

УДК 621.384.64:615.849.1

DOI: <https://doi.org/10.17721/3041-1491/2024.11-17>

Сергій БРОВЧУК^{1,2}, канд. фіз-мат. наук

ORCID ID: 0000-0002-1083-1196

e-mail: brovchuksm@gmail.com, sbrovchuk@lisod.ua

Аліна ДІДІК², магістр

e-mail: didalinn@gmail.com

Олена САФРОНОВА², канд. мед. наук

ORCID ID: 0000-0002-2671-3880

e-mail: safronovaelena@ukr.net

Зоя ШЕПІЛЬ², лікар з променевої терапії

ORCID ID: 0009-0004-5584-3918

e-mail: shepilzoya@gmail.com

¹Лікарня ізраїльської онкології LISOD, Київ, Україна

²Національний науковий центр хірургії та трансплантології
імені О.О. Шалімова, Київ, Україна

ВВЕДЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ МЕДИЧНИХ ЛІНІЙНИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ ІЗ ПІДІГНАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ (MATCHED LINACS)

Вступ. *Якість лікування в променевій терапії є необхідною для досягнення позитивних результатів. Незаплановані перерви в лікуванні можуть подовжити загальний курс терапії, збільшуючи ризик рецидиву пухлин. Це проблема, що спостерігається в усіх формах променевої терапії.*

Методи. *Однією з основних причин перерв є тимчасова несправність обладнання, і вирішенням може бути лікування пацієнтів на будь-якому з двох лінійних прискорювачів, якщо вони правильно підігнані, без потреби перепланування. Тому це дослідження фокусується на аналізі дозиметричних характеристик двох лінійних прискорювачів, використовуючи водяний фантом і антропоморфний фантом з 1386 детекторами для верифікації планів лікування.*

Результати. *Порівнювались відсоткові глибинні дози, профілі доз і їх симетрія. Верифікація планів окремо на обидвох прискорювачах показала, що 95 % точок дозиметричних мап збігаються в межах 3 % / 2 мм. Виходячи з аналізу, середня розбіжність у дозиметричних характеристиках становить менше 0,5 %, що свідчить про високу точність підгонки параметрів лінійних прискорювачів. Середній рівень збіжності лікувальних планів 98,3 %.*

Висновки. *Результати підтверджують високу надійність і точність планування лікування на обох прискорювачах, що забезпечує оптимальне лікування пацієнтів.*

Ключові слова: *лінійний прискорювач, глибинна відсоткова доза, параметри профілю, пацієнт-специфічна гарантія якості.*

Вступ

Забезпечення якості лікування у променевій терапії критично важливе для досягнення позитивних клінічних результатів. Незаплановані перерви під час курсу терапії можуть призвести до подовження загальної тривалості лікування, що сприяє активній репопуляції пухлинних клітин. Для багатьох

© Бровчук Сергій, Дідік Аліна, Сафронова Олена, Шепіль Зоя, 2024

швидкозростаючих видів раку існує значний обсяг клінічних досліджень, що демонструють, як некомпенсовані перерви, які збільшують загальний час лікування, підвищують ризик локального рецидиву пухлин (Pozo et al., 2019, р. 239–244). Це явище спостерігається при всіх видах променевої терапії: радикальної і паліативної та поширюється на дистанційну променеву терапію і брахітерапію. Для деяких типів пухлин, таких як плоскоклітинний рак ротоглотки, стравоходу, легень, шийки матки подовження часу лікування може призвести до втрати контролю над пухлиною в межах від 0,8 % до 1,6 % на кожен додатковий день лікування (Dale, & Jones, 2022).

Найпоширенішою причиною переривання лікування є пошкодження обладнання та/або його технічне обслуговування. Одним із найочевидніших рішень цієї проблеми є можливість переміщення пацієнтів, які проходять опромінення, між двома лінійними прискорювачами, без потреби в переплануванні в разі несправності одного з них (Donmoon et al, 2020, р. 1505). Інтеграція кількох лінійних прискорювачів в одному відділенні променевої терапії підвищує ефективність і гнучкість клінічної команди. Коли верифіковано, що прискорювачі функціонують у межах встановлених допусків параметрів, це забезпечує більшу мобільність у разі простою лінака, як запланованого, так і несподіваного, і може зменшити ризики, пов'язані з необхідністю лікувати пацієнта на конкретному прискорювачі (Goodall et al, 2022).

Методи

Для підігнаних лінійних прискорювачів, окрім вимірювань, необхідних для побудови моделі, за якою система планування буде розраховувати дозовий розподіл в об'ємі тіла пацієнта, потрібно верифікувати можливість виконання лікувальних дозиметричних планів з однаковою точністю на цих прискорювачах. У загальному випадку еквівалентні лінійні прискорювачі можуть надавати неоднакові параметри планування. Водночас протоколи для такої верифікації поки що не розроблені (Tsuneda et al., 2023), тому в цій роботі проводиться аналіз для порівняння як дозиметричних характеристик, так і дозових розподілів, розрахованих після планування в системі Monaco 6 і виміряних на двох системах Elekta Versa HD (рис. 1) у відділенні променевої терапії. Першим етапом є (рис. 2) порівняння відсоткових глибинних доз, поздовжніх та поперечних профілів, контролю виходу дози для різних розмірів полів та калібрування абсолютної дози. Ці вимірювання виконані за допомогою водяного фантома з адекватним набором іонізаційних камер (для розмірів радіаційних полів 4 см і більше) та діодних детекторів (для розмірів радіаційних полів 4 см і менше).

Наступним етапом є верифікація індивідуальних планів лікування пацієнтів. У межах цього дослідження розраховані лікувальні плани з виміряними на обох прискорювачах були верифіковані за критерією, згідно з якою 95 % точок мають збігатися в межах 3 % / 2 мм. Але також було виміряно збіжність між собою дозиметричних мап, отриманих з обох прискорювачів. Приклади порівняння дозових мап наведено на рис. 3. Для цього вимірювання використовувався антропоморфний фантом із 1386 діодними детекторами.

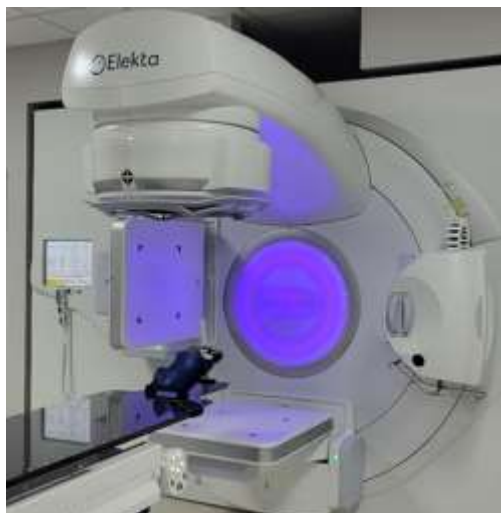


Рис. 1. Лінійний медичний прискорювач Elekta Versa HD

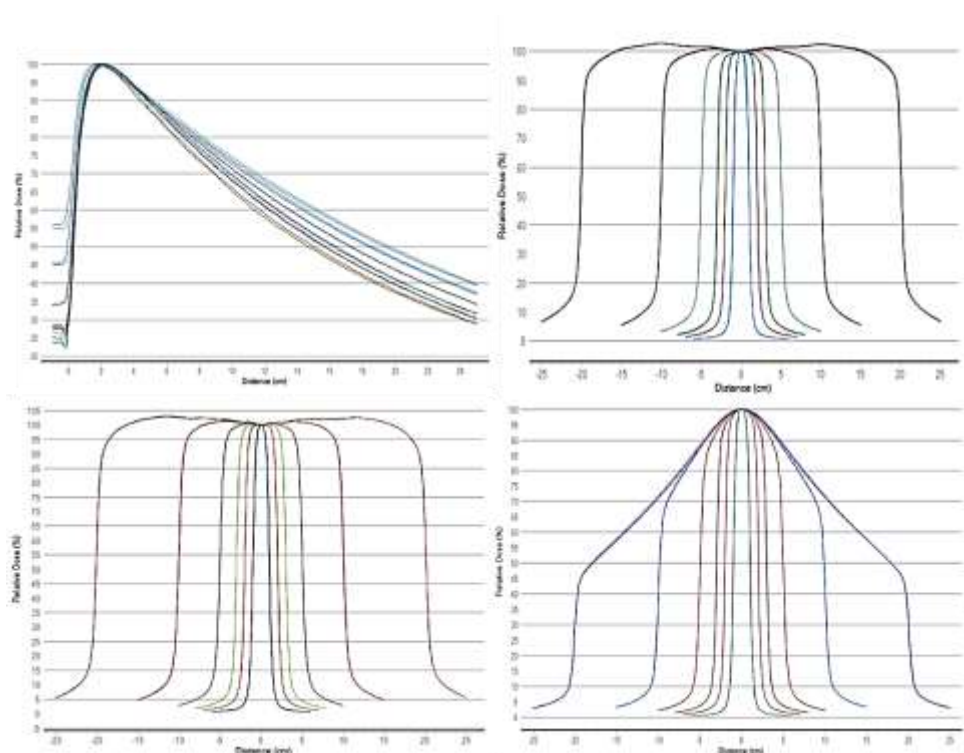


Рис. 2. Порівняння відсоткових глибинних доз та профілів для полів різного розміру

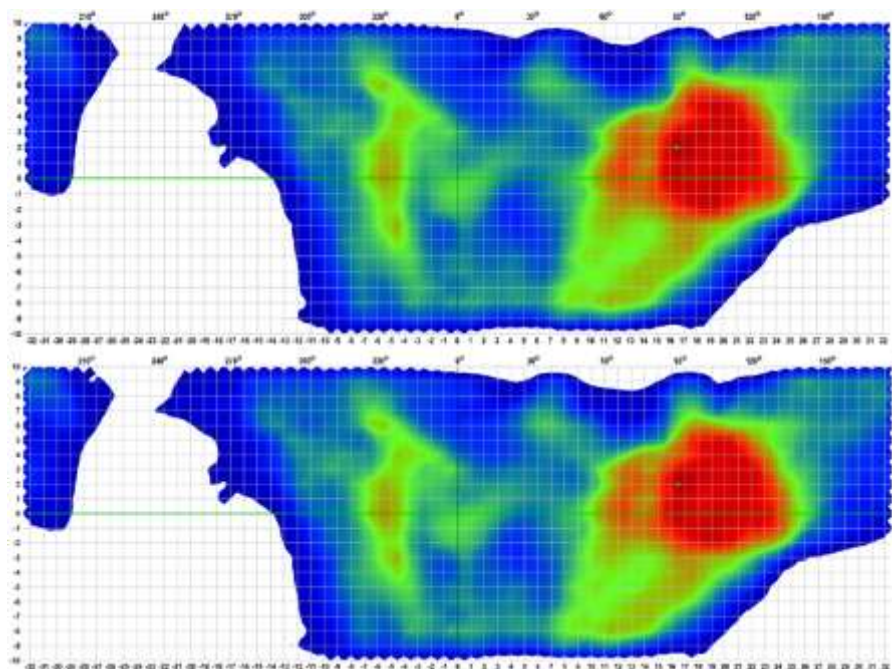


Рис. 3. Порівняння дозиметричних мап, отриманих на прискорювачах

Результати

Приклад отриманих даних перевірки дозиметричних параметрів наведено на рис. 4. Збіжність відсоткових глибинних доз та профілів радіаційного поля проаналізовано в табл. 1 та 2. Середня розбіжність становить менше 0,5 %.

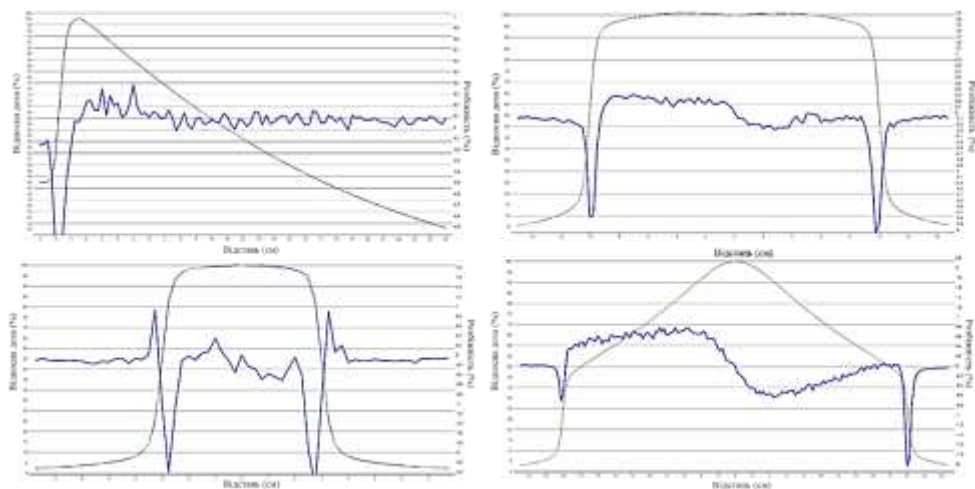


Рис. 4. Приклади порівняння відсоткових глибинних доз та профілів полів. Значення розбіжності (діаграма синім кольором) зазначено справа з ціною поділки 0,1 %

Таблиця 1

Збіжність відсоткових глибинних профілів пучка 10x10 для різних енергій

	Середня розбіжність	Розбіжність max	Розбіжність min
6 MB	0,183 %	1,12 %	0,031 %
10 MB	0,171 %	1,165 %	0,041 %
15 MB	0,287 %	2,284 %	0,058 %
6 MB (FFF)	0,133 %	0,836 %	0,015 %

Таблиця 2

Значення симетрії для поздовжніх та поперечних профілів 40x40
для різних енергій та їхні розбіжності

		Прискорювач 1	Прискорювач 2	Розбіжність
6 MB	Симетрія поздовжніх профілів	100,72 %	100,31 %	0,41 %
	Симетрія поперечних профілів	100,61 %	100,40 %	0,20 %
10 MB	Симетрія поздовжніх профілів	100,46 %	100,58 %	0,09 %
	Симетрія поперечних профілів	100,52 %	100,79 %	0,27 %
15 MB	Симетрія поздовжніх профілів	101,13 %	100,69 %	0,43 %
	Симетрія поперечних профілів	100,21 %	100,39 %	0,18 %
6 MB (FFF)	Симетрія поздовжніх профілів	100,99 %	101,07%	0,07 %
	Симетрія поперечних профілів	100,87 %	101,11 %	0,23 %

Для аналізу дозиметричних мап індивідуальних планів лікування пацієнтів були побудовані гістограми розподілу відсоткових розбіжностей (приклад наведено на рис. 5). Середній показник збіжності реалізації планів лікування на лінійних прискорювачах становить 98,3 % кількості показів детекторів у 3 % дозовому діапазоні.

Дискусія і висновки

Обладнання відділень променевої терапії декількома однотипними лінійними прискорювачами з однаково підігнаними параметрами дозволяє мінімізувати ризик незапланованих перерв у лікуванні пацієнтів, що дуже важливо для покращення ефективності лікування та віддалених його результатів, а як наслідок, – виживаності пацієнтів. Проведені вимірювання та детальний аналіз підтверджують клінічну прийнятність лікування пацієнтів на будь-якому з розглянутих прискорювачів без необхідності перепланування. Узагальнені рекомендації для проведеної верифікації потрібні і можуть бути наступним кроком продовження подібних досліджень.

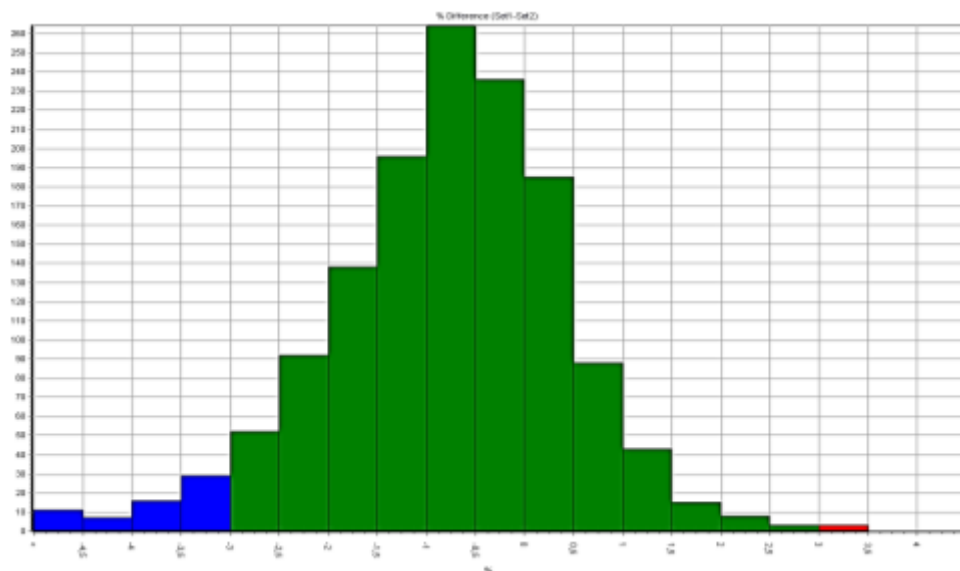


Рис. 5. Гістограма розбіжностей між двома дозиметричними мапами лікувальних планів

Внесок авторів: Сергій Бровчук – концептуалізація, методологія, вимірювання, аналіз, написання – оригінальна чернетка, перегляд і редагування; Аліна Дідик – вимірювання, аналіз, написання – оригінальна чернетка, редагування; Олена Сафронова – концептуалізація, написання – чернетка вступу, перегляд і редагування; Зоя Шепіль – концептуалізація, написання – чернетка вступу, перегляд і редагування.

Список використаних джерел

Dale, R.G., & Jones, B. (2022). Radiotherapy treatment interruptions during the Covid-19 pandemic: The UK experience and implications for radiobiology training. *Radiation Physics and Chemistry*. 200, 110214. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110214>

Donmoon, T., Wattanachaiyasit, S., Kaewboonperm, U., Meennuch, E., & Klaitong, C. (2020). Beam matching of two linear accelerators, identical model and brand. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1505, 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1505/1/012019>

Goodall, S.K., Dunn, L., Dunning, J., Muñoz, L., Rowshanfarzad, P., & Ebert, M.A. (2022). Matched linac stereotactic radiotherapy: An assessment of delivery similarity and distributive patient-specific quality assurance feasibility. *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, 23(11), e13652. <https://doi.org/10.1002/acm2.13652>

Pozo, G., Pérez-Escutia, M.A., Ruíz, A., Ferrando, A., Milanés, A., Cabello, E., Díaz, R., Prado, A., & Pérez-Regadera, J.F. (2019). Management of interruptions in radiotherapy treatments: Adaptive implementation in high workload sites. *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* Mar-Apr, 24(2), 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2019.02.003>

Tsuneda, M., Abe, K., Fujita, Y., Morimoto R., Hashimoto T., Abe Y., & Uno T. (2023). Delivery accuracy of VMAT on two beam-matched linacs provided by accelerated go live service. *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, 24(7), e14071. <https://doi.org/10.1002/acm2.14071>

References

Dale, R.G., & Jones, B. (2022). Radiotherapy treatment interruptions during the Covid-19 pandemic: The UK experience and implications for radiobiology training. *Radiation Physics and Chemistry*. 200, 110214. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110214>

Donmoon, T., Wattanachaiyasit, S., Kaewboonperm, U., Meennuch, E., & Klaitong, C. (2020). Beam matching of two linear accelerators, identical model and brand. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1505, 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1505/1/012019>

Goodall, S.K., Dunn, L., Dunning, J., Muñoz, L., Rowshanfarzad, P., & Ebert, M.A. (2022). Matched linac stereotactic radiotherapy: An assessment of delivery similarity and distributive patient-specific quality assurance feasibility. *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, 23(11), e13652. <https://doi.org/10.1002/acm2.13652>

Pozo, G., Pérez-Escutia, M.A., Ruíz, A., Ferrando, A., Milanés, A., Cabello, E., Díaz, R., Prado, A., & Pérez-Regadera, J.F. (2019). Management of interruptions in radiotherapy treatments: Adaptive implementation in high workload sites. *Rep. Pract. Oncol. Radiother.* Mar-Apr, 24(2), 239–244. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2019.02.003>

Tsuneda, M., Abe, K., Fujita, Y., Morimoto R., Hashimoto T., Abe Y., & Uno T. (2023). Delivery accuracy of VMAT on two beam-matched linacs provided by accelerated go live service. *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, 24(7), e14071. <https://doi.org/10.1002/acm2.14071>

Отримано редакцією збірника / Received: 04.08.24

Прорецензовано / Revised: 18.08.24

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.24

Serhii BROVCHUK^{1,2}, PhD (Phys. & Math.)

ORCID ID: 0000-0002-1083-1196

e-mail: brovchuksm@gmail.com, sbrovchuk@lisod.ua

Alina DIDIK², Master of Arts

ORCID ID відсутній

e-mail: didalinn@gmail.com

Olena SAFRONOVA², PhD (Med.)

ORCID ID: 0000-0002-2671-3880

e-mail: safronovaelena@ukr.net

Zoia SHEPIL², Radiation Oncologist

ORCID ID: 0009-0004-5584-3918

e-mail: shepilzoya@gmail.com

¹LISOD Israeli cancer care hospital, Kyiv, Ukraine

²O.O. Shalimov National Scientific Center of Surgery and Transplantology, Kyiv, Ukraine

COMMISSIONING OF MEDICAL LINEAR ACCELERATORS WITH MATCHED PARAMETERS (MATCHED LINACS)

Introduction. *The quality of treatment in radiation therapy is critically important for achieving positive outcomes. Unplanned treatment interruptions can extend the overall course of therapy and increase the risk of tumor recurrence, which is a problem observed across all forms of radiation therapy.*

Methods. *One of the main causes of interruptions is equipment being out of service temporarily. One possible solution is to transfer patients between two linear accelerators without the need for replanning in the event of equipment failure. Integrating multiple accelerators within a department enhances the efficiency and flexibility of treatment. This study focuses on analyzing the dosimetric characteristics of two linear accelerators using a water phantom and an anthropomorphic phantom with 1386 diode detectors for treatment plan verification.*

Results. *The percentage depth doses, dose profiles and dose outputs were compared. Verification of dosimetric maps of the plans were performed using the criteria that 95 % of*

the dosimetric map points agreed within 3 % / 2 mm (dose/distance). It was shown that the average discrepancy in dosimetric parameters is less than 0.5 %, indicating high precision. The average plan agreement level between two linacs is 98,3 %.

C o n c l u s i o n s . *The results confirm the high reliability and accuracy of treatment planning on both accelerators, ensuring optimal patient treatment.*

Key words: *linear accelerator, depth percentage dose, profile parameters, patient-specific quality assurance.*

Автори А. Дідик, О. Сафронова та З. Шепіль заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Член редакційної колегії та організаційного комітету Сергій Бровчук заявляє про відсутність конфлікту інтересів та невтручання в процес оцінювання цієї статті відповідно до міжнародних стандартів публікаційної етики. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors A. Didik, O. Safronova and Z. Shepil declare no conflicts of interest. The member of the Editorial board and a member of the Organizing committee S. Brovchuk declares no conflict of interest and has not interfered in the evaluation process of this article, in accordance with international publication ethics standards. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.