

Ю. П. Гриневич^{1,*}, Л. І. Маковецька^{1,2}, А. І. Липська¹, О. О. Бурдо¹¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна² Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р. С. Кавецького НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: green47@ukr.net

**ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНІ ПРОЦЕСИ В КРОВІ ТА ПЕЧІНЦІ
МИШОПОДІБНИХ ГРИЗУНІВ (*MYODES GLAREOLUS* ТА *APODEMUS FLAVICOLLIS*)
ЗА РАЗОВОГО ОПРОМІНЕННЯ**

Досліджено вплив тотального разового рентгенівського опромінення (1,5 Гр) на перебіг вільнорадикальних процесів (ВРП) у крові та печінці нориці рудої (*Myodes glareolus*) та мишака жовтогогорлого (*Apodemus flavicollis*). Показано, що фізико-хімічна регуляція перебігу ВРП у крові мишоподібних гризунів за тотального рентгенівського опромінення на ранніх етапах здійснюється, в основному, за рахунок каталази та глутатіону відновленого (GSH). Про це свідчать стехіометрія хемілюмінесцентної (ХЛ) реакції та симбатні зміни прооксидантно-антиоксидантного співвідношення (ПАС) і основних кінетичних параметрів ХЛ реакції (I_{\max} , $I_{\text{кінц}}$) та антибатні до ПАС – каталази і GSH.

Ключові слова: мишоподібні гризуни, рентгенівське опромінення, вільнорадикальні процеси, кров, печінка, каталаза, глутатіон відновлений.

1. Вступ

Іонізуюче випромінювання є одним із потужних ушкоджуючих факторів, що призводить до розбалансування системи окисно-відновного гомеостазу, коли інтенсивне генерування активних форм кисню (АФК) перевищує потенційні можливості антиоксидантної системи (АОС), внаслідок чого відбувається активація вільнорадикального окиснення і розвиток оксидативного стресу. Це розглядається як один із механізмів формування та розвитку різноманітних патологій, зокрема, і онкологічних захворювань [1].

Вільнорадикальні процеси (ВРП) та система антиоксидантного захисту організму відіграють важливу роль у забезпеченні процесів його функціонування. До ензиматичної ланки системи антиоксидантного захисту входять супероксиддисмутаза (SOD, EC 1.15.1.1), каталаза (CAT, EC 1.11.1.6), глутатіоновий комплекс, що включає глутатіон відновлений (GSH), глутатіон-пероксидазу (GPx, EC 1.11.1.9) та глутатіон-редуктазу, що захищають клітини від негативного впливу вільних радикалів (ВР) та забезпечують постійність редокс-статусу внутрішньоклітинного середовища.

Суттєве значення у в'ясненні механізмів патологічних змін, що виникають в організмі за дії радіації, належить функціонально-метаболічному профілю клітин крові, оскільки зміни її показників відображають процеси, що відбуваються не тільки в кровотвірній системі, але й у інших органах та тканинах організму. Кров є чутливим

індикатором на дію різноманітних екзогенних та ендогенних чинників. Її функціонально-метаболічний профіль відображає стан організму в цілому (тому серед методів обстеження організму важливе місце займає клініко-фізіологічний аналіз крові).

Водночас, центральним органом метаболізму, що бере участь у процесах біосинтезу та розпаду багатьох молекул, біотрансформації метаболітів, детоксикації багатьох ендогенних токсинів, радіотоксинів, інактивації надлишку ВР і екзогенних речовин є печінка. Важлива її роль в адаптаційних процесах, що запобігають негативним наслідкам стресу, зокрема оксидативного, пов'язаного з утворенням АФК та ВР різної природи. Кількість (активність) їх контролюється потужною АОС печінки, що включає низько- та високомолекулярні сполуки. Важлива роль у цій системі належить GSH та глутатіон-залежним антиоксидантним ферментам печінки, що можуть безпосередньо взаємодіяти з АФК.

Процесам вільнорадикального (перекисного) окиснення за дії на організм ссавців радіації приділялась і приділяється значна увага. Проте і донині відсутні вичерпні знання про молекулярні механізми їхнього розвитку, фізико-хімічної, біохімічної регуляції як в нормі, так і за дії різноманітних ксенобіотиків та іонізуючого випромінювання, і взаємозв'язки цих процесів у ссавців, зокрема у природних популяціях тварин. Слід зазначити, що більшість експериментальних досліджень із використанням гризунів проводяться у лабораторних умовах на лінійних тваринах і за

однакового харчового раціону, що не відображає реального стану довкілля і кардинально відрізняється від природних умов існування тварин.

Дрібні ссавці, особливо мишоподібні гризуни, які перебувають на територіях з різним рівнем техногенного та радіонуклідного забруднення, представляють особливий науковий інтерес для вивчення як індивідуальних радіаційних ефектів, так і порівняння і співвідношення цих результатів з даними радіаційних ефектів, що виявляються у тварин у лабораторних умовах.

За досить великої кількості робіт, що присвячені вивченню дії іонізуючого випромінювання на організм ссавців, малодослідженими є молекулярні (фізико-хімічні, біохімічні) механізми вільнорадикальної адаптації до гострої та хронічної дії низьких та фонових доз у мишоподібних гризунів із природних популяцій та можливості формування радіостійкості до більш високих доз. Прогнозування можливих біологічних ефектів за дії радіації, як за разового, так і хронічного опромінення, вимагає пошуку метаболічно-важливих показників для більш повної оцінки біологічної дії іонізуючого випромінювання. Одним із таких перспективних напрямків є дослідження перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) – процесу, характерного для всіх типів мембран, що відіграє важливу роль у регуляції клітинного метаболізму за дії ушкоджуючих чинників, зокрема, і іонізуючої радіації.

Упродовж усього життя тварин відбувається накопичення продуктів ПОЛ, що пов'язане зі станом АОС і залежить від потужності дози опромінення і сумарної поглиненої дози. Крім того, дослідження віддалених радіобіологічних наслідків перебування дрібних ссавців на радіоактивно-забруднених територіях може стати відправною точкою для екстраполяції результатів таких досліджень від тварини до людини.

Першим етапом багаторічних комплексних радіобіологічних робіт у цьому напрямку стало дослідження біохімічних та фізико-хімічних параметрів окисно-відновного балансу в крові та печінці мишоподібних гризунів з природних популяцій за разового тотального опромінення, місцеперебуванням яких є території з фоновим радіонуклідним забрудненням.

Метою представленої роботи була оцінка впливу разового тотального опромінення рентгєнівськими променями (1,5 Гр) на прооксидантно-антиоксидантні процеси, як інтегральну оцінку біохімічних та фізико-хімічних процесів, у крові та печінці мишоподібних гризунів з природних популяцій.

2. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом досліджень були мишоподібні гризуни (*Rodentia Muroidea*) – представники родів *Myodes* та *Apodemus*: нориця руда (*Myodes glareolus* Schreber, 1780) та мишак жовтогорлий (*Apodemus flavicollis* Melchior, 1834), відлови яких здійснювали на території проектного національного парку Чернечий ліс Київської області.

Разове тотальне рентгєнівське опромінення мишоподібних гризунів здійснювали на рентгєнівському апараті РУМ-17 за таких умов: напруга на трубіці 180 кВ, струм 10 мА, фільтр 0,5 мм Cu + 1 мм Al, шкірно-фокусна відстань 50 см, потужність дози опромінення 0,55 Гр/хв. Доза опромінення 1,5 Гр.

Прооксидантно-антиоксидантні процеси досліджували у крові методом індукованої хемілюмінесценції (ХЛ) за основними її кінетичними параметрами [2, 3] і активністю каталази [4] та у печінці за вмістом GSH [5]. Результати виражали у співвідношенні дослід/контроль.

3. Результати та обговорення

ХЛ крові мишоподібних гризунів. ХЛ – це емісія електромагнітного випромінювання в діапазоні видимого світла, що супроводжує перебіг фізико-хімічних процесів у біологічних системах, зокрема в клітинах ссавців та рослин. У біологічних об'єктах ХЛ – це світіння, що виникає за біохімічних реакцій у клітинах людини, тварини, рослини за участю ВР, інтенсивність якого надзвичайно низька і може бути зареєстрована лише за допомогою високочутливих приладів [2, 6].

Дослідження ХЛ гемолізатів на 1-шу добу після опромінення не виявило суттєвих видових відмінностей у системі окисного гомеостазу в обох видів мишоподібних гризунів. Хемілюмограми їхніх гемолізатів – це типові хемілюмограми, що не мають індукційного періоду, характеризуються одним максимумом з наступним спадом упродовж 5 хв до мінімальних значень ХЛ реакції. Вони незначно відрізняються між собою кінетичними параметрами ХЛ реакції: амплітудою максимальної інтенсивності світіння (I_{\max}), значенням прооксидантно-антиоксидантного співвідношення (Σ_{300}), вмістом ендогенних антиоксидантів ($I_k/I_{\text{кінц}}$), швидкістю утворення ВР та прооксидантним статусом, що характеризує індивідуальний антиоксидантний статус мишоподібних гризунів (рис. 1).

Прооксидантно-антиоксидантне співвідношення (ПАС), що регулюється ферментативною і неферментативною багатофакторною АОС є лабільним інтегральним показником інтенсивності ВРП в органах і тканинах організму. Порушення

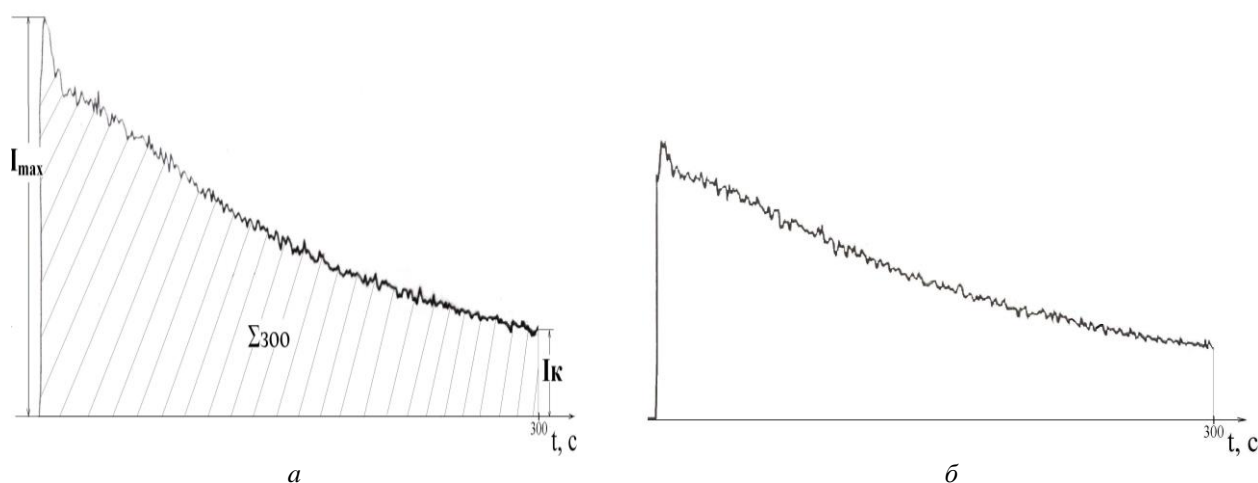


Рис. 1. Хемілюмінограми світіння гемолізату мишоподібних гризунів на 1-шу добу після разового тотального рентгенівського опромінення (1,5 Гр): а – нориці рудої; б – мишака жовтогорого.

його стехіометричних співвідношень у результаті утворення ВР різної природи з найвищою реакційною здатністю, що утворюються за радіолізу води, а саме: гідратованого електрона e^-_{aq} (ефективний відновник), радикалів H^\bullet (відновник) і OH^\bullet (ефективний окисник), супероксидний радикал $O_2^{\bullet-}$, HO_2^\bullet , H_2O_2 та органічних речовин, що наявні в біологічному середовищі – одна із найперших провідних ланок у ланцюговому механізмі формування радіаційних структурно-функціональних ушкоджень організму на різних рівнях його організації [7].

Одноразове опромінення мишоподібних гризунів призводило на 1-шу добу до симбатного зменшення на 19,8 % ($p \leq 0,05$) ПАС, максимальної інтенсивності світіння на 9,3 %, швидкості утворення ВР та прооксидантного статусу на 9,2 % (рис. 2). Слід зазначити, що вміст природних антиоксидантів у крові на 1-шу добу після опромінення мишоподібних гризунів за даними ХЛ реакції незначно знижувався (7,2 %). Такі дані свідчать про активацію системи антиоксидантного захисту у відповідь на дію радіаційного фактора.

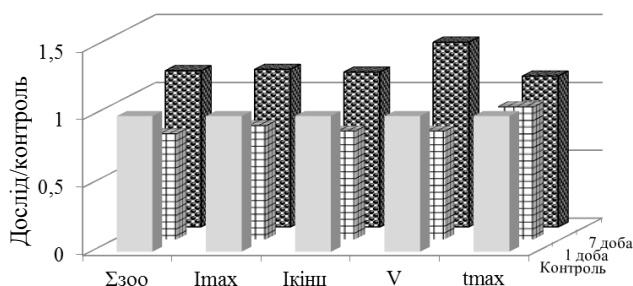


Рис. 2. Кінетичні параметри ХЛ гемолізатів мишоподібних гризунів за разового тотального рентгенівського опромінення (1,5 Гр).

З наростанням відновно-адаптаційних процесів (7-ма доба) в опромінені тварин ресстрували також симбатні зміни усіх кінетичних параметрів ХЛ реакції: збільшувалися до значень вище контрольних показники ПАС (на 15 %, $p \leq 0,05$), загальна кількість утворених ВР, загальний вміст природних (ендогенних) антиоксидантів, середня швидкість утворення ВР та прооксидантний статус (див. рис. 2). Ці дані свідчать про підвищення прооксидантних процесів у крові мишоподібних гризунів.

Водночас, стехіометрія ХЛ реакції вказує на відсутність порушення нормального перебігу фізико-хімічної регуляції прооксидантно-антиоксидантного балансу за даних умов експерименту в наведені терміни спостереження.

Активність каталази у крові мишоподібних гризунів. Каталаза є ключовим ферментом АОС, що першим вступає в реакцію з перекисами у клітині. За дії екстремальних чинників, зокрема і радіації, каталаза виступає лімітуючою ланкою у знешкодженні їх, завдяки чому бере участь у процесі клітинного дихання, регуляції рівня ВР, у тому числі і АФК. Найвища її активність визначається у клітинах печінки, нирок і еритроцитів. Крім того, активність каталази – важливий показник реактивності АОС [6 - 9].

У доступній нам науковій літературі практично відсутні роботи, що стосуються визначення активності каталази у крові мишоподібних гризунів природного ареалу проживання. Більшість робіт присвячені дослідженню її активності в крові лабораторних тварин (лінійні миші, щури) за дії різних ушкоджуючих чинників [10 - 13]

Рентгенівське опромінення викликало неоднакову реакцію-відповідь мишоподібних гризунів щодо змін активності каталази в гемолізаті через одну добу після опромінення (рис. 3).

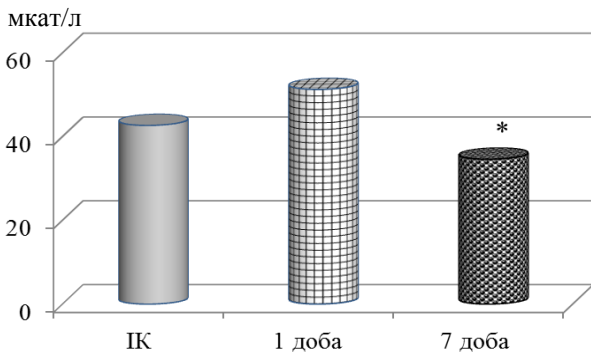


Рис. 3. Активність каталази у крові мишоподібних гризунів за разового тотального рентгенівського опромінення (1,5 Гр). ІК – інтактний контроль.

Так, середнє значення активності каталази в групі становило $46,9 \pm 11,0$ проти $42,6 \pm 4,2$ мкат/л у контрольних тварин. Водночас, у мишака жовтогогорлого реєстрували достовірне підвищення активності каталази в крові в 1,56 раза, а у нориці рудої – її зниження у 2,43 раза ($p \leq 0,05$), порівняно з показником у інтактних тварин. Такі дані можуть бути пов'язані як з видоспецифічністю досліджуваних тварин, так і їхньою різною радіочутливістю [14].

Знижена активність каталази може бути обумовлена також особливостями її функціонування в біологічних середовищах із різною концентрацією перекису водню. Так, дослідження активності низки ферментів антиоксидантного захисту в лабораторних щурів, серед яких є і каталаза, у цільній крові, еритроцитах та суспензії клітин кісткового мозку щурів за умов щоденного тривалого (впродовж 30 діб) низькоінтенсивного рентгенівського опромінення показали, що каталаза тривалий час може зберігати підвищену активність, але у випадку високих концентрацій перексиду водню та за умов стресу її активність може знижуватися [15]. Автори припускають клітинно-специфічну відповідь ферменту, що може бути пов'язана, передусім, з його активацією, яка корелює зі зменшенням спорідненості до мембранних структур і переходом у розчинний стан під дією надлишкових кількостей субстрату, а у більш віддалені терміни – синтезом активніших ізоформ.

На 7-му добу після опромінення активність каталази знизилася на 19 % порівняно із значенням у інтактних тварин, що може бути пов'язано з двома процесами: втратою активності даного ферменту внаслідок вільнорадикального окиснення його білкової компоненти або ж підвищеною витратою її активності на знешкодження продуктів радіолізу води. Підтвердженням цього є зареєстроване підвищення прооксидантних процесів на 7-му добу (див. рис. 2).

Вміст GSH у печінці мишоподібних гризунів. Радіаційне опромінення спричиняє ураження багатьох органів, серед яких його впливу зазнає і печінка, що є головною мішенню дії екзогенних та ендогенних несприятливих чинників. Зв'язуючи порталне і загальне кола кровообігу, вона регулює обмін речовин і забезпечує знешкодження токсичних продуктів, що надходять до організму та утворюються в процесі метаболізму [16].

Оскільки радіаційне ураження печінки, як і інших органів, може «запустити» каскад ВРП, то можна припустити, що в організмі тварин баланс між прооксидантами та компонентами системи антиоксидантного захисту печінки буде зазнавати змін за рахунок посиленого утворення ВР та АФК або зниження рівня антиоксидантів, або ж як того, так і іншого.

Швидкість ініціації ПОЛ гепатоцитів значною мірою визначається активністю системи антиоксидантного захисту, тому становило інтерес дослідити вміст основного антиоксиданту захисту печінки – GSH у печінці мишоподібних гризунів за дії разового зовнішнього тотального рентгенівського опромінення.

Відомо, що ендогенний GSH синтезується в усіх клітинах організму, проте печінка – головний орган його синтезу у ссавців. У печінці спостерігається найвища його концентрація, що забезпечує близько 90 % усього циркулюючого глутатіону за нормальних фізіологічних умов [17 - 21]. Його вміст у крові залежить від стану фізіологічної активності синтетичної функції печінки, співвідношення окисно-відновних реакцій, інтенсивності захоплення GSH іншими клітинами організму, а також його деградації. Здатність печінки брати участь у депонуванні, синтезі та перерозподілі ендогенних антиоксидантів, детоксикації продуктів ПОЛ, а також впливати на інтенсивність і характер перебігу ПОЛ в організмі надає можливість оцінювати вплив GSH на перебіг ВРП у крові.

Одноразове тотальне опромінення мишоподібних гризунів у дозі 1,5 Гр призводило на 1-шу добу до підвищення вмісту GSH у печінці на 41 %, порівняно з даними у контрольних тварин (рис. 4), що може свідчити про посилену його мобілізацію. Відомо, що GSH швидко мобілізується в разі підвищеного вмісту пероксидів та відновлює їх у реакції, переходячи у форму окисненого глутатіону (GSSG). Крім того, у нейтралізації гідроксил-радикала, що утворюється в реакції Фентона або внаслідок радіолізу води під впливом іонізуючого випромінювання, провідна роль належить SH-сполукам, що входять до складу GSH, який є інгібітором активних кисневих метаболітів і стабілізатором мембран.

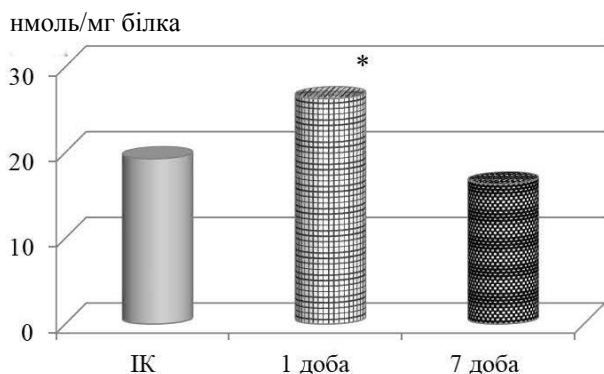


Рис. 4. Вміст GSH у печінці мишоподібних гризунів за разового тотального рентгенівського опромінення (1,5 Гр). ІК – інтактний контроль; * – достовірна різниця порівняно з даними ІК ($p \leq 0,05$).

Подібні дані щодо зміни активності глутатіонзалежної системи в органах і крові щурів отримано за тривалого рентгенівського опромінення за доз більше 1,0 сГр/добу [22]. Авторами показано, що ранньою реакцією гепатоцитів у відповідь на дію іонізуючої радіації є підвищення вмісту GSH на 1-шу добу.

У подальшому (7-ма доба від початку опромінення) в печінці мишоподібних гризунів реєстрували зниження вмісту GSH, що може бути обумовлено нейтралізацією ВР з переходом GSH в окиснену форму GSSG. Такі зміни є наслідком активізації системи адаптивних пристосувань окисно-відновного гомеостазу та підвищенням ролі печінки, як органу, що відповідає за виведення із організму токсичних речовин, зокрема і радіотоксинів. Поступове зменшення вмісту GSH в опромінені тварин до значень нижчих контрольного рівня свідчить про посилену його витрату в реакціях детоксикації ендogenous радіотоксинів. Така реакція, що спрямована на елімінацію токсичних продуктів, є показником інтенсифікації розгалужених ланцюгових реакцій вільнорадикального окиснення, за якого посилюється продукція АФК, на що вказують і зміни ПАС (див. рис. 2).

Відомо, що вміст GSH усередині клітини залежить від збалансованості швидкості таких протилежно спрямованих процесів, як його синтез *de novo* за участю γ -глутаміл цистеїн синтетази і виведення у позаклітинний простір, і регенерація за рахунок відновлення GSSG та споживання для нейтралізації H_2O_2 і вторинних продуктів пероксидації [20, 21].

Таким чином, на основі виявленої динаміки зміни вмісту GSH у печінці опромінені мишоподібних гризунів можна зробити висновок, що резервна потужність глутатіонової АОС клітин печінки (гепатоцитів) є достатньою для того, щоб за рахунок підвищення внутрішньоклітинного вмісту GSH (1-ша доба) забезпечити адаптивну

відповідь організму на тотальне разове зовнішнє рентгенівське опромінення в дозі 1,5 Гр.

Узагальнення результатів. Реакція-відповідь окисно-відновного гомеостазу обох видів експериментальних тварин на тотальне рентгенівське опромінення не виявила суттєвих відмінностей. Дещо вищі показники ПАС, вмісту GSH та нижчі активності каталази у нориці рудої, порівняно з мишаком жовтогорлим, можуть бути обумовлені особливостями їхнього живлення: нориця є поліфагом, на відміну від мишака, який є стенофагом [23]. Крім того, ці тварини характеризуються різною радіочутливістю. Одноразове опромінення мишоподібних гризунів призводило на 1-шу добу до зменшення на 19,8 % ($p \leq 0,05$) ПАС у крові, що супроводжувалося збільшенням активності каталази у крові на 10 % та вмісту GSH у печінці на 41 %, порівняно з даними у контрольних тварин (рис. 5).

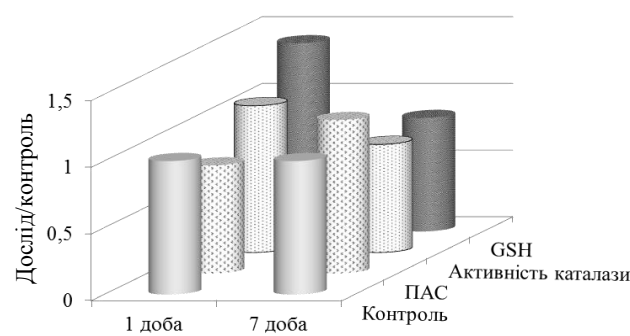


Рис. 5. Показники прооксидантно-антиоксидантних процесів у крові та печінці мишоподібних гризунів за разового тотального рентгенівського опромінення (1,5 Гр).

З наростанням відновно-адаптаційних процесів (7-ма доба досліджень) у опромінені тварин збільшуються показники ПАС на тлі зниження активності каталази та вмісту GSH, що вказує на індукцію ланцюгової реакції ВРП.

4. Висновки

1. Дія одноразового тотального рентгенівського випромінювання (1,5 Гр) призводить у ранній післярадіаційний період до односпрямованих відхилень у функціональній активності АОС системи крові і печінки мишоподібних гризунів, і, відповідно, до зміни стану окисного метаболізму, та спрямована на знешкодження продуктів радіолізу води і ендogenous радіотоксинів. Односпрямованість таких відхилень свідчить, що фізико-хімічна регуляція ВРП у крові мишоподібних гризунів за даних умов опромінення характеризується нормальним перебігом і здійснюється, в основному, за рахунок каталази та GSH, на що вказують симпатні зміни ПАС і основних кінетичних параметрів ХЛ реакції та антипатні до ПАС – каталази і GSH.

2. Отримані дані розширюють сучасні уявлення про біологічні наслідки впливу низькоінтенсивного зовнішнього опромінення на інтенсивність і фізико-хімічну регуляцію ВРП у крові та печінці мишоподібних гризунів, місцем перебування яких є природне середовище, а саме: їхній перебіг здійснюється як за рахунок змін фізико-хімічних процесів, так і особливостей функціонування системи антиоксидантного захисту. Це свідчить, що АОС організму за дії іонізуючого випромінювання (зовнішнє опромінення, інкорпоровані радіонукліди) не зазнає «виснаження», а відбувається «переключення» фізико-хімічних процесів антиоксидантного захисту

на біохімічні. Більш глибоке розуміння фізико-хімічних закономірностей біологічної дії малих доз радіації дасть змогу оцінити їхнє значення для життєдіяльності організмів, ступінь ризику та можливі шляхи їхнього пристосування до радіоактивного забруднення довкілля.

3. Доцільно продовжити дослідження окисного метаболізму і функціонально-метаболічних процесів у крові та печінці індикаторних видів мишоподібних гризунів, які перебувають у природних умовах з неконтрольованим раціоном харчування за різних умов опромінення, включаючи і комбіноване (зовнішнє + внутрішнє).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. М.О. Дружина, Е.А. Дьоміна, Л.І. Маковецька. Метаболіти окисативного стресу як предиктори променевиx та канцерогенних ризиків. *Онкологія* 21(2) (2019) 170.
2. Я.И. Серкиз, Н.А. Дружина, А.П. Хриенко. *Хемиллюминесценция крови при радиационном воздействии* (К.: Наук. думка, 1989) 176 с.
3. Ю.П. Гриневич та ін. Інтегральна оцінка системи окисного метаболізму за тривалого внутрішнього надходження до організму шурів ¹³¹I. *Ядерна фізика та енергетика* 16(3) (2015) 273.
4. М.А. Королюк, Л.И. Иванова, И.Г. Майорова. Метод определения активности каталазы. *Лаб. Дело* 1 (1988) 16.
5. M.A. Baker, G.J. Cerniglia, A. Zaman. Microtiter plate assay for the measurement of glutathione and glutathione disulfide in large numbers of biological samples. *Analytical Biochemistry* 190(2) (1990) 360.
6. Ю.А. Владимиров, Е.В. Проскурина. Свободные радикалы и клеточная хемиллюминесценция. *Успехи биол. химии* 49 (2009) 341.
7. Д.М. Гродзинський. *Радіобіологія*. Підручник (К.: Либідь, 2001) 448 с.
8. Л.Г. Нетюхайло, С.В. Харченко. Активні форми кисню (огляд літератури). *Молодий вчений* 9(12) (2014) 131.
9. М.С. Карбышев, Ш.П. Абдуллаев. *Биохимия окисативного стресса*. Учеб.-метод. пос. (Москва: Рос. нац. исслед. мед. ун-т им. Н.И. Пирогова, 2018) 60 с.
10. І.О. Шмараков, В.Л. Борщовецька, М.М. Марченко. Особливості генерування активних форм кисню та азоту за гострої гепатотоксичності. *Вісн. Дніпропетровського ун-ту. Сер.: Біологія. Екологія* 22(1) (2014) 3.
11. Р.Я. Искра, О.З. Сварчевська, І.Я. Максимович. Глутатионова антипероксидна система в крові та тканинах шурів за дії цитрату нанохрому. *Вісн. проблем біології і медицини* 2(2) (2012) 32.
12. Lue Sun et al. Total body irradiation causes a chronic decrease in antioxidant levels. *Scientific Reports* 11(1) (2021) 6716.
13. Д.О. Серова, О.В. Таран, О.О. Дьомшина. Біологічно активні препарати на основі гумінових речовин у печінці пісчанок (*Meriones unguiculatus*). *Вісн. Дніпропетровського ун-ту. Сер.: Біологія. Екологія* 24(2) (2016) 410.
14. E.B. Grigorkina. Natural radioresistance as a criterion of species (as exemplified by large taxa of the order rodentia). *Dokl. Biol. Sci.* 385 (2002) 371.
15. Л. Старикович та ін. Вплив 30-добового низькоінтенсивного рентгенівського випромінювання та ефект післядії на активність ферментів антиоксидантної системи еритрона. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біологічна* 32 (2003) 56.
16. Н.Б. Пількевич, В.М. Раздайбедін, О.Д. Боярчук. *Анатомія, фізіологія та біохімія печінки* (Луганськ: Альма-матер, 2007) 55 с.
17. Я.В. Корост та ін. Розуміння біохімічних процесів як запорука успішного лікування захворювань. *Мистецтво лікування* 129-130 (3-4) (2016) 20.
18. Ю.І. Губський. *Біологічна хімія*. Підручник (Київ - Тернопіль: Укрмедкнига, 2000) 508 с.
19. Е.В. Калинина, Н.Н. Чернов, М.Д. Новичкова. Роль глутатиона, глутатионтрансферазы и глутатионредоксина в регуляции редокс-зависимых процессов. *Успехи биол. химии* 54 (2014) 299.
20. О.Я. Бабак. Глутатион в норме и при патологии: биологическая роль и возможности клинического применения. *Здоров'я України* 1 (2015) 1.
21. О.А. Толпыгина. Роль глутатиона в системе антиоксидантной защиты (обзор). *Бюл. ВСНЦ, СО РАМН* 84(2) (2012) 178.
22. О. Трикуленко, Л. Дацюк, Я. Чайка. Вплив сукупної дії малих доз радіації та вітаміну Е на інтенсивність перекисного окиснення ліпідів у білих шурів. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біологічна* 31 (2002) 44.
23. S.V. Zadyra, D.V. Lukashov. Seasonal dynamics of products of lipid peroxidation in liver of bank vole (*Myodes glareolus*) under conditions of environmental pollution by heavy metals. *Ukr. Biochem. J.* 85(5) (2013) 163.

Yu. P. Hrynevych^{1,*}, L. I. Makovetska^{1,2}, A. I. Lypska¹, O. O. Burdo¹

¹ Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² R. E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: green47@ukr.net

PROOXIDANT-ANTIOXIDANT PROCESSES IN BLOOD AND LIVER OF MURINE RODENTS (*MYODES GLAREOLUS* AND *APODEMUS FLAVICOLLIS*) UNDER SINGLE RADIATION EXPOSURE

The effect of total single X-ray irradiation (1.5 Gy) on the course of free radical processes (FRP) in the blood and liver of red fistula (*Myodes glareolus*) and yellow-throated mouse (*Apodemus flavicollis*) was studied. It is shown that physicochemical regulation of FRP in the blood of murine rodents under total X-ray irradiation (1.5 Gy) in the early stages is carried out mainly due to catalase and reduced glutathione (GSH). This is evidenced by the stoichiometry of the CL reaction and symbat changes in the prooxidant-antioxidant ratio (PAR) and basic kinetic parameters of the CL reaction (I_{max} , I_{fin}) and antibat changes to PAR - catalase and GSH.

Keywords: murine rodents, X-rays, free radical processes, blood, liver, catalase, glutathione reduced.

REFERENCES

1. M.O. Druzhyna, E.A. Domina, L.I. Makovetska. Oxidative stress metabolites as predictors of radiation and carcinogenic risks. *Onkolojiya* 21(2) (2019) 170. (Ukr)
2. Ya.I. Serkiz, N.A. Druzhina, A.P. Khriyenko. *Chemiluminescence of Blood under Radiation Exposure* (Kyiv: Naukova dumka, 1989) 176 p. (Rus)
3. Yu.P. Grynevych et al. Integral assessment of oxidative metabolism during long-term domestic revenue ¹³¹I in rats. *Yaderna Fizyka ta Energetyka (Nucl. Phys. At. Energy)* 16(3) (2015) 273. (Ukr)
4. M.A. Korolyuk, L.I. Ivanova, I.G. Mayorova. Method for determining catalase activity. *Laboratornoe Delo* 1 (1988) 16. (Rus)
5. M.A. Baker, G.J. Cerniglia, A. Zaman. Microtiter plate assay for the measurement of glutathione and glutathione disulfide in large numbers of biological samples. *Analytical Biochemistry* 190(2) (1990) 360.
6. Yu.A. Vladimirov, E.V. Proskurin. Free radicals and cellular chemiluminescence. *Uspekhi Biologicheskoy Khimii* 49 (2009) 341. (Rus)
7. D.M. Grodzinsky. *Radiobiology. Textbook* (Kyiv: Lybid, 2001) 448 p. (Ukr)
8. L.G. Netiukhaylo, S.V. Kharchenko. Reactive Oxygen. *Molodyi Vchenyi* 9(12) (2014) 131. (Ukr)
9. M.S. Karbyshev, Sh.P. Abdullaev. *Biochemistry of Oxidative Stress*. Educational and methodological manual (Moskva: N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, 2018) 60 p. (Rus)
10. I.O. Shmarakov, V.L. Borshchovetska, M.M. Marchenko. Reactive oxygen and nitrogen species generation features under conditions of acute hepatotoxicity. *Visnyk Dnipropetrovskoho Universytetu. Ser.: Biolojiya. Ekolojiya* 22(1) (2014) 3. (Ukr)
11. R.Ya. Iskra, O.Z. Svarchevska, I.Ya. Maksymovych. Glutathione antiperoxide system in blood and tissues of rats under the action of nanochromium citrate. *Visnyk Problem Biolojiyi i Medytsyny* 2(2) (2012) 32. (Ukr)
12. Lue Sun et al. Total body irradiation causes a chronic decrease in antioxidant levels. *Scientific Reports* 11(1) (2021) 6716.
13. D.O. Serova, O.V. Taran, O.O. Dyomshina. Biological activity of humic substances in the liver of Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*). *Visnyk Dnipropetrovskoho Universytetu. Ser.: Biolojiya. Ekolojiya* 24(2) (2016) 410. (Ukr)
14. E.B. Grigorkina. Natural radioresistance as a criterion of species (as exemplified by large taxa of the order rodentia). *Dokl. Biol. Sci.* 385 (2002) 371.
15. L. Starykovich et al. The influence of 30-day low-intensity X-ray radiation and the after-effect on the activity of enzymes of the erythron antioxidant system. *Visnyk Lvivskoho Universytetu. Ser. Biologichna* 32 (2003) 56. (Ukr)
16. N.B. Pilkevych, V.M. Razdaibedin, O.D. Boiarchuk. *Anatomy, Physiology and Biochemistry of the Liver* (Luhansk: Alma-Mater, 2007) 55 p. (Ukr)
17. Ya.V. Korost et al. Understanding biochemical processes as a key to successful treatment of diseases. *Mystetstvo Likuvannya* 129-130(3-4) (2016) 20. (Ukr)
18. Yu.I. Gubskiy. *Biological Chemistry. Textbook* (Kyiv - Ternopil: Ukrmedknyga, 2000) 508 p. (Ukr)
19. E.V. Kalinina, N.N. Chernov, M.D. Novichkova. The role of glutathione, glutathione transferase and glutathione redoxin in the regulation of redox-dependent processes. *Uspekhi Biologicheskoy Khimii* 54 (2014) 299. (Rus)
20. O.Ya. Babak. Glutathione in health and disease: biological role and clinical applications. *Zdorovia Ukrainy* 1 (2015) 1. (Rus)
21. O.A. Tolpygina. The role of glutathione in the antioxidant defense system (review). *Byulleten East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences* 84(2) (2012) 178. (Rus)
22. O. Trykulenko, L. Datsiuk, Ya. Chaika. Effect of the combined action of small doses of radiation and vitamin E on the intensity of lipid peroxidation in white rats. *Visnyk Lvivskoho Universytetu. Ser. Biologichna* 31 (2002) 44. (Ukr)
23. S.V. Zadyra, D.V. Lukashov. Seasonal dynamics of products of lipid peroxidation in liver of bank vole (*Myodes glareolus*) under conditions of environmental pollution by heavy metals. *Ukr. Biochem. J.* 85(5) (2013) 163.

Надійшла/Received 01.09.2022