

Актуальні питання біофізики і перспективи розвитку досліджень в цій галузі

О. О. Городецький

Вивчення біологічного впливу іонізуючих випромінень в останнє десятиріччя набуло особливої актуальності в зв'язку з широким використанням атомної енергії і появою дедалі більшої кількості нових вогнищ підвищеної забрудненості повітря у великих районах, де систематично провадять випробування термоядерної зброї.

Досить відзначити, що, за висновком міжнародної комісії, підвищення радіоактивності вод Тихого океану після випробування американцями водневої бомби привело до того, що протягом восьми місяців риба була непридатна до споживання, бо вона містила підвищену радіоактивність. В порту Аделаїда було встановлено радіоактивне забруднення, яке в 10 разів перевищує звичайну природну радіоактивність ґрунту. Всі ці факти незаперечно показують, що організм людини зазнає впливу тривало діючих малих доз радіоактивності.

Особливої актуальності набуває питання про інкорпоровані радіоактивні речовини, які дедалі поширюються все більше і більше.

Як показали дослідження нашої лабораторії, заходи профілактики пошкоджень, а також методи боротьби з інкорпорованими радіоактивними речовинами, мають відрізнятися від заходів боротьби з ураженнями, викликаними дією гамма-випромінювань і рентгенівського проміння. Від правильного розуміння механізму впливу випромінювань на організм і патогенезу променевих уражень залежить ефективність профілактики й успішність боротьби з заподіяними пошкодженнями.

Якщо ефект іонізації тканин, зумовлений дією іонізуючої радіації, вивчений досить повно, то цього не можна сказати про більш низькі рівні енергії, які нездатні викликати іонізацію і спричиняють тільки збудження молекул. Не зовсім вивчене також питання про розподіл і міграцію енергії в опромінених тканинах.

Суть дії іонізуючої радіації полягає в перетворенні радіаційної енергії у хімічну. Іонізація тканин є першим проявом такого перетворення. Вдалося довести, що таке хімічне перетворення відбувається у воді. Первинну появу короткочасноживучих радикалів — H , OH — (слідом за дією іонізуючої радіації на водні розчини) значно важче відтворити, ніж вторинних і третинних (HO_2 , H_2O_2). В нашій лабораторії З. А. Шека і А. І. Фіалков провели хімічні дослідження по перетворенню розчину кобальту з двовалентного у тривалентний стан. Відомо, що для одержання позитивної реакції необхідно додати перекис водню. Виявилось, що опромінення рентгенівським промінням розчину повністю замінює у цій реакції перекис водню. Отже, опромінення розчину кобальту викликало окисну дію подібно до додання H_2O_2 . Розкриття реакції з утворенням кислих радикалів у водному середовищі відіграло велику роль у поповненні наших уявлень про суть біологічного впливу

іонізуючої радіації. Прогнози розгортаються бачити, скільки вірна концепція цих сполук цими радикалами цієї концепції були зроблені на нараді з медичними фахівцями.

Важко привести у приклад. Так, *in vitro* не спостережено ефектів цих сполук від доз, що вдалося показати, що вживання сполук у моделі значно меншими дозами *in vitro* до явищ, спостережуваних *in vivo*.

Міду, а в нашій країні жирних кислот у процесі розчиняє метилових ефірів ланцюгових реакцій *in vitro*, як показують реакції, можуть виникати через

Величезна роль у процесі феричної нервової системи і багаторазово показують Неменов, Купалов, Лом

Радянським ученими різних відділів нервової системи променевих пошкоджень

Дослідженнями, проведеними Академією наук, вивчення активності мозку в тканинах мозку, зокрема, аденозинтрифосфату (АТФ), зменшення вмісту гліколітичної активності (Маєвська). Уж рентгенівським промінням можна виявити ці зміни в корбінової кислоти в надтворення рибонуклеїнових

Сила пошкоджуючої радіації в організм. Кожний фактор дію, проте відповідь організму дозую опромінення, стану організму. Тому енергію, так само впливи, має першорядне значення

Займаючись питанням опроміненого організму, кова, Жюга, Сакун та інші вивчають опірність організму на фармакологічні дози аміталу в хвороби, затримують ви

Вплив малих доз і новий фактор зовнішнього середовища, тварин, кількість людей, тварин,

іонізуючої радіації. Проте ще й досі не зовсім ясно, в якій послідовності розгортаються біохімічні перетворення в організмі. Зокрема, наскільки вірна концепція Баррона, яка висуває інактивацію сульфгідрильних сполук цими радикалами? Критичні зауваження щодо правильності цієї концепції були зроблені, зокрема, Горизонтовим на останній Всесоюзній нараді з медичної радіології.

Важко привести у відповідність факти, одержані *in vivo* і *in vitro*. Так, *in vitro* не спостерігається зменшення концентрації сульфгідрильних сполук від доз, що викликають променеві ураження. Проте Дейлу вдалося показати, що при значному зниженні концентрації сульфгідрильних сполук у модельних розчинах вдається спричинити їх інактивацію значно меншими дозами, наблизивши умови експерименту *in vitro* до явищ, спостережуваних *in vivo*.

Міду, а в нашій країні Тарусову вдалося встановити важливу роль жирних кислот у процесі розвитку променевих пошкоджень. У водних розчинах метилових ефірів жирних кислот створюються умови виникнення ланцюгових реакцій, при цьому утворюється перекис водню; реакції *in vitro*, як показали Хорган і Фільмот в дослідях на мишах, можуть виникати через годину після опромінення.

Величезна роль уражень регулюючої функції центральної і периферичної нервової системи під впливом іонізуючої радіації була детально і багаторазово показана й описана вітчизняними вченими (Тарханов, Неменов, Купалов, Ломонос, Ліванов, Лебединський та ін.).

Радянським ученим належить пріоритет розкриття порушень функцій різних відділів нервової системи і визначення їх ролі в патогенезі променевих пошкоджень.

Дослідженнями, проведеними в Інституті фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР, були виявлені й описані ранні зміни електричної активності мозку (Даниленко, Стеценко), біохімічні зрушення в тканинах мозку, зокрема падіння вмісту аміаку, нагромадження фосфору, аденозинтрифосфornoї кислоти, збільшення вмісту глікогену (Лусенко), зменшення вмісту преформованої молочної кислоти, зниження гліколітичної активності та підвищення інтенсивності процесів дегідратування (Маєвська). Уже через 10—20 хв. після опромінення кроликів рентгенівським промінням в дозах, що спричиняють променеву хворобу, можна виявити ці зміни. Вони супроводжуються зниженням вмісту аскорбінової кислоти в надниркових залозах (Клименко), порушенням перетворення рибонуклеїнової кислоти в дезоксирибонуклеїнову (Липкан).

Сила пошкоджуючого ефекту пропорціональна дозі, яка проникла в організм. Кожний фотон, увібраний тканинами, може вчинити свою дію, проте відповідь організму на опромінення не зумовлюється тільки фізичною дозою опромінення: вона в значній мірі залежить від вихідного стану організму. Тому вивчення реакції організму на сприйняту променеву енергію, так само як реакцій опроміненого організму на різні впливи, має першорядне значення.

Займаючись протягом багатьох років дослідженням реактивності опроміненого організму, ми разом з нашими співробітниками (Зайчикова, Жога, Сакун та ін.) прийшли до висновку, що опромінення знижує опірність організму щодо пухлинного росту, перекидає реакцію організму на фармакологічні подразнення і речовини. Зокрема, снотворні дози аміталу натрію значно ускладнюють перебіг променевої хвороби, затримують виведення радіоактивного фосфору з організму.

Вплив малих доз іонізуючих випромінень розглядається тепер як новий фактор зовнішнього середовища, що охоплює дедалі більшу кількість людей, тварин, рослин і стає неминучою умовою їх життя.

З цієї точки зору вивчення постійної дії підвищеної радіоактивності на тваринний організм набуває особливої актуальності і важливості.

Допустима доза 0,05 рентгена за робочий день все ж таки в 50—100 разів перевищує природний фон іонізуючої радіації. Лише кілька років тому у нас в Радянському Союзі вона була в два рази вище, а в Англії в чотири рази вище. Зниження допустимих доз викликано тим, що рівень опромінення не байдужий для організму. Слід зауважити, що й досі ще як слід не вивчені фізіологічні реакції на допустимі дози. Тому питання про допустимість тих чи інших доз підлягає дальшому глибокому вивченню.

Систематичне дослідження безперервної дії малих доз (0,3 рентгена на добу), проведене в Інституті фізіології науковими співробітниками Т. І. Свистун, Є. Г. Моргун, М. Б. Станець і П. О. Сакуном, показало, що на протязі 15 місяців розвинувся ряд порушень моторної і евакуаторної функцій шлунка. Евакуація з шлунка сповільнюється через 10—11 місяців після тривалого опромінення малими дозами. Голодна періодична діяльність шлунка через 6—8 місяців опромінення змінюється в напрямі подовження періодів скорочення шлунка і вкорочення періодів спокою.

Цікаві дані були одержані А. І. Даниленком при дослідженні рівня радіоактивності крові людини. Автор показав, що коливання радіоактивності крові можуть залежати як від стану самого організму, так і від факторів зовнішнього середовища. Зокрема, у ракових хворих радіоактивність крові набагато нижча, ніж у нормальних людей.

Коли люди почали користуватись атомною енергією, в усьому світі було кілька кілограмів радію. Наприкінці шостої п'ятирічки в результаті дії ядерних реакторів тільки в Радянському Союзі намічається виробити радіоактивні речовини, еквівалентні 10 000 тонн радію (акад. Курчатов). У 1955 р. атомні організації Сполучених Штатів Америки продали промисловим підприємствам і медичним закладам 15 000 кюрі різних радіоактивних речовин.

З цих даних ясно, що кількість радіоактивності на землі колосально зростає. Її міграція відбувається через тваринні організми. Вивчення закономірностей міграції є надзвичайно актуальним завданням. Уже тепер відомо, що риби можуть нагромаджувати в 10 000 разів більшу концентрацію радіоактивності, ніж вода, яка їх оточує. Можна вважати вірогідним припущення про можливість використання здатності живих організмів нагромаджувати радіоактивні речовини з метою біологічного очищення середовища. Інкорпорування радіоактивних речовин у тваринному організмі, їх розподіл, виведення з організму і методи прискорення виведення радіоактивних речовин з організму — ось те коло питань, які мають тепер надзвичайно велике значення для всіх народів земної кулі.

Інкорпоровані радіоактивні речовини відзначаються рядом особливостей біологічного впливу на організм. Ці особливості полягають у тривалій, безперервній і поступово збуваючій дії, нерівномірному розподілі в тканинах і органах, різному характері випромінювання, різній тривалості періоду напіврозпаду і, нарешті, в хімічній активності і токсичності самої речовини.

В останні роки в нашій лабораторії провадиться систематичне вивчення дії різних інкорпорованих радіоактивних речовин — стронцію (Sr^{89}), цезію (Cs^{134}), фосфору (P^{32}), кальцію (Ca^{45}). Найбільш повно покищо вивчено дію радіоактивного фосфору.

Щоб організувати дослідження, треба було насамперед з'ясувати, які рівні опромінення інкорпорованим P^{32} спричиняють у експеримен-

тальних тварин гостру. Виявилось, що у щурів викликає гостру променеву хворобу тварин. Для кроликів і ваги тварини. Якщо по-міння, що викликають явиться, що смертельна доза для щурів — 800 μCi , і для собак — 600 μCi , то кролики більш резистентні до фосфору більше р.

Дози P^{32} , що викликають смертельну хворобу, різні. Однак з досвіду засвідчено, що виведення з організму деяке уявлення про чутливість тварин до різних доз з розповсюдженням з 13 хворих розвинулася лейкопенія до 150 μCi , що дози від 18 до 22 μCi викликають променеву хворобу еквівалентні 450 μCi одного приблизно 28 μCi , мабуть, викликає хворобу із смертельним для людини становитим.

На підставі цих даних до числа найбільш чутливих до P^{32} належать щери.

Різні хворі по-різному чутливі до смертельних доз P^{32} , і розрахунки щодо смертності.

У тварин, підданих опроміненню, виведення більш поступово. Ранні реакції зводяться до виразно це можна бачити в тварин після одноразового опромінення у смертельних дозах, коли закінчується смертю. Смертельних доз P^{32} виведення більш-менш повільно. Ознаки загальної слабкості в пізніші строки. Велика кількість тварин гине після опромінення; менше від 8—12-го дня виведення більш-менш повільно, виведення заходів, спрямованих на зменшення.

Т. П. Сиваченко показала, що виведення з організму щурів, викликаною інкорпорованим P^{32} нерадіоактивного фосфору, викликає виведення тварин від загибелі.

Дослідження процесу виведення показали, що прискорення виведення з організму сприятливо впливає на виживання тварин.

Гематологічна картина крові і кісткового мозку тварин, інкорпорованих P^{32} , використала для цієї мети. Показали, що анемія, рети-

тальних тварин гостру променевою хворобу із смертельним закінченням. Виявилось, що у щурів доза 4 мікрокурі (мкК) на 1 г ваги тварини викликає гостру променевою хворобу, яка завершується загибеллю всіх тварин. Для кроликів ця доза становить 3 мкК/г, для собак — 1 мкК/г ваги тварини. Якщо порівняти ці дози з дозами рентгенівського проміння, що викликають аналогічну картину променевої хвороби, то виявиться, що смертельні дози розподіляються трохи інакше: смертельна доза для щурів — 800 р загального опромінення, для кроликів — 1200 р і для собак — 600 р, тобто при застосуванні рентгенівського проміння кролики більш резистентні, ніж щури, а при застосуванні радіоактивного фосфору більше резистентними виявляються щури, ніж кролики.

Дози P^{32} , що викликають у людей 100%-ну смертність, ще не відомі. Однак з досвіду застосування P^{32} для лікування кісткових метастазів, викладеного в праці Фрідель і Стаарслі (1950), можна скласти деяке уявлення про чутливість людини до P^{32} . Автори лікували 13 хворих з розповсюдженими формами метастазів у кісткову систему. У 9 з 13 хворих розвинулась гостра променевою хвороба з явищами геморагії, лейкопенією до 150–200 лейкоцитів в 1 мм крові. Можна сказати, що дози від 18 до 22 мілікурі (мК) P^{32} , застосовані авторами, викликають променевою хворобу середньої тяжкості. Такі дози приблизно еквівалентні 450 р одноразового загального гамма-опромінювання. Отже, приблизно 28 мК, мабуть, спроможні викликати у людини гостру променевою хворобу із смертельним закінченням, тобто смертельна доза P^{32} для людини становитиме близько 0,5 мкК на 1 г ваги.

На підставі цих теоретичних підрахунків людину можна віднести до числа найбільш чутливих організмів щодо впливу P^{32} .

Різні хворі по-різному сприймають P^{32} , тому при визначенні смертельних доз P^{32} , щоб уникнути можливих ускладнень, треба ці розрахунки дещо зменшити.

У тварин, підданих дії P^{32} , ознаки променевого ураження розвиваються більш поступово, ніж при опроміненні рентгенівським промінням. Ранні реакції звичайно не бувають різко вираженими. Особливо виразно це можна бачити при дослідженнях над кроликами. У 30% цих тварин після одноразового загального опромінення рентгенівським промінням у смертельних дозах звичайно настає шоківий стан, який нерідко закінчується смертю. Таких реакцій ми ніколи не спостерігали від смертельних доз P^{32} . В перші дні тварини почували себе порівняно задовільно. Ознаки загальної слабості і виснаження розвиваються у них в пізніші строки. Величезна більшість тварин гине на третьому тижні після опромінення; смертельні закінчення не спостерігаються раніше від 8–12-го дня. Отже, клінічний перебіг хвороби, яка розвивається більш-менш повільно, залишає досить часу для запровадження заходів, спрямованих до зменшення тяжкості заподіяного ураження.

Т. П. Сиваченко провадила спостереження над променевою хворобою у щурів, викликаною P^{32} . Було встановлено, що своєчасне введення нерадіоактивного фосфору, ослаблює тяжкість ураження і може врятувати тварин від загибелі: в контролі гине 100% тварин, в досліді — 25%.

Дослідження процесу виведення P^{32} з організму піддослідних щурів показали, що прискорення виведення радіоактивного фосфору з організму сприятливо впливає на остаточне закінчення променевої хвороби.

Гематологічна картина на основі вивчення формули периферичної крові і кісткового мозку була предметом дослідження І. М. Шур'ян, яка використала для цієї мети кроликів. Проведені в динаміці досліді показали, що анемія, ретикулоцитопенія, тромбопенія і різко виражена

лейкопенія, в основному внаслідок зменшення кількості лімфоцитів, еозинофілія і ряд дегенеративних змін клітин крові, які спостерігаються після зовнішнього рентгенівського опромінення, за своїм характером однотипні із змінами, які відзначаються після внутрішнього фосфорного опромінення.

Слід зауважити, що при опроміненні радіоактивним фосфором період найтяжчих порушень складу периферичної крові спостерігається трохи пізніше, ніж при рентгенівському опроміненні, а також виявляється більше берегових клітин ретикулярного ряду, що, видимо, зв'язане з подразненням ендотелію судин.

Аплазія кісткового мозку кроликів настає як при зовнішньому опроміненні, так і при внутрішньому опроміненні радіоактивним фосфором, але при застосуванні P^{32} аплазія кісткового мозку розвивається раніше. Після рентгенівського опромінення відбувається гальмування дозрівання елементів лейкобластичного ряду на стадії промієлоцитів, мієлоцитів і метамієлоцитів і прискорення дозрівання елементів еритробластичного ряду. Після опромінення радіоактивним фосфором у ті самі строки дозрівання лейкобластичного ряду прискорюється, спостерігаються посилені гіперсегментація, старіння мієлоїдних елементів; дозрівання елементів еритробластичного ряду дещо гальмується.

Морфологічні дослідження тварин (щурів) були проведені в лабораторії морфології О. І. Смирною-Замковою і Г. В. Мельниченко. Ці дослідження показали, що при опроміненні радіоактивним фосфором, введеним парентерально, різко уражуються судини, особливо дрібні артерії і вени, де гіперпластичний процес ендотелію і м'язів нерідко призводить до майже повної закупорки просвітів судин. У великих судинах значного ураження зазнає уся судинна стінка.

Лімфоїдні елементи в лімфоїдноретикулярних органах нерідко заміщаються клітинами типу «плазмодіцитів», а ретикулярні клітини, які особливо бурхливо розмножуються при застосуванні радіоактивного фосфору, переходять у фіброзну тканину. Ці зміни більш глибокі, ніж при застосуванні рентгенівського проміння.

Якщо при розвитку тяжкої форми променевої хвороби, спричиненої одноразовим рентгенівським опроміненням, смертоносним фактором в основному стає бактеріємія, то при застосуванні P^{32} основну роль у пізнішій періоді розвитку хвороби відіграє ураження судин.

Цікаві спостереження А. З. Колчинської, яка встановила, що смертельні дози P^{32} для дорослих щурів (4 мкК на 1 г ваги тварини) виявились смертельними лише для половини щуренят другого дня і 11—12-го дня життя (період прозрівання). Одночасно виявилось, що старі щури під впливом наведеної вище дози P^{32} всі загинули значно раніше, ніж щури середнього віку.

О. А. Хомутовський, Т. П. Сиваченко і Е. З. Рябова, які вивчають проблему прискорення виведення радіоактивного фосфору, стронцію і цезію з організму, зазначають, що у молодих щурів часто спостерігається скоріше виведення радіоактивних речовин з організму, ніж у зрілих тварин. Можливо, що різниця в біологічній дії P^{32} залежить від особливостей обміну. Це питання тепер вивчається.

Дослідження двох видів іонізуючого випромінювання — рентгенівського проміння і радіоактивного фосфору — показали, що пригнічення вироблення антитіл різкіше виражене під впливом P^{32} (С. А. Король).

Тепер ще нема чіткого уявлення про характер змін у внутрішніх органах при зовнішній дії бета-випромінювань, які не проникають глибоко в тканини. Н. А. Жога; В. Г. Мельниченко і Н. А. Жога провели кілька досліджень, мета яких полягала у з'ясуванні питання про наявність загальних

реакцій організму на фізіологічних змін у внутрішніх органах.

Більшість іноземних дослідників, які відповідають на зовнішні місця застосування радіоактивними реакціями. В дослідженнях, що аплікація P^{32} на вену на годину при експозиції з лейкопенією, підвищення бістості і апатією з різкими функції шлунково-кишкових органів.

Морфологічні дослідження пейєрових бляшок кишківника аплікатора, виявили посилені кові скупчення уламків плазмієвої ретикулярних сполучнотканинних клітин.

Отже, зовнішнє застосування загальної променевої реакції нами крові і внутрішніх органів.

Нагромадження P^{32} для застосування його думку, що радіоактивний фосфор може дати профілактику кісткових метастазів, див цю концепцію спостережень цих даних не досить для виникло в зв'язку з боротьбою з метастазами.

Ми вирішили провести дослід на кроликах з підвищення розподілу радіоактивного фосфору (карцинома) після P^{32} , ніж у тканинах кісток і нирок також паренхіми цих органів.

Тваринам слідом за активний фосфор у кількості добу, дві і три доби. 2000 мікрокурі, тоді як

Можна вважати, і гранично велика. Введення гальмуючий вплив тварині ми не могли відзначити слідними тваринами. Невеликі і при лікуванні кісток можна сказати про дію більшового ефекту, яке невеликих доз.

Клінічних спостережень хвороби, проведених з і дани опубліковані в пресі медицині в роботі Б. Г. доповідь про яку була рентгенологів. Ми тут

реакцій організму на зовнішнє опромінення P^{32} , а також у виявленні морфологічних змін у внутрішніх органах при цьому опроміненні.

Більшість іноземних авторів (Куртіс, Ціркль, Бюн) твердить, що відповідь на зовнішнє опромінення P^{32} обмежується реакціями шкіри на місці застосування радіоактивного фосфору і не супроводжується загальними реакціями. В дослідях на щурах і собаках Н. А. Жога показала, що аплікація P^{32} на великих ділянках шкіри в дозах 13 000—20 000 *реф* на годину при експозиції протягом 2—5 год. викликає загальну реакцію з лейкопенією, підвищеною дратівливістю тварини, яка змінюється слабкістю і апатією з різким зниженням апетиту і порушенням моторної функції шлунково-кишкового тракту.

Морфологічні дослідження лімфатичних вузлів, селезінки, тимуса, пейєрових бляшок кишечника, проведені через 15—30 хв. після зняття аплікатора, виявили поряд з гіперплазією лімфоїдних елементів осередкові скупчення уламків ядер. У пізніші строки поряд з вираженою гіперплазією ретикулярних елементів спостерігався перехід їх у витягнуті сполучнотканинні клітини, які переходять у фібробластичні елементи.

Отже, зовнішнє застосування P^{32} у вигляді аплікаторів, викликаючи загальну променеву реакцію, яка супроводжується морфологічними змінами крові і внутрішніх органів, зумовлює розвиток променевої хвороби.

Нагромадження P^{32} в кістково-суглобовій системі давало підстави для застосування його при метастазах рака. В 1950 р. Лоу-Бір висловив думку, що радіоактивний фосфор після видалення рака молочної залози може дати профілактичний ефект, який попереджає дальший розвиток кісткових метастазів. У 1955 р. автор разом з Глейноблем підтвердив цю концепцію спостереженнями над 57 хворими. На нашу думку, цих даних не досить для того, щоб твердити, що метастазування не розвинулось в зв'язку з застосуванням P^{32} , проте думка про новий засіб боротьби з метастазуванням заслуговує уваги.

Ми вирішили перевірити ці спостереження і поставили спеціальні досліди на кроликах з перещепленою карциномою Броун-Пірс. Попереднє вивчення розподілу радіоактивного фосфору в пухлині стегна (перещеплена карцинома) показало, що в ній скупчується в 3—4 рази більше P^{32} , ніж у тканинах нормального стегна. Метастази карциноми печінки і нирок також нагромаджують на 10—30% більше P^{32} , ніж паренхіма цих органів (Городецький і Чеботарьов).

Тваринам слідом за прищепленням пухлини в яечко вводили радіоактивний фосфор у кількості 500 мікрокурі. Цю дозу повторювали через добу, дві і три доби. Отже, загальна доза введенного P^{32} досягала 2000 мікрокурі, тоді як смертельна доза дорівнює 3000 мікрокурі.

Можна вважати, що введена доза радіоактивного фосфору була гранично велика. Введений одночасно з наважкою пухлини P^{32} міг зробити гальмуючий вплив на розвиток метастазів пухлини, проте при розтині ми не могли відзначити помітної різниці між контрольними і піддослідними тваринами. Не могли ми також добитися задовільних результатів і при лікуванні кісткових метастазів у хворих людей. Єдине, що можна сказати про дію P^{32} при кісткових метастазах, — це ослаблення больового ефекту, яке настає дуже швидко при застосуванні відносно невеликих доз.

Клінічних спостережень над хворими на різні форми променевої хвороби, проведених з 1953 р., ми тут детально не будемо наводити. Ці дані опубліковані в працях конференції по використанню ізотопів у медицині в роботі Б. Г. Шевель, а також в роботі О. О. Городецького, доповідь про яку була зроблена на засіданні Київського товариства рентгенологів. Ми тут торкнемось лише тих сторін клінічних спостере-

жень, які доповнюють наші уявлення про біологічні особливості впливу радіоактивного фосфору на людину.

Із 120 хворих, що були під нашим наглядом (спільно з Б. Г. Шевель і С. Н. Одерій), у яких з різної нагоди було застосоване лікування радіоактивним фосфором, ми у 6 хворих (5%) виявили пошкодження, заподіяні цим лікуванням.

Бернс, під наглядом якого були 300 хворих, що лікувались радіоактивним фосфором, вважає, що ускладнення під впливом лікування спостерігаються приблизно в 20% випадків. Автор застосовував більші дози, ніж ми, і вводив P^{32} внутрішньо, а не через рот.

Серед ускладнень особливої уваги заслуговують ураження кровотвірної системи, які іноді супроводжуються ознаками гострої променевої хвороби. Важливе значення має те, що передбачити й уникнути цих ускладнень не завжди можливо, бо на однакові дози хворі дають різні реакції. В п'яти випадках ускладнення у наших хворих полягали в порушенні кровотворення, особливо в розвитку лейкопенії і тромбоцитопенії, і лише в одному випадку від дози 8 мілікіюрі P^{32} фосфору розвинувся синдром гострої променевої хвороби із значним пригніченням кровотворення і різко вираженими геморагічними явищами в шкірі всього тулуба і кінцівок. Привертає увагу відносно невелика доза, яка була застосована роздібно на протязі трьох тижнів; звичайно така доза не викликає ніяких ускладнень. В даному випадку дуже імовірно, що у хворого була підвищена ранимість судин.

Найбільш серйозне ускладнення, яке може дати в клініці застосування P^{32} , — це виникнення пухлин. Особливо часто при лікуванні P^{32} розвиваються лейкемії (Стребль і Пейс) у хворих на еритремії. Експериментально на дрібних тваринах відтворені остеогенні саркоми (Фінкель) і карциноми щурів (Коліцький і Христі).

На основі викладених вище даних можна зробити висновок, що променеві ураження, викликані радіоактивним фосфором, мають ряд особливостей, урахування яких дає можливість підійти до розроблення ефективних методів боротьби з ними.

Було також вивчено способи прискорення виведення з організму Sr^{89} , Ca^{45} (О. А. Хомутовський) і Cs^{134} (Е. З. Рябова). Ці дослідження показали, що застосування паратиреокрину — 0,3, лимоннокислого натрію — 60 мг і компалону — 0,3 при введенні одночасно з Sr^{89} підвищують його виведення з сечею і калом: за 5 діб виділяється з організму на 25% більше Sr^{89} , ніж у контролі. Проте при гострій променевій хворобі, викликаній введенням 3 мілікіюрі Sr^{89} , ця терапія не врятувала тварин від загибелі.

Хронічну променеву хворобу викликали внутрішньочеревинним введенням 0,5 мілікіюрі Sr^{89} , при цьому у частини тварин як контрольної, так і піддослідної групи через 150—180 днів розвинулись остеогенні пухлини. Отже, терапія паратиреокрином, лимоннокислим натрієм і компалоном виявилась малоефективною і проти променевої хвороби, викликаній введенням Sr^{89} , і проти blastomagenного впливу Sr^{89} .

В результаті цих дослідів ми одержали модель остеогенної саркоми яка виникає в результаті дії Sr^{89} . Завданням дальших досліджень буде шукання засобів, які охороняють організм тварини від blastomagenної дії Sr^{89} .

Проведені на щурах досліді по вивченню розподілу Ca^{45} в органах і тканинах і виведенню радіоактивного кальцію з організму показали, що двонатрієва сіль етилен-діамін-тетраоцтової кислоти в дозі 0,22 мг на 1 г ваги збільшує на 24—34% виведення Ca^{45} з організму.

Лимоннокислий натрій в дозі 50 мг на тварину прискорює виведен-

ня Cs^{134} на 15%, а щепленням проти тварин від 5- до 10-кратного прискорюють виведення.

Особливо важливо вивчити процеси в організмі тварин, викликані загальношкідливими для 80—100% смертельними для 80—100% арилтіокарбозидів, синтетичними аналогами старшим науковим співробітником.

Введення препаратів однократно смертельної дози білих тварин від 5- до 10-кратного прискорюють виведення до 39%. Тривалість життя в той час як у контрольній групі порівнювала лише 4,5 тижнів, давала легший перебіг.

Введення препаратів, підвищило виживаність тварин.

Отже, знайдені препарати лактичний засіб при гострій променевій хворобі і більш глибоке ураження.

Не меншу увагу вивченню ефективних при лікуванні хвороби спільно з О. І. Смирновим в експериментальній групі (АІС). При вивченні гострої променевої хвороби або введенням в організм у піддослідних групах.

Морфологічні дослідження, проведені на різних тваринах, значно менше ураження під впливом АІС. Особливо синдром.

Встановлено сприяє лікуванню хвороби (Є. Ю. Чирков) при застосуванні БК-8.

Тепер перед нами стоять комплексні проблеми.

Біофізика, яка є основою фізики і фізичної хімії, основних біологічних процесів є такі проблеми:

1. Вплив на організм мінеральних, нейтронів, рентгенівської енергії).

До цієї проблеми належить вивчення впливу організму зовнішнього середовища на радіоактивних речовин, а також індикаторів для вивчення.

В порівнянні з магією треба значно розширити.

ня Cs^{134} на 15%, а щавлева кислота в дозі 50 мг, згодована щурам протягом доби, прискорює виведення Cs^{134} на 20%. Шукання нових засобів, що прискорюють виведення з організму радіоактивних речовин, тривають.

Особливо важливо знайти нові засоби, що впливають на окисно-відновні процеси в організмі. З метою профілактики гострої променевої хвороби, викликані загальним рентгенівським опроміненням мишей в дозах, смертельних для 80—100% тварин, було випробувано 19 препаратів групи арилтіокарбозидів, синтезованих в Інституті органічної хімії АН УРСР старшим науковим співробітником П. С. Пелькісом.

Введення препарату № 9 в кількості 1,5 мг за годину до опромінення одноразовою смертельною дозою (600 р) в строки максимальної загибелі тварин від 5- до 15-го дня знижує кількість смертельних закінчень з 83 до 39%. Тривалість життя піддослідних тварин становила 15 днів, в той час як у контрольних тварин, яким препарату № 9 не вводили, вона дорівнювала лише 4,5 дням. Променева хвороба у піддослідних тварин давала легший перебіг, ніж у контрольних.

Введення препарату № 12 в кількості 1,5 мг за годину до опромінення, підвищило виживання тварин до 55% проти 5% у контролі.

Отже, знайдені речовини можна вважати ефективними як профілактичний засіб при гострій променевій хворобі. Шукання нових препаратів і більш глибоке вивчення уже створених препаратів тривають.

Не меншу увагу в нашій лабораторії приділяють вишукуванню засобів, ефективних при лікуванні гострої променевої хвороби. Як показали наші спільні з О. І. Смирновою-Замковою дослідження, особливо ефективною в експериментальній терапії виявилась сироватка О. О. Богомольця (АЦС). При вивченні дії цього препарату на щурах, у яких викликали гостру променеву хворобу одноразовим рентгенівським опроміненням або введенням в організм P^{32} , було встановлено, що виживання тварин у піддослідних групах значно вище, ніж у контролі.

Морфологічні дослідження О. І. Смирнової-Замкової і Г. В. Мельниченко, проведені на різних етапах розвитку променевої хвороби, показали значно менше ураження органів і тканин і швидкий розвиток регенерації під впливом АЦС. Особливо сприятливо впливає АЦС на геморагічний синдром.

Встановлено сприятливу дію кровозамінника БК-8 при гострій променевій хворобі (Є. Ю. Чеботарьов). Особливо високою була ефективність при застосуванні БК-8 у поєднанні із стрептоміцином і вітаміном B_{12} .

Тепер перед нами виникло питання про вишукування найбільш ефективних комплексних методів профілактики і лікування променевої хвороби.

Біофізика, яка є дисципліною, що межує, з одного боку, з біологією і, з другого, з фізикою, займається використанням даних сучасної фізики і фізичної хімії, фізичних і математичних методів для розв'язання основних біологічних проблем. Найбільш актуальними в цьому напрямі є такі проблеми:

1. Вплив на організм іонізуючих випромінень (радіоактивних випромінень, нейтронів, рентгенівського проміння, часток, що мають високу енергію).

До цієї проблеми належить вивчення променевої хвороби, впливу на організм зовнішнього випромінення і введених всередину організму радіоактивних речовин, а також застосування радіоактивних речовин як індикаторів для вивчення процесів, що відбуваються в організмі.

В порівнянні з масштабом уже проваджуваних досліджень цю роботу треба значно розширити. Особливо потрібно широко розгорнути

вивчення впливу на організм нейтронних потоків і часток високої енергії, одержуваних за допомогою прискорювачів — бетатронів, циклотронів тощо. Одночасно необхідно розширити вивчення впливу на організм малих доз випромінень, а також природної радіоактивності тварин. Це потрібно для одержання прямих і посередніх доказів впливу мікродоз радіоактивних випромінень, що проникають в організм людини і тварини. Треба передбачити можливість кооперування цих досліджень з лікувальними закладами для практичного впровадження одержаних результатів у терапію і профілактику променевої хвороби. Насамперед це стосується використання для даної мети різних біологічних стимуляторів, одержання нових, більш активних препаратів, синтезування препаратів для лікування променевої хвороби і скорішого виведення з організму інкорпорованих радіоактивних речовин.

2. Вплив на організм радіохвиль і струмів високої частоти.

Вивчення впливу радіохвиль на організм людини має вже більш ніж двадцятирічну історію. Проте в останні роки це питання набуло надзвичайної актуальності. Це є наслідком різкого збільшення потужності випромінюючих приладів дециметрового, сантиметрового, а в останній час і міліметрового діапазону і збільшення кількості таких випромінюючих устаткувань (радіолокаційні станції, радіорелейні лінії, діатермічні установки тощо).

В Сполучених Штатах Америки вивчення впливу радіохвиль на живий організм провадиться у 80 організаціях (промислові фірми, університети, науково-дослідні заклади), причому більшість цих досліджень фінансує військове відомство.

Застосовувані в сучасних випромінюючих установках дециметрові і сантиметрові хвилі небезпечні поблизу випромінюючих приладів тому, що на цих хвилях концентрується значна енергія в невеликому об'ємі, тобто спостерігається велика щільність опромінення.

Вплив на організм людини і тварин зумовлений тепловою дією, яка викликає місцеве або загальне підвищення температури тіла, що в окремих випадках призводить до змін і уражень різних органів і тканин, особливо очей і статевих органів.

Крім того, починаючи з 1932 р. і особливо в останні роки ряд авторів все більше схиляється до думки про можливість специфічної, тобто нетеплової дії радіохвиль. Останнє зв'язане, видимо, з тим, що при вбиранні квантів енергії сантиметрових хвиль змінюється структура молекул у клітинах тканин (квантово-біологічний ефект), що впливає на їх життєдіяльність і може спричинити зміни спадкових властивостей клітин в напрямі їх погіршення. Відомості про характер впливу радіохвиль на головний мозок і нервову систему в цілому дуже обмежені і несистематичні.

Шліпфак (1931) описав нервові розлади, головний біль, сонливість і, можливо, порушення мислення, що виникають у осіб, які працюють поблизу генераторів УКВ, дециметрового і сантиметрового діапазонів.

Усе викладене вище примушує звернути найсерйознішу увагу на систематичне вивчення впливу радіохвиль на організм людини і тварин. Тести, якими ми при цьому користуємось, треба значно розширити. Крім того, необхідно створити спеціальну контрольно-вимірну апаратуру для вимірювання частоти і щільності випромінюваної енергії, захисні костюми і відбивачі.

3. Вплив на організм ультразвукових коливань.

Застосування ультразвукових коливань у сучасній техніці, діагностиці і терапії, яке рік у рік розширюється, висуває потребу дослідити механізм дії цього виду випромінень на живі організми. Вивчення цього

питання тим більш незначна, а чітко уявляється, можна сказати, що не

Це завдання набагато Інституті електротехніки і ультразвукового апаратури різних органів. Експериментальний гомольця Академії наук України ультразвукових коливань.

4. Вплив на організм червоного проміння, а також зокрема світлової енергії.

Питання про вплив ультрафіолетового й інфрачервоного випромінювання достатньо, особливо в зв'язку з температурно-тенсивності, яка відбувається також дослідити явища впливу на організм світлової і теплової енергії. Питання про визначення дози і про гранично допустимі значення.

Отже, об'єктом вивчення електромагнітних хвиль є вплив хвильовим гамма-променів на організм. До останнього часу у вивченні цих груп хвиль (випромінювання) було чимало значених хвиль на живих організмах.

Практичне значення цих досліджень в зв'язку з широким застосуванням у найрізноманітніших галузях науки і техніки.

питання тим більш необхідне, що кількість пріць з цієї проблеми дуже незначна, а чітке уявлення про механізм біологічного впливу ультразвуку, можна сказати, ще не створене.

Це завдання набуває особливого значення в зв'язку з тим, що в Інституті електротехніки розробляється тепер питання про створення ультразвукового апарата для цілей діагностики захворювань внутрішніх органів. Експериментальні майстерні Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР уже освоїли виробництво генераторів ультразвукових коливань.

4. *Вплив на організм світлової радіації, ультрафіолетового й інфрачервоного проміння, а також комбінованої дії кількох видів випромінювання, зокрема світлової і проникаючої радіації.*

Питання про вплив на організм світлової радіації, в тому числі ультрафіолетового й інфрачервоного проміння, досі вивчене цілком недостатньо, особливо якщо врахувати дію випромінювань величезної інтенсивності, яка відбувається під час атомного вибуху. Дуже важливо також дослідити явища, що відбуваються при одночасному впливі на організм світлової і проникаючої радіації. Потребує розроблення питання про визначення дози світлового випромінювання великої інтенсивності і про гранично допустимі для організму дози цього випромінювання.

Отже, об'єктом вивчення лабораторії біофізики має стати весь спектр електромагнітних хвиль, починаючи від радіохвиль і кінчаючи короткохвильовим гамма-промінням. Це становить тим більший інтерес, що до останнього часу у вивченні спектра в проміжних ділянках між окремими групами хвиль (наприклад, між радіохвилями й інфрачервоним випромінюванням) було чимало прогалин. Зовсім мало вивчено вплив зазначених хвиль на живі організми.

Практичне значення поставленої нами проблеми стає зрозумілим в зв'язку з широким застосуванням різних радіоактивних випромінювань у найрізноманітніших галузях науки і техніки, в тому числі і в медицині.

Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР,
лабораторія біофізики.