

Л.Е. Чуленбаева, О.З. Ілдербаев

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
(E-mail: laurache@mail.ru)*

Тәжірибелі антракозда аз дозалы гамма-сәуленің әсер ету кезіндегі босрадикалды тотығудың рөлі

Зерттеу мақсаты — көмір шаңы мен аз дозалы иондағыш сәуленің (0,2 Гр) кейінгі кезеңдегі әсеріне ұшыраған жануарлардың иммунокомпетентті ағзаларында липидтердің асқын тотығының рөлін анықтау. Бақылау жұмысы 3 топқа бөлінген Wistar қатарындағы 30 ақ аталық егеуқұйрықтарға жүргізілді: I-топ — интактілі; II-топ — көмір шаңын жұтқан топ; III-топ — гамма-сәулесіне және көмір шаңына шалдыққан топ. Тәжірибелік егеуқұйрықтарда эксперименттік антракозды модельдеу үшін арнайы арналған шаң беретін камера қолданылды. III-топтағы жануарларды зерттеуге 90 күн қалғанда чехиялық TERAGAM ⁶⁰Co («ISOTREND spol. s.r.o.», Чех Республикасы) атты радиотерапевтік қондырғысымен 0,2 Гр дозада бір мезетте сәуле берілді. Сәулеуеге дейін жануарларда топометриялы-дозиметриялық дайындық жұмысы жүргізілді. Ол үшін нысана «Terasix» (Чех Республикасы) симуляторының изоцентрикалы терапевті столына орналастырылды, ол өзінің құрылымы және өлшемдері бойынша гамма-сәуле терапевті столына сәйкес келеді. Көмір шаңы және радиацияның бірлесе әсері липидтердің гиперпероксидациясын тудыра отырып, неғұрлым тереңірек ықпал көрсеткен. Көмір шаңы мен радиациялық фактордың ықпалынан ДК және МДА мөлшерлері артып, оның есебінен зерттеу нысаналарында тотығу күйзелісінің еселене жүргені тіркелді.

Кілт сөздер: радиация, көмір шаңы, липидтердің асқын тотығы, бірлесе әсер ету, зиянды өндірістік жағдайлар.

Өзектілігі

Зиянды өндірістік поллютанттар пневмокониоздар сияқты кәсіптік ауруларды тудырады. Пневмокониоздар — ұзақ уақыт бойы шанды ластағыштырмен тыныс алу әсерінен өкпеде дамиды диффузды интерстициалды фиброздарды кәсіптік ауру. Бұл ауру тау-кен, таскөмір, асбест, машина жасау өндірісінің жұмысшыларда кездеседі және ауа арқылы өкпеге түскен шандардың физикалық-химиялық ерекшеліктеріне байланысты. Бұл пневмокониоздар біртоға фиброзды сипатта, баяу асқынатын, көбінесе жұқпалы емес аурулармен асқинуы, көбінесе созылмалы қалқа ауруларымен асқинулары болады [1, 2]. Аллергенді аэрозольдерден болған пневмокониоздар (металл-аллергенді шандары, пластмасс аэрозольдары, органикалық шандары): бериллиоз, алюминоз, фермер өкпесі және басқа созылмалы аса сезімталды пневмониттер. Мұндай пневмокониоздар кезінде өкпеде интерстициалды немесе гранулезді үдерісті сипатта болатын созылмалы бронхо-бронхолиттер, альвеолиттер болады. Мөлшері 10 мкм-ден аз болатын шаң-тозаңдар бөлшектерінің өкпенің шеткі бронхиолдар мен альвеоларда қалып қоюы пневмокониоз ауруының негізгі патогенезін тудырады. Сырттан түскен шандар өкпеде фагоцитоз арқылы альвеолалық макрофагтармен жойылып, ағзаның альвеоланы тазартуға бағытталған басты механизмдерімен тазартылады. Сонымен қатар бос кремний қос тотығының альвеолалық макрофагтарды зақымдауы және олардың әсерінен фиброгендігі жоғары заттар мен цитокиндердің пайда болуы өкпеде антракозды пневмосклероздың дамуына ықпал жасайды [3–5].

Қоршаған ортадағы ластағыштардың, әсіресе қатты заттардың, фиброгенді шандардың ұзақ уақыттық әсері өкпе қызметінің жұмысын төмендетіп, ағзаның тотығуы қарсы тұру жүйесін баяулатып, тотығу күйзелісін тудырады және өкпеде қабыну жасушаларын іске қосады. Сонымен қатар босрадикалды тотығу үдерістері жоғарлауы кезінде төмен молекулалы заттарда және макромолекулаларда, яғни ақуыздарда, нуклеин қышқылдарында және липопротеидтерде патологиялық тотығулар жүруі мүмкін [6, 7]. Ағзаға түскен эндогенді қосылыстар босрадикалды тотығу үрдісіне ұшырайды және олардың үдеруі аутоантигендердің екі түрін түзуі мүмкін. Олардың ақуыз молекулаларымен қосылысуы барысында организмнің аутоиммунды жауабын беретін конъюгирленген антигендер түзілуі мүмкін [8, 9]. Б.Т. Величковскийдің пікірі бойынша, аутоантигендердің түзілуі дәл сол макромолекулалардағы оттегінің белсенді формаларының тотығуын тұжырымдайды. Көптеген макромолекулалардың ішінде оттегінің белсенді формалары қалыпты антиген детерминанттарды жойып, басқа үдерістерді жүргізе отырып, эндогенді макромолекулалардың

касиеттерін бұзу арқылы патологиялық детерминанттар түзеді. Нәтижесінде макромолекулалар тотығу арқылы антигенге айналып, ағзаның аутоиммундық жауабының дамуына зор үлесін тигізеді [10].

ЛАТ-ң физиологиялық жағдайда тежелуі тотығуға қарсы қорғаныс жүйесімен жүзеге асады, кей уақытта бұл қорғаныс жүйе қызметінің жойылуына қоршаған ортаның әртүрлі жағымсыз факторы әсерін тигізуі мүмкін [11]. Бұл жүйенің әртүрлі патологиялық үдерістің қалыптасуында айрықша маңызды орын алатындығын, сезімталдылығының жоғарылығын және және бұл жүйенің бұзылысы кезінде кең көлемді зардаптардың болатындығын ескере отырып, көмір шаңы және радиацияның қосарлы әсері кезінде бұл жүйенің әрекеттері жайлы мағлұматтарды алу бағытына сәйкес зерттеу жұмысымыздың мақсаты ретінде зиянды поллютанттардың әсерінен туындаған патологиялық үдерістердегі ЛАТ жүйесінің ролін анықтау болды.

Мақсаты

Аз дозалы γ -сәулелену мен көмір шаңының қосарлы әсері кезінде ағзадағы липидтердің асқын тотығу өнімдерінің өзгерісін кейінгі кезеңде эксперимент түрінде зерттеу.

Материалдар мен әдістер

Жұмыстың қойылған мақсаттына жету үшін, тәжірибе 30 ($m = 220 \pm 20$ г) аталық ақ егеуқұйрықтарға үш топ бойынша жүргізілді. I-топ — бақылау ($n = 10$); II-топ — көмір шаңымен уланған топ ($n = 10$); III-топ — көмір шаңы және иондаушы сәулемен қосарлы уланған топ ($n = 10$). Эксперименттік антракозды модельдеуде патогендік шаңдарды арнайы шаң беруге арналған камерада 50 мг/м^3 концентрацияда күніне 4 сағаттан 12 апта бойы көмір шаңы берілді. III-топтағы жануарларды зерттеуге 90 күн қалғанда γ -сәулесі берілді. Жануарларды сәулелеу «Teragam» радиотерапевтік қондырғыда $0,2 \text{ Гр}$ γ -сәулесіне сәйкес болатындай топометриялы-дозиметриялық дайындық жүргізілгеннен соң берілді. Иондаушы сәуле көзі ретінде ^{60}Co радийбелсенді элементі қолданылды. Жануарлар жартылай декапитация әдісі арқылы зерттеуге алынды. Тексеріске бауыр, көкбауыр, тимус, жіңішке ішек безтүйіндері және бүйрек үсті безінен гомогенаты жасалынды және қан лимфоциттері алынды. Бұлардан диен конъюгатын (ДК) В.Б. Гаврилов, М.И. Мешкоруднаяның (1983) және малон диальдегидін (МДА) С.Г. Конохова және авт. (1989) әдістерімен анықталды. Жануарларға тәжірибе жүргізу ҚР Денсаулық сақтау министрінің 2007 жылы 25 шілдедегі № 442 «Қазақстан Республикасындағы клиникаға дейінгі, медициналық-биологиялық эксперименттерді және клиникалық сынақтарды жүргізу туралы ережесіне» [12] сай орындалды. Зерттеудің нәтижелеріне статистикалы өңдеу жүргізіліп, ерекшеліктері t -Стюдент критерийімен бағаланды.

Нәтижелер және талдау

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша, диен конъюгатының мөлшері көмір шаңымен уланған жануарлардың бауырында (1-кесте) $0,68 \pm 0,05$ -тен $1,19 \pm 0,17$ -ге ($p < 0,05$), жіңішке ішек лимфатүйіндерінде $0,36 \pm 0,03$ -тен $1,11 \pm 0,10$ -ға ($p < 0,001$), тимус тінінде $0,48 \pm 0,04$ -тен $1,02 \pm 0,14$ -ке ($p < 0,05$) және шеткі қан лимфоциттерінде $0,28 \pm 0,02$ -ден $0,35 \pm 0,02$ -ге ($p < 0,05$), бақылаудағы көрсеткішпен салыстырғанда, жоғарлағаны анықталды, яғни тәжірибелік антракозда бұл тіндердің құрылымдық мембраналарында липопероксидацияның қарқындылығы жоғары болғаны байқалды. Босрадикалды тотығудың түрлі мүшелердегі әр дәрежедегі өзгерістері жасушаның тотығуға қарсы жүйесінің өзгерісін көрсетеді. Диен конъюгатының мөлшері уланған жануарлардың бүйрек үсті безі мен көкбауыр тіндерінде қалыпты топтағы көрсеткішпен салыстырғанда нақты өзгермегені тіркелді ($p > 0,05$).

Көмір шаңы мен иондағыш сәуленің қосарлы әсерінен уланған жануарларда диен конъюгаты мөлшері бауырында $0,68 \pm 0,05$ -тен $0,84 \pm 0,06$ -ға ($p < 0,05$), жіңішке ішек лимфотүйіндерінде $0,36 \pm 0,03$ -тен $0,66 \pm 0,05$ -ке ($p < 0,001$) және $0,28 \pm 0,02$ -ден $0,34 \pm 0,02$ -ге ($p < 0,05$), бақылаудағы көрсеткішпен салыстырғанда, жоғарлаған, ал тимус және көкбауыр гомогенаттарында диен конъюгаты мөлшері, бақылау тобымен салыстырғанда, өзгеріске түсе қоймағандығы анықталды. Диен конъюгаты бүйрек үсті безінде, керісінше, шаң-радиациялық фактордың әсерінен $1,16 \pm 0,11$ -ден $0,48 \pm 0,03$ -ке дейін төмендегені тіркелді ($p < 0,05$) (1-кесте).

Көмір шаңының және шаң-радиациялық фактордың әсер ету кезіндегі диен конъюгаты мөлшері

Зерттеу нысаны	Бақылау тобы-I (n = 10)	Көмір шаңымен уланған топ-II (n = 10)	Көмір шаңы + иондағыш сәуле әсерін алған топ-III (n = 10)
Бауыр	0,68±0,05	1,19±0,17*	0,84±0,06*
Көкбауыр	1,27±0,10	1,25±0,11	1,05±0,08
Жіңішке ішек безтүйіндері	0,36±0,03	1,11±0,10**	0,66±0,05**
Тимус	0,48±0,04	1,02±0,14*	0,52±0,04
Бүйрек үсті бездері	1,16±0,11	1,43±0,12	0,48±0,03**
Шеткі қан лимфоциттері	0,28±0,02	0,35±0,02*	0,34±0,02*

Ескерту. I-ші топқа сәйкес айырмашылық * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,001$.

Жүргізілген зерттеу мәліметтері, жұмыстың мақсатына сәйкес көрсетілгендей, көмір шаңының әсері кезінде малон диальдегидінің мөлшері (2-кесте), бақылау тобындағы мөлшерімен салыстырғанда көкбауырда, аса өзгеріске ұшырамағандығы анықталды, бірақ сонда да мөлшерінің төмендеу үрдісі байқалды ($p > 0,05$). Зерттеуге алынған басқа иммунокомпетентті мүшелерде малон диальдегиді мөлшерінің нақты түрде арту құбылысы байқалды: бауыр гомогенатында 0,13±0,01-ден 0,18±0,01-ге ($p < 0,05$), жіңішке ішек безтүйіндерінде 0,05±0,005-тен 0,08±0,007-ге ($p < 0,05$) дейін, тимус тінінде 0,18±0,01-ден 0,25±0,03-ке ($p < 0,05$) дейін, бүйрек үсті безі тінінде 0,22±0,02-ден 0,30±0,03-ке ($p < 0,05$) дейін және шеткі қан лимфоциттерінде 0,08±0,007-ден 0,12±0,01-ге ($p < 0,05$) дейін нақты артқаны анықталды.

Көмір шаңының және шаң-радиациялық фактордың әсер ету кезіндегі малон диальдегидінің мөлшері

Зерттеу нысаны	Бақылау тобы-I (n = 10)	Көмір шаңымен уланған топ-II (n = 10)	Көмір шаңы + иондағыш сәуле әсеріне ұшыраған топ-III (n = 10)
Бауыр	0,13±0,01	0,18±0,01*	0,22±0,02**
Көкбауыр	0,33±0,03	0,27±0,02	0,19±0,02*
Жіңішке ішек безтүйіндері	0,05±0,005	0,08±0,007*	0,09±0,01*
Тимус	0,18±0,01	0,25±0,03*	0,29±0,02**
Бүйрек үсті бездері	0,22±0,02	0,30±0,03*	0,39±0,04*
Шеткі қан лимфоциттері	0,08±0,007	0,12±0,01*	0,12±0,01*

Ескерту. I-ші топқа сәйкес айырмашылық * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

Шаң мен иондаушы сәуленің бірлескен әсеріне ұшыраған жануарлардың көкбауыр тінінен жасалынған гомогенатындағы малон диальдегиді мөлшерін (2-кесте), бақылаудағы көрсеткішпен салыстырғанда, 0,33±0,03-тен 0,19±0,02-ге ($p < 0,05$) төмендеген, ал зерттеуге алынған тіндердің гомогенаттарында жұмыс мақсаты бойынша, малон диальдегиді мөлшері нақты түрде жоғарлаған, атап айтқанда, бауыр тінінде 0,13±0,01-ден 0,22±0,02-ге ($p < 0,01$), жіңішке ішек безтүйіндерінде 0,05±0,005-тен 0,09±0,01-ге ($p < 0,05$), тимус тінінде 0,18±0,01-ден 0,29±0,02-ге ($p < 0,01$), бүйрек үсті безі тінінде 0,22±0,02-ден 0,39±0,04-ке ($p < 0,05$), шеткі қан лимфоциттерінде 0,08±0,007-ден 0,12±0,01-ге ($p < 0,05$) дейін жоғарлап кеткен. Қалыпты жағдайда ағзаның құрамында липидтердің асқын тотығуы үдерісінде түзілетін бастапқы қосылыстар шамалы мөлшерде болған жағдайда физиологиялы ықпалда болады. Мембраналық фосфолипидтер құрамындағы майқышқылдары қалдықтарының қайтымды гидрофильді-гидрофобты ауыспалы жүруі және биомембрананың қызметті жағдайының өзгеруі, мембранамен байланыстағы ферменттердің қайтымды түрде тежелуі сияқты қайтымды құбылыс-өзгерістер, шаң-радиациялық фактордың әсері кезінде көкбауыр мен бүйрек үсті бездерінде байқалды. Босрадикалдар тотығуының екіншілік өнімдері зақымдаушы ретінде әсерін көрсетеді, мұндай зақымдаушы әсер көкбауырдан басқа зерттеуге алынған нысаналарда анықталды.

Қорытынды

Эксперименттік зерттеу жұмысының нәтижелері бойынша көмір шаңы және шаң-радиациялық факторларға ұшыраған тәжірибелік егеуқұйрықтардың босрадикалды мәртебесі зерттеуге алынған ағзаларда күрделі өзгеріске ұшыраған. Диен конъюгаты және малон диальдегиді мөлшерлері бауыр, жіңішке ішек безтүйіндерінде және шеткі қан лимфоциттерінде қалыпты көрсеткіштен нақты деңгейге жоғарлаған. ЛАТ өнімдері мөлшері көмір шаңы мен радиациялық фактордың ықпалынан артып, оның есебінен зерттеу нысаналарында тотығу күйзелісінің еселене жүргені тіркелді.

Әдебиеттер тізімі

- 1 Kaur S. Effect of occupation on lipid peroxidation and antioxidant status in coal-fired thermal plant workers / S. Kaur, M.G. Gill, K. Gupta, K.C. Manchanda // International Journal of Applied and Basic Medical Research. — 2013. — Vol. 3, No. 2. — P. 93–97.
- 2 Кацнельсон Б.А. Пневмокониозы: патогенез и биологическая профилактика / Б.А. Кацнельсон, О.Г. Алексева, Л.И. Привалова, Е.В. Ползик. — Екатеринбург: УроРАН, 1995. — 328 с.
- 3 Артамонова В.Г. Профессиональные болезни: учеб. пос. / В.Г. Артамонова, Н.А. Мухин. — 4-е изд. — М.: Медицина, Университетская книга, 2004. — 480 с.
- 4 Кулкыбаев Г.А. Современные направления развития гигиены окружающей среды и проблемы их реализации в Республике Казахстан / Г.А. Кулкыбаев, А.Е. Шпаков // Гигиена труда и медицинская экология. — 2004. — № 1. — С. 3–10.
- 5 Gusev V.A. Effect of quarts and alumina dust on generation of superoxide radicals and hydrogen peroxide by alveolar macrophages, granulocytes and monocytes / V.A. Gusev, Ye.V. Danilovskaja, O.Ye. Vitolkina, O.S. Lomonosova, B.T. Velichkovsky // British Journal of Industrial Medicine. — 1993. — Vol. 29. — P. 469–486.
- 6 Lipinski B. Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease / B. Lipinski // Oxidative medicine and cellular longevity. — 2001. — Vol. 2011. — P. 1–9.
- 7 Kelly F.J. Oxidative stress: its role in air pollution and adverse health effects / F.J. Kelly // Occupational and environmental medicine. — 2003. — Vol. 60. — P. 612–616.
- 8 Рогалева А.В. Активность свободнорадикального окисления и антиоксидантной системы в лимфоцитах периферической крови у больных аутоиммунным тиреоидитом / А.В. Рогалева, О.И. Уразова, Е.Б. Кравец, В.В. Новицкий, Н.А. Сухаленцева, О.И. Иванова и др. // Вестн. Российской академии медицинских наук. — 2010. — № 3. — С. 11–15.
- 9 Antoshina S.V. Effect of flavonoids of different structure on peroxidation of neutral lipids of animal origin / S.V. Antoshina, A.A. Selishcheva, G.M. Sorokoumova, E.A. Uikina // Прикладная биохимия и микробиология. — 2005. — Т. 41, № 1. — С. 23–28.
- 10 Величковский Б.Т. Экологическая пульмонология / Б.Т. Величковский. — Екатеринбург: Изд. ЕМНЦ ПОЗРПП Минздрава России, 2003. — 141 с.
- 11 Барабой В.А. Перекисное окисление и радиация / В.А. Барабой, В.Э. Орел, И.М. Карнаух. — Киев: Наук. думка, 1991. — 256 с.
- 12 Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрінің 2007 жылғы 25 шілдедегі № 442 Қазақстан Республикасындағы клиникаға дейінгі, медицина-биологиялық эксперименттерді және клиникалық сынақтарды жүргізу туралы ережесі. — Астана, 2007.

Л.Е. Чуленбаева, О.З. Ильдербаяев

Роль свободнорадикального окисления при антракозе на фоне малой дозы ионизирующего излучения

Цель исследования — изучение роли свободнорадикального окисления в иммунокомпетентных органах и клетках в отдаленном периоде при комбинированном воздействии малой дозы гамма-излучения (0,2 Гр) и угольной пыли. Исследование проведено на 30 крысах-самцах линии Wistar, разделенных на 3 группы: I группа — интактные; II группа — затравленные угольной пылью; III группа — подвергавшиеся комбинированному воздействию угольной пыли и гамма-облучения. Для воспроизведения экспериментального антракоза у подопытных крыс использовали специальную ингаляционную затравочную камеру. Животных III группы облучали за 90 суток до исследования на радиотерапевтической установке TERAGAM ⁶⁰Co («ISOTREND spol. s.r.o.», Чехия) однократно, по 0,2 Гр. До облучения проводилась топометрическо-дозиметрическая подготовка экспериментальных животных к облучению: объект помещался на изоцентрическом терапевтическом столе рентген-симулятора «Terasix» (Чехия), который своей конструкцией и параметрами соответствует терапевтическому столу гамма-облучателя. Ионизирующая радиация в сочетании с угольной пылью в отдаленном периоде оказывает более выраженное воздействие, чем при раздельном действии, формированием синдрома липидной гиперпероксидации. Влияние сочетанного воздействия угольной пыли и ионизирующей радиации

привело к увеличению уровня ДК и МДА, приводящих к развитию двойного окислительного стресса в исследуемых объектах.

Ключевые слова: радиация, угольная пыль, перекисное окисление липидов, комбинированное действие, вредные производственные условия.

L.E. Chulenbayeva, O.Z. Ilderbayev

The role of free radical oxidation at anthracosis on a low dose of ionizing radiation

Aim of research: the study of the role of free radical oxidation in the immune organs and cells in remote period the combined effect of low dose of gamma radiation (0,2 Gy) and coal dust. Thirty male Wistar rats were divide into three groups: I — control; II — exposure to coal dust; III — combined exposure of coal dust and radiation. Inducing anthracosis in rat models using an exposure chamber was successful. The animals were placed into cone-shaped compartments, with their vertices attached to the side walls of the exposure chamber. The animals of III groups were irradiated 90 days prior to the study at the TERAGAM ⁶⁰Co radiotherapy unit («SOTREND spol. S.r.o.», Czech Republic) in a single dose of 6 Gy. Prior to the exposure, there was topometric-dosimetric preparation of the experimental animals. To this end, the object was placed on an isocentric therapeutic desk of Terasix X-ray simulator (Czech Republic), which is similar to the therapeutic desk of the γ -irradiator by its construction and parameters. Ionizing radiation combined with coal dust in remote period has a more pronounced effect for the formation of lipid hyper peroxidation syndrome than if they were separate. Influence of the combined effects of coal dust and ionizing radiation resulted in increased levels of DC and MDA, resulting in the development of dual-oxidative stress.

Keywords: radiation, coal dust, lipid peroxidation, the combined impact, harmful working conditions.

References

- 1 Kaur, S., Gill, M.G., Gupta, K., & Manchanda, K.C. (2013). Effect of occupation on lipid peroxidation and antioxidant status in coal-fired thermal plant workers. *International Journal of Applied and Basic Medical Research*, 3, 2, 93–97.
- 2 Katsnelson, B.A., Alekseeva, O.G., Privalova, L.I., & Polzik, E.V. (1995). *Pnevmonioziyi: patohenez i biolohicheskaia profilaktika [Pneumoconiosis: pathogenesis and biological prophylaxis]*. Yekaterinburg: UroRAN [in Russian].
- 3 Artamonova, V.G., & Muhin, N.A. (2004). *Professionalnye bolezni [Occupational diseases]*. (4th ed.). Moscow: Meditsina; Universitetskaya kniha [in Russian].
- 4 Kulkybaev, G.A., & Shpakov, A.E. (2004). Sovremennye napravleniya razvitiya hihieny okruzhaiushei sredy i problemy ikh realizatsii v Respublike Kazakhstan [Modern trends in the development of environmental hygiene and the problems of their implementation in the Republic of Kazakhstan]. *Hihiena truda i meditsinskaia ekolohiia — Occupational hygiene and medical ecology*, 1, 3–10 [in Russian].
- 5 Gusev, V.A., Danilovskaya, Ye. V., Vatulkina, O.Ye., Lomonosova, O.S., & Velichkovsky, B.T. (1993). Effect of quarts and alumina dust on generation of superoxide radicals and hydrogen peroxide by alveolar macrophages, granulocytes and monocytes. *British Journal of Industrial Medicine*, 29, 469–486.
- 6 Lipinski, B. (2011). Hydroxyl radical and its scavengers in health and disease. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2011, 1–9.
- 7 Kelly, F.J. (2003). Oxidative stress: its role in air pollution and adverse health effects. *Occupational and environmental medicine*, 60, 612–616.
- 8 Rogaleva, A.V., Urazova, O.I., Kravets, E.B., Novitskiy, V.V., Sukhaleutseva, N.A., & Ivanova, O.I., et al. (2010). Aktivnost svobodnoradikalnoho okisleniya i antioksidantnoi sistemy v limfotsitakh perifericheskoy krovi u bolnykh autoimmunnym tireoiditom [Activity of free radical oxidation and antioxidant system in peripheral blood lymphocytes in patients with autoimmune thyroiditis]. *Vestnik Rossiyskoi akademii meditsinskikh nauk — Annals of the Russian academy of medical sciences*, 3, 11–15 [in Russian].
- 9 Antoshina, S.V., Selishcheva, A.A., Sorokoumova, G.M., & Uikina, E.A. (2005). Effect of flavonoids of different structure on peroxidation of neutral lipids of animal origin. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya — Applied Biochemistry and Microbiology*, 41, 1, 23–28.
- 10 Velichkovskiy, B.T. (2003). *Ekolohicheskaia pulmonologiya [Ecological Pulmonology]*. Yekaterinburg: Izdanie EMNTs POZRPP Minzdrava Rossii [in Russian].
- 11 Baraboy, V.A., Orel, V.E., & Karnaukh, I.M. (1991). *Perekisnoe okislenie i radiatsiya [Peroxide oxidation and radiation]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
- 12 *Qazaqstan Respublikasy Densaulыq saqtau ministrinin 2007 zhyly 25 shildedehi No. 442 Qazaqstan Respublikasyndahy klinikaga deingi, mediko-biologiyalyq jeksperimentterdi zhane klinikalyk synaqtardy zhurhizu turaly erezhesi.* (2007). Astana [in Kazakh].