

Є. Момот¹, О. Ковальчук¹, О. Охріменко¹, Й. Презадо², В. Пугач¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Лабораторія обробки зображень і моделювання в нейробіології та онкології, Орсе, Франція*

ФОРМУВАННЯ ТА МОНИТОРИНГ МІНІ-ПУЧКОВИХ СТРУКТУР ДЛЯ ПРОСТОРОВО-ФРАКЦІОНОВАНОЇ РАДІАЦІЙНОЇ ТЕРАПІЇ

Використовуючи моделювання методом Монте - Карло, оцінено дизайн та ефективність коліматорів для цілей фракціонованої міні-пучкової адронної радіаційної терапії. Розрахунки здійснено для іонних пучків водню, вуглецю та кисню при енергіях, придатних для медичного застосування. Мікропиксельні металеві та гібридні детектори були випробувані для вимірювання розподілу інтенсивності заряджених частинок у багатопучкових структурах, сформованих щілинними або матричними коліматорами, використовуючи низькоенергетичний протонний пучок тандем-генератора ІЯД НАН України (Київ). Отримані результати показали прийнятне функціонування розроблених коліматорів, а також металевих та гібридних мікропиксельних детекторів для вимірювання та візуалізації в реальному часі розподілу інтенсивності протонів в міні-пучкових структурах.

Ключові слова: просторово-фракціонована адронна радіаційна терапія, коліматори пучків, Монте - Карло моделювання розподілу дози, моніторинг просторового розподілу інтенсивності пучків заряджених частинок, мікропиксельні металеві та гібридні детектори.

Е. Момот¹, А. Ковальчук¹, А. Охріменко¹, И. Презадо², В. Пугач¹

¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

² *Лабораторія обробки зображень і моделювання в нейробіології та онкології, Орсе, Франція*

ФОРМИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ МИНИ-ПУЧКОВЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ФРАКЦИОНИРОВАННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ

Используя моделирование методом Монте - Карло, оценен дизайн и эффективность коллиматоров для целей фракционированной мини-пучковой адронной радиационной терапии. Расчеты выполнены для ионных пучков водорода, углерода и кислорода при энергиях, подходящих для медицинского применения. Микропиксельные металлические и гибридные детекторы были испытаны для измерения распределения интенсивности заряженных частиц в многопучковых структурах, сформированных щелевыми или матричными коллиматорами, используя низкоэнергетический протонный пучок тандем-генератора ИЯИ НАН Украины (Київ). Полученные результаты показали приемлемое функционирование разработанных коллиматоров, а также металлических и гибридных микропиксельных детекторов для измерения и визуализации в реальном времени распределения интенсивности протонов в мини-пучковых структурах.

Ключевые слова: пространственно-фракционированная адронная радиационная терапия, коллиматоры пучков, Монте - Карло моделирование распределения дозы, мониторинг пространственного распределения интенсивности пучков заряженных частиц, микропиксельные металлические и гибридные детекторы.

I. Momot¹, O. Kovalchuk¹, O. Okhrimenko¹, Y. Prezado², V. Pugatch¹

¹ *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *Laboratoire d'Imagerie et Modélisation en Neurobiologie et Cancérologie (IMNC, CNRS), Orsay, France*

SHAPING AND MONITORING OF THE MINI-BEAM STRUCTURES FOR THE SPATIALLY FRACTIONATED HADRON RADIATION THERAPY

Design of collimators and their effectiveness for the purposes of the fractionated mini-beam hadron radiation therapy were evaluated by Monte Carlo simulations. The calculations have been performed for proton, carbon and oxygen ion beams at the energies relevant for medical applications. Micropixel metal and hybrid detectors were tested for measuring charged particles intensity distribution in multi-beam structures shaped by slit or matrix collimators exploring low energy proton beam at the Tandem generator (INR NASU, Kyiv). The results obtained illustrate reliable performance of the designed collimators as well as hybrid and metal microdetectors for measuring and imaging in real time the proton intensity distribution over mini-beam structures.

Keywords: spatially fractionated hadron radiation therapy, beam collimators, Monte Carlo simulation of dose distribution, monitoring of spatial distribution of the intensity of the charged particle beams, micropixel metal and hybrid detectors.

REFERENCES

1. *Wilson R.* Radiological use of fast protons // *Radiology.* - 1946. - Vol. 47. - P. 487 - 491.
2. *Kraft G.* Tumor therapy with heavy charged particles // *Prog. Part. Nucl. Phys.* - 2000. - Vol. 45. - P. S473 - S544.
3. *Schardt D., Elsasser T., Schulz-Ertner D.* Heavy-ion tumor therapy: Physical and radiobiological benefits // *Rev. Mod. Phys.* - 2010. - Vol. 82. - P. 383 - 425.
4. *Slatkin D., Spanne P., Dilmanian F.A. et al.* Subacute neuropathological effects of microplanar beams of x-rays from a synchrotron wiggler // *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.* - 1995. - Vol. 92. - P. 8783 - 8787.
5. *Laissue J.A., Blattmann H., Michiel M.Di. et al.* The weanling piglet cerebellum: a surrogate for tolerance to MRT (Microbeam Radiation Therapy) in pediatric neuro-oncology // *SPIE.* - 2001. - Vol. 4508. - P. 65 - 73.
6. *Dilmanian F.A., Button T.M., Duc G. Le. et al.* Response of rat intracranial 9L gliosarcoma to microbeam radiation therapy // *Neuro-Oncology.* - 2002. - Vol. 4. - P. 26 - 38.
7. *Prezado Y., Fois G.* Proton-minibeam radiation therapy: a proof of concept // *Med. Phys.* - 2013. - Vol. 40. - P. 031712-1-8.
8. *Martinez-Rovira I., Fois G., Prezado Y.* Dosimetric evaluation of new approaches in GRID therapy using nonconventional radiation sources // *Med. Phys.* - 2015. - Vol. 42. - P. 685 - 693.
9. *Devic S., Seuntjens J., Sham E. et al.* Precise radiochromic film dosimetry using flat-bed document scanner // *Med. Phys.* - 2005. - Vol. 32. - P. 2245 - 2253.
10. *Niroomand-Rad A., Blackwell C.R., Coursey B.M. et al.* Radiochromic film dosimetry: Recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 55 // *Med. Phys.* - 1998. - Vol. 25. - P. 2093 - 2115.
11. *Martiskova M., Jakel O.* Dosimetric properties of Gafchromic EBT films in medical carbon beams // *Phys. Med. Biol.* - 2010. - Vol. 55. - P. 5557 - 5567.
12. *Vykydal Z., Jakubek J., Pospisil S.* USB interface for Medipix2 matrix device enabling energy and position-sensitive detection of heavy charged particles // *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res.* - 2006. - Vol. A563. - P. 112 - 118.
13. *Lerch M.L.F., Cullen A., Baloglow A.M. et al.* Dosimetry of intensive, pulsed synchrotron X-ray microbeams // *IEEE Nuclear & Space Radiation Effects Conference (Quebec, Canada. July 20 - 24, 2009).* - PF-3. - P. 23
14. *Pugatch V., Campbell M., Chaus A. et al.* Metal Micro-detector TimePix imaging synchrotron radiation beams at the ESRF Bio-Medical Beamline ID17 // *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res.* - 2012. - Vol. A682. - P. 8 - 11.
15. *Matsufuji Naruhiro, Fukumura Akifumi, Komori Masataka et al.* Influence of fragment reaction of relativistic heavy charged particles on heavy-ion radiotherapy // *Phys. Med. Biol.* - 2003. - Vol. 48. - P. 1605 - 1623.
16. *Braunn B., Labalme M., Ban G. et al.* Nuclear reaction measurements of 95 MeV/u ¹²C interactions on PMMA for hadrontherapy // *Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res.* - 2011. - Vol. B269. - P. 2676 - 2684.
17. *Gunzert-Marx K., Iwase H., Schardt D., Simon R.S.* Secondary beam fragments produced by 200 MeV/n ¹²C ions in water and their dose contributions in carbon ion radiotherapy // *New Journal of Physics.* - 2008. - Vol. 10. - P. 075003.
18. *Opalka L., Granja C., Hartmann B. et al.* Linear energy transfer and track pattern recognition of secondary radiation generated in hadron therapy beam in a PMMA target // *JINST.* - 2013. - Vol. 8. - P. C02047.
19. <http://www.opengatecollaboration.org/>
20. *Seravalli E., Robert C., Bauer J. et al.* Monte Carlo calculations of positron emitter yields in proton radiotherapy // *Phys. Med. Biol.* - 2012. - Vol. 57. - P. 1659 - 1673.
21. *Grevillot L., Frisson T., Zahra N. et al.* Optimization of GEANT4 settings for proton pencil beam scanning simulations using GATE // *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* - 2010. - Vol. B268. - P. 3295 - 3305.

Надійшла 03.12.2015
Received 03.12.2015