

Пам'яті Вадима Черниченка
і Григорія Коваля

Ю. ГРИНЕВИЧ, І. ДРЯПАЧЕНКО

ПРАКТИЧНА ОНКОТЕРАПІЯ НА ПУЧКУ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ ЦИКЛОТРОНА У-120

Тридцять років тому на циклотроні У-120 Інституту ядерних досліджень НАН України були розпочаті розробки з проблем ранньої діагностики онкологічних захворювань і радіологічної терапії. І це стало чи не найяскравішою сторінкою у п'ятдесятирічній історії цього прискорювача. Зусиллями фізиків-«фундаменталістів», біологів та практикуючих медиків була доведена і реалізована можливість застосування дуже складних пристроїв та обладнання задля лікування важко хворих людей. На той час це був метод «останньої межі» – він використовувався за майже молитовними проханнями хворих, які бачили в ньому свою останню надію. Впродовж 15 років на циклотроні У-120 було проведено понад 2000 сеансів біомедичних досліджень і практичної терапії для більш як 500 пацієнтів із злоякісними пухлинами різних локалізацій.

Ми хочемо привернути увагу до необхідності відновлення робіт із практичного застосування прискорювачів для біологічних досліджень та пучкової терапії. Саме ці методи дуже активно використовуються у більшості науково-дослідних центрів світу.

За даними експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я променеві методи практикуються у лікуванні близько двох третин усіх онкологічних хворих. Проте вони ефективні лише у 40–50% випадків. Це пояснюється значною радіорезистентністю пухлин за умови використання традиційних видів випромінювання (фотонна терапія). Одним із шляхів подолання цієї резистентності є застосування корпускулярних випромінювань, що мають високі значення

лінійної передачі енергії – протонів, негативних π -мезонів, важких іонів і, насамперед, швидких нейтронів, які вперше у терапії злоякісних пухлин використав Стоун (Stone, 1937–1943). Однак тоді внаслідок невеликої дозиметрії майже всі пацієнти були переопромінені, що надовго відвернуло увагу вчених від цього напрямку.

Обґрунтоване клінічне використання швидких нейтронів розпочалося наприкінці 60-х – на початку 70-х років минулого сто-

© ГРИНЕВИЧ Юлія Петрівна. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник Центру екологічних проблем атомної енергетики Інституту ядерних досліджень НАН України.
ДРЯПАЧЕНКО Ігор Павлович. Кандидат фізико-математичних наук. Старший науковий співробітник відділу електростатичних прискорювачів цього самого інституту (Київ). 2005.



У пультовій МБК професор Вадим Черниченко (ліворуч) та головний інженер циклотрона У-120 Євген Бельський (праворуч)

ліття за кордоном, а дещо пізніше — і в Україні, причому вперше в колишньому Радянському Союзі [1]. За ініціативи і наполегливості доктора Віктора Лєтова почали вимірювати розподіл швидких нейтронів у тканинноквівалентному фантомі. Експерименти на той час проводилися у «штатному» приміщенні циклотрона У-120 на установці для фундаментальних досліджень, де вивчалася розщеплення дейтрона нейтронами, оскільки можна було використовувати досить інтенсивне джерело швидких нейтронів складного спектра до граничної енергії ~ 15 МеВ. Але головне, що основний внесок за інтенсивністю давала широка група нейтронів із середньою енергією близько 7 МеВ [2]. Це найбільш «логічна» для практичної терапії енергія — середня довжина пробігу таких нейтронів у тканинноквівалентній речовині відповідала необхідності досягнення внутрішніх ділянок людського тіла.

Пригадуються також досить резонансні результати, отримані з активації нейтронами заліза в зразках крові, що давали надію на ранню діагностику онкологічних захворювань. Об'єктивні позитивні результати вже перших методичних досліджень дали змогу порушити питання про створення на базі циклотрона У-120 окремої інфраструктури для організації і впровадження практичної онкотерапії із використанням пучків швидких нейтронів. Це було здійснено групою вчених Українського науково-дослідного інституту онкології і радіології (УНДІОР) МОЗ України (нині — Інститут онкології МОЗ України) та академічного Інституту ядерних досліджень (ІЯД НАН України). На цьому етапі роботи очолив професор, відомий радіолог В.О. Черниченко. Саме завдяки його спокійній впевненості у необхідності цих досліджень були зроблені успішні кроки з впровадження в Україні нейтронної терапії. Після його передчасної смерті темпи цих робіт не були втрачені завдяки зусиллям професора Г.М. Ковалю.

ІНФРАСТРУКТУРА МЕДИКО-БІОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ У-120

Враховуючи медичні вимоги та реальні можливості, на базі циклотрона У-120 ІЯД НАН України був створений цільовий медико-біологічний комплекс (МБК), призначений для дистанційної нейтронної терапії, радіобіологічних та дозиметричних досліджень. Він являв собою ізольований блок (рис. 1), куди входили приміщення процедурної зали, пультової (на фото), кабінету лікаря та зали очікування [3].

Процедурна зала, де міститься джерело нейтронів, розташована на значній відстані від циклотронної зали. І це створювало додаткові труднощі під час транспортування пучка дейтронів на мішень, що здійснювалося секційним іонопроводом загальною довжиною 15 метрів. Тому була розробле-

на оригінальній мішені, яка складалася з центральної ($\varnothing 20$ мм) та кільцевої (із зовнішнім діаметром 65 мм) частин, що давало змогу оперативніше та ефективніше формувати пучок дейтронів на мішені.

Отже, при робочих струмах пучка дейтронів циклотрона У-120 70–80 мкА на мішені МБК забезпечувався струм 40–50 мкА. При цьому потужність дози нейтронів на відстані 1,10 м від джерела становила 160 ± 20 мГр/хв.

Система біологічного захисту являє собою металеву ємність, заповнену тривідсотковим водним розчином борної кислоти. Мінімальна товщина захисного шару з боків мішені – 40 см, максимальна, у фронтальному напрямку, – 60 см. Для формування нейтронного поля потрібних форми та розмірів використовувалися колімаційні вставки різного перерізу, виготовлені із спеціального матеріалу «нейтростоп», органічного скла та композиту із заліза, нейтростопу і свинцю. На рис. 2 можна побачити радіографічне відображення профілю сформованого пучка швидких нейтронів, що проходять крізь досліджуваний зразок (рис. 2, а) на відстані 1,5 м від мішені-джерела нейтронів, та діагностичні пристрої (рис. 2, б) – на відстані 2 м.

Для пацієнта під час сеансу опромінення сконструювали і виготовили спеціальне кріс-

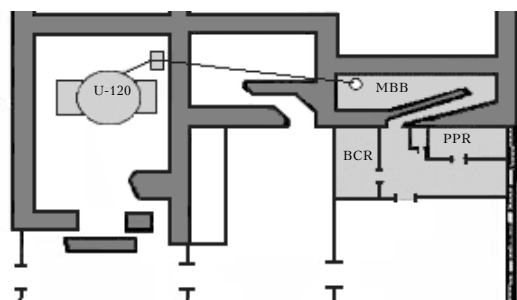


Рис. 1. План-схема інфраструктури медико-біологічного комплексу на циклотроні У-120. МВБ – процедурний бокс для опромінювання нейтронами, BCR – кімната для контролю та вимірювальної апаратури, PPR – процедурне приміщення

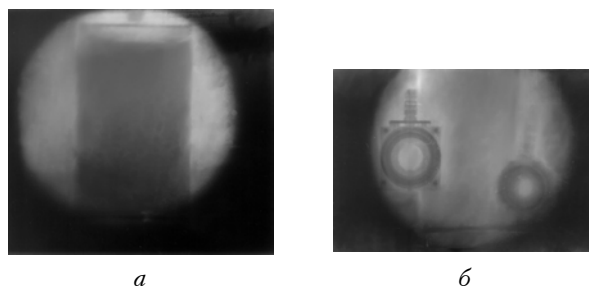


Рис. 2. Радіографічне відображення профілю сформованого круглим коліматором пучка швидких нейтронів

ло, яке можна було зміщувати в горизонтальній площині за двома напрямками, а також автоматично здійснювати секторні колювання і кругові обертоти. Крісло оснащено спеціальними фіксаторами для голови та додатковими захисними засобами для зменшення дозових навантажень на пацієнтів від розсіяного випромінювання.

Контроль параметрів пучка заряджених частинок (його інтенсивність, положення і фокусування) здійснюється оператором з центрального пульта циклотрона як на етапі виведення на мішень, так і під час нейтронної терапії. Для контролю за параметрами пучка нейтронів змонтовано пульт керування МБК, що дає змогу: відкривати і перекривати пучок заряджених частинок; вимірювати принесений дейтронами на мішень заряд; контролювати потужність дози нейтронів; забезпечувати двосторонній акустичний зв'язок у процедурній залі між пацієнтом і лікарем, пультовою У-120, а також спостерігати за об'єктом опромінення за допомогою телевізійної системи.

Потужність дози нейтронів контролювалася клінічним дозиметром VAI-18 із сферичною камерою VA-K-253. Потужність дози швидких нейтронів, отриманих у результаті бомбардування товстої берилієвої мішені дейтронами з енергією 13,6 МеВ, становила на відстані 0,80 м від мішені при перетині пучка 20×20 см – $6,3$ мГр/хв \square мкА. Гамма-випромінювання при цьому не перевищувало 7–10% дози нейтронів.

ДОЗИМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПУЧКА НЕЙТРОНІВ МБК ЦИКЛОТРОНА У-120

Терапевтичному опроміненню онкологічних хворих на МБК циклотрона У-120 передувало ретельне дозиметричне і спектрометричне дослідження параметрів нейтронного пучка. Стосовно променевої терапії вивчались як дозиметричні характеристики пучка нейтронів, так і розподіли поглинених доз у тканинноквівалентних середовищах. Послаблення потужності дози швидких нейтронів і γ -випромінювання досліджували у прямокутному водному фантомі (30×30×21 см) за допомогою іонізаційних камер і сірчаних активаційних детекторів, заздалегідь проградуєваних під час атестації пучка спеціалістами ВНДІ ФТРВ. Результатом стало визначення коефіцієнтів переходу від показників дозиметричних систем до фактичної дози. Вивчення послаблення потужності дози нейтронів із глибиною фантома показало, що шар половинного послаблення — приблизно 7 см води.

Дослідження рівномірності розподілу поглинених доз у полі опромінення (тобто якості колімації щодо нейтронної та γ складових), виконані за допомогою циліндричних сірчаних активаційних детекторів та рентгенівських плівок, засвідчили, що в межах поля розкид значень за дозою нейтронів і γ -випромінювання не перевищував $\pm 5\%$. При цьому значення потужності дози нейтронів та дози γ -випромінювання за межами поля не переходили за ~ 2 і 20% залежно від значення потужності дози в межах поля. Ширина напівтіней не перевищувала 2 см і становила близько 10% для нейтронів та 30% — для γ -випромінювання від дози у межах поля.

СУПРОВІД НЕЙТРОННОЇ ТЕРАПІЇ

Дозиметричне планування нейтронної терапії онкологічних хворих має низ-

ку особливостей. Вони пов'язані з використанням змішаного $n\gamma$ -пучка, оскільки два види випромінювання по-різному послаблюються у процесі взаємодії із середовищем і характеризуються різними показниками відносної біологічної ефективності. У зв'язку з цим необхідно окремо визначати дози швидких нейтронів і γ -випромінювання, підведені до пухлини.

При плануванні дистанційного опромінення швидкими нейтронами на МБК дози розраховували на основі даних про розподіли поглинених доз у тканинноквівалентних середовищах. Усе це оформляли у вигляді атласу ізодозних карт. На анатомо-топометричну карту пацієнта наносяться ізодозні криві поглиненої дози нейтронів, додатково вказуються поглинена доза γ -випромінювання у пухлині, критичних органах та інших точках. Дозові розподіли з урахуванням гетерогенностей в опромінюваному об'ємі тканин хворого уточнювали на базі інформації, отриманої під час моделювання вибраних режимів опромінення на тканинноквівалентному гетерогенному фантомі Алдерсона. Це допомагало порівнювати різні режими опромінювання з метою вибору оптимального варіанта променевої терапії пухлини конкретної локалізації, а також контролювати схеми опромінювання у нетипових випадках та у разі локалізації пухлини поблизу життєво важливих органів.

При опроміненні пухлин голови, шиї, молочної залози для вирівнювання дозового поля використовували спеціальні насадки з тканинноквівалентних матеріалів. Вимірювали також дозові навантаження на організм *in vivo* за допомогою дозиметрів-свідків (активаційних детекторів на основі сірки). Таким чином оцінювали дозові навантаження на пухлину (при внутрішньопорожнинних локалізаціях), на шкіру у полі опромінення (на вході і виході пучка), на деякі критичні органи (на-

приклад, очі, гонади тощо). Розраховані величини поглинутих доз на пухлину добре збігалися з вимірними *in vivo* значеннями. Максимальна розбіжність між розрахованими і вимірними дозами не перевищувала 20%, а розбіжність середніх значень — $\pm 5\%$.

РЕЗУЛЬТАТИ ЛІКУВАННЯ

Успіх променевої терапії значною мірою залежить від якості схеми фракціонування дози, що включає обґрунтований вибір дози на сеанс (фракцію), кількість сеансів, загальну тривалість курсу лікування. На МБК У-120 упродовж 1983—1991 років за єдиною дозиметричною методикою було проведено дистанційну нейтронну терапію більш як 600 хворим із пухлинами різних локалізацій за кількома схемами, що найчастіше використовувалися в клінічній практиці УНДІОР МОЗ України як у передопераційний період, так і за радикальної програми, самостійним курсом чи у поєднанні із фотонним опроміненням.

У випадку передопераційного опромінення нейтронами пухлин кісткової та хрящової тканин разова доза на пухлину становила 1—1,2 Гр, сумарна ж — не перевищувала 8 Гр. Під час лікування хворих за радикальною програмою зляжісне новоутворення опромінювали впродовж чотирьох тижнів (по 4 фракції на тиждень). Сумарна доза не перевищувала 16 Гр. Змішане нейтрон-фотонне опромінення хворих проводилося чотирма щоденними фракціями на тиждень по 0,8—1,2 Гр (сумарно — до 8—10 Гр) нейтронів, а потім γ -випромінюванням ^{60}Co на апараті «РОКУС» 5 разів на тиждень по 2—2,2 Гр до сумарної дози 35—37 Гр. Результати спостережень клініцистів підтвердили, що за використання нейтронної терапії трирічне виживання хворих зросло на 13—17%, а частота рецидивів зменшилася на 12—16% порівняно з показниками фотонної терапії.

Отже, проведений 15—20 років тому комплекс досліджень дав змогу вперше в Україні здійснювати дистанційну нейтронну терапію онкологічних хворих й отримати позитивні результати, що свідчили про доцільність її подальшого розвитку.

МОЖЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ МБК ЦИКЛОТРОНА У-120

Досягнутий тоді прогрес у цьому напрямі, а також сучасний розвиток пучкової, далеко не в останню чергу саме нейтронної терапії, у передових країнах світу, незаперечно доводять необхідність негайного відновлення цієї ланки експериментальної та практичної медицини. По-перше, в Києві сконцентровано потужний науковий медико-радіологічний потенціал. По-друге, в Інституті ядерних досліджень НАН України існує, хоча й у законсервованому вигляді, експериментальна науково-технічна інфраструктура для проведення як медико-біологічних досліджень, так і нейтронної терапії онкохворих. Тому *практичне значення досліджень та робіт із використанням циклотрона У-120 сьогодні важко переоцінити.*

З наведених вище результатів можна побачити прояви складного механізму адитивної дії змішаного радіаційного поля нейтронів і γ -квантів у процесі онкотерапії. Відомі також різні результати у випадку варіантного фракціонування опромінення для однакових інтегральних доз. Не меншу проблему становить і підвищення радіорезистентності пухлин, що набуло особливого значення після аварії на Чорнобильській АЕС, в умовах постійного опромінення населення малими дозами радіації. Це потребує значно більшого радіаційного навантаження у разі променевої терапії хворих, що мешкають у забрудненій зоні.

Протягом останнього десятиліття спостерігається поживлення інтересу медиків до

Таблиця 1. Заклади пучкової онкотерапії на швидких нейтронах ($E_{in} > 30 \text{ MeV}$)

Місто	Країна	Джерело нейтронів (усі циклотрони)	Напрямок пучка	Тип коліматора	Перші сеанси	Кількість пацієнтів (IV 1998)
Орлеан	Франція	$p(34 \text{ MeV}) + \text{Be}$	Вертикальний	Вставні вкладки	1981	1729
Детройт	США	$d(50 \text{ MeV}) + \text{Be}$	Ізоцентричний	Мультистрижневий	1990	913
Сіетл	США	$p(50 \text{ MeV}) + \text{Be}$	”	Мультистворчастий	1984	1778
Сеул	Корея	$p(50 \text{ MeV}) + \text{Be}$	”	Змінні насадки	1986	310
Ніцца (тепер не діє)	Франція	$p(60 \text{ MeV}) + \text{Be}$	Вертикальний	Мультистворчастий	1993	57
Лувейн	Бельгія	$p(65 \text{ MeV}) + \text{Be}$	”	”	1978	1810
Батавія (Фермілаб)	США	$p(66 \text{ MeV}) + \text{Be}$	Горизонтальний	Вставні вкладки	1976	2532
Фор	ПАР	$p(66 \text{ MeV}) + \text{Be}$	Ізоцентричний	Змінні насадки + мультилезовий тример	1988	951

Таблиця 2. Заклади пучкової онкотерапії на швидких нейтронах ($E_{in} < 30 \text{ MeV}$)

Місто	Країна	Джерело нейтронів	Напрямок пучка	Тип коліматора	Середня енергія нейтронів, MeV
Обнінськ	Росія	Реактор	—	—	
Гарчинг	Німеччина	”	Горизонтальний	Вставні вкладки	1,8
Челябінськ	Росія	Нейтронний генератор $d(0,5 \text{ MeV}) + \text{T}$	—	—	14,3
Томськ	Росія	Циклотрон $d(14 \text{ MeV}) + \text{Be}$	—	—	5,9
Мінськ	Білорусь	Те саме	—	—	5,9
Ессен	Німеччина	Циклотрон $d(14,3 \text{ MeV}) + \text{Be}$	Ізоцентричний	Вставні вкладки	6,0

нейтронів як радіації великої проникаючої дії [5, 6]. У табл. 1 наведено відомості [5] про медичні осередки нейтронної онкотерапії, що діяли у 1998 році в різних країнах. Найбільш вражаючі для теми нашої роботи — дві останні графи: на початок практичного лікування у цих центрах список пацієнтів МБК циклотрона У-120 становив кілька сотень осіб. У всіх вказаних центрах базовими прискорювачами є циклотрони з вищими енергіями пучка заряджених частинок і, як результат, — отриманих нейтронів ($E_{in} > 30 \text{ MeV}$). Не менш

показові дані і стосовно діапазону енергії нейтронів нижче 30 MeV *.

Дані цієї таблиці свідчать про деякі особливості використання пучкової онкотерапії на швидких нейтронах, що були зрозумілими і 30 років тому. Сьогодні ці особливості

* Рядок «Томськ» у табл. 2 відповідає єдиному в Росії медичному закладу пучкової нейтронної онкотерапії (зі стаціонаром на десяток ліжок), створеному зусиллями професора Віктора Лєтова, який починав цю діяльність у Києві [1]. На відміну від нашого У-120, вже недіюча установка у Франції (охоплення — 57 пацієнтів) увійшла до табл. 1.

необхідно реалізувати. Наприклад, «рухомі» методи опромінення (кругова ротація або секторне коливання). У половині зазначених закладів використовується обертання частини установки разом із мішенню-джерелом нейтронів та коліматором в «ізоцентричній» геометрії, коли вісь пучка завжди проходить повз опромінювану пухлину. Обов'язковою «родзинкою» сучасної методики є складні щілинні коліматори, які формують пучок нейтронів необхідних розмірів та форми (мультистрижневі, створчасті, лезові та ін.). Ці складні комп'ютеризовані пристрої дають змогу за результатами томографії пухлини підібрати з високою геометричною точністю та автоматично забезпечити параметри колімуючого отвору.

Сьогодні жоден зарубіжний огляд з питання нейтронної терапії онкохворих не оминає економічних, комерційних аспектів цієї проблеми. Фрагмент такої інформації з характерною назвою «Гонорари за нейтронну терапію у прискорювальному центрі Південно-Африканської Республіки» з уточненням «(без 14% податку на додану вартість)» наводимо в табл. 3.

Ці цифри потребують окремого аналізу. Але тисяча хворих за десять років у вказаному центрі (у всьому світі «нейтронних» пацієнтів налічується 22000) — це не прибуткова діяльність, а боротьба за життя окремої людини «у вільний від роботи час» у найсучасніших високотехнологічних та наукоємних закладах. Гроші необхідно рахувати до копійчини (бо справді, 5282 доларів складаються з 4,09 долара за дозиметрію). Нарешті, загальна сума не жахатиме, мабуть, тисячі важкохворих, які нині позбавлені навіть гіпотетичної надії.

Вартість сеансу нейтронної терапії на циклотроні У-120 визначає ціна за електроенергію — це 35 доларів за годину. Курс лікування протягом чотирьох тижнів (див. вище) з чотирма двадцятихвилинними фракціями на тиждень «електрично» коштува-

Таблиця 3. Вартість курсу нейтронної терапії, дол. США

Опис	Ціна
Процедури	
повний радикальний курс (на пучку)	2903,23
повний радикальний курс (клінічний)	914,52
додатковий курс (на пучку)	967,74
додатковий курс (клінічний)	304,87
Моделювання	
комплексне	81,83
друга серія (макс. 3)	27,28
Графічне планування (комплексне)	50,03
Контрольні плівки	4,09
Дозиметричні процедури	4,09
Медична фізика (щоденна гарантія якості)	4,55
Спеціальна медична фізика (специфічні калібрування)	20,46
Загалом	5282,66

тиме 560 доларів. Оскільки все інше частогусто входить у «накладні витрати», то важко зрозуміти мотивацію «економії» на тисячах хворих, у яких може зажевріти надія на порятунок.

Проблему взаємодії нейтронів із об'єктом можна поділити на дві основні частини:

фізичну, або дослідження процесів розсіяння та поглинання, розповсюдження вторинних заряджених частинок і γ -квантів;

фізико-хімічну (біофізичну та біохімічну) — вивчення утворення іон-радикалів, порушення молекулярних зв'язків, взаємодії радикалів і новоутворених фрагментів з неушкодженими молекулами; процесів детоксикації, дезактивації та заміщення протеїнів, нуклеїнових кислот і клітин загалом.

Після вимушеної перерви слід почати відновлення у МБК У-120 сеансів із дослідження ефектів впливу нейтронного опромінення на нормальні клітини і тканини, що потрапляють і не потрапляють у поле нейтронного опромінення. З технічного погляду це — експериментальне вивчення взаємодії нейтронного потоку з різними біологічними мішенями, пошук оптимальних

енергій нейтронів та доз і схем опромінення з метою знищення пухлини. Можна запропонувати перелік науково-дослідних проблем, що є важливими для сучасної променевої терапії і не розв'язані й досі. Розв'язання хоча б їх певної частини забезпечить, на наш погляд, представницьке місце України у глобальних програмах боротьби з раком. Ось ці проблеми:

- “ розробка комп'ютерних програм для планування і супроводу радіаційної терапії;
- “ поліпшення опису результатів опромінення для створення моделей нейтронної терапії;
- “ удосконалення детекторів випромінювання, що використовуються у терапії за допомогою нейтронів;
- “ дослідження радіаційного захисту для терапевтичних заходів;
- “ термолюмінесценція як дозиметрія *in vivo*;
- “ використання розрахунків за методом Монте Карло за допомогою кодів MCNP і LANET для оптимізації систем забезпечення пучків;
- “ дослідження компоненти теплових нейтронів із застосуванням борних лічильників у нейтронних пучках для променевої терапії;
- “ розробка автоматизованої системи бухгалтерського супроводу лікування пацієнтів;
- “ створення калориметра для абсолютизації флюенсу;
- “ «вхідна» і «вихідна» дозиметрія у променевій терапії;
- “ лічильники поділу для нейтронної дозиметрії і визначення флюенсу;
- “ розробка активаційних методів для спектрометрії у процесі променевої терапії;
- “ автоматизація розшифрування треків радіографічних плівок;
- “ сцинтиляційні детектори для дозиметрії у променевій терапії;
- “ порівняння різних дозиметрів для визначення розподілів доз опромінення.

Ще в 1976 році на циклотроні У-120 ІЯД НАН України працювали над створенням матеріально-технічної бази, пошуком діагностичних та практичних методик для лікування онкологічних хворих із використанням швидких нейтронів, згенерованих виведеним пучком циклотрона. Після двох років успішних досліджень на тваринах та культурах клітин почали сеанси лікування онкохворих. Терапевтичне втручання на пізніх стадіях зляклого процесу дало однозначно позитивні результати і спонукало впродовж десяти років (до 1991-го) до продовження практичної терапії онкологічних хворих. Сьогодні необхідність таких лікувальних методик і відповідних установ не викликає жодних сумнівів.

У світі існує скоординована мережа відповідних закладів та асоціацій: Міжнародний союз проти раку (UICC), Європейська організація раку (OECI), Cancer WEB тощо. На жаль, Київський центр не входить до світової класифікації зареєстрованих центрів нейтронної онкотерапії.

Тому ми **пропонуємо поновити у Києві практичне функціонування медико-біологічного підрозділу для лікування онкологічних захворювань з використанням пучка швидких нейтронів на прискорювач**. За умов координації зусиль радіобіологів, радіологів і медиків можна у найкоротший термін розгорнути медико-біологічні дослідження у цій царині. Технічне відновлення фізиками робіт на збереженій інфраструктурі можливе практично зараз, але через вимушену багаторічну перерву необхідно здійснити низку таких заходів:

- “ **коригування морального старіння матеріально-технічної бази;**
- “ **ліцензування, сертифікація обладнання і методик, метрологія отримання кількісних даних відповідно до сучасних державних і міжнародних стандартів;**
- “ **організаційна реструктуризація і цільове фінансування;**

♦ **забезпечення професійного радіобіологічного та клінічного супроводу від самого початку робіт з експериментального і терапевтичного опромінення.**

Слід ще раз підкреслити, що в Україні, у київському Інституті ядерних досліджень, існує матеріально-технічна база не тільки для відновлення нейтронної терапії у «пілотному» варіанті циклотрона У-120, а й для створення центру адронної терапії міжнародного класу і масштабу. Це можливо зробити на базі циклотрона У-240 з енергією протонів і дейтронів 100 і більше МеВ. Тому ми пропонуємо скоординувати зусилля науковців, господарників, підприємців для подолання організаційних і фінансово-економічних труднощів, з метою створення в Києві сучасного наукового і технологічного парку для впровадження високих технологій у медичну практику.

1. Летов В.Н., Фесенко В.В., Иевлев С.М., Бельский Е.М., Дряпаченко И.П., Храпачевский В.Н., Пасечник В.М. Физические и радиобиологические характеристики пучка быстрых нейтронов циклотрона У-120 // Мед. радиология. — 1977. — №10. — С. 34–40.
2. Dryapachenko I.P., Grantsev V.I., Kornilov V.A., Nemets O.F., Bilanyuk O.M.P. et al. An approach to neutron-neutron quasifree scattering using a cyclotron // Nucl. Instr. And Meth. — 1977. — Vol. 141. — P. 153–156.
3. Позмогов А.И., Бездробная Л.К., Бельский Е.М. и др. Предклиническая апробация пучка быстрых нейтронов Киевского циклотрона У-120 // XI Всес. съезд рентгенологов и радиологов: Тез. докл. — Москва — Обнинск, 1984. — С. 52–53.

4. Черниченко В.А., Рябухин Ю.С., Коваль Г.Н. и др. Дозные распределения быстрых нейтронов (6 МэВ) Киевского циклотрона У-120 в тканеэквивалентном фантоме // Мед. радиология. — 1988. — №4. — С. 96.
5. Medical Radiation Group. National Accelerator Center Annual Report, 1998, <http://www.medrad.nac.ac.za/print2.htm>
6. Neutron Against Cancer, FermiLab Neutron Therapy Facility. — Midwest Institute for Neutron Therapy, 1998, http://www.fnal.gov/pub/hep_cancer.html

Ю. Гриневич, І. Дряпаченко

ПРАКТИЧНА ОНКОТЕРАПІЯ НА ПУЧКУ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ ЦИКЛОТРОНА У-120

Резюме

У ретроспективному огляді наводяться дані про створення на базі циклотрона У-120 ІЯД НАН України медико-біологічного комплексу, призначеного для дистанційної нейтронної терапії онкологічних хворих та радіобіологічних експериментів. На основі практичних розробок і результатів опромінювання більш як 600 пацієнтів з різними локалізаціями пухлин сформульовано програмні засади для поновлення подібних досліджень та практичної роботи на пучках прискорювачів.

Yu. Grynevych, I. Dryapachenko

THE PRACTICAL ONCOTHERAPY ON THE BEAM OF U-120 CYCLOTRON

Summary

The data on medical and biological complex foundation based on U-120 IYaD cyclotron and designed for distant neutron therapy of oncological patient and radiobiological experiments are presented in retrospective review. Based on practical studies and irradiation results of more than 600 patients with different tumors localization the program fundamentals for similar research activation and oncological patients therapy set up by means of fast neutron accelerator are formulated.