

Деякі філософські аспекти трактування взаємодії іонізуючих випромінювань з живими системами

В. А. Барабой, Б. Р. Киричинський

Лабораторії біофізики і тканинної дозиметрії
Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР, Київ

Одним з величезних відкриттів фізики ХХ століття було встановлення того, що речовина з її масою, інерцією та іншими звичними і добре вивченими характеристиками — не є єдиною формою існування і руху матерії, що іншою, не менш фундаментальною об'єктивно існуючою формою матерії є поле, точніше, різноманітні поля: електричні, магнітні, гравітаційні, ядерні.

Багато десятиріч, ще з часів Ньютона, найвизначніші фізики різних країн намагалися зрозуміти і пояснити явища взаємодії між тілами, електричними зарядами за допомогою гіпотетичного ефіру — середовища дуже тонкої будови, яке заповнює весь простір між тілами і є посередником, передавачем гравітаційних, електричних та інших впливів. Водночас вважали, що ефір принципіально не відрізняється від добре вивчених матеріальних тіл, підкоряється тим же законам механіки. На початку ХХ століття було з'ясовано, що уявлення про світовий ефір суперечить ряду міцно встановлених фактів. Остаточна ідея механічного ефіру була похована творцем теорії відносності А. Ейнштейном, коли з'ясувалося, що неможливо виявити руху щодо ефіру, що не існує, іншими словами, абсолютної світової системи відліку, а всі рухи здійснюються тілами лише відносно одне одного.

Але взаємодії між масами речовини, електричними зарядами, між окремими атомами і елементарними частками, розміщеними на різних відстанях одна від одної, здійснюються об'єктивно і цілком реально. Матеріальними носіями перелічених взаємодій, посередниками між простороно відокремленими частками речовини є відповідні поля. Матеріальність поля, реальність його існування сумнівів, отже, не викликає. Але так само безсумнівно, що ця форма матерії не підкоряється законам Ньютона, її не можна включити до звичної механічної картини світу.

Старе уявлення про матерію, яка ототожнювалася з речовиною, під натиском нових наукових відкриттів зазнало істотних змін. За класичним визначенням В. І. Леніна (1908), підтвердженням всім ходом розвитку науки ХХ ст., матерія — це об'єктивна реальність, яка існує поза нашою свідомістю; філософське поняття матерії не пов'язується з жодною з її конкретних, окремих ознак.

Ми спинимось лише на деяких особливостях впливу випромінювань на речовину, особливо на живі системи. В межах цієї взаємодії проблема існування і співвідношення різних форм матерії набуває деяких специфічних рис.

Відкриття Максвеллом електромагнітної теорії світла дозволило зрозуміти і пояснити можливість і навіть швидкість поширення світла

у вакуумі: зміна векторного електричного поля, векторного магнітного поля. Будучи поперечними, електромагнітні хвилі різної довжини прямка. При розгляді уявлення про хвильову природу достатнє для розуміння

Однак при взаємодії принципіально інші його кретну природу світла. Явища світла, фотоелектричного ефекту, світло виникає в речовині квантами (Планк). При існуванні світлового тиску там — фотонам таку квантовані, протилежні якості не і безперервне одностороннє

Але виявилось, що взаємодія але й речовині. Поток випромінювання дають давати таку саму енергію а в певних умовах можливе спонукання в пари електромагнітних силових електричного поля (анігіляція речовини). Електричні заряди, магнітні поля взаємодії (відповідні поля) спільність, єдність протилежності «Матерія, тобто речовина» і часток, але в цілому «го»*. Тільки з позицій релятивістичної теорії ховані внутрішні протилежності можна зрозуміти властивості себе в одних умовах спуску. Маси речовини і електричними силами відстанями, взаємодіями

І електромагнітні поля (ма-промені), і потоки нейтронів, альфа-частинок, хвилями поля і корпускулярними, дуже схожу — іонізуючі їх під назвою іонізуючих випромінювань

Вплив іонізуючої радіації мислити лише при умовах біологічних, біохімічних і біофізичних, з обов'язковим урахуванням

Початковий процес іонізації кулами (що входять атоми) еться з ефектів іонізації речовини характер. Ці процеси іонізації генівському і гамма-випромінюванню і електроні віддачі, як і випромінювання в результаті протилежності і утворення пар. Під

* С. И. Вавилов —

у вакуумі: зміна вектора напруги магнітного поля породжує змінне електричне поле, вектор якого, змінюючись, в свою чергу індукуює змінне магнітне поле. Будь-яке тіло є джерелом випромінювання електромагнітних хвиль різної довжини, що випускаються у простір в усіх напрямках. При розгляді руху у вакуумі, де поле породжує тільки поле, уявлення про хвильовий характер електромагнітних випромінювань достатнє для розуміння спостережуваних явищ.

Однак при взаємодії випромінювання з речовиною виявляються принципіально інші його властивості, які свідчать про переривну, дискретну природу світла. Пізнання законів випромінювання і поглинання світла, фотоелектричного ефекту привело вчених до висновку, що світло виникає в речовині і поглинається нею окремими порціями — квантами (Планк). Праці П. Н. Лебедева експериментально довели існування світлового тиску, що примусило приписати світловим квантам — фотонам таку кардинальну якість речовини, як масу. Стало ясно, що електромагнітному полю властиві, на перший погляд, нез'єднані, протилежні якості (хвильові і корпускулярні) і що воно переривне і безперервне одночасно.

Але виявилось, що така сама двоїстість притаманна не тільки полю, але й речовині. Потоки елементарних часток, які летять швидко, можуть давати таку саму дифракційну картину, як електромагнітні хвилі, а в певних умовах можливі прямі перетворення квантів гамма-випромінювання в пари електрон — позитрон (так зване народження пар у сильному електричному полі атомного ядра) і обернені перетворення (анігіляція речовини). І в тому, що взаємодіє (частки речовини, електричні заряди, магнітні диполі тощо), і в тому, що є переносником взаємодії (відповідні поля), сучасна наука викрила глибоку внутрішню спільність, єдність протилежних якостей — хвильових і корпускулярних. «Матерія, тобто речовина і світло, одночасно має властивості хвиль і часток, але в цілому це не хвилі і не частки і не суміш того і іншого*». Тільки з позицій матеріалістичної діалектики, яка виявляє приховані внутрішні протилежності в надрах будь-яких явищ природи, можна зрозуміти властиву електромагнітному полю здатність проявляти себе в одних умовах як хвильовий процес, в інших — як потік корпускул. Маса речовини, відокремлені одна від одної нерідко гігантськими відстанями, взаємодіють шляхом обміну квантами поля.

І електромагнітні коливання високої частоти (рентгенівські і гамма-промені), і потоки часток, що швидко летять (електронів, протонів, нейтронів, альфа-часток і більш важких ядер) при всій різниці між хвилями поля і корпускулами, роблять на речовину, в тому числі і живу, дуже схожу — іонізуючу дію, що й дало підставу для об'єднання їх під назвою іонізуючої радіації.

Вплив іонізуючої радіації на живу систему можна правильно осмислити лише при умові глибокого проникнення в суть фізичних, хімічних, біохімічних і біофізичних процесів, які відбуваються при цьому, з обов'язковим урахуванням специфіки живої системи як цілого.

Початковий процес взаємодії випромінювання з атомами і молекулами (що входять або не входять до складу живої системи) складається з ефектів іонізації і збудження, які мають квантово-механічний характер. Ці процеси викликаються іонізуючими частками. При рентгенівському і гамма-випромінненні такими частками є фотоелектрони і електрони віддачі, яким передають свою енергію кванти випромінювання в результаті процесів фотоелектричного поглинання, розсіювання і утворення пар. При нейтронному випромінненні це ядра віддачі і

* С. И. Вавилов — Собр. сочинений, М., 1956, 4, 191.

протони, які утворюються при пружному співударенні з ядрами атомів. Отже, в усіх випадках безпосередньо діючим агентом є іонізуюча частка. Різниця в дії окремих видів іонізуючих випромінювань зумовлена особливостями розподілу їх енергії у просторі і в часі.

Процес впливу іонізуючої радіації на речовину в дійсності є складним процесом взаємодії, бо поряд із зміною атомів середовища завжди відбувається і зміна властивостей самого діючого агента — іонізуючого випромінювання. В результаті послідовних актів взаємодії з атомами і молекулами енергія і напрям руху рентгенівських або гамма-квантів безперервно змінюються, і на кожному рівні глибини об'єкту випромінювання характеризується своїм спектром електронів і фотонів, як за напрямом, так і за енергією.

Ще характерніша взаємодія нейтронів з речовиною. На відміну від протонів, електронів та інших заряджених часток, нейтрони можуть безперешкодно проникати всередину атомів і стикатися з їх ядрами. Поряд з розсіюванням нейтронів в результаті пружного їх співударення з ядрами водню, а також вуглецю, кисню, азоту, при цьому здійснюється захоплення нейтронів ядрами з наступними ядерними реакціями і викиданням протонів, альфа- і бета-часток і гамма-квантів. Іншими словами, в результаті нейтронного опромінювання відбувається утворення радіоактивних ізотопів.

Зміна (в ході взаємодії з речовиною) опромінюючого пучка супроводжується безперервною зміною властивостей безпосередньо іонізуючих агентів — електронів, протонів та інших заряджених часток. Витрачаючи поступово свою енергію на іонізацію і збудження атомів і молекул середовища, ці частки поступово втрачають швидкість, в зв'язку з чим підвищується лінійна щільність іонізації, тобто кількість пар іонів на одиницю шляху частки.

Іони, радикали, збуджені молекули — продукти взаємодії іонізуючих часток з речовиною, які виникли внаслідок цієї взаємодії, негайно стають самі причиною дальших зрушень: радикали залучають до процесу нейтральні молекули, з утворенням нових активних продуктів (ланцюгова реакція); збуджені молекули витрачають зайву енергію на розрив і перегрупування зв'язків між атомами, на випромінювання квантів ультрафіолетового проміння. Результати попереднього тура перетворень стають причиною дальших змін, утворюючи у своїй сукупності довгі розгалужені багатоланкові ланцюги.

В живих організмах, від найпростіших до найскладніших, не міститься нічого, крім атомів і молекул, які підкоряються загальним квантово-механічним, фізичним і хімічним законам. Тому все сказане про дію випромінювань на речовину цілком стосується і живих систем, але ні в якій мірі не вичерпує тих різноманітних змін, які розвиваються в опроміненому організмі. Вже найпростіша жива система, будучи елементом вищої, біологічної форми руху матерії, якісно відрізняється від елементів, що складають її (атомів, молекул, молекулярних комплексів), які підкоряються закономірностям фізичної і хімічної форми руху, включає їх в себе як ціле на правах складових частин, деталей.

У межах живої системи молекули речовини включаються до більш складних, надмолекулярних, клітинних, тканинних і т. ін. структур, підкоряючись в зв'язку з цим і специфічно біологічним законам; в міру ускладнення організації живого ці закони набувають дедалі більш домінуючого значення, а реакція організму на вплив шкідливого агента стає дедалі більш різноманітною і складною.

З перших років дослідження закономірностей біологічної дії радіації вчені стикнулися з дивним фактом, який довгий час не знаходив

скільки-небудь задовольних кількостей енергії рентгенівського випромінювання для нагріву чашки чаю, зрушення лише при збереженні перекопаних цеси проходять інакше, ніж у організмі, завдяки (структурного і функціонального) наступного багатогранного зрушень. Розвиток на

При самому загальному зрушенні неї можливостей пружного розвитку, що і в істот, від вірусів і бактерій, і при порівняльному організації живого, якого розвитку життя

Молекулярний розвиток у протоплазмі. Ми маємо на увазі хариди, азотові основи були будівельним матеріалом протоплазми (хоч появу ніву є першим і неомого на молекулярно (полісахариди, ліпопоти), гігантські молекулярні живій системі та беруть функції: самооновлення від шкідливих впливів

Проте нам здається, що спеціальній і філософським явищ виключно рівня організації живого знання окремих молекул новні специфічні ознаки нерозуміння діалектичних процесів, наприклад, лейнові кислоти, при живих систем, є не біологічним життя (хоч їх «цілі» процесі виникнення і дія О. І. Опаріна та ін., тем, які мали багатогранні полімерних молекул виконання найважливіших функцій дається з правильною специфічними ферментивними спадщину інформації цих спеціалізованою с

За цією точкою зрушень природного добо

скільки-небудь задовільного пояснення. Поглинання організмом мізерних кількостей енергії іонізуючих випромінювань приводило до дуже помітних біологічних ефектів. Смертельною для людини є така кількість енергії рентгенівських або гамма-променів, якої недостатньо для нагріву чашки чаю. Водночас опромінення різних біологічних речовин (білків, нуклеїнових кислот) поза організмом викликало помітні зрушення лише при значно вищих дозах радіації. Уже це просте спостереження переконає, що у живій системі породжені радіацією процеси проходять інакше, складніше, ніж у неживій природі, що в самому організмі, завдяки складності його організації і взаємозв'язку (структурного і функціонального) елементів, закладено можливості наступного багаторазового посилення раніше викликаних радіацією зрушень. Розвиток науки підтвердив правильність цього припущення.

При самому загальному аналізі специфіки живого і впливаючих з неї можливостей посилення ефекту радіації не можна не помітити, що сучасні живі організми є результатом дуже тривалого еволюційного розвитку, що і в наші часи вони утворюють своєрідні сходи живих істот, від вірусів і бактерій до птахів і ссавців. І при еволюційному, і при порівняльному підході можна розрізнити ряд послідовних рівнів організації живого, якісних стрибків, що виникли за ходом прогресивного розвитку життя на землі.

Молекулярний рівень організації живого характеризується наявністю у протоплазмі особливих речовин, яких нема в неживій природі. Ми маємо на увазі не вуглеводні і навіть не амінокислоти, моносахариди, азотові основи, що виникають абіогенним шляхом і колись були будівельним матеріалом для перших, найпростіших грудочок протоплазми (хоч поява вуглеводнів та інших органічних сполук без сумніву є першим і необхідним етапом розвитку життя). Специфіку живого на молекулярному рівні відображають насамперед біополімери (полісахариди, ліпополісахариди і, особливо, білки та нуклеїнові кислоти), гігантські молекули яких є основним структурним елементом у живій системі та беруть участь у здійсненні найважливіших життєвих функцій: самооновлення, руху, розмноження, подразливості, захисту від шкідливих впливів тощо.

Проте нам здається принципіально невірним спостережуване у спеціальній і філософській літературі прагнення зводити специфіку життєвих явищ виключно (або переважно) до особливостей молекулярного рівня організації живого. Таке прагнення неминуче тягне за собою визнання окремих молекул білків і нуклеїнових кислот (які мають основні специфічні ознаки живого) живими. Ця помилка є наслідком нерозуміння діалектики співвідношення частини і цілого. Білки і нуклеїнові кислоти, при всій їх першочерговій важливості для існування живих систем, є не більш як деталями — хай вирішальними — механізми життя (хоч їх «цілість» цілком необхідна для життєдіяльності). В процесі виникнення і розвитку життя на землі, як показали дослідження О. І. Опаріна та інших авторів, в середині найпростіших систем, які мали багато ознак живого, відбувався процес спеціалізації полімерних молекул — попередників нуклеїнових кислот і білків для виконання найважливіших функцій живого: самооновлення, що складається з правильної системи біохімічних реакцій, каталізованих специфічними ферментними білками; збирання, зберігання і передачі в спадщину інформації про будову і функції живої системи, здійснюваних спеціалізованою системою ДНК—РНК—білки тощо.

За цією точкою зору, що знаходить надійну опору в закономірностях природного добору і еволюції живих систем, існуюча нині най-

складніша система спеціалізованих нуклеопротейдних структур, яка визначає в основному специфіку життєвих процесів, є плодом дуже тривалого розвитку і удосконалення живих організмів. І цілком неможливо, залишаючись на діалектико-матеріалістичних позиціях, уявити собі спочатку виникнення «живих» молекул нуклеїнових кислот і білка, а потім уже формування з них живих систем. Якщо навіть допустити можливість випадкового (у процесі хаотичної взаємодії між окремими органічними сполуками) виникнення на світанку життя молекул, близьких за будовою до сучасних ферментних білків або нуклеїнових кислот (імовірність такого виникнення мала, але відмінна від нуля), то слід мати на увазі, що ці молекули самі по собі, поза живими системами, не мали б ніяких переваг перед іншими і неминуче розпалися б. Тільки в межах живої системи можуть виявитись переваги структурно-функціональної організації і спеціалізації біополімерів.

У переважній більшості живих систем макромолекули біополімерів включені до ряду спеціалізованих структур (мембрани, ядро, ядерце, хромосоми, мітохондрії, мікросоми тощо), які виконують певні функції у складі якісно нового, складнішого елемента організації живої — клітини. Завдяки найсуворішій координації у просторі і в часі функціонально-структурних елементів клітини процеси обміну речовин, що відбуваються в ній, забезпечують цілісність клітини, її розмноження.

Але й клітини у більшості живих систем є лише структурними і функціональними елементами, цеглинками, сукупність яких утворює нову якість — організм. В організмі окремі клітинні маси спеціалізуються, диференціюються для виконання певних функцій, утворюючи тканини і органи. Одночасно формуються системи регуляції, що забезпечують зв'язок і взаємну інформацію між органами, їх функціональну єдність і адекватну реакцію на зовнішні подразнення. Розвиток головного мозку (особливо мозку людини) — органа пізнання світу, також означає появу нової якості, нового стрибка в процесі розвитку живого.

Як було відзначено, безпосереднім результатом впливу іонізуючої радіації на речовину (в тому числі живу) є утворення активних продуктів — іонів, радикалів, збуджених молекул, які частково рекомбінують між собою і залучають до процесу значну кількість нейтральних молекул. Найсерйозніші наслідки для організму безперечно може мати денатурація молекул біополімерів, особливо нуклеїнових кислот і білків. При прямому ураженні такої молекули іонізуючою часткою і може статися розрив одного або кількох зв'язків між атомами, з утворенням іонних угруповань і вільних валентностей, але молекула як ціле при цьому не буде зруйнована. Здавалося б, у рамках збереженої структури молекули розірвані зв'язки повинні легко відновитися. Насправді так буває далеко не завжди. По місцю розірваних зв'язків приєднуються інші речовини протоплазми. Особливе значення має приєднання молекулярного кисню, постійно присутнього в розчиненому стані у живих системах. Органічні перекиси біополімерів, які утворилися після приєднання кисню, вже не здатні до відновлення вихідної структури.

Але і в цьому нема, здавалося б, нічого непоправного. Адже молекула як ціле продовжує існувати, отже, виконувати свою функцію. Крім того, підраховано, що при смертельних для організму дозах радіації безпосередньо пошкоджується не більше як одна десятимільйонна частина білкових молекул. Важко уявити, щоб таке мізерне порушення могло мати фатальні наслідки. Розібратися в суті справи можна, лише ознайомившись з механізмами посилення ефекту радіації, що спрацьовують на всіх рівнях організації живої системи.

Попадання іонів до збільшення вільно сіюється, мігрує май нувши якогось немі радіацією пошкоджен перекисні угрупован вуючись в міру оп Завдяки цим механізи ки, віддана макромо можливу денатурації протилежні механізм розсіювання енергії і зірвання зв'язків то

Значна частина логічно менш важли ця енергія, з точки Виникаючі в результ кали Н— і —ОН, а водню H_2O_2 , реагуюч такі самі пошкоджен часток: окислення, у цьому завдяки перене важливих молекул на опромінення. І в цьог го характеру: відбува логічно маловажливи

Щодо важливост і нуклеїнових кислот, хуванні тієї спеціалі тині. Зміна конфігура ферментного білка м реакцій, а випадіння неминуче відіб'ється пошкодження однієї з лекули дезоксирибону інформації — може пр яви зміненої ознаки порушенні життєво в У більшості інших ви лаблення життєдіяль дження. Перекрученн ураженням статевої або до появи в ряді м мутацій. З другого бо на живі організми ви одним з важливих ф появу мутацій, з числ бирає і закріплює цін

Розглянуте питанн безпосереднє відношен терії. Незначне пошко чою часткою, що є пр набуває певного біоло ла включена до живо чим важливіша біолог

Попадання іонізуючої частки в молекулу біополімера приводить до збільшення вільної енергії молекули. Ця енергія звичайно не розсіюється, мігрує майже без втрат по ланцюжку атомів і, лише досягнувши якогось неміцного зв'язку, викликає його розрив. Викликані радіацією пошкодження молекул біополімерів (довгоживучі радикали, перекисні угруповання та ін.) можуть довго зберігатися і, підсумовуючись в міру опромінення, призводять до значніших зруйнувань. Завдяки цим механізмам фізичного посилення енергія іонізуючої частки, віддана макромолекулам, викликає в їх структурі максимально можливу денатурацію. Однак поряд з механізмами посилення діють протилежні механізми, які сприяють збереженню вихідної структури: розсіювання енергії випромінювання у вигляді тепла, відновлення розірваних зв'язків тощо.

Значна частина енергії іонізуючих часток віддається іншим, біологічно менш важливим молекулам, особливо молекулам води. Але й ця енергія, з точки зору біологічного ефекту, не губиться безслідно. Виникаючі в результаті іонізації і радіолізу молекул води вільні радикали $\text{H}\cdot$ і $\cdot\text{OH}$, а після взаємодії з киснем також $\text{HO}_2\cdot$ і перекис водню H_2O_2 , реагуючи з молекулами біополімерів, викликають по суті такі самі пошкодження їх структури, як пряме попадання іонізуючих часток: окислення, утворення радикальних і збуджених станів. При цьому завдяки перенесенню поглиненої енергії випромінювання з менш важливих молекул на полімерні досягається хімічне посилення ефекту опромінення. І в цьому випадку спрацьовують механізми протилежного характеру: відбувається рекомбінація радикалів, зв'язування їх біологічно маловажливими структурами тощо.

Щодо важливості найбільш незначних порушень структури білків і нуклеїнових кислот, то оцінити її можна лише при обов'язковому врахуванні тієї спеціалізованої функції, яку дана молекула виконує в клітині. Зміна конфігурації атомів у межах активного центра молекули ферментного білка може порушити, загальмувати одну з обмінних реакцій, а випадіння однієї з ланок суворо координованого процесу неминуче відіб'ється на інших ланках і процесі в цілому. Найменше пошкодження однієї з тисяч азотистих основ, що входять до складу молекули дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК) — охоронця спадкової інформації — може призвести до перекручення цієї інформації, до появи зміненої ознаки у потомства опроміненої клітини — мутації. При порушенні життєво важливої ознаки мутація може стати летальною. У більшості інших випадків поява мутації призводить до певного ослаблення життєдіяльності клітини, а іноді до її злоякісного переродження. Перекручення спадкової інформації, викликане променевим ураженням статевої клітини, може призвести до загибелі потомства або до появи в ряді наступних поколінь нових, як правило, шкідливих мутацій. З другого боку, не можна не зазначити, що постійний вплив на живі організми випромінювань так званого радіоактивного фону є одним з важливих факторів еволюційного процесу, які прискорюють появу мутацій, з числа яких механізм природного добору постійно відбирає і закріплює цінні для даного виду ознаки.

Розглянуте питання є принципіально важливим, тому що воно має безпосереднє відношення до проблеми співвідношення форм руху матерії. Незначне пошкодження структури молекули, викликане іонізуючою часткою, що є проявом суто фізичних і хімічних закономірностей, набуває певного біологічного змісту внаслідок того, що дана молекула включена до живої системи, виконує в ній ту чи іншу функцію. І чим важливіша біологічна роль молекули, тим істотнішим для клітини

і всього організму буде її пошкодження. Більше того, незначне з фізико-хімічного погляду пошкодження або навіть просто зміна конфігурації молекули, коли воно має відношення до її активного центра, може виявитись біологічно значно серйознішим, ніж у багато разів більше за розмірами пошкодження неактивної частини тієї ж молекули.

Щодо біологічних наслідків опромінення організму велике значення має не тільки безпосереднє пошкодження макромолекул як таких, але й порушення внутріклітинних структур, побудованих з цих молекул, спотворення обмінних процесів, в яких вони беруть участь. На субклітинному і клітинному рівні діють нові механізми посилення. Викликане радіацією порушення цілісності внутріклітинних мембран, які складаються з шарів білкових та ліпоїдних молекул, приводить до виходу в протоплазму суворо локалізованих у нормі ферментів, під впливом яких відбувається даліше, тепер уже ферментативне зруйнування основних клітинних структур. В поєднанні із зруйнуванням та інактивацією окремих найбільш чутливих до радіації ферментів це призводить до спотворення нормального перебігу обмінних процесів, до нагромадження незвичних продуктів обміну речовин — аномальних метаболітів, таких як хінони, продукти окислення поліненасичених жирних кислот тощо, що мають токсичні, гемолітичні властивості. Сукупність описаних процесів у багато разів посилює раніше викликані радіацією пошкодження, зумовлюючи біохімічний механізм посилення.

Пошкодження основних структур, дезорганізація внутріклітинного обміну призводить до порушення основних життєвих функцій, головних фізіологічних механізмів клітини. В першу чергу це стосується механізму клітинного поділу. В порушенні мітозу провідну роль відіграє, мабуть, не пошкодження окремих азотистих основ молекули ДНК як таких, а грубіші порушення структури складних нуклеопротеїдних утворень клітинного ядра хромосом — так звані хромосомні аберації. В результаті неможливості розходження дочірніх хромосом (за рахунок утворення поперечних зв'язків — хромосомних мостів) або внаслідок більш або менш значної втрати генетичного матеріалу за рахунок розривів при першому або наступних поділах клітини може настати її загибель. Поки клітина не вступила в мітоз, завдані їй радіацією пошкодження ще можуть бути усунені або ослаблені процесами внутріклітинного відновлення. У процесі поділу пошкодження всередині клітинних структур, особливо генетичного апарата, клітини стають необоротними. Тому в тканинах з високою мітотичною активністю процеси внутріклітинного відновлення обмежені малою тривалістю інтерфази, а радіочутливість висока. На рівні клітинних фізіологічних механізмів відбувається даліше посилення шкідливої дії радіації.

У масштабах цілісного організму розгортання процесу променевого ураження супроводжується втягненням фізіологічних систем регуляції — нервової і ендокринної. Виникнення патологічних рефлексів з уражених радіацією клітинних мас епітелію шлунково-кишкового тракту, дихальних шляхів тощо сприяє далішій дезорганізації важливих фізіологічних процесів. Спостережуване в ранні строки після впливу радіації різке посилення секреції ряду гормонів: кортикостероїдів, катехоламінів, гістаміну сприяє розвитку деяких патологічних симптомів: підвищеної проникності судин, пригніченню функції кісткового мозку та інших кровотворних органів.

Картина ще більше ускладниться, коли врахувати, що одночасно і поряд з процесами, які посилюють раніше викликані радіацією атомно-молекулярні зрушення в живій системі, в ній розгортаються тісно з ними зв'язані, але протилежні за своєю спрямованістю проце-

си, які сприяють збереженню організму та його комбінації радикалізації макромолекул у вигляді мінення низькомолекулярного клітинного рівня генетичних структур ми, процеси репарації, завдяки підвищенню тощо. На рівні органістичного поділу, які і за допомогою реакції маси, це включення логічних функцій організму та інших біологічних гомеостазису.

Незважаючи на відновних процесів, істичному виразі дози, ньою, щоб запобігти дження. У чому причому? За нашим уявленням іонізуючої радіації вплив шкідливого на передачі енергії іонізації скають можливість. Не менш важливе значення мають вироблених захисно-значних доз радіації.

Живі системи на впливу випромінювання як було відзначено, процесу. Але з впливом постійно не зустрічалися цих організмів специфічності радіації, відсутність м'яких, подібних, наприклад, реотипних реакцій на результати багатовікової середовища.

Отже, глибокі являються (і ще не повністю) структурної організації організмів, складних і різноманітних випромінюваннями.

Процеси розвитку і репарації, словами, процеси, які викликають захисні заходи проти радіації, взаємодіють, перш за все з цієї єдності окремих частин.

Об'єктивно правдиво, що становлять уявлення про дію радіації з живими системами матеріалістичний характер.

си, які сприяють збереженню цілісності і функціональної повноцінності організму та його частин. На молекулярному рівні це процеси рекомбінації радикалів, розсіювання надлишкової енергії збудження макромолекул у вигляді тепла, зв'язування активних продуктів опромінення низькомолекулярними компонентами протоплазми тощо. На клітинному рівні це процеси захисту найважливіших і радіочутливих генетичних структур (нуклеїнових кислот ядра) білковими футлярами, процеси репарації первинних розривів хромосом, виведення з клітин, завдяки підвищеній проникності їх мембран, токсичних продуктів тощо. На рівні організму це процеси тимчасового пригнічення клітинного поділу, які полегшують перебіг клітинних відновних процесів за допомогою реактивних нервово-гуморальних впливів на клітинні маси, це включення механізмів саморегуляції найважливіших фізіологічних функцій організму, посилене вироблення гормонів, медіаторів та інших біологічно активних речовин, які сприяють збереженню гомеостазису.

Незважаючи на розвиток в опроміненому організмі різноманітних відновних процесів, їх діяльність уже при впливі мізерних в енергетичному виразі доз іонізуючої радіації виявляється явно недостатньою, щоб запобігти лавіноподібному посиленню ефектів пошкодження. У чому причини такої високої ранливості опроміненого організму? За нашим уявленням, їх дві. Насамперед, це специфіка дії іонізуючої радіації на організм: висока проникаюча здатність, прямий вплив шкідливого агента на внутрішні органи, а також особливості передачі енергії іонізуючих часток речовині живої системи, які допускають можливість багаторазового посилення початкових зрушень. Не менш важливе значення має відсутність у організмів еволюційно вироблених захисно-приспосувальних механізмів по відношенню до значних доз радіації.

Живі системи не тільки пристосувалися до постійного слабого впливу випромінювань радіоактивного фону, але й використовують їх, як було відзначено, як один з факторів природного мутаційного процесу. Але з впливом значних доз радіації живі організми на землі постійно не зустрічалися. Звідси відсутність у найбільш високорозвинених організмів спеціальних рецепторів для сприймання іонізуючої радіації, відсутність досить ефективних спеціальних захисних механізмів, подібних, наприклад, до запалення і регенерації — складних стереотипних реакцій на зовнішні травматичні впливи, вироблених в результаті багатовікової боротьби організмів з несприятливими умовами середовища.

Отже, глибокі якісні відміни живих систем від неживих, колосальна (і ще не повністю вивчена) складність функціональної та структурної організації живого — ось причина високої радіочутливості організмів, складності і різноманітності процесів їх взаємодії з іонізуючими випромінюваннями.

Процеси розвитку променевого ураження і процеси захисту, відновлення і репарації, що мають протилежну спрямованість, іншими словами, процеси, які становлять суть променевої хвороби та фізіологічних заходів проти хвороби, в живій системі настільки тісно пов'язані, взаємодіють, переходять один в одний, що будь-яке вичленення з цієї єдності окремих ланок в значній мірі штучне.

Об'єктивно правильне, глибоко наукове уявлення про суть процесів, що становлять у своїй сукупності ефект взаємодії іонізуючої радіації з живими системами, може мати тільки послідовний діалектико-матеріалістичний характер.

Про походження повільних потенціалів дорсальної поверхні спинного мозку

П. Є. Моцний, О. К. Флоров

Кафедра фізіології людини та тварин Дніпропетровського університету

Відомо, що подразнення периферичного нерва або заднього корінця викликає появу на дорсальній поверхні спинного мозку складного потенціалу.

В літературі описана [1, 2, 6, 9, 11] значна кількість компонентів потенціалу дорсальної поверхні (ПДП).

Ця робота присвячена дослідженню впливу фронтальних перерізань спинного мозку на окремі компоненти ПДП та фокальні потенціали у попереково-крижовому потовщенні. Метою досліджень було виявлення локалізації утворень, що породжують ці компоненти.

Методика досліджень

Досліди провадились на кішках під неглибоким гексеналовим наркозом (50 мг/кг) після ламінектомії на рівні попереково-крижового потовщення мозку. З допомогою срібних потенціалів підколінний нерв подразнювали прямокутними імпульсами від електронного стимулятора.

Потенціали відводились ніхромовим електродом (30 мк), вкритим скляною ізоляцією, на підсилювач з симетричним входом та несиметричним виходом. Другий електрод включали у хребець.

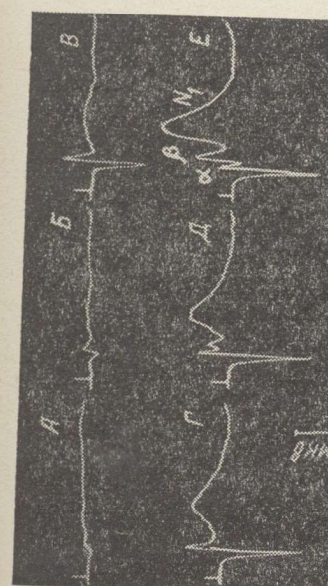
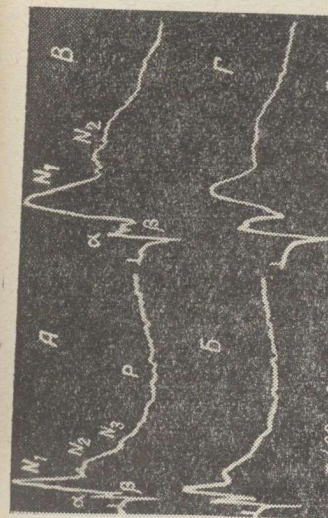
Реєстрацію потенціалів провадили на катодному осцилографі СІ-4.

Розріз, що проходив на рівні спинномозкового каналу, повністю відділяв дорсальну частину мозку від вентральної. Для реєстрації фокальних потенціалів електрод за допомогою маніпулятора заглиблювали у сіру речовину мозку. Після перерізання мозку електрод заглиблювали знов у тому ж напрямку і, потенціали реєструвались на попередніх рівнях.

Подразнюючий струм поступово посилювали до появи усіх компонентів ПДП. Після досліду шматочок мозку з електродом вирізували, фіксували формаліном. Поперечні зрізи мозку після фарбування фотографували.

Результати досліджень

На рис. 1 показана залежність ПДП від сили подразнення підколінного нерва. Подразнення низькопорогових волокон викликає появу на дорсальній поверхні мозку швидкого позитивно-негативного коливання (α), амплітуда якого підвищується із збільшенням сили подразнення (рис. 1, А—Г). Це двофазне коливання потенціалу відображає поширення збудження у волокнах задніх корінців. Коли сила подразнюючого струму досягає повного ступеня, з'являється повільне негативне коливання (N_1), латентний період якого близько 2 мсек відносно початку аферентного піка. При дальшому посиленні струму між аферентним піком та повільним негативним коливанням з'являється ще один негативний компонент (β), латентний період якого близько 1 мсек відносно



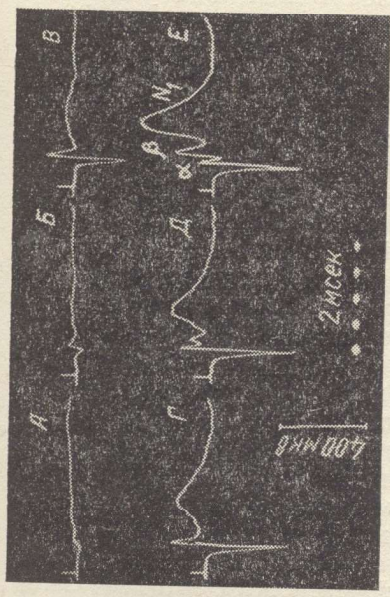


Рис. 1. Потенціали дорсальної поверхні спинного мозку, одержані при різних силах подразнення підколінного нерва. Відведення від VII поперекового сегмента. Сила стимулу збільшується від А до Е.
 α — аферентний пік, β — пресинаптичний компонент, M₁ — перший постсинаптичний негативний компонент.

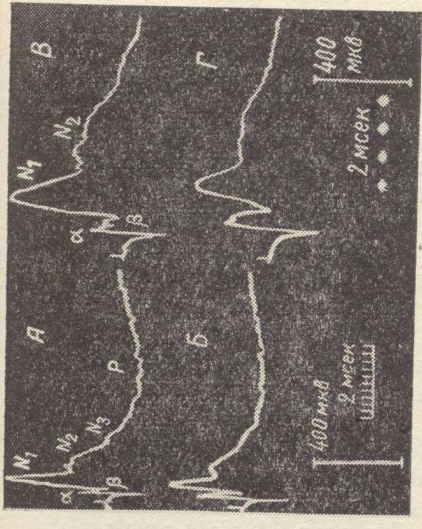


Рис. 2. Потенціали дорсальної поверхні спинного мозку, одержані до і після перерізання спинного мозку на рівні центрального каналу. А, В — до перерізання; Б, Г — після перерізання. Подразнювали підколінний нерв.

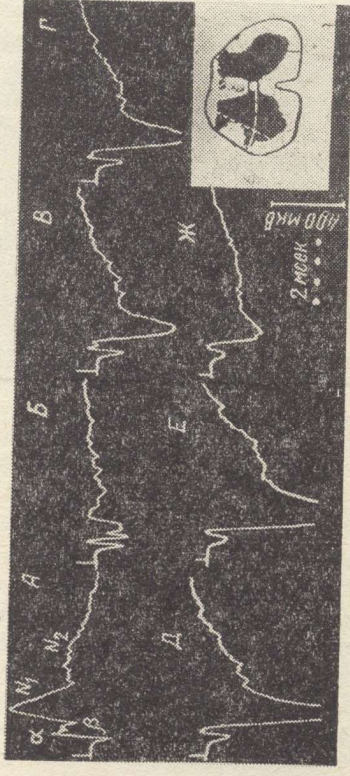


Рис. 3. Потенціали, відведені від VII поперекового сегмента при подразненні підколінного нерва (до перерізання). А — з поверхні, Б — з глибини 1 мм, В — 1,5 мм, Г — 2 мм, Д — 2,75 мм, Е — 4 мм, Ж — 5 мм. Пунктиром на зрізі показано напрямки заурення.

початку аферентного піка (N_{1a} компонент за Остиним та Мак-Коучем). Поряд із згаданими компонентами реєструвались також негативні компоненти з більшими латентними періодами (N_2 , N_3), за якими настає тривала позитивність P (рис. 2, А).

А. Вплив фронтальних перерізів на ПДП. На рис. 2 показаний вплив на ПДП фронтального перерізання на рівні центрального каналу. Потенціал А відведено від дорсальної поверхні спинного мозку до перерізання, потенціал В відведено від того ж місця

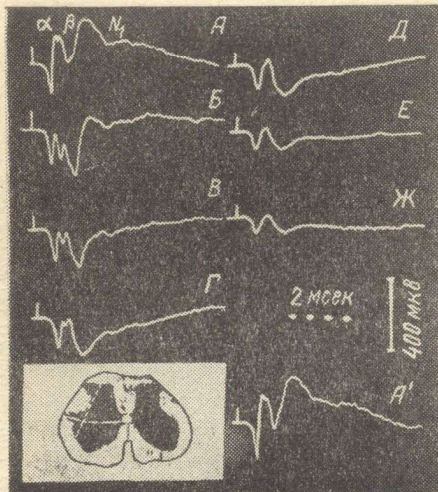


Рис. 4. Те саме, що й на рис. 3, але після перерізання. Розташування розрізу показано безперервною лінією. А' — з поверхні, через 1 год після реєстрації А.

що при цьому деякі компоненти фокального потенціалу змінюють знак на протилежний, перетворюючись нібито на дзеркальне відображення компонентів ПДП [1, 2, 10]. Ці зміни пов'язуються з особливостями відведення в об'ємному провіднику, яким є спинний мозок.

Осцилограми на рис. 3 ілюструють зміни фокального потенціалу, які спостерігаються під час переміщення електрода у дорсо-вентральному напрямку. На глибині близько 1 мм (рис. 3, Б) реєструється аферентний піковий потенціал α , пресинаптичний компонент β і різко зменшений негативний постсинаптичний компонент N_1 . При дальшому заглибленні електрода (рис. 3, В) на місце негативного компонента N_1 виникає позитивне відхилення фокального потенціалу, амплітуда якого підвищується із заглибленням і досягає значно більшої величини в порівнянні з відповідним за часом негативним компонентом ПДП. Цей компонент фокального потенціалу досягає максимуму на глибині 3,5—4 мм (рис. 3, Е), тобто у вентральній половині мозку.

Водночас, у фокальному потенціалі на глибині близько 1,2—1,5 мм (рис. 3, В) з'являється повільний негативний компонент, який за часом відповідає позитивній фазі ПДП. Амплітуда цього компонента збільшується із заглибленням електрода і досягає максимуму також на глибині 3,5—4 мм (рис. 3, Е).

Спостерігаються деякі відмінності у швидкості зростання цих двох компонентів: постійна часу зростання позитивної фази ПДП 7 мсек і негативного компонента фокального потенціалу — 5 мсек.

Після перерізання фокального потенціалу який відповідає за час швидкості зростання позитивній фазі ПДП, при зближенні до розрізу фокальні потенціали мозку у тому ж сегменті

Обго

Розглянуті дослідження мозку на рівні центрального каналу вентрального рогу показують зменшення амплітуди аферентного піку та зменшення амплітуди фази ПДП.

Відносна незмінність та після перерізання компонентів, розташованих про те, що обидва ці кінця волокон, які належать до проведення збудження

Помітні й постійні зміни позитивності лобовини мозку від дорсо-вентральних утворень сірої речовини виникли на підставі невідповідності мотонейронів та дразнення.

Проте такого збігів відносності ролі мотонейронів компонента. Крім того, характерного походження, безумовно у кривих зростання

Заперечення участі в збудженні також не привело до змін потенціалу на дорсальній половині спостерігали.

Невелику амплітуду віддаленням його джерела збудження мотонейронів закінчень аферентних рації ПДП.

Зникнення після перерізання фокального потенціалу синаптичного йому за часом виникнення пов'язано з мозку.

Це ж стосується й фокального потенціалу зростання його та відношення його після

Після перерізання мозку спостерігаються різкі зміни компонентів фокального потенціалу. Позитивний компонент фокального потенціалу, який відповідає за часом негативному компоненту N_1 ПДП, зникає, а швидкість зростання й амплітуда негативної фази, яка відповідає позитивній фазі ПДП, різко зменшується, хоч тенденція до збільшення її з наближенням до розрізу зберігається. На рис. 4 наведені ПДП (А) та фокальні потенціали (Б—Ж), зареєстровані після перерізання спинного мозку у тому ж сегменті, на тій самій глибині, що і на рис. 3.

Обговорення результатів досліджень

Розглянуті досліди показують, що фронтальне перерізання спинного мозку на рівні центрального каналу ($L7$), яке повністю відділяє ядра вентрального рогу від вищерозташованих утворень, незначно змінює амплітуду аферентного піка і пресинаптичного компонента та помітно зменшує амплітуду негативного (N_1) компонента та позитивної фази ПДП.

Відносна незмінність аферентного піка й пресинаптичного компонента після перерізання свідчить про те, що утворення, які породжують ці компоненти, розташовані вище розрізу. Літературні дані [7, 8] свідчать про те, що обидва ці компоненти ПДП є потенціалами дії заднекорінцевих волокон, які належать до різних груп за походженням та швидкістю проведення збудження.

Помітні й постійні зміни амплітуди N_1 компонента ПДП та менш значні зміни позитивної його фази внаслідок відділення вентральної половини мозку від дорсальної свідчать на користь участі й вентральних утворень сірої речовини в генерації цих компонентів. Участь мотонейронів у виникненні N_1 компонента ПДП заперечується Бернгардом [4] на підставі невідповідності у кривих підвищення моносинаптичної відповіді мотонейронів та N_1 компонента ПДП при збільшенні сили подразнення.

Проте такого збігу може й не бути внаслідок кількісної невідповідності ролі мотонейронів та проміжних нейронів у генерації N_1 компонента. Крім того, характер їх зв'язку з аферентними волокнами різного походження, безумовно, різний, і це не може не відбитись на різниці у кривих зростання.

Заперечення участі мотонейронів в утворенні N_1 компонента ПДП ґрунтувалось також на тому, що антидромне збудження мотонейронів само по собі не приводило до виникнення повільних коливань потенціалу на дорсальній поверхні мозку, хоч такі потенціали незначної амплітуди спостерігали.

Невелику амплітуду цього потенціалу можна пояснити значним віддаленням його джерела від місця відведення, крім того, антидромне збудження мотонейронів не супроводжується збудженням пресинаптичних закінчень аферентних волокон, які мають велике значення в генерації ПДП.

Зникнення після перерізання мозку позитивного компонента фокального потенціалу свідчить про різне походження його та відповідного йому за часом N_1 компонента ПДП, а також про те, що його виникнення пов'язано з активністю у вентральній частині спинного мозку.

Це ж стосується й наступного повільного негативного компонента фокального потенціалу, про що свідчить і різниця в постійних часу зростання його та відповідній позитивній фазі ПДП, а також значне зменшення його після фронтального перерізання спинного мозку.

Наявність рівня, при відведенні від якого постсинаптичні компоненти взагалі не реєструються, зменшення цих компонентів після фронтального перерізання мозку, характер змін компонентів фокального потенціалу після перерізання свідчать про те, що в потенціалі дорсальної поверхні спинного мозку відображаються і процеси, які відбуваються у вентральній половині мозку.

Це припущення узгоджується з уявленнями Хьюза й Гассера [9] про те, що переміщення активності у дорсо-вентральному напрямку відіграє важливу роль у створенні потенціалу дорсальної поверхні спинного мозку.

Висновки

1. Негативний (N_1) і позитивний (P) компоненти ПДП та відповідні їм за часом позитивний та негативний компоненти фокального потенціалу мають різне походження, хоч між ними є певна взаємодія.

2. Зменшення після фронтального перерізання мозку першого негативного постсинаптичного компонента (N_1) та позитивної фази (P) ПДП свідчить про те, що в ПДП до деякої міри знаходять відображення й процеси, які відбуваються у вентральному розі.

3. Зникнення після перерізання мозку позитивного компонента фокального потенціалу та різке зменшення негативного компонента свідчать про те, що перший в основному й другий значною мірою визначаються активністю утворень вентрального рогу.

Література

1. Костюк П. Г.—Двухнейронная рефлекторная дуга. М., Медгиз, 1959.
2. Моцный П. Е.—Физиол. журн. СССР, 1955, 41, 3, 346.
3. Austin G. M. and McCouch G. P.—J. Neurophysiol., 1955, 18, 5, 441.
4. Bernhard C. G.—In: In honour of S. Ramon y Cajal, Stockholm, 1953.
5. Eccles J. C., Fatt P., Koketsu K.—J. Physiol., 1954, 126, 524.
6. Fernandez de Molina A. and Gray I. A. B.—J. Physiol., 1957, 137, 1, 126.
7. Gasteiger E. L. and Florov A. K.—The Physiologist, 8 (3), 1965.
8. Gelfan S. and Tarlov I. M.—J. Neurophysiol., 1955, 18, 170.
9. Hughes J. and Gasser H. S.—Amer. J. Physiol., 1934, 108, 295.
10. Kolmodin G. M. and Skoglund C. R.—Experientia, 1954, 10, 12, 505.
11. McCouch G. P. and Austin G. M.—Проблемы современной физиологии нервной и мышечной систем. Тбилиси, 1956, 171.

Надійшла до редакції
25.XI 1965 р.

О происхождении медленных потенциалов дорсальной поверхности спинного мозга

П. Е. Моцный, А. К. Флоров

Кафедра физиологии человека и животных Днепропетровского университета

Резюме

Исследовались влияния фронтальных перерезок на медленные компоненты потенциала дорсальной поверхности (ПДП) и фокальные потенциалы, отводимые в области пояснично-крестцового утолщения при раздражении подколенного нерва прямоугольными импульсами электронного стимулятора. Использовались перерезки на уровне центрального канала спинного мозга, полностью отделяющие ядра вентрального рога от промежуточных и дорсальных ядер спинного мозга. При исследовании изменений, происходящих в компонентах ПДП и фокальных потенциалов, отводимых в сером веще-

стве спинного мозга, отмечены пресинаптическое происхождение медленных компонентов этих потенциалов.

1. Негативный N_1 и позитивный P компоненты ПДП та відповідні їм за часом позитивний та негативний компоненти фокального потенціалу мають різне походження, хоч між ними є певна взаємодія.

2. Наблюдаемое после фронтального перерезания мозку першого негативного компонента N_1 та позитивної фази P ПДП свідчить про те, що в ПДП до деякої міри знаходять відображення й процеси, які відбуваються у вентральному розі.

3. Исчезновение после перерезания мозку позитивного компонента фокального потенціалу та різке уменьшение негативного компонента свідчать про те, що перший в основном и второй значною мірою определяются активностью образований вентрального рога.

On the Origin

Department of human an

The authors studied the level of the lumbar spinal cord potentials (CDP) and focal potentials within the spinal cord gray matter and the popliteal nerve. Longitudinal sectioning of the ventral horn nuclei from the lumbar spinal cord experiments show the relative standard deviation of the potentials to this kind of section and different components to it. It is suggested that the focal potentials of a different origin in spite of the different components are related to