

Т. О. Кисільова

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4727-6288>

О. З. Фоменко

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7581-8718>

Scopus Author ID 26026855000

*Дніпровський державний медичний університет, Дніпро***ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНИХ СХЕМ
ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКЛАДАННЯ ТЕМИ «ІОНІЗУЮЧІ
ВИПРОМІНЮВАННЯ. ВИКОРИСТАННЯ В МЕДИЦИНІ»**

Т. О. Kysilova, O. Z. Fomenko

*Dnipro State Medical University, Dnipro***USE OF LOGICAL STRUCTURE DIAGRAMS FOR THE TEACHING
OPTIMIZATION OF THE TOPIC “IONIZING RADIATION.
USE IN MEDICINE”**

Анотація. Стаття присвячена проблемі підвищення ефективності викладання матеріалу за темою «Іонізуючі випромінювання. Використання в медицині» в рамках дисципліни «Медична та біологічна фізика». Невелика кількість годин, яка виділяється на опанування зазначеної теми, накладає певні обмеження щодо масиву інформації. Для оптимізації змісту навчального матеріалу пропонується використання структурно-логічних схем. Розроблені авторами структурно-логічні схеми «Ядерні перетворення» та «Використання іонізуючих випромінювань у діагностиці та терапії» дозволяють впорядкувати та систематизувати значні обсяги інформації за вказаною темою. Студентам треба чітко розрізняти можливі джерела іонізуючого випромінювання та знати основні можливості їх застосування в терапії та діагностиці. Структурно-логічна схема «Ядерні перетворення» демонструє основні види перетворень в ядрах атомів, деталізуючи трансформації нуклонів. Наведені реакції спрощують запам'ятовування видів радіоактивних розпадів та їх рівнянь. Для порівняння властивостей випромінювань при їх взаємодії з речовиною використовується графік «Розподіл поглиненої дози іонізуючих випромінювань у біологічних тканинах». Наочне представлення відстані, на якій відбувається максимум поглинання енергії певного виду випромінювання, сприяє більш повному розумінню біологічних ефектів, що виникають у тканинах, та вибору способу опромінення відповідно до наявної патології. Структурно-логічна схема «Використання іонізуючих випромінювань у діагностиці та терапії» презентує найбільш вживані методи застосування іонізуючих випромінювань у сучасній медичній практиці. Розроблена структура дозволяє легко орієнтуватись у різноманітті діагностичних та терапевтичних методик і типах іонізуючого випромінювання, що в них використовується. Застосування структурно-логічних схем дозволяє стисло, доступно і в достатньому обсязі подати найбільш актуальні та важливі відомості, які стануть підґрунтям для подальшого вивчення студентами радіаційної медицини.

Ключові слова: структурно-логічні схеми; іонізуючі випромінювання; радіонукліди; методи радіотерапії; радіодіагностика; опромінення біологічних тканин.

Abstract. This article addresses the challenge of effectively teaching the topic of “Ionizing Radiation: Use in Medicine” within the Medical and Biological Physics discipline, given the limited time allocated for mastering this subject. To optimize the content of the educational material, we propose the use of logical structure diagrams. The developed logical structure diagrams “Nuclear Transformations” and “Use of Ionizing Radiation in Diagnostics and Therapy” help organize and systematize a large amount of information on this topic. Students should be able to clearly distinguish between possible sources of ionizing radiation and understand their main applications in therapy and diagnostics. The logical structure diagram “Nuclear Transformations” illustrates the primary types of transformations in atomic nuclei, detailing the conversion of nucleons. These reactions simplify the memorization of radioactive decay types and their equations. The graph “Distribution of the Absorbed Dose of Ionizing Radiation in Biological Tissues” is used to compare the radiation properties when interacting with matter. A visual representation of the distance at which maximum energy absorption of a specific radiation type occurs contributes to a more comprehensive understanding of the biological effects taking place in tissues and the selection of the irradiation method based on the existing pathology. The logical structure diagram “Use of Ionizing Radiation in Diagnostics and Therapy” presents the most commonly used methods of applying ionizing radiation in modern medical practice. The developed structure allows for easy navigation through the variety of diagnostic and therapeutic methods and types of ionizing radiation used in them. Utilizing logical structure diagrams enables concise, accessible, and sufficient presentation of the most relevant and essential information, which will serve as the foundation for further study of radiation medicine.

Key words: logical structure diagrams; ionizing radiation; radionuclides; radiotherapy methods; radiodiagnosis; irradiation of biological tissues.

Вступ. Навчальний матеріал «Іонізуючі випромінювання. Використання в медицині» є однією з обов'язкових складових предмета «Медична та біологічна фізика». Вивчається на першому курсі студентами всіх медичних спеціальностей та становить основу для подальшого вивчення ними радіаційної медицини, яка являє собою самостійну, комплексну науку, що має розгалужену мережу міждисциплінарних та міжпредметних зв'язків.

Використання іонізуючих випромінювань у медичній практиці тепер набуло значного поширення. Розроблено потужні і широко застосовані методи діагностики та терапії з використанням радіофармацевтичних препаратів, а також рентгенівського і гамма-випромінювань. Різноманіття методів та великий масив інформації, що підлягає вивченню при знайомстві з дією іонізуючих випромінювань на біологічні системи різних рівнів організації, в тому числі на живі організми, потребує структурування та впорядкування їх змісту й оптимізації засобів викладання. Складання ряду структурно-логічних схем за певними підрозділами теми дозволить більш компактно і наочно подати найбільш важливі та актуальні відомості.

Проведений нами пошук літератури за вищезазначеною темою виявив лише наявність структурно-логічних схем, які рекомендовані як опорні для викладання теми «Радіоактивність» учням середньої школи [2, 5]. Відомості, представлені в таких схемах, не відповідають змісту, рівню та обсягу інформації, що мають опанувати студенти медичних закладів вищої освіти в рамках теми «Іонізуючі випромінювання. Використання в медицині». Дані схеми можуть бути використані тільки для повторення базових понять, що надавалися в середній школі (рис. 1).



Рис. 1. Схема електронного β-розпаду.

Більш придатними можуть бути схеми, що містяться в спеціальній літературі з радіобіології, однак це поодинокі випадки. Враховуючи, що дисципліна «Медична та біологічна фізика» викладається на першому курсі, вміст таких схем часто не відповідає змісту дисципліни та рівню підготовки студентів.

Корисним прикладом демонстрації міждисциплінарних та міжпредметних зв'язків при вивченні ланцюжка реакцій у процесі біологічної дії іонізуючих випромінювань є схема, представлена в [3] (рис. 2).

Практично відсутні розробки структурно-логічних схем, що демонструють методи променевої терапії та використані джерела випромінювання, види обладнання для променевої терапії, основні закономірності впливу іонізуючої радіації на клітини та інші складові питання теми.

На підставі проведеного огляду вважаємо, що тема «Іонізуючі випромінювання. Використання в медицині» недостатньо представлена методичними матеріалами, які студенти можуть використовувати як опорні та узагальнюючі при підготовці до занять. Розробки з вищезазначених питань вважаємо перспективними, як такі, що збільшують ефективність викладання матеріалу теми.

Мета статті – систематизація досвіду викладання теми «Іонізуючі випромінювання. Використання в медицині» в межах дисципліни «Медична та біологічна фізика» і впорядкування навчального матеріалу шляхом складання структурно-логічних схем.

Теоретична частина. Викладання матеріалу за вищезазначеною темою пропонуємо починати з впорядкування знань, які були отримані студентами ще в школі. Слід нагадати, що ядерні перетворення можуть відбуватися двома шляхами, а саме внаслідок ядерних реакцій та явища радіоактивності. В умовах обмеженості часу основну увагу слід приділити детальному розгляду явища радіоактивності, тому що в медичній практиці саме результати довільного розпаду радіофармпрепаратів мають вирішальну роль при визначенні методу впливу на біологічну тканину.

Ядерні перетворення. Зазвичай при обговоренні можливих видів радіоактивних перетворень використовуються схематичні зображення ядерних перетворень, на кшталт рисунка 1 [1, 5]. Такі зображення корисні, але не подають інформацію комплексно.

Розроблена нами структурно-логічна схема ядерних перетворень дозволяє швидко пригадати (опа-

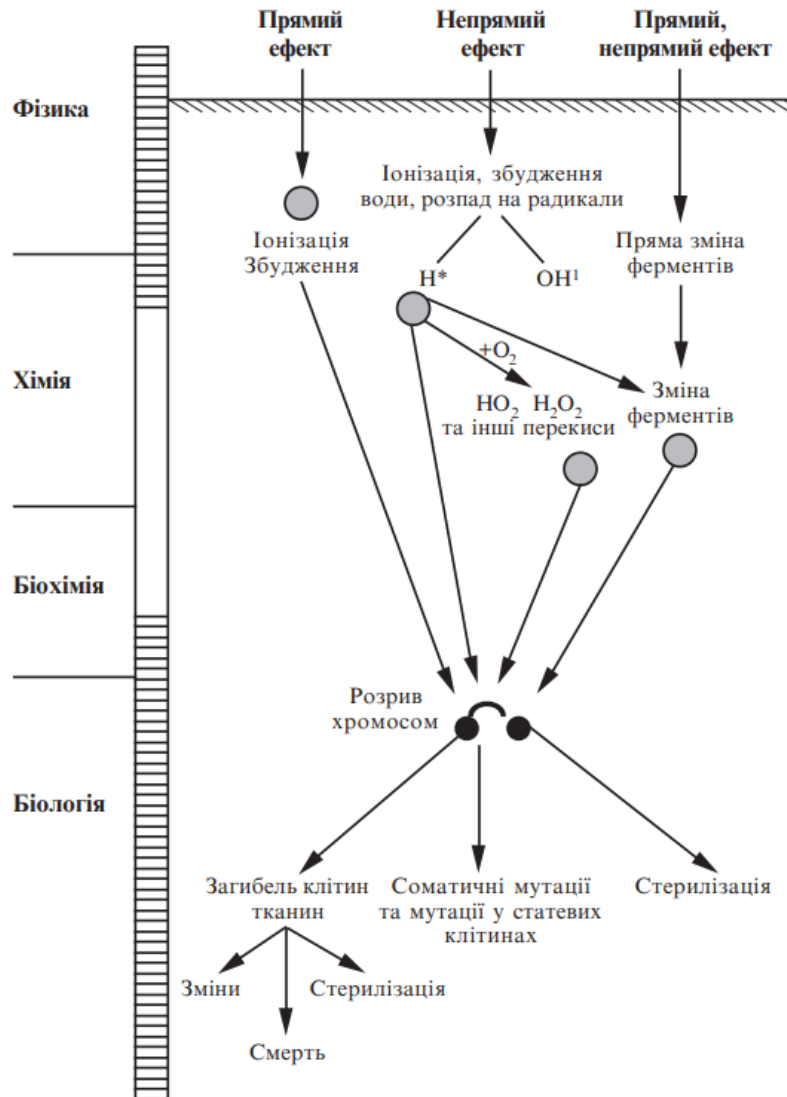


Рис. 2. Ланцюжок реакцій у процесі біологічної дії випромінювань.

нувати) основні різновиди радіоактивних розпадів (рис. 3). Зазначимо, що в шкільному курсі зазвичай розглядаються тільки α -, електронний β -розпади та γ -випромінювання. При цьому часто студенти не розуміють, звідки в ядрі атома з'являється електрон, адже пам'ятають, що ядро складається з протонів та нейтронів.

Запропонована схема не тільки розширює відомості щодо видів радіоактивних перетворень ядер, а й деталізує цей процес. Вважаємо за необхідне обов'язково демонструвати шляхи виникнення електронів чи позитронів в ядрах атомів.

Розподіл у біологічних тканинах поглиненої дози опромінення. Після обговорення видів іонізуючого випромінювання (ІВ) та їх джерел (ДІВ) слід розглянути властивості кожного виду випромінювання та їх вплив на біологічні тканини.

Особливої уваги, на наш погляд, заслуговує розподіл у тканинах поглиненої дози різних видів випромінювання, що впливає на вибір методу опромінення. Найбільш наочним може бути використання даного графіка (рис. 4).

Величина поглиненої дози пропорційна кількості іонів, що утворюються внаслідок опромінення. Відповідним до рівня іонізації тканини буде й біологічний ефект, а саме пошкодження клітин.

Як свідчать експериментальні дані, інтенсивність рентгенівського випромінювання досить різко зменшується при проходженні шару біологічної тканини. Навіть при великих напругах на рентгенівській трубці інтенсивність пучка на глибині 10 см від поверхні шкіри зазвичай не перевищує 20 % початкової. Саме тому рентгенівське випромінювання низьких та середніх

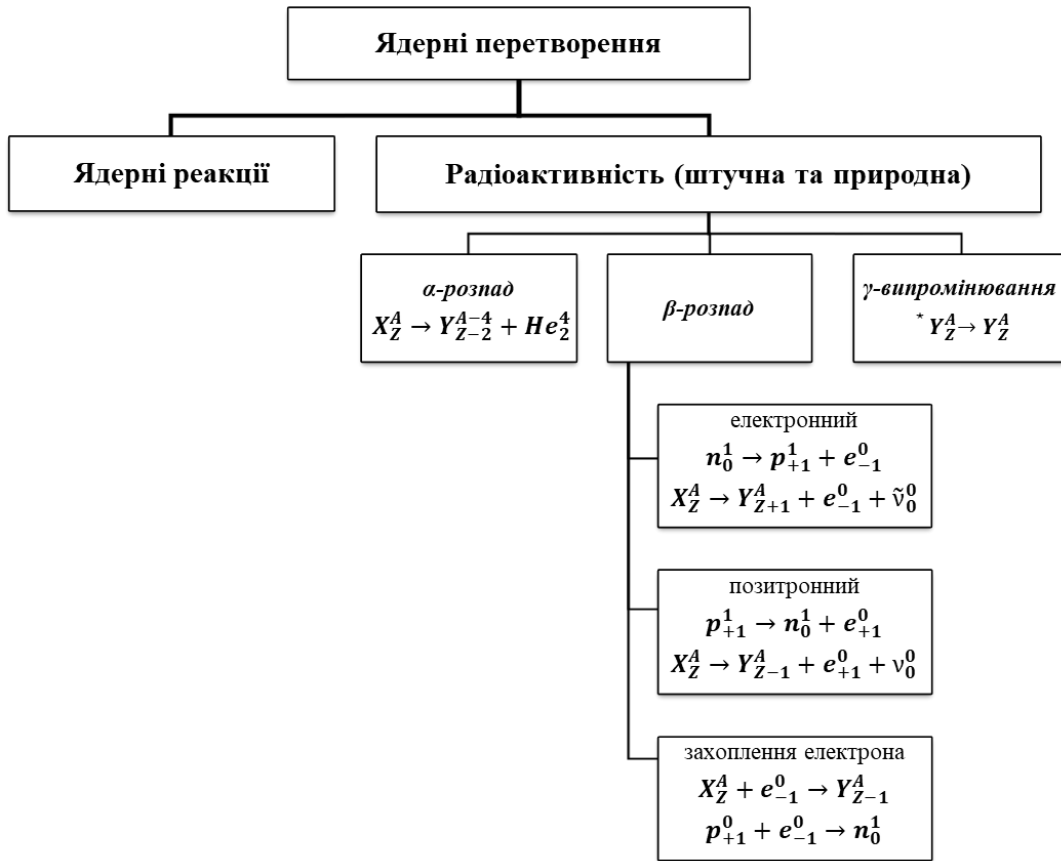


Рис. 3. Структурно-логічна схема «Ядерні перетворення».

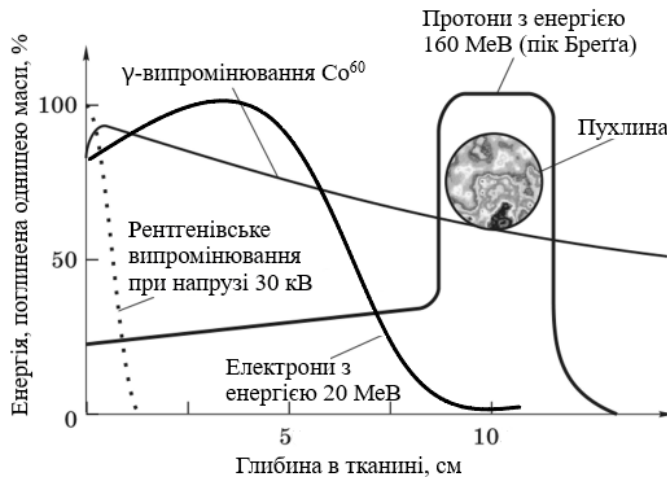


Рис. 4. Розподіл поглиненої дози іонізуючих випромінювань у біологічних тканинах.

енергій застосовують для впливу на поверхнево розташовані новоутворення або при лікуванні захворювань, що не потребують високоінтенсивного опромінення.

Опромінення тканин гамма-фотонами дає більш рівномірний розподіл поглиненої дози, що спричиняє іонізацію молекул біотканини на будь-якій відстані від поверхні тіла та надає можливість руйнувати глибоко розташовані пухлини.

Протони, як і α-частинки, віддають максимум енергії наприкінці свого пробігу в речовині. Це дозволяє при протонному опроміненні підвести високу енергію до новоутворень без істотного опромінення навколишніх здорових тканин. Для протонів глибина максимальної іонізації залежить від їх енергії. Так, для забезпечення глибини проникнення в тканину на 11–14 см протонні пучки повинні мати енергію 120–160 МеВ.

Альфа-частинки за розмірами значно більші, ніж протони, мають малий пробіг у речовині і тому можуть використовуватися в променевої терапії або для поверхневого контакту зі шкірою, або для впливу на пухлини при введенні ДІВ всередину тканин чи порожнин.

Нейтрони з енергією 10–15 МеВ дають розподіл іонізації, схожий із розподілом при рентгенівському опроміненні. Максимум іонізуючого ефекту відбувається на поверхні ділянки тіла, що опромінюється.

Використання ІВ у діагностиці та терапевтичних цілях. Питання щодо використання іонізуючих випромінювань у медичній практиці є доволі об’ємним і тому студентами першого курсу сприймається достатньо важко. Скласти єдину картину допоможе розроблена нами схема «Використання ІВ у діагностиці та терапії» (рис. 5).

Діагностичне використання радіонуклідів можна розділити на методи **IN VITRO** (без введення пацієнту радіонуклідів) та **IN VIVO**.

Методом **IN VITRO** діагностики є радіоімунологічний аналіз (РІА), що базується на конкурентній реакції між міченою та неміченою речовинами за зв’язок зі специфічною сприймаючою системою (антиген – антитіло). Для мітки антитіл і антигенів застосовують в основному радіоактивні сполуки з ізотопом йоду-125, який має значну питому радіоактивність і період напіврозпаду 60 діб. У подальшому мітку використовують для виявлення наявності зв’язаного комплексу.

Метод РІА дозволяє швидко і надійно визначати кількісний вміст лікарських препаратів, різних органічних сполук, а також гормонів, ферментів, імуноглобулінів, рецепторних білків у біологічних рідинах і тканинних екстрактах. Отже, РІА не обмежується тільки імунними системами, а може бути застосований і для інших систем, в яких замість специфічного антитіла буде діяти специфічний реагент або зв’язуюча речовина. Особлива перевага РІА – висока чутливість. З його допомогою вдається виявити нанограмові (10^{-9}), а іноді і пікограмові (10^{-10}) рівні антитіл та вірусів. У ряді випадків дослідження виконують на тлі навантажувальних функціональних проб або в динаміці.

Методом **IN VIVO** аналізують розподіл радіофармацевтичного препарату, введеного в організм людини (зазвичай внутрішньовенно). Локалізація в організмі радіоактивної речовини здійснюється за допомогою специфічного детектора (гамма-камери) та серії знімків.

Отримані зображення дозволяють проаналізувати швидкість накопичення ізотопів у тканинах (динамічна радіографія) та їх розподіл (статична радіографія), що надає важливу інформацію про нормальне або патологічне функціонування тканини чи органа.

Вибір радіофармпрепарату залежить від досліджуваного органа: технецій-99, йод-131/129 – щитоподібна залоза; калій-40/42 – м’язи та яєчники; цезій-137 – печінка, нирки; фосфор-32 – кісткова тканина.

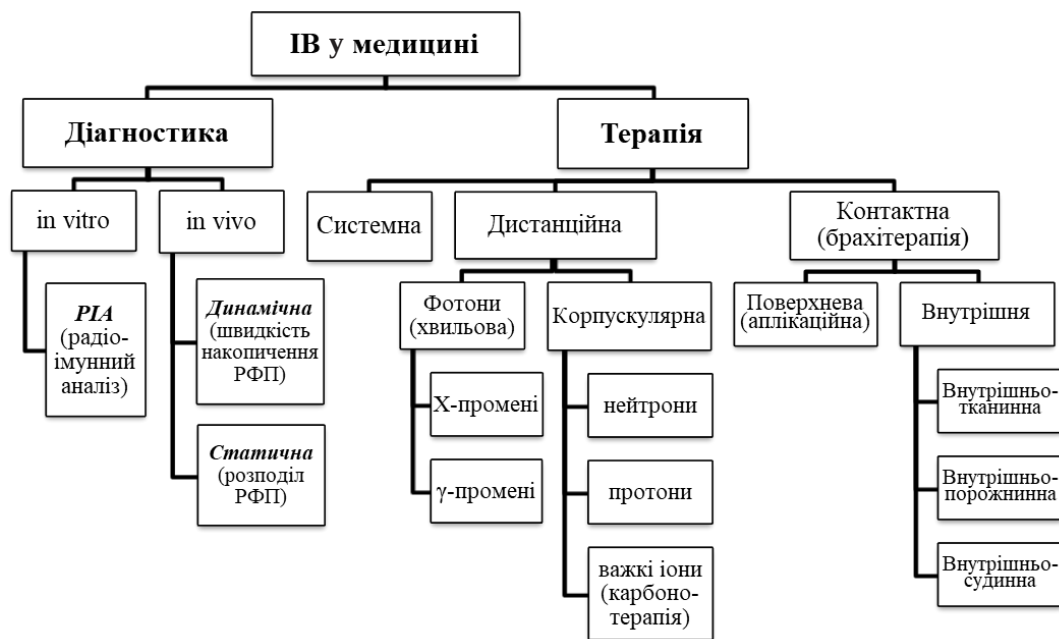


Рис. 5. Використання іонізуючих випромінювань у діагностиці та терапії.

Променева терапія (ПТ) входить у більшість сучасних протоколів лікування та вважається безпечним методом, який застосовується для лікування онкологічних захворювань майже на всіх стадіях або самостійно, або в поєднанні з іншими методами [2]. Суть лікування полягає у впливі контрольованої дози іонізуючого випромінювання цілеспрямовано на ракові клітини з метою руйнування ядерної ДНК, що позбавляє їх здатності до поділу. Однак, якщо пошкоджено лише одну зі спіралей ДНК, молекула може бути відновлена. Якщо стався розрив обох її спіралей, то клітина неспроможна відновити ДНК і відбувається запуск механізму самознищення (апоптозу). Найголовніше завдання ПТ полягає в тому, щоб точно визначена доза випромінювання подіяла саме на уражену раком тканину протягом точно відміряного часу і якомога менше пошкодила навколишні здорові тканини.

У сучасній променевої терапії застосовують різноманітні види іонізуючих випромінювань, які різняться за біологічним впливом, проникаючою здатністю, розподілом енергії в пучку випромінювання. Терапевтичне застосування ІВ може здійснюватися дистанційно або контактено за допомогою електромагнітних хвиль або частинок.

Для опромінення використовують: рентгенівські промені низьких та середніх енергій (генеруються спеціальними рентгенотерапевтичними установками); гальмівні Х-промені високих енергій (одержують за допомогою прискорювачів електронів); гамма-випромінювання природних або штучно одержуваних радіоактивних елементів; сфокусовані пучки заряджених частинок (електрони, протони, негативні важкі іони, альфа- та бета-випромінювання радіоактивних ізотопів), а також нейтронів.

Джерела іонізуючих випромінювань можуть бути відкритими (розчини, суспензії, емульсії) або закритими у формі капсул, голок, збірок із кульок, дротів, гнучких катетерів. Закритими ДІВ для дистанційної і контактної терапії є кобальт-60, цезій-137, каліфорній-252, іридій-192, йод-125 тощо [2].

Системна терапія ґрунтується на здатності певних радіонуклідів накопичуватися лише в тканинах, які вражені раковими клітинами. Для цього створюються специфічні радіофармпрепарати, що мають афінність до антигенів чи рецепторів певного виду пухлин. Найбільше поширення ця терапія здобула при лікуванні нейроендокринних пухлин та метастазів у кістках.

При дистанційному опроміненні ДІВ знаходиться на певній відстані від поверхні тіла пацієнта і

вплив на уражені тканини відбувається через шкіру.

Контактна променева терапія (брахітерапія) здійснюється шляхом імплантації ДІВ безпосередньо в ділянку пухлини так, що випромінювання діє на обмежену ділянку тканин.

Аплікаційна брахітерапія застосовується у випадку поверхнево розташованих злоякісних пухлин на ранніх стадіях їх розвитку (рак шкіри, слизової оболонки рота, нижньої губи). ДІВ розміщується на поверхні мішені у вигляді попередньо виготовленого пластмасового аплікатора відповідно до форми ділянки опромінення, в середині якого знаходяться радіоактивні бета- або гамма-випромінюючі препарати.

Залежно від місця введення ДІВ, розрізняють такі види внутрішньої брахітерапії:

– **внутрішньотканинна** – ДІВ вводять безпосередньо в тканину пухлини. Застосовують гамма- та бета-терапію. При гамма-терапії використовуються закриті або відкриті радіоактивні гамма-препарати (кобальт-60 та ін.). Бета-терапію проводять із використанням відкритих радіофармпрепаратів (колоїдних розчинів і суспензій радіонуклідів золота-198, силікату ітрію-90, фосфату цирконію або фосфату хрому з фосфором-32). Внутрішньотканинний метод показаний і як самостійний, і в комбінації з радикальним або паліативним хірургічним втручанням при раку грудної залози, легенів, злоякісних пухлинах м'яких тканин та ін.;

– **внутрішньопорожнинна** – ДІВ вводиться в природну порожнину тіла та розміщується близько до пухлини. Безпосередній контакт джерела випромінювання з пухлиною дозволяє отримати високу поглинуту дозу в патологічному осередку. Використовується при злоякісних пухлинах рота (альвеолярний рак, рак язика, піднебіння, рак губи, слизової оболонки тощо), стравоходу, прямої кишки, піхви, шийки матки, тіла матки та ін.;

– **внутрішньосудинна** – ДІВ інтегрується в просвіт судин, наприклад коронарних. Використовуються бета- та гамма-випромінюючі джерела. Метод застосовується в усьому світі, ефективний, проте складний у практичній реалізації.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Широке застосування різноманітних методів діагностики та терапії з використанням радіофармацевтичних препаратів, а також рентгенівського і гамма-випромінювань задає необхідність якісного та повного подання навчального матеріалу за темою «Іонізуючі випромінювання. Використання в медицині».

Структурування та впорядкування змісту, поділ на логічні складові та розділи допомагають студентам опанувати нову інформацію. Створенні нами структурно-логічні схеми за певними підрозділами теми дозволяють наочно і стисло подати найбільш акту-

альні та важливі відомості. За умови дистанційного викладання це стає ще більш важливим. Вважаємо за доцільне продовження роботи над створенням схем для інших тем із курсу «Медична та біологічна фізика» для різних медичних спеціальностей.

Список літератури

1. Вибрані лекції з курсу «Радіаційна біофізика» для магістрів кафедри біофізики Навчально-наукового центру «Інститут біології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка : навч.-метод. розроб. / [упоряд. К. І. Богуцька, Ю. І. Прилуцький, Ю. П. Склярів]. – К. : Поліграфічна дільниця Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, 2012. – 88 с.

2. Методика вивчення основних положень ядерної фізики // Методика навчання фізики в середній школі. – Режим доступу : <https://fizmet.org/mnf/L17-1-3.htm>.

3. Овчаренко О. П. Основи радіаційної медицини : навч. посіб. / О. П. Овчаренко, А. П. Лазар, Р. П. Матиюшко. – Одеса : Одес. держ. мед. ун-т, 2002. – 208 с.

4. Променева терапія // Сайт з питань ядерної безпеки, радіаційного захисту та нерозповсюдження ядерної зброї. – Режим доступу : <https://www.ATOM.org/yaderna-ta-radiatsijna-bezpeka/promeneva-terapiya>.

5. Фізика : підруч. для 9 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна]; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. – Х. : Вид-во «Ранок», 2017. – С. 151–156.

6. Towards Laser Driven Hadron Cancer Radiotherapy: A Review of Progress / Ken W. D. Ledingham, Paul R. Bolton, Naoya Shikazono, C.-M. Charlie Ma // *Applied Sciences*. – 2014. – Vol. 4 (3). – P. 402–443. DOI 10.3390/app4030402.

References

1. Bohutska, K.I., Prylutskyi, Yu.I., & Skliarov, Yu.P. (2012). *Vybrani leksii z kursu «Radiatsiina biofizyka» dlia mahistriv kafedry biofizyky Navchalno-naukovoho tsentru «Instytut biolohii» Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka [Selected lectures from the course “Radiation biophysics” for masters of the Department of Biophysics of the Educational and Scientific Center “Institute of Biology” of Taras Shevchenko Kyiv National University]*. Kyiv [in Ukrainian].

2. *Metodyka vyvchennia osnovnykh polozhen yadernoi fizyky [Methodology for studying the basic principles of nuclear physics]. Metodyka navchannia fizyky v serednii shkoli – Methodology for teaching physics in secondary school*. Retrieved from: <https://fizmet.org/mnf/L17-1-3.htm> [in Ukrainian].

3. Ovcharenko, O.P., Lazar, A.P., & Matiushko, R.P. (2002). *Osnovy radiatsiinoi medytsyny [Basics of radiation medicine]*. Odesa [in Ukrainian].

4. *Promeneva terapiia [Radiation therapy]. Sait z pytan yadernoi bezpeky, radiatsiinoho zakhystu ta nerozpovsiudzhennia yadernoi zbroi – Site on nuclear safety, radiation protection and non-proliferation of nuclear weapons*. Retrieved from: <https://www.ATOM.org/yaderna-ta-radiatsijna-bezpeka/promeneva-terapiya> [in Ukrainian].

5. Bariakhtar, V.H., Dovhyi, S.O., Bozhynova, F.Ya., & Kiriukhina, O.O. (2017). *Fizyka [Physics]*. Kharkiv [in Ukrainian].

6. Ledingham, Ken W.D., Bolton, Paul R., Shikazono, Naoya, & Ma, C.-M. Charlie. (2014). *Towards Laser Driven Hadron Cancer Radiotherapy: A Review of Progress. Applied Sciences*, 4(3), 402-443. DOI 10.3390/app4030402.

Отримано 17.07.2023.
Рекомендовано 14.09.2023.

Електронна адреса для листування: t.probotuk@gmail.com