

# РАДИАЦИЯНЫҢ АЛШАҚТАТЫЛҒАН САЛДАРЫ: ӘДЕБИЕТКЕ ШОЛУ

Д.Е. УЗБЕКОВ<sup>1</sup>, Н.Ж. ЧАЙЖУНУСОВА<sup>2</sup>, О.З. ИЛЬДЕРБАЕВ<sup>1</sup>,  
Д.М. ШАБДАРБАЕВА<sup>2</sup>, С.Е. УЗБЕКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы «Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан Республикасы;

<sup>2</sup>«Семей медицина университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан Республикасы

## АНДАТПА

**Өзектілігі:** Төмен дозалы әртүрлі сәулеленудің әсерінен зардап шеккендер ұрпақтарының радиацияның иммундық жүйесіне ықпалы күні бүгінге дейін өзектілігін жоғалтпайды. Ғылыми әдебиеттерде ұзақ мерзімді салдарға байланысты бірқатар мәселелер, атап айтқанда, сәулеленгендер ұрпағының ағзаларындағы морфофункционалдық бұзылымдар тиісті шешімге келген жоқ.

**Зерттеудің мақсаты:** сәулелену әсеріне ұшырағандар ұрпағының иммундық қабілетті ағзаларындағы морфофункционалдық өзгерістерімен жүзеге асатын радиацияның алшақтатылған салдарын аңғару бойынша әдебиеттерге шолуды талдау арқылы осы мәселені егжей-тегжейлі зерттеудің тиімділігін растау.

**Әдістері:** Шолу PubMed, Medline, eLibrary, CyberLeninka мәліметтер базасында индекстелген жарияланымдарды қамтыған. Іздеу Google Scholar ғылыми іздеу жүйесі арқылы жүргізілген. Шолуды бастамас бұрын келесі іздеу фильтрлері жүзеге асырылған: соңғы 8 жыл ішінде өткізілген тәжірибелік зерттеулер (2015-2023 жж.).

**Нәтижелері:** Іздестіру нәтижесінде сәулеленгендердің ұрпағы организмнің иммундық қабілетті ағзаларындағы алмасулық үдерістер мен гистоморфологиялық құбылыстарды зерттеуге арналған басылымдардың жеткіліксіз саны анықталған. Радиацияның салдарынан иммундық жүйе ағзаларының биохимиялық пен патогистологиялық өзгерістері туралы жарияланымдар санының жеткіліксіздігі осы тақырыпты одан әрі тереңірек зерттеуді талап етеді.

**Қорытынды:** Радиобиологтар мен онкологтар міндеттерінің бірі – келешекте морфологиялық диагностика нышандарын құрастыру мақсатында сәулелену әсеріне ұшырағандар ұрпақтарындағы ағзалардың морфофункционалдық бұзылыстарын зерттеу болып қала береді.

**Түйінді сөздер:** иондаушы сәулелену, алшақтатылған әсерлер, ұрпақ, морфофункционалды бұзылымдар

**Кіріспе:** Радиациялық фактордың бір мәрте қысқа мерзімді әсері жүзінде сәулеленудің биологиялық ықпалы бірнеше ұрпақтан кейін байқалатыны ғана, сонымен қатар кейбір жағдайларда оны айқындау үшін канцерогендік әсер сәулеленуге ұшыраған адамдарда көрініп те қана қоймай, болашақ жас ұрпақ ағзаларында да анықталатыны дәлелденіп келе жатыр [1]. Онколог ғалымдардың жүргізген зерттеу жұмыстарында иондаушы радиация әсеріне шалдыққандарда қатерлі ісіктердің кездесу жиілігі жоғары деңгейде болғандығы анықталып, шамадан тыс артып кету жағдайы сәулеленудің кеш мерзім аясында байқалған [2]. Радиобиологиялық гипотезаға сәйкес, сәулеленудің кез-келген шағын деңгейі осы сәулелену әсеріне ұшыраған адамдардың алғашқы екі ұрпағында медициналық тұрғыдан алғандағы зардаптарының пайда болу қаупін келтіреді [3].

Төмен дозалы сәулелену әсерінің сан алуан теорияларының бар болуына қарамастан, көптеген авторлар иондаушы радиацияның генетикалық ықпалы көріністері жүзінде ДНК зақымдануының маңызы зор екеніне ерекше мән берген [4]. Семей сынақ ядролық полигоны (ССЯП) әрекетінен радиацияға ұшыраған адамдар ұрпағы үшін шағын дозалы гамма-сәулеленудің морфофункционалды өзгерістер жүзіндегі зардаптарын бағалауда өзінің өзектілігін жоғалтқан жоқ [5].

**Зерттеудің мақсаты:** шағын дозалы ішкі мен сыртқы сәулелену әсеріне ұшырағандар ұрпағының иммундық қабілетті ағзаларындағы морфофункционалдық өзгерістерімен жүзеге асатын радиацияның алшақтатылған салдарын көрсететін әдебиеттерге

шолуды талдау арқылы осы мәселені егжей-тегжейлі зерттеудің тиімділігін растау.

**Материалдары мен әдістері:** Әдебиетке шолуды жүзеге асыру мақсатында келесі түйінді сөздер қолданылған: иондаушы сәулелену, алшақтатылған әсерлер, ұрпақ, морфофункционалды бұзылымдар. Әдеби шолуды іске қосуға ұсынылған барлық жұмыстар «Google Scholar» ғылыми іздеу жүйесі арқылы PubMed, Medline, eLibrary, CyberLeninka базаларында индекстелген. Таңдау алдында келесі шарттар ескерілген: ағылшын, қазақ және орыс тілдерінде жарияланған соңғы 8 жыл ішіндегі (2015-2023 жж.) радиацияның алшақтатылған салдарын қарастыруға бағытталған тәжірибелік зерттеулер, сонымен қатар айқын мәлімделген және статистика тұрғысынан дәлелденген қорытындылары бар мақалалардың ішінен 40 әдеби көздерімен ұсынылған ғылыми жұмыстар нәтижелерінің салыстырмалы бағасы берілген. Әдеби шолу кезінде баяндамалардың тұжырымдары, газет мақалалары мен жеке іс ақпараттары қажет емес жарияланымдар ретінде қолданылмаған.

**Нәтижелері:** Әдебиетті талдау барысында тәжірибе жүзінде шағын дозалы иондаушы радиацияның созылмалы әсері кезіндегі тышқандар ұрпағының иммунологиялық реактивтілік жағдайы зерттелген [6-8], бірақ сәулеленудің әсеріне ұшыраған жануарлар ұрпағында мүмкін дамиды биохимиялық ауытқуларды болжау мен коррекциялау үшін әрі қарай тереңдетіп зерттеуді талап ететін, осы жануарлар ұрпақтарының тіндерінде липидтердің асқын тотығу өнімдері мен энергиялық алмасу ферменттері белсенділігінің өзгеруі туралы мәліметтер толық емес [9].

Бүгінгі таңда шағын дозалар әсерін бағалаудың қателіктік, дискуссиялық сұрақтар мен зерттелмеген құбылыстар деп бірнеше категорияларға бөледі. Бұл осы мәселенің, әсіресе радиациялық бүлініске ұшырағандардың ұрпағында одан әрі қарастыру қажеттілігін анықтайды [10].

Иммундық патологиялық жағдайлардың дамуы кезінде иондаушы радиацияға ұшыраған адамдар ұрпағының иммунды қабілетті жасушаларындағы компенсациялық-бейімделу тетіктерінің биохимиялық аспектілерін, метаболизмдік өзгерістерін терең зерттеу, ғалымдардың пікірінше, ұрпақтардың иммунды статусы бұзылыстарының патогенезін толықтай ашуға, диагностиканың, болжамның және емдеудің жаңа әдістерін өңдеуге мүмкіндік береді. Шағын дозалы радиацияның әсерінен Семей жерінде тұратын біздің атабабаларымыздың өсіп келе жатқан ұрпақтары организмнің қалай әсер ететіні және осы ұрпақтың әр түрлі жасында қандай өзгерістер байқалатыны өте қызықты да маңызды мәселе болып қала береді [9].

Жапондық қалалардағы атом атылысын басынан кешіргендер, сондай-ақ Чернобыль апатына ұшырағандар арасында иондаушы сәулеленудің этиологиялық рөлі геномдық аппараттың тұрақсыздығын талдау барысында нақтыланған [11, 12].

Радиацияның шағын дозасына айрықша радиосезімтал болып табылатын және радиацияға шалдыққандар ұрпағының иммунды қабілетті ағзаларында биохимиялық пен гистоқұрылымдық үрдістерінің мүмкін дамитын бұзылуына әкелетін әсері күні бүгінге дейін толығымен зерттелмеген болып саналады [13]. Соған қатысты төмен дозалы гамма-сәулелеу әсер еткен организмнің алғашқы ұрпағында пайда болатын алмасу үрдістерінің морфофункционалды жағдайын зерттеп, осы ұрпақтардың түрлі жастағы организм жауабының патофизиологиялық аспектілерін бағалау жүргізілуде [14].

**Талқылау:** Әдеби дереккөздерінен сәулелік аурудың патоморфогенезі жүзінде иммунды қабілетті ағзалардың сәулелік зақымдануы жетекші рөл атқаратыны белгілі, дегенмен, соңғы кезде  $\beta$ -сәулеленудің шағын дозалары әсеріне ұшырағандар ұрпақтары организмнің иммундық жүйесіндегі патологиялық процестердің, әсіресе жіңішке ішектің шырышты қабығы эпителийінің зақымдануы туралы мақалалар жарияланып жатыр [15].

Иммундық гомеостазды қолдауға қатысатын иммундық жүйе әртүрлі иммунды қабілетті ағзалардың өзара әрекеттесуі арқылы жүзеге асатыны белгілі [16]. Жергілікті иммунитет жүйесіне лимфоидты қатардағы барлық жасушалардың макрофагтармен, нейтрофилдермен, эозинофилдермен, лаброциттермен, сондай-ақ иммунитеттің бейспецификалық факторларымен әрекеттесетін жауаптар жиынтығы жатады [17].

Радиациялық зақымданудың дамуы мен салдары негізінде иммунды қабілетті ағзалар жетекші рөл атқаратыны көптеген мақалалардан мәлім. Бұл ағзалардың маңызды бір ерекшелігі – асқинулардың дамуына ықпал ететін радиациялық зақымдануды қалпына келтіру қабілетінің салыстырмалы түрде төмендігі болып табылады. Заманауи көзқарастарға сай, иондаушы сәулеленуден кейінгі табиғи иммунитеттің әлсіреуінен туындаған салдардың арасынан шырышты қабаттар-

дағы трофикалық детериорациясы мен регенерация процестері бұзылымдарының алатын орны ерекше [18]. Соңғы жылдары радиация әсерінен иммундық жүйенің жеткіліксіздігімен байланысты аурулардың күрт өсуі байқалып келе жатыр [19]. Жасуша мен ағза деңгейіндегі микроқұрылымдық процестердің және иммундық гомеостаздың өзгеруіне ерекше мән беріледі. Иммундық жүйе гендерінің полиморфизмі, сондай-ақ ДНҚ репарациясының гендері мен апоптоз құбылысы организмнің сәулеленуден кейін қалпына келуі мен бейімделуінің генетикалық бақылау механизмдерін зерттеудің мәні зор екенін ұмытпаған абзал [20].

Иммундық статустағы нормадан кез келген ауытқу жасушаның метаболиттік потенциалының бұзылуымен жүретіні көпшілікке мәлім. Иммунды қабілетті жасушалардағы тотығу-тотықсыздандырғыш ферменттер олардың қалыпты жұмыс істеуін және иммундық жауап жүзінде өз функцияларының орындауын қамтамасыз етеді, сәйкесінше олар лимфоциттердің активациялануы мен пролиферациясы кезінде өзгереді, ал олардың қалыпты қызметінің бұзылуы иммунды патологиялық процестерге тән болып келеді [21]. Эксперименттік зерттеулер сәулеленген жануарлардың иммунды қабілетті ағзаларындағы ферменттер белсенділігінің өзгеруі олардың қайта бөлінуінің және осы аймаққа қоныс аударуының пайдасына куәландыратынын көрсеткен. Ал бұл өз кезегінде шағын дозалы  $\gamma$ -сәулеленудің әсеріне организмнің бейімделу механизмдерінің бір көрінісі екенін айтып кеткен жөн [22]. Сәулеленген жануарлардың цитоферментологиялық көрсеткіштер белсенділігінің ауытқуы лимфоциттердің иммунологиялық статусымен тығыз байланысты болса, онда лимфоциттердің пролиферациясы мен дифференциациясы олардың цитоморфологиялық өзгерістеріне тәуелді болып саналады [21].

Сәулелену генезінің иммундық тапшылық жағдайының қалыптасуымен және бейімделудің бұзылуымен, құрылымдық өзгерістермен көрінетін иммунды қабілетті ағзалардың тіндерінде липидтердің асқын тотығуының декомпенсацияланған жоғарылауы байқалады [22]. Екіншілік иммундық тапшылық жағдайының дамуы көптеген патологиялық процестердің негізіндегі патогенездік механизмдердің пайда болуымен сипатталады [21]. Қабынуы бар морфологиялық реакциялардың күрделі кешенінде иммундық жауаптың қарқындылығы тәуелді фагоцитарлық мононуклеарлы жасушалар мен макрофагтар жүйесінің алатын орны ерекше [23]. Бірқатар авторлардың пікірінше, сәулеленуге ұшыраған адамдарда иммундық тапшылық синдромының қалыптасуы лимфопоздың біріншілік зақымдалуына және олардың рециркуляциялық қабілетінің жоғалуынан тұратын лимфоциттер миграциясының бұзылуына негізделген [24].

Ғылыми әдебиеттердегі бар деректер иммундық жүйе әлсіреуінің себебі жасушалардың зақымдануы, олардың өліміне әкелетінін көрсеткен. Сәулеленуден кейінгі лимфоциттердің терминациясы көбінесе индукцияланған өлім дифференциациясымен түсіндіріледі. Лимфоциттердің аса жоғары радиосенсибилизациясына қарамастан, иммундық жүйе организмнің басқа жүйелеріне қарағанда осал деп сенімді түрде айтуға болмайды [25].

Радиациялық фактордың организмге әсер ету аспектілерінің бірі – иондаушы сәулеленуді, біреулер, лимфоид-

ты тін жасушаларының бұзылуын тудыратын фактор ретінде қарастырса, басқалар радиациялық факторды иммуноциттердің қызметін зерттеудің тиімді құралы ретінде қарастырады [26]. Дегенмен, шағын дозалар шегінде жалпы организмнің жағдайы белгілі бір организмнің жеке тұтастығына жауап беретін иммундық жүйенің морфофункционалдық жағдайына байланысты екені анық [14]. Кейбір ғалымдардың радиацияның иммундық жүйеге әсері туралы зерттеулерінің нәтижелерін талдай отырып, сәулеленуден кейінгі иммунитет иммуноциттердің зақымдануы нәтижесінде ингибицияланатынын және осы көрсеткіштердің өзгеруі жүзінде көрінетінін атап өтуге болады [27]. Демек, радиациялық әсер иммунитеттің құрамдас бөліктерінде айқын құрылымдық пен функциялық өзгерістерді тудырады, ал бұл өз кезегінде жеткіліксіз иммундық жауапқа алып келеді [28].

Иммундық жүйенің морфофункционалдық жағдайын анықтаудың жалпы қабылданған әдістерімен қатар қазіргі уақытта бүкіл әлемде лейкоциттер реакциясының иммунды регуляциясына қатысатын ақуыз медиаторларының құрамын анықтау үшін ақпараттық әдістер қолданылады [29]. Сәулеленуден кейінгі жедел кезеңдегі иммундық жүйенің критикалық дәрежесі нуклеин қышқылдарына, сондай-ақ малон диальдегид пен диен конъюгаттарының сандық құрамының жоғарылауына байланысты иммунды қабілетті жасушалардың мембраналық құрылымдарына зиянды әсер етуімен анықталады. Жасуша мембраналарында дифференциация антигендер экспрессиясының бұзылуы иммундық жүйенің бақылау функциясын әлсіретеді [30].

Чернобыль аймағындағы тәжірибелік тышқандардың бірнеше ұрпағын зерттеу жүзінде лимфа түйіндеріндегі В-лимфоциттердің пролиферациялық белсенділігі мен құрамындағы елеулі өзгерістерін анықталмағанын айтып өткен жөн. Қан түзудің моноцитарлық қатарының жасушалары сүйек кемігінде әсер ететіні белгілі. Құрсақ қуысы макрофагтарының абсорбциялық белсенділігінің жоғарылауы және фагоцитарлық жасушалардың «тыныс жарылысы» ферменттерінің критикалық деңгейге дейін активациялануы анықталған [31].

Иммунды қабілетті жасушалардың пролиферациясы мен дифференциациялану процестерінде, ісікке қарсы төзімділікте және жүйе аралық әрекеттесуде маңызды рөл атқаратын моноциттердің цитокиндерді өндіруі эксперименттік үлгілер бойынша егжей-тегжейлі зерттеуді әлі күнге дейін қажет етіп отырғаны шүбәсіз [32]. Чернобыль апатының зиянды факторларына үнемі әсер ететін жануарлардың иммунологиялық реактивтілігін интегралды бағалау иммундық тапшылықтың дамуын анықтаған. Оның негізгі көрінісі ретінде вирустық инфекцияларға сезімталдықтың жоғарылауын және зертханалық тышқандарда ісік жасушаларының тәжірибелік штамдарын егуді айтып өтуге болады [12].

Бірқатар ғалымдардың зерттеу мәліметтері бойынша, сәуле әсерінен туындайтын тіндердегі өзгерістер бірнеше секундтан немесе онжылдықтардан кейін дамып, ағзалардағы жасуша қызметінің нашарлауына, генетикалық, ісіктік және т.б. аурулардың пайда болуына алып келуі ықтимал.

Қазіргі таңда көпшілік авторлардың диссертацияларында ү-сәулелену әсеріне ұшырағандардың иммунды қабілетті ағзаларындағы липопероксидация жағдайы

зерттелген. Авторлар ұрпақтардың ауыр генетикалық ауытқулары аса қатты байқалмайтынын дәлелдеп жүргенімен де, геномдық тұрақсыздықтың трансгенерациялық индукциясы айқын факт болып табылатынын айта кеткен жөн [33].

Сәулелену салдарынан дамитын бүліністер репарацияның арнайы ферменттерінің көмегімен пострадиациялық қайта қалпына келу үдерісі молекулалық деңгейде іске қосылады. Соның арқасында сәулеленуден кейін бірнеше сағат өткен соң зақымданған ДНҚ молекулаларының жоғары пайызы репарацияланады [20].

Иондаушы сәулелену мембранаға әсер ету арқылы жасушалардың функциялық белсенділігі мен нейроморальді факторларға сезімталдығын өзгертеді, липопероксидация үрдістерін инициациялап, гидролизді тудыру арқылы биомембраналар құрылымының бұзылымына алып келеді [8]. Биомембраналардың деструкциясы мен жасуша құрылымдарының деградациясы генетикалық бүліністердің дамуына себепші болады [34].

Радиацияның генетикалық ықпалын популяциялық тұрғыда қарастырған жөн. Сомалық жасушалардағы генетикалық зақымданулар қайтымсыз үдерістерін немесе қызметінің бұзылуын тудырады. Жыныс жасушаларын сәулелендіру ұрпақтардағы бұрын болған белгілердің өзгеруіне алып келуі ықтимал [33]. Иондаушы сәулеленудің генетикалық әсерлері радиацияның сипаты мен түріне тәуелді екені рас [7]. ССЯП кезеңіндегі радиациялық әсерлер популяциялардың ұрпақ жаңғырту сипатына сәтсіз ықпал еткені мәлім [9]. Одан да алшақтау мерзімдерде ол ұзақ уақыттан кейінгі кездейсоқ салдар түрінде ғана емес, сонымен қатар туа пайда болған ақаулары және соңынан туындайтын ұрпақтардағы жүктіліктің қолайсыз нәтижесі түрінде де көріне бастайтыны күмәнсіз. Анағұрлым қауіпті топтарға жоғары радиосезімталдығымен сипатталатын жатырішілік даму кезеңіндегі ұрықты жатқызады [33]. Радио-белсенді заттар анасының организмне түсуінің нәтижесінде ұзақ мерзімге дейін сақталып, жатырішілік дамуының толықтай кезеңінде сәулеленудің бастапқы түйіні бола алады [34]. Жүктілік кезіндегі анасының организмне радионуклидтердің енуінен гөрі анасының ү-сәулелену ықпалына ұшырауынан кейін ұзақ уақыт өткен соң ұрыққа жанама әсерінен ұрпақтардың көбірек азап шегетінін айтып өткен жөн [35]. Осы құбылыс анасынан түсетін радиобелсенді заттармен ұрықтың тікелей сәулеленуі әсеріне қарағанда, анасының организмдегі өзгерістердің ұрпақтардағы даму ақауларына анағұрлым қауіпті ықпал ететінін көрсетеді [36].

Бүгінгі таңда радиацияның тірі организмдерге әсерінен кейін иммунды жүйенің гендер полиморфизмін, геном бүтіндігін сақтауға және жасушалық циклді, яғни ДНҚ репарациясының гендеріне, апоптозға жауапты гендермен қатар пострадиациялық кезеңде репарацияның генетикалық бақылау механизмдері мен организм адаптациясын зерттеудің болашағы зор екенінде еш күмән жоқ [37]. ү-сәулесі өзінің жағымсыз салдарын жасуша мембранасында реакцияға түскен еркін радикалдардың түзілуі арқылы іске қосады. Оттектің белсенді түрлері радиосезімтал жасушаларды зақымдау арқылы қалыпты зат алмасуды бұзып, мутагенез бен апоптоздың дамуына алып келуі рас [33]. Әсіресе, радиация салдарынан екіншілік электронның жасуша ар-

қылы өтуі кезінде ионизация үрдісі ДНҚ маңайында пайда болса, оның жіпшелерінің біреуін бүлдіруі ықтимал [4]. Адаптациялық-мультипликациялық үлгілер деңгейіндегі радиациялық пен генетикалық факторлардың өзара байланысын бағалау олардың қарым-қатынасының түгелдей дерлік ерекшеліктерін сипаттауға мүмкіндік бермейтініне радиологтардың көздері жетті [38].

Дозалардың жоғары диапазоны мен шамасындағы радиацияның комбинациялық ықпалына ұшырағандың ұрпақтарындағы жаңғырту қызметін бағалау жүзіндегі бірден-бірі – ССЯП индикаторлары өте маңызды [39]. Сәулеленген жасушаларда уақыт өте келе дамитын үдерістердің негізінде жатқан жасушалар типіне байланысты ДНҚ тұрақсыздығының күшеюі – радиациялық канцерогенезге алып келетін ұзақ мерзімнен кейінгі әсерлердің дамуы болып табылады. Шағын дозалы иондаушы сәулеленудің салдарынан молекулалық-жасушалық деңгейіндегі бұзылыстар туа пайда болған ақаулардың дамуына алып келеді [29].

Радиацияның энергиясы салдарынан ДНҚ зақымдануларының бедеулікке алып келетінін, генетикалық ақпарат кодын құрайтын азоттық негіздерде пайда болатын өзгерістер нәтижесінде гендік мутациялардың дамитынын, сондай-ақ мутациялардың жартылай пайызының ұзақ уақыт күнелтіп, ұрпақтан ұрпаққа тұқым қуалайтынын тұжырымдауға заманауи радиологтардың толық хұқығы бар [40].

Сонымен, шағын дозалы иондаушы сәулеленудің генетикалық аппаратқа ықпалы жайында бірталай мәліметтердің бар болуына қарамастан, сәулеленудің негізінде жатқан липопероксидация үдерісінің жасуша құрылымында дамитын биохимиялық пен гистопатологиялық өзгерістермен өзара байланысы туралы ғалымдардың ортақ пікірлері күні бүгінге дейін терең қалыптаспаған [9].

**Қорытынды:** Ғылыми деректер иондаушы сәулеленудің радиация түріне байланысты радиосезімтал ағзаларда туындаған гистоморфологиялық белгілердің қалыптасуындағы рөлін растайтынында еш күмән жоқ. Дегенмен де, морфофункционалдық аспектілерді тереңірек зерттеу әсіресе иммунды патологиялық жағдайдың дамуы кезінде төмен дозалы бета- мен гамма-сәулеленудің салдарынан иммунды қабілетті жасушаларда пайда болатын микроскопиялық өзгерістер патоморфогенезді анағұрлым толықтай ашуға, диагностиканың жаңа әдістерін құрастыруға, болжау мен анықтауға, иммундық статустың ауытқуын емдеуге мүмкіндік береді. Демек, радиобиологтар мен онкоморфологтарға ішкі мен сыртқы иондаушы сәулеленудің әсеріне ұшырағандардың ұрпағындағы иммунды қабілетті ағзаларда туындайтын алмасулық пен құрылымдық өзгерістерді тереңдеу зерттеу көмегімен әрі қарай өзара салыстырмалы баға жүргізу келешекте диагностикалық нышандарды құрастыру мүмкіндігін туғызады.

### Әдебиеттер тізімі:

1. Соснина С.Ф., Окатенко П.В., Сокольников М.Э. Риск злокачественных новообразований у первого поколения потомков работниц производственного объединения «Маяк» // Радиация и риск. – 2021. – Т. 30, №4. – С. 143-155 [Sosnina S.F., Okatenko P.V., Sokolnikov M.Je. Risk zlokachestvennyh novoobrazovaniy u pervogo pokoleniya potomkov rabotnic proizvodstvennogo ob#edineniya «Majak» // Radiaciya i risk. – 2021. – Т. 30, №4. – С. 143-155 (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21870/0131-3878-2021-30-4-143-155>

2. Пак Л.А., Манамбаева З.А., Рахыжанова С.О., Олжаев С.Т., Абдыханова М.С., Адильмуратова Г.А., Ермекова Ш.Е., Лукпанова М.Л. Сосудисто-тромбоцитарное звено системы гемостаза и нарушения эндотелиальной функции при злокачественных новообразованиях у лиц, подвергавшихся антропогенному облучению // Онкология и радиология Казахстана. – 2016. – №39 (1). – С. 40-45 [Pak L.A., Manambaeva Z.A., Raxyzhanova S.O., Olzhaev S.T., Abdykhanova M.S., Adil'muratova G.A., Ermekova Sh.E., Lukpanova M.L. Sosudisto-trombocitarnoe zveno sistemy gemostaza i narusheniya e'ndotelial'noj funkcii pri zlokachestvennyh novoobrazovaniyax u lic, podvergavshixsya antropogennomu oblucheniyu // Onkologiya i radiologiya Kazaxstana. – 2016. – №39 (1). – С. 40-45 (in Russ.)]. <http://oncojournal.kz/sosudisto-trombotsitarnoe-zveno-sist/>

3. Балева Л.С., Номура Т., Сулягина А.Е., Карахан Н.М., Якушева Е.Н., Егорова Н.И. Цитогенетические эффекты и возможности их трансгенерационной передачи в поколениях лиц, проживающих в регионах радионуклидного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС // Российский вестник перинатологии и педиатрии. – 2016. – №3. – С. 87-94 [Baleva L.S., Nomura T., Sipjagina A.E., Karahan N.M., Jakusheva E.N., Egorova N.I. Citogeneticheskie jeffekty i vozmozhnosti ih transgeneracionnoj peredachi v pokolenijah lic, prozhivajushhih v regionah radionuklidnogo zagrjaznenija posle avarii na Chernobyl'skoj AJeS // Rossijskij vestnik perinatologii i pediatrii. – 2016. – №3. – С. 87-94 (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2016-61-3-87-94>

4. Oh Y.J., Kwak M.S., Sung M.H. Protection of radiation-induced DNA damage by functional cosmeceutical poly-gamma-glutamate // J. Microbiol. Biotechnol. – 2018. – Vol. 28(4). – P. 527-533. <https://doi.org/10.4014/jmb.1712.12016>

5. Geras'kin S., Minknova K., Perevolotsky A., Baigazinov Z., Perevolotskaya T. Threshold dose rates for the cytogenetic effects in crested hairgrass populations from the Semipalatinsk nuclear test site, Kazakhstan // J. Hazard Mater. – 2021. – Vol. 15. – P. 402-416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125817>

6. Nurmadiyeva G.T., Zhetpispayev B.A., Uzbekov D.E., Sayakenov N.B., Kozыkhenova Zh.U., Kanatbekova A.K., Uzbekova S.E., Kydyrmoldina A.Sh. Radioprotective properties of phytomedicines: a literature review // Oncology and Radiology of Kazakhstan. – 2022. – №2. – P. 48-53. <https://doi.org/10.52532/2663-4864-2022-64-73-78>

7. Sreetharan S., Stoa L., Cybulski M.E., Devon J., Lee A., Kulesza A., Tharmalingam S., Boreham D., Tai T., Wilson J. Cardiovascular and growth outcomes of C57Bl/6J mice offspring exposed to maternal stress and ionizing radiation during pregnancy // Int. J. Radiat. Biol. – 2019. – Vol. 95 (8). – P. 1085-1093. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1589025>

8. Satoh Y., Asakawa J.I., Nishimura M., Kuo T., Shinkai N., Cullings H., Minakuchi Y., Sese J., Toyoda A., Shimada Y., Nakamura N., Uchimura A. Characteristics of induced mutations in offspring derived from irradiated mouse spermatogonia and mature oocytes // Sci. Rep. – 2020. – Vol. 10 (1). – P. 37-51. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56881-2>

9. Узбеков Д.Е., Шабдарбаева Д.М. Радиация әсерінен туындаған жасуша құрылымы мен генетикалық аппараттың зақымданулары // Медицина и экология. – 2017. – №1. – С. 15-27 [Uzbekov D.E., Shabdarbaeva D.M. Radiaciya әserinen tuyndaған zhasusha құrylymy мен genetikalyқ apparattyң zaқymdanulary // Medicina i e'kologiya. – 2017. – №1. – С. 15-27 (in Kazakh)]. <https://cyberleninka.ru/article/n/radiatsiya-serinen-tuynda-an-zhasusharylymy-men-genetikaly-apparatty-za-yndanulary>

10. Komorowski M.A. Radon and Neoplasms // Toxics. – 2023. – Vol. 11 (8). – Art. no. 681. <https://doi.org/10.3390/toxics11080681>

11. Ozasa K., Cullings H.M., Ohishi W., Hida A., Grant E.J. Epidemiological studies of atomic bomb radiation at the radiation effects research foundation // Int. J. Radiat. Biol. – 2019. – Vol. 95 (7). – P. 879-891. <https://doi.org/10.1080/09553002.2019.1569778>

12. Wartecki W. Chernobyl radiation-congenital anomalies: A persisting dilemma // Congenit. Anom. (Kyoto). – 2021. – Vol. 61 (1). – P. 9-13. <https://doi.org/10.1111/cga.12388>

13. Mothersill C., Rusin A., Seymour C. Low doses and non-targeted effects in environmental radiation protection; where are we now and where should we go? // Environ. Res. – 2017. – Vol. 159. – P. 484-490. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.029>

14. Shichijo K., Takatsuji T., Abishev Zh., Uzbekov D., Chaizhunusova N., Shabdarbaeva D., Niino D., Kurisu M., Takahashi Y., Stepanenko V., Azhimkhanov A., Hoshi M. Impact of local high doses of radiation by neutron activated Mn dioxide powder in rat lungs: protracted pathologic damage initiated by internal exposure // Biomedicines. – 2020. – Vol. 8 (171). – P. 101-118. <https://doi.org/10.3390/biomedicines8060171>

15. Uzbekov D., Shichijo K., Fujimoto N., Shabdarbaeva D.M., Sayakenov N.B., Chaizhunusova N.Zh., Kairkhanova Y.O., Saimova A.Zh., Hoshi M., Rakhypbekov T.K. Radiation-induced apoptosis in

- the small intestine of rats // *Наука и Здоровоохранение [Science & Healthcare]*. – 2017. – №3. – С. 32-44. [https://newjournal.ssmu.kz/upload/iblock/3bf/radiatsionno\\_indutsirovannyi-apoptoz-v-tonkom-kishechnike-krys\\_3\\_2017](https://newjournal.ssmu.kz/upload/iblock/3bf/radiatsionno_indutsirovannyi-apoptoz-v-tonkom-kishechnike-krys_3_2017)
16. Falcke S.E., Ruhle P.F., Deloch L., Fietkau R., Frey B., Falpi U.S. Clinically relevant radiation exposure differentially impacts forms of cell death in human cells of the innate and adaptive immune system // *Int. J. Mol. Sci.* – 2018. – Vol. 19 (11). – Art. no. 3574. <https://doi.org/10.3390/ijms19113574>
17. Nakayama M., Ozaki H., Itoh Y., Soda K., Ishigaki H., Okamatsu M., Sakoda Y., Park C., Tsuchiya H., Kida H., Ogasawara K. Vaccination against H9N2 avian influenza virus reduces bronchus-associated lymphoid tissue formation in cynomolgus macaques after intranasal virus challenge infection // *Pathol. Int.* – 2016. – Vol. 66 (12). – P. 678-686. <https://doi.org/10.1111/pin.12472>
18. Rodriguez-Ruiz M.E., Rodriguez I., Leaman O., Leaman O., Lopez-Campos F., Montero A., Conde A.J., Aristu J.J., Lara P., Calvo F.M., Melero I. Immune mechanisms mediating abscopal effects in radioimmunotherapy // *Pharmacol. Ther.* – 2018. – Vol. 18. – P. 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2018.12.002>
19. Swaminathan A., Harrison S.L., Ketheesan N., Boogaard C., Dear K., Allen M., Hart P.H., Cook M., Lucas R.M. Exposure to solar ultraviolet radiation suppresses cell-mediated immunisation responses in humans: the Australian ultraviolet radiation and immunity study // *J. Invest. Dermatol.* – 2019. – Vol. 19. – P. 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2018.12.025>
20. Wilkins A.C., Patin E.C., Harrington K.J., Melcher A.A. The immunological consequences of radiation-induced DNA damage // *J. Pathol.* – 2019. – Vol. 247(5). – P. 606-614. <https://doi.org/10.1002/path.5232>
21. Жетписбаев Б.А., Нурмадиева Г.Т., Жетписбаева Х.С., Ибраимова Л.А., Козыкенова Ж.У. Эффективность влияния экстракта Эминциум Резеля на ПОЛ и АОЗ в центральных органах иммуногенеза при сочетанном действии фракционированной дозы гамма-излучения и эмоционального стресса // *Медицина и экология*. – 2018. – №4 (89). – С. 111-120. <https://repoz.qmu.kz/bitstream/handle/123456789/466/16Journal4-18%20%28pdf.io%29%20%2816%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
22. Ilderbayev O.Z., Zharmakhanova G.M., Okassova A.K., Nursafina A.Zh., Ilderbayeva G.O. Comparison of the performance of liperoxidation-antioxidant protection system in rats at different periods under immobilization stress effects // *Med. J. Islam. Repub. Iran.* – 2021. – Vol. 35. – 113 p. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8683800>
23. Liu J., Zhou J., Wu M., Hu C., Yang J., Li D., Wu P., Chen Y., Chen P., Lin S., Cui Y., Fu S., Wu J. Corrigendum: Low-dose total body irradiation can enhance systemic immune related response induced by hypo-fractionated radiation // *Front. Immunol.* – 2021. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.745787>
24. Rangel-Moreno J., de la Luz Garcia-Hernandez M., Ramos-Payan R., Biear J., Hernady E., Sangster M.Y., Randall T.D., Johnston C.J., Finkelstein J.N., Williams J.P. Long-lasting impact of neonatal exposure to total body gamma radiation on secondary lymphoid organ structure and function // *Radiat. Res.* – 2015. – Vol. 184(4). – P. 352-366. <https://doi.org/10.1667/RR14047.1>
25. Fan T.M., Selting K.A. Exploring the potential utility of pet dogs with cancer for studying radiation-induced immunogenic cell death strategies // *Front. Oncol.* – 2019. – Vol. 8. – P. 680-688. <https://doi.org/10.3389/fonc.2018.00680>
26. Ilderbayev O.Z., Zharmakhanova G.M., Okassova A.K., Nursafina A.Zh., Ilderbayeva G.O. Comparison of the performance of liperoxidation-antioxidant protection system in rats at different periods under immobilization stress effects // *Med. J. Islam. Repub. Iran.* – 2021. – Vol. 35. – P. 113. <https://doi.org/10.47176/mjiri.35.113>
27. Leeman J.E., Schoenfeld J.D. Radiation therapy and immune modulation // *Hematol. Oncol. Clin. North Am.* – 2019. – Vol. 33(2). – P. 233-248. <https://doi.org/10.1016/j.hoc.2018.12.003>
28. Malhotra P., Gupta A.K., Singh D., Mishra S., Singh S.K., Kumar R. Protection to immune system of mice by N-acetyl tryptophan glucoside (NATG) against gamma radiation induced immune suppression // *Mol. Immunol.* – 2019. – Vol. 114. – P. 578-590. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2019.09.003>
29. Otani K., Ohtaki M., Fujimoto N., Uzbekov D., Kairkhanova Y., Saimova A., Chaizhunusova N., Habdarbaeva D., Azhimkhanov A., Zhumadilov K., Stepanenko V., Hoshi M. Effects of internal exposure to neutron-activated <sup>56</sup>MnO<sub>2</sub> powder on locomotor activity in rats // *J. Radiat. Res.* – 2022. – Vol. 63 (1). – P. 38-44. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrac003>
30. Uzbekov D.E., Shabdarbaeva D.M., Chaizhunusova N.Zh., Sayakenov N.B., Uzbekova S.E., Amantaeva G.K., Ruslanova B., Aubakirova G.T., Abeuova A.S., Hoshi M., Shalgumbayeva G.M. Radiation-induced KI-67 proliferation in the small intestine of rats // *Наука и Здоровоохранение = Science & Healthcare*. – 2019. – №1. – P. 63-73. <https://cyberleninka.ru/article/n/radiation-induced-ki-67-proliferation-in-the-small-intestine-of-rats>
31. Liu F., Wang Z., Li W., Wei Y. Transcriptional response of murine bone marrow cells to total-body carbon-ion irradiation // *Mutat. Res.* – 2019. – Vol. 839. – P. 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.01.014>
32. Cho S.J., Kang H., Hong E.H., Kim J.Y., Nam S.Y. Transcriptome analysis of low-dose ionizing radiation-impacted genes in CD4<sup>+</sup> T-cells undergoing activation and regulation of their expression of select cytokines // *J. Immunotoxicol.* – 2018. – Vol. 15 (1). – P. 137-146. <https://doi.org/10.1080/1547691X.2018.1521484>
33. Rabou M.A.A., Naga N.A.A.E., Eid F.A. Effect of transplanted bone marrow on kidney tissue of  $\gamma$ -irradiated pregnant rats and their fetuses // *Pak. J. Biol. Sci.* – 2020. – Vol. 23 (1). – P. 92-102. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.92.102>
34. Hurem S., Martin L.M., Lindeman L., Brede D.A., Salbu B., Lyche J.L., Alestrom P., Kamstra J.H. Parental exposure to gamma radiation causes progressively altered transcriptomes linked to adverse effects in zebrafish offspring // *Environ. Pollut.* – 2018. – Vol. 234. – P. 855-863. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.023>
35. McEvoy-May J.H., Bihari S., Hooker A.M., Dixon D.L. A retrospective audit of cumulative ionising radiation levels in hospitalised pregnant patients // *Aust. NZJ. Obstet. Gynaecol.* – 2021. – Vol. 61 (5). – P. 700-707. <https://doi.org/10.1111/ajpo.13336>
36. Han Y., Xu S., Liu Y., Xu L., Gong D., Qin Z., Dong H., Yang H. Strong radiation field online detection and monitoring system with camera // *Sensors (Basel)*. – 2022. – Vol. 22 (6). – Art. no. 2279. <https://doi.org/10.3390/s22062279>
37. Ilderbayev O., Okassova A., Rakhyzhanova S., Ilderbayeva G., Zhazykbayeva L. The levels of oxidative stress in a combination of stress factors // *J. Med. Life*. – 2022. – Vol. 15 (8). – P. 927-931. <https://doi.org/10.25122/jml-2021-0060>
38. Shichijo K., Takatsuji T., Uzbekov D., Chaizhunusova N., Shabdarbaeva D., Kurisu M., Takahashi Y., Stepanenko V., Azhimkhanov A., Hoshi M. Radiation makes cells select the form of death dependent on external or internal exposure: apoptosis or pyroptosis // *Sci. Rep.* – 2023. – Vol. 13 (1). – P. 12002. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38789-0>
39. Cortez M.A., Anfossi S., Ramapriyan R., Menon H., Atalar S., Aliru M., Welsh J., Calin G.A. Role of miRNAs in immune responses and immunotherapy in cancer // *Genes Chromosomes Cancer*. – 2019. – Vol. 58 (4). – P. 244-253. <https://doi.org/10.1002/gcc.22725>

## АННОТАЦИЯ

### ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИАЦИИ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Д.Е. Узбекиов<sup>1</sup>, Н.Ж. Чайжунусова<sup>2</sup>, О.З. Ильдербаев<sup>1</sup>, Д.М. Шабдарбаева<sup>2</sup>, С.Е. Узбекиова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НАО «Евразийский национальный университет» имени Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан

<sup>2</sup>НАО «Медицинский университет Семей», Семей, Республика Казахстан

**Актуальность:** Влияние излучения на иммунную систему потомства лиц, пострадавших в результате воздействия малых доз различных видов радиации, до сих пор не теряет своей актуальности. В литературе ряд вопросов, касающихся отдаленных последствий, а именно морфофункциональных расстройств в органах потомков облученных лиц, не получил адекватного разрешения.

**Цель исследования** – провести анализ литературы, посвящённой отдаленным последствиям радиации, которые проявляются в форме морфофункциональных расстройств иммунокомпетентных органов у потомков лиц, подвергавшихся воздействию излучения, для подтверждения значимости более детального изучения данной проблемы.

**Методы:** В обзор были включены публикации, проиндексированные в базах данных PubMed, Medline, eLibrary, CyberLeninka. Поиск проводили при помощи научной поисковой системы Google Scholar. Перед началом поиска были выставлены следующие поисковые фильтры: проведенные экспериментальные исследования за последние 8 лет (2015–2023 гг.).

**Результаты:** В ходе поиска выявлено недостаточное количество публикаций, посвященных изучению обменных процессов и гистоморфологических изменений в иммунокомпетентных органах организма потомков облученных лиц. Недостаточное количество публикаций относительно биохимических и патогистологических изменений в отдаленном периоде в органах иммунной системы в результате воздействия радиации требует более глубокого изучения данной темы.

**Заключение:** Одной из задач радиобиологов и онкологов продолжает оставаться изучение морфофункциональных расстройств у потомков первого поколения облученных лиц с последующей разработкой критериев морфологической диагностики.

**Ключевые слова:** ионизирующее излучение, отдаленные эффекты, потомство, морфофункциональные нарушения.

## ABSTRACT

### DELAYED EFFECTS OF RADIATION: A LITERATURE REVIEW

D.E. Uzbekov<sup>1</sup>, N.Zh. Chaizhunusova<sup>2</sup>, O.Z. Ilderbaev<sup>1</sup>, D.M. Shabdarbayeva<sup>2</sup>, S.E. Uzbekova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov «Eurasian National University» NCJSC, Astana, the Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup>«Semey Medical University» NCJSC, Semey, the Republic of Kazakhstan

**Relevance:** The effect of radiation on the immune system of the offspring of persons affected by exposure to low doses of various radiation types is still an urgent issue. In the literature, several issues related to delayed consequences, namely, morphofunctional disorders in the organs of the descendants of irradiated individuals, have not received adequate resolution.

**The purpose was to analyze literature on the long-term effects of radiation, manifested by morphofunctional disorders of the immunocompetent organs in the descendants of persons exposed to radiation, to confirm the importance of further study of this issue.**

**Methods:** The review included publications indexed in PubMed, Medline, E-library, and CyberLeninka databases. The search was made using the Google Scholar search engine. The applied search filters included conducted experimental studies over the past eight years (2015–2023).

**Results:** The search revealed insufficient publications devoted to studying metabolic processes and histomorphological changes in the immunocompetent organs of the body of the descendants of exposed individuals. An insufficient number of publications on long-term biochemical and pathohistological changes in immune system organs due to irradiation necessitate a profound study of the topic.

**Conclusion:** The study of morphofunctional disorders in the descendants of the first generation of irradiated individuals remains a task for radiobiologists and oncologists, with the development of criteria for morphological diagnosis.

**Keywords:** ionizing radiation, delayed effects, progeny, morphofunctional disorders.

**Зерттеудің ашықтығы:** Авторлар осы мақаланың мазмұнына толық жауап береді.

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

**Қаржыландыру:** Авторлар зерттеуді қаржыландырудың жоқтығын айтады.

**Авторлардың үлесі:** тұжырымдамаға қосқан үлесі – Шабдарбаева Д.М.; ғылыми дизайн – Чайжунусова Н.Ж.; мәлімделген ғылыми зерттеулерді орындау – Узбекиова С.Е.; мәлімделген ғылыми зерттеулерді түсіндіру – Ильдербаев О.З.; ғылыми мақаланы құру – Узбекиов Д.Е.

**Авторлар деректері:**

**Узбеков Д.Е. (хат жазушы автор)** – PhD, қауымдастырылған профессор, Л.Н.Гумилев атындағы «Евразия ұлттық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Жалпы биология және геномика кафедрасы, Астана, Қазақстан Республикасы, тел. +77055301026, e-mail: darkhan.uzbekov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4399-460X;

**Чайжунусова Н.Ж.** – Медицина ғылымдарының докторы, профессор, «Семей медицина университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Қоғамдық Денсаулық сақтау кафедрасы, Семей, Қазақстан Республикасы, тел. +77771450100, e-mail: n.nailya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6660-7118;

**Ильдербаев О.З.** – Медицина ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н.Гумилев атындағы «Еуразия ұлттық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Жалпы биология және геномика кафедрасы, Астана, Қазақстан Республикасы, тел. +77027252474, e-mail: ilderbayev\_oz@enu.kz, ORCID ID: 0000-0002-8137-4308;

**Шабдарбаева Д.М.** – Медицина ғылымдарының докторы, профессор, «Семей медицина университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Патологиялық анатомия және сот медицинасы кафедрасы, Семей, Қазақстан Республикасы, тел. +77472506108, e-mail: dariya\_kz@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-9463-1935;

**Узбекова С.Е.** – Медицина ғылымдарының кандидаты, Медицина мектебінің деканы, «Семей медицина университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Семей, Қазақстан Республикасы, тел. +77764257585, e-mail: uzbekova.saltanat@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9006-120X.

**Хат-хабарларға арналған мекен-жай:** Узбекиов Д.Е., А. Пушкин к. 2/1 – 22, Астана 010000, Қазақстан Республикасы.