

ПЕРШЕ У СВІТІ ЛІКУВАННЯ ПАЦІЄНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОТОННО-ДУГОВОЇ ТЕРАПІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто впровадження нової технології променевої терапії – протонної дугової терапії (Proton Arc Therapy, PAT), вперше застосованої для лікування пацієнтів. Проаналізовано фізичні принципи формування протонного пучка, особливості його ротаційного сканування навколо пухлини та клінічні переваги порівняно з традиційною протонною терапією. Показано, що використання дугової траєкторії дозволяє покращити конформність дози, зменшити навантаження на здорові тканини та підвищити ефективність лікування онкологічних захворювань.

Ключові слова: протонна терапія, протонна дугова терапія, Бреггівський пік, онкологія, радіаційна фізика, медична фізика.

Abstract

The paper examines the implementation of a new radiation therapy technology – Proton Arc Therapy (PAT), recently delivered to patients for the first time. The physical principles of proton beam formation, its rotational scanning around the tumor, and clinical advantages compared to conventional proton therapy are analyzed. It is shown that arc delivery improves dose conformity, reduces exposure to healthy tissues, and enhances the effectiveness of cancer treatment.

Keywords: proton therapy, proton arc therapy, Bragg peak, oncology, radiation physics, medical physics.

Вступ

Протонна терапія є одним із найсучасніших методів променевого лікування онкологічних захворювань. Її фізична перевага полягає у наявності піку Брегга (Bragg peak), що забезпечує максимальне вивільнення енергії безпосередньо в зоні пухлини з мінімальним опроміненням навколишніх тканин.

Нещодавно в клінічній практиці вперше було застосовано протонну дугову терапію – метод, за якого протонний пучок безперервно обертається навколо пацієнта. Перші лікування за цією технологією були проведені в Paul Scherrer Institute (PSI, Швейцарія), що стало важливою подією у сфері медичної фізики.

Результати дослідження

Традиційна протонна терапія передбачає опромінення з кількох фіксованих кутів. У протонній дуговій терапії реалізується безперервне обертання гантрі-системи навколо пацієнта, що дозволяє подавати протонний пучок під змінним кутом протягом усього сеансу лікування.

Конструктивно гантрі є обертовою системою, що містить магніти для фокусування та відхилення пучка, систему сканування та дозиметричний контроль. Схематичне зображення принципу роботи протонної гантрі наведено на рис. 1.

При обертанні гантрі навколо ізоцентру (точки локалізації пухлини) забезпечується більш рівномірний та конформний розподіл дози в об'ємі новоутворення, що зменшує інтегральне променеве навантаження на здорові тканини.

Фізично ефект локалізації дози пояснюється енергетичними втратами протонів у речовині, які характеризуються лінійною передачею енергії:

$$LET = -\frac{dE}{dx}, \quad (1)$$

LET — лінійна передача енергії (Linear Energy Transfer), $\frac{dE}{dx}$ — величина втрати енергії частинки на одиницю довжини шляху. Різке зростання цієї величини наприкінці пробігу протона формує пік Брегга, що забезпечує максимальне виділення енергії безпосередньо в зоні пухлини.

Поглинена доза випромінювання визначається співвідношенням:

$$D = \frac{dE}{dm}, \quad (2)$$

Де D — поглинена доза, dE — передана енергія, dm — маса опроміненої тканини.

Завдяки безперервній зміні кута опромінення при Proton Arc Therapy досягається більш рівномірний просторовий розподіл величини D , що підвищує точність лікування та знижує ризик променевих ускладнень.

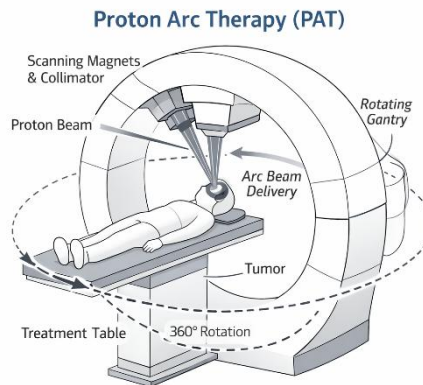


Рис. 1. Схема обертової протонної гантрі при реалізації Proton Arc Therapy (адаптовано за матеріалами Paul Scherrer Institute).

Висновки

Встановлено, що протонна дугова терапія є новим етапом розвитку протонної променевої терапії. Перші клінічні застосування, реалізовані в Paul Scherrer Institute, підтвердили технічну можливість та безпечність методу. Крім того, використання безперервної дугової подачі пучка дозволяє підвищити конформність дози та зменшити навантаження на здорові тканини. Отож, поєднання фізичних принципів формування піку Брегга та сучасних гантрі-систем відкриває перспективи подальшого вдосконалення онкологічного лікування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. World's first patient treatments delivered with proton arc therapy // Physics World. – 2025. – Режим доступу: <https://physicsworld.com/a/worlds-first-patient-treatments-delivered-with-proton-arc-therapy/>
2. Paganetti H. Proton Therapy Physics. – CRC Press, 2012.
3. Durante M., Loeffler J. Charged particles in radiation oncology // Nature Reviews Clinical Oncology. – 2010. – Vol. 7. – P. 37–43.

Анпілова Аріна Тарасівна — студент групи 1-ПІ, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** — канд. техн. наук, доцент кафедри фізики, Вінницький національний технічний університет.

Anpilova Arina T. — student, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: **Martyniuk Volodymyr V.** — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Physics Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.