Kuts KV, Antypchuk KY, Perchuk IV, Babenko TF, Loganovska TK, Kolosynska OO, Kreinis GY, Gresko MV, Masiuk SV, Mucci F, Zdorenko LL, Della Vecchia A, Zdanevich NA, Garkava NA, Dorichevska RY, Vasilenko ZL, Kravchenko VI, Drosdova NV. Radiation-Induced Cerebro-Ophthalmic Effects in Humans. *Life (Basel)*. 2020 Apr 16;10(4):41. doi: 10.3390/life10040041. PMID: 32316206; PMCID: PMC7235763.

7. Akram S, Chowdhury YS. "Radiation Exposure Of Medical Imaging." StatPearls, StatPearls Publishing, 14 November 2022.

8. Shin E, Lee S, Kang H, et al. Organ-Specific Effects of Low Dose Radiation Exposure: A Comprehensive Review. *Frontiers in Genetics*. 2020 ;11:566244. DOI: 10.3389/fgene.2020.566244. PMID: 33133150; PMCID: PMC7565684.

9. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, Benadjaoud MA, Chumak V et al. Radiation-Induced Lens Opacities: Epidemiological, Clinical and Experimental Evidence, Methodological Issues, Research Gaps and Strategy. *Environ. Int.* 2021;146:106213. doi: 10.1016/j.envint.2020.106213.

10. Jain, S. Radiation in medical practice & health effects of radiation: Rationale, risks, and rewards. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 10(4), 1520, 2021.

11. Havráňková, R. Biological effects of ionizing radiation. *Casopis Lékáru Ceskych*, 159(7-8), 258-260, 2020.

12. Tuieng RJ, Cartmell SH, Kirwan CC, Sherratt MJ. The Effects of Ionising and Non-Ionising Electromagnetic Radiation on Extracellular Matrix Proteins. *Cells*. 2021 Nov;10(11):3041. DOI: 10.3390/cells10113041. PMID: 34831262; PMCID: PMC8616186.

13. Centers for Disease Control and Prevention. *The Electromagnetic Spectrum: Non-Ionizing Radiation*, 2019.

14. Ruan X, Liu Z, Luo L, Liu Y. Structure of the lens and its associations with the visual quality, 2020. *BMJ Open Ophthalmology*, 5(1), e000459.

15. Hejtmancik JF, Shiels A. Overview of the Lens. *Progress in molecular biology and translational science*, 134, 119-127, 2015.

16. Roskamp KW et al. Function and Aggregation in Structural Eye Lens Crystallins. *Accounts of chemical research* vol. 53,4; 2020: 863-874. doi:10.1021/acs.accounts.0c00014

17. Liu Z, Wang R, Lin H, Liu Y. Lens regeneration in humans: using regenerative potential for tissue repairing. *Annals of Translational Medicine*, 8(22); 2020.

18. Hamada N, Fujimichi Y. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. *Journal of radiation research*, 55(4), 629-640; 2014.

19. ICRP Statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a

- radiation protection context. ICRP Publication 118, Ann ICRP, 2012, vol. 41 1/2.
20. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, Benadjaoud MA, Jourdain JR, Chumak V, Ginjaume M, Kok JL, Mancuso M, Sabatier L, Struelens L, Thariat J. *Environment International*. Vol. 146. 2021. "Radiation-induced lens opacities: Epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy" p. 06213. doi: 10.1016/j.envint.2020.106213.
21. InformedHealth.org [Internet]. Cologne, Germany: Institute for Quality and Efficiency in Health Care (IQWiG); 2006-. Cataracts: Overview. [Updated 2019 Oct 10].
22. Moshirfar M, Milner D, Patel BC. Cataract surgery; 2020.
23. Moreschi C, Da Broi U, Lanzetta P. Medico-legal implications of traumatic cataract. *Journal of forensic and legal medicine*, 20(2), 69-73; 2013.
24. Hamada N. "Ionizing radiation response of primary normal human lens epithelial cells." *PloS one* vol. 12,7 e0181530. 26 Jul. 2017, doi:10.1371/journal.pone.0181530
25. Markiewicz E, Barnard S, Haines J, Coster M, Van Geel O, Wu W, Quinlan RA. Nonlinear ionizing radiation-induced changes in eye lens cell proliferation, cyclin D1 expression and lens shape. *Open biology*, 5(4), 150011; 2015.
26. Alzimami K, Jambi L, Mattar E, Alenezi A, Alfuraih A, Salah H, Bradley DA. Effective radiation doses in neck computed tomography scans. *Radiation Physics and Chemistry*, 200, 110340. 2022.
27. Kamiya K, Ozasa K, Akiba S, Niwa O, Kodama K, Takamura N, Wakeford R. Long-term effects of radiation exposure on health. *The lancet*, 386(9992), 469-478; 2015.
28. Su Y et al. Lens opacity prevalence among the residents in high natural background radiation area in Yangjiang, China. *Journal of radiation research* vol. 62,1; 2021: 67-72. doi:10.1093/jrr/rraa073.
29. Alhasan AS, Waseem AA. Eye lens opacities and cataracts among physicians and healthcare workers occupationally exposed to radiation: A systematic review and meta-analysis. *Saudi medical journal* vol. 43,7; 2022: 665-677. doi:10.15537/smj.2022.43.7.20220022.
30. Rose A et al. Radiation induced cataracts in interventionalists occupationally exposed to ionising radiation. *SA journal of radiology* vol. 26,1 2495. 30 Sep. 2022, doi:10.4102/sajr.v26i1.2495.
31. Al-Lamki L. Radiation exposure from medical imaging: a wake-up call for Oman!. *Sultan Qaboos University Medical Journal*, 11(1), 1-4; 2011.
32. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, Benadjaoud MA, Chumak V, Ginjaume M, Jourdain J. R Radiation-induced lens opacities: Epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. *Environment international*, 146, 106213; 2021.
33. Omer H, Alameen S, Mahmoud WE, Sulieman A, Nasir O, Abolaban F. Eye lens and thyroid gland radiation exposure for patients undergoing brain computed tomography examination. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), 342-346; 2021.
34. König AM et al. Personal Radiation Protection and Corresponding Dosimetry in Interventional Radiology: An Overview and Future Developments." "Persönliche Strahlenschutzmittel und Dosimetrie des medizinischen Personals in der interventionellen Radiologie: Aktueller Status und neue

Entwicklungen.” RoFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin vol. 191,6; 2019: 512-521. doi:10.1055/a-0800-0113

35. Della VE et al. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: a systematic review. *La Medicina del lavoro* vol. 111,4 269-284. 31 Aug. 2020, doi:10.23749/mdl.v111i4.9045

36. Barnard SG, Ainsbury EA, Quinlan RA, Bouffler SD. Radiation protection of the eye lens in medical workers—basis and impact of the ICRP recommendations. *The British journal of radiology*, 89(1060), 20151034; 2016.

37. Hattori K, Inaba Y, Kato T, et al. Evaluation of a New Real-Time Dosimeter Sensor for Interventional Radiology Staff. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2023 Jan;23(1):512. DOI: 10.3390/s23010512. PMID: 36617110; PMCID: PMC9823962.

38. Chen Y et al. Radiation Exposure of Crystalline Bodies during Interventional Therapy and Related Research Status. *Contrast media & molecular imaging* vol. 2022 5480409. 31 Jul. 2022, doi:10.1155/2022/5480409

39. Antunes-Raposo JA, França D, Lima A, Mendonça-Galaio L, Sacadura-Leite EM. Evaluation of personal protective equipment use in healthcare workers exposed to ionizing radiation in a Portuguese university hospital. *Rev Bras Med Trab*. 2022 Jun 30;20(2):240-248. doi: 10.47626/1679-4435-2022-661. PMID: 36127918; PMCID: PMC9458331.

40. Mosher EG et al. Lens Dose Reduction by Patient Posture Modification During Neck CT. *AJR. American journal of roentgenology* vol. 210,5; 2018: 1111-1117. doi:10.2214/AJR.17.18261

41. Tsalafoutas IA et al. Radiation dose monitoring in computed tomography: Status,

options and limitations. *Physica medica : PM : an international journal devoted to the applications of physics to medicine and biology : official journal of the Italian Association of Biomedical Physics (AIFB)* vol. 79; 2020: 1-15. doi:10.1016/j.ejmp.2020.08.020.

42. Shore RE. Radiation impacts on human health: certain, fuzzy, and unknown. *Health physics*, 106(2), 196-205; 2014.

43. Ruano-Ravina A, Wakeford R. The increasing exposure of the global population to ionizing radiation. *Epidemiology*, 31(2), 155-159; 2020.

44. Oyefeso FA, Goldberg G, Opoku NYP, Vazquez M, Bertucci A, Chen Z, Pecauc MJ. Effects of acute low-moderate dose ionizing radiation to human brain organoids. *Plos one*, 18(5), e0282958; 2023.

45. Shu Y, Shao Y, Zhou Q, Lu L, Wang Z, Zhang L, Bi Y. Changing Trends in the Disease Burden of Cataract and Forecasted Trends in China and Globally from 1990 to 2030. *Clinical Epidemiology*, 525-534; 2023.

46. Gupta VB, Rajagopala M, Ravishankar B. Etiopathogenesis of cataract: an appraisal. *Indian journal of ophthalmology*, 62(2), 103; 2014.

47. Lumniczky K, Impens N, Armengol G, Candéias S, Georgakilas AG, Hornhardt S, Martin OA, Rödel F, Schaeue D. Low dose ionizing radiation effects on the immune system. *Environ Int*. 2021 Apr;149:106212. doi: 10.1016/j.envint.2020.106212. Epub 2020 Dec 5. PMID: 33293042; PMCID: PMC8784945.

48. Burgio E, Piscitelli P, Migliore L. Ionizing radiation and human health: Reviewing models of exposure and mechanisms of cellular damage. An epigenetic perspective. *International journal of environmental research and public health*, 15(9), 1971; 2018.

49. Yamaguchi M, Tatara Y, Nugraha ED, Ramadhani D, Tamakuma Y, Sato Y, Tokonami S. Detection of biological responses to low-dose radiation in humans. *Free Radical Biology and Medicine*, 184, 196-207; 2022.

50. Bourne R, Steinmetz JD, Flaxman S, Briant PS, Taylor HR, Resnikoff S, Tareque MI. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet global health*, 9(2), e130-e143; 2021.