

## КЛІНІЧНА ЛЕКЦІЯ

М.І. Пилипенко

ДУ Інститут медичної  
радіології ім. С.П. Григор'єва  
АМНУ, Харків

## Ікс-терапія в радіаційній онкології

### X-ray therapy in radiation oncology

Як відомо, променева терапія злоякісних новоутворів базується, головним чином, на наявності різниці радіочутливостей клітин новоутвору і навколишніх нормальних тканин (радіотерапевтичний інтервал). Додатковим чинником реалізації терапевтичної цитотоксичної дії радіації є різна швидкість проліферації вказаних двох типів клітин, що покладено в основу плідної ідеї фракціонованого проведення радіотерапевтичного курсу.

Останні 3–4 десятиліття в радіаційній онкології поступовий прогрес ефективності лікування злоякісних пухлин забезпечувався чисто фізичними і технічними чинниками, а саме пошуком і розробкою способів і засобів оптимізації розподілу доз у поздовжніх і поперечних перетинах пухлини-мішені при максимальному захисті оточуючих пухлину нормальних тканин, особливо таких, що належать до радіочутливих. Це такі фактори, як удосконалення способу наведення струменя випромінювання на мішень та конфігурування його відповідно до форми останньої (гамма-знімки на процедурному столі, впровадження симулятора опромінення, багатостулкові діафрагми з автоматичним управлінням ЕОМ, блискуча ідея опромінювання під супроводом зображальних технологій безпосередньо на процедурному столі лінійного прискорювача, пріоритет реалізації якої належить Electa Synergy), удосконалення дозиметричного забезпечення радіотерапії, зокрема використання автоматизованих планувальних систем дво- і тривимірним відображенням опромінюваної мішені і об'ємів ризику, системи і пристрої забезпечення пацієнту комфортності та його іммобілізації під час сеансу радіотерапії.

Найбільш «давнім» способом оптимізації розподілу доз у поздовжніх перетинах є варіювання енергії випромінювання і використання різних її видів (фотони, електрони, протони). Найширше в радіаційній онкології для радіотерапії зовнішнім опромінюванням використовують фотони з енергією в діапазоні 15 KeV — 23 MeV. Фотонне випромінювання, що генерується шляхом гальмування високоенергійних електронів у металевій мішені називається ікс-випромінюванням, або гальмівним. Фотонне випромінювання радіоактивних нуклідів (при розпаді їх ядер), як відомо, називається гамма-випромінюванням.

Увесь вказаний енергетичний діапазон фотонного терапевтичного випромінювання забезпечується різними джерелами (генераторами): променевими трубками (назва останніх «рентгенівська трубка» не тільки невірна, але й несправедлива по відношенню до істинних фізиків-конструкторів цих пристроїв) — в діапазоні 30–250 keV, радіоізотопами  $^{133}\text{Cs}$  і  $^{60}\text{Co}$  — 660 keV і 1,25 MeV, відповідно, і лінійними прискорювачами — 6 MeV, 18–23 MeV.

У радіотерапії для зовнішнього опромінювання використовують також струмені електронів, які генеруються лінійними прискорювачами у відповідному режимі їх роботи. Енергія струменя таких електронів та ж сама, як і у фотонного випромінювання.

Лікування пухлин струменями протонів циклічних прискорювачів, незважаючи на високу терапевтичну ефективність і слабкі небажані ефекти, все ще залишається екскурсивним способом, що зумовлене його надто високою вартістю.

На рис. 1 наведені діаграми поглинання енергії (розподіл доз) за глибиною у воді, як м'якотканинноеквівалентному середовищі, для фотонів різних енергій, електронів і протонів.

Діаграми дають наочне уявлення про переваги застосування кожного з розглянутих випромінень при опромінюванні пухлин різної локалізації за глибиною від поверхні шкіри або слизової оболонки. Низькоенергетичні фотони ікс-випромінювання інтенсивно поглинаються в поверхневих шарах тканин, а з глибиною доза опромінення від них швидко знижується (рис. 1а). Вже на глибині 5 мм доза становить 50 % від поверхневої. При збільшенні енергії фотонів характер розподілу дози опромінення тканин вздовж струменя змінюється. При напрузі генерування ікс-променів 250 кВ (рис. 1б, крива 1) доза з глибиною зменшується повільніше, ніж для випадку 1а, і тільки на глибині

приблизно 50 мм стає вдвічі меншою від поверхневої. Для гамма-фотонів радіоактивного  $^{60}\text{Co}$ , середня енергія яких становить 1,25 МеВ, максимальна доза припадає не на поверхневі шари тканини, а зміщена на глибину 8–10 мм (пік дози), тобто найбільш чутливий шар дерми отримує дозу меншу, ніж підшкірна сполучна тканина, а 50 %-кова доза зміщується на глибину до 100 мм. При енергії фотонів 10 і 20 МеВ пік дози зміщується в глибину приблизно на 25 і 40 мм відповідно, а 50 %-кові дози реєструються на глибинах, що перевищують 200 мм.

Зрозуміло, що ікс-випромінювання, яке генерується при напрузі на аноді променевої трубки до 70–100 кВ, найліпше застосовувати при опромінюванні пухлин (а також і непухлинних уражень) шкіри і слизових оболонок порожнин рота, піхви, шийки матки. При цьому можна

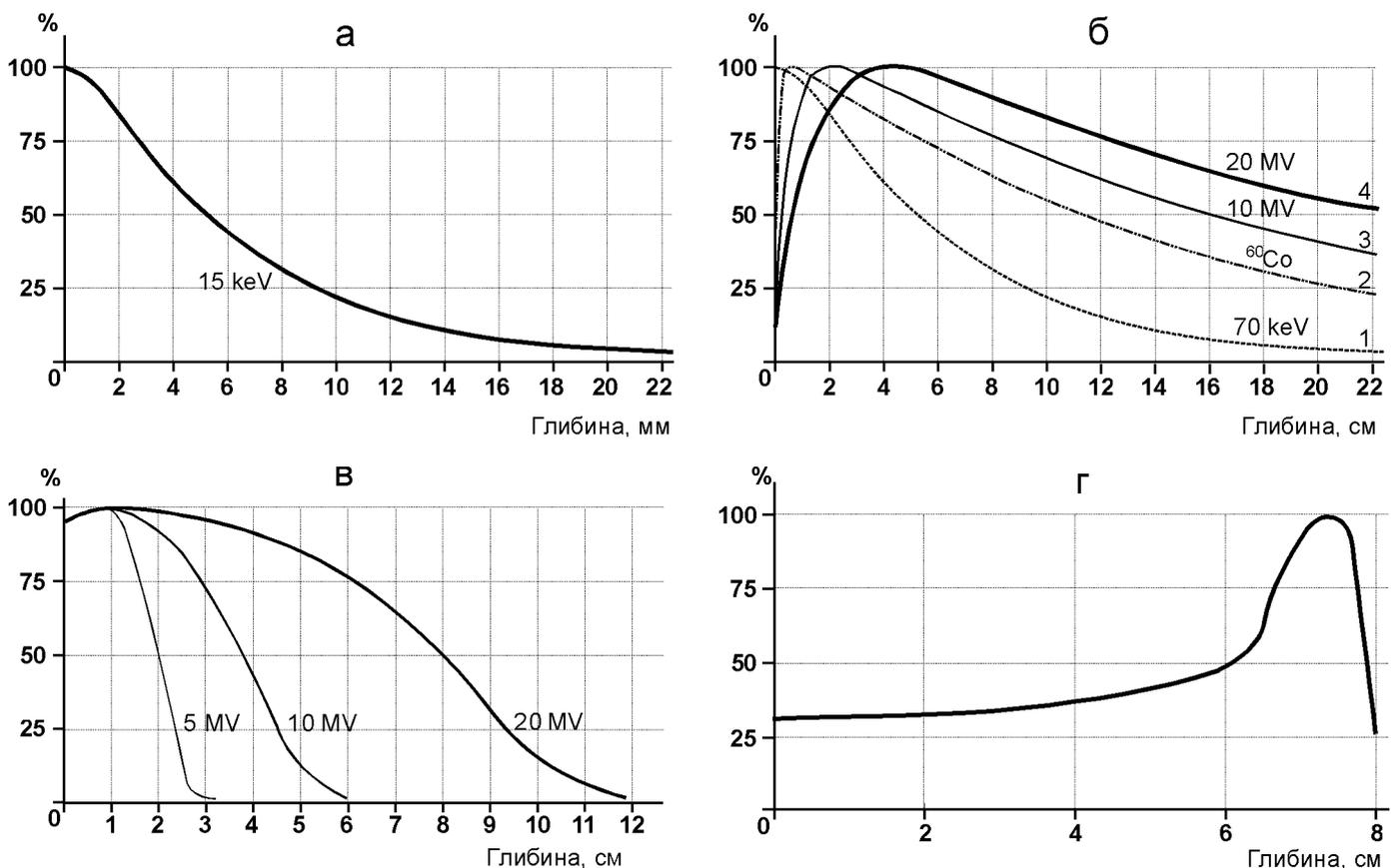


Рис. 1. Діаграми поглинання енергії випромінювання в середовищі залежно від його виду та енергії: а — ікс-промені в середньої енергії фотонів 15 кеВ; б — ікс-промені з енергією 70 кеВ (1); гамма-промені  $^{60}\text{Co}$  (2); гальмівні фотони лінійного прискорювача з енергією 10 і 20 МеВ (3, 4); в — електрони різної енергії; г — протони з енергією 100 МеВ

Fig. 1. Diagram of radiation energy absorption in the medium depending on its type and energy: а — x-rays with mean photon energy of 15 keV; б — x-rays with energy of 70 keV (1); gamma-rays  $^{60}\text{Co}$  (2); braking photons of linear accelerator with energy 10 and 20 MeV (3, 4); в — electrons with different energy; г — protons with energy 100 MeV

отримати потрібну терапевтичну дозу опромінення в уражених тканинах з одночасним мінімальним опроміненням тканин, розташованих за патологічним процесом. Саме тому такий режим опромінювання має назву **поверхневої ікс-терапії**. Додатково за такого режиму використовують відстань від фокусу променевої трубки до шкіри чи слизової оболонки (відстань фокус—поверхня, ВФП) величиною 5–7 см і менше, що додатково забезпечує швидкий спад дози з глибиною в тканині. Ця друга обставина фізико-технічної характеристики такого режиму опромінювання дала йому назву **близькофокусної ікс-терапії**.

Режим опромінювання з використанням анодної напруги на аноді трубки від 120 до 250 кВ зазвичай називають **ортовольтною ікс-терапією**. Застосовується він за умови залягання патологічно змінених тканин (чи пухлини) на глибині до 50 мм, до того ж, можливо, прикритих незміненою шкірою. При цьому режимові одночасно збільшуються також і ВФП до 25–30 см (іноді і більше), чому іноді застосовується й інша назва режиму ікс-терапії — **дальнодистанційна**. Застаріла назва — «глибока ікс-терапія» не повинна вживатися наразі, оскільки вона виникла за часів, коли інших видів дистанційної радіотерапії (телегамма-терапії, терапії фотонами мегавольтної енергії лінійних прискорювачів) не існувало, і радіологи вимушені були застосовувати ікс-терапію для лікування пухлин дійсно глибокої локалізації — 15–20 см, чи навіть більше.

Більш «привабливим» методом радіотерапії поверхневих пухлин та інших процесів є опромінювання їх електронами високих енергій (6–20 МеВ), які генеруються лінійними прискорювачами (див. рис. 1в). Зрозуміло, що такий вид радіотерапії технічно складніший від ікс-терапії і значно дорожчий, і відтак — менш доступний. Зважити необхідно й на більші витрати часу для проведення опромінювання електронами. Тому його використовують виключно для лікування пухлин з поверхневою локалізацією, розташованих над радіочутливими анатомічними структурами (зокрема, поверхня грудної клітки після мастектомії з приводу раку груді) або кістками.

Характерний швидкий (крутий) спад дози від електронів у глибині тканин і забезпечує захист підлеглих тканин до опромінюваного об'єму за рахунок чисто фізичного ефекту.

При глибокій локалізації пухлин нині застосовуються виключно фотони високих енергій (див. рис. 1б, криві 2–4). У 60–75 % випадків буває достатнім опромінювання гамма-фотонами Co-60 (телегамма-терапія). Але все ж для ефективного (радикального) лікування пухлин у 20–25 % хворих (огрядної конституції), особливо пухлин таза, необхідні фотони з енергією від 6 до 20 МеВ (лінійні прискорювачі). У країнах Заходу лінійні прискорювачі практично повністю витиснули кобальтові телегамма-терапевтичні установки.

Ексклюзивним методом радіотерапії пухлин будь-якої локалізації є опромінювання протонами, прискореними в циклотронах. Особливістю передачі енергії (розподілу дози) протонами є так званий пік Брега — осередок тканин, в яких протони, частково втративши енергію на шляху до нього, швидко гальмуються, віддаючи максимальну енергію середовищу (рис. 1г). Глибину піка Брега можна регулювати, змінюючи енергію струменя протонів. Ще однією особливістю струменя протонів є високий боковий градієнт дози, тобто прецизійно чітка бокова межа між тканинами неопромінюваними і опромінюваними. За рахунок цього досягається ефект істинно прецизійної радіохірургії начебто надгострим мініатюрним скальпелем. Тому протонна радіотерапія особливо бажана для лікування пухлин гіпофіза, ока, сечового міхура тощо. Вочевидь, що вартість сеансу протонної радіотерапії надто висока, що й стає чинником відносної рідкості центрів протонної терапії.

Отже, розгляд основ фізичних процесів передавання енергії тканинам різними видами випромінень з різною енергією дає можливість вибрати найбільш ефективний, тобто адекватний, метод дистанційної радіотерапії в залежності від глибини залягання пухлини.

За даним Національного канцер-реєстру України, серед усіх злоякісних новоутворів пухлини шкіри становлять понад 10 % у чоловіків і більш 13 % у жінок, тобто кожний 9-й хворий на онкологічний процес має пухлину шкіри і їх

відносна кількість невідворотно зростає. Зважаючи на те, що кожного року в Україні реєструється понад 170 тис. нових випадків онкологічних захворювань, кількість пухлин шкіри становить близько 20 тис. на рік. **І всі вони потребують ікс-терапії — в більшості випадків як самостійного первинного лікування.**

На жаль, практика показує, що в багатьох випадках хірурги помилково приймають злоякісні новоутвори шкіри за доброякісні й вдаються до нерадикального видалення за допомогою скальпеля, виморожування чи електроексцизії, що стає фатальним для хворого в майбутньому.

Пухлини шкіри чи не єдині, коли опромінювання може бути застосовано при сумніві щодо диференціації доброякісної чи злоякісної природи.

При епітеліальних пухлинах шкіри будь-якої гістологічної форми первинним (і єдиним) радикальним методом лікування повинна бути ікс-терапія, яка забезпечує найліпший медичний і косметичний ефект.

Необхідно будь-що уникати легковажного хірургічного втручання за таких пухлин, використовуючи виключно ікс-терапію як найефективніший засіб.

У випадках меланом і будь-яких форм м'якотканинних сарком необхідно застосовувати комбіноване лікування: хірургічне широке видалення пухлини з наступним післяопераційним опромінюванням для профілактики рецидивування.

Сучасні ікс-терапевтичні апарати є конструктивно довершеними джерелами ікс-терапії в широкому діапазоні енергій випромінювання, мають системи зручного контролю дози і запобігання аварійному опромінюванню (невідповідному медичній ситуації через технічні збої, зокрема опромінюванню з невідповідним фільтром або без нього). Такі апарати повинні бути обов'язковими у «табельному» оснащенні всіх онкологічних центрів (центрів радіаційної онкології) України.

*Надходження до редакції 03.05.2009.*

*Прийнято 03.05.2009.*

*Адреса для листування:*

*Пилипенко Микола Іванович,  
ДУ Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва АМНУ,  
вул. Пушкінська, 82, Харків, 61024, Україна*