BRIEF REPORT

Evaluating the Photon Contamination of Beam Shaper Applicator Using Monte Carlo Simulation

Nematollah Heidarloo[1],
Hamid Reza Baghani[2],
Seyed Mahmoud Reza Aghamiri[3],
Seyed Rabi Mahdavi[4]

[1] MSc in Radiation Medicine, Faculty of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Radiation Medicine, Faculty of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[3] Professor, Department of Radiation Medicine, Faculty of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[4] Associate Professor, Department of Medical Physics, Faculty of Medicine, Iran University of Medical Science, Tehran, Iran

(Received December 14, 2015 ; Accepted June 5, 2016)

Abstract

Background and purpose: Beam shaper is a type of applicator used in conjunction with the intraoperative electron radiotherapy. This study aimed at quantitative evaluation of the photon contamination of this applicator using Monte Carlo simulation.

Materials and methods: In this experimental study, at first the head of LIAC accelerator was simulated along with the beam shaper applicator using MCNPX Monte Carlo code. Validity of the simulated model was evaluated by comparing the percentage depth dose curves obtained by Monte Carlo simulation and practical dosimetry. Finally, the photon contamination at different clinical field sizes and electron energies was quantitatively determined.

Results: The results showed that by increase in field size, the photon contamination of the beam shaper applicator was considerably decreased. Furthermore, increment of electron energy could increase the photon contamination.

Conclusion: Increasing the photon contamination at the phantom surface by increment of electron energy and decrement of field size can be attributed to increasing the probability of electron interaction with the steel blades of the beam shaper and production of bremsstrahlung radiation at higher energies. Due to the photon contamination, employing the beam shaper applicator can increase the surface dose.

Keywords: intraoperative radiotherapy, photon contamination, beam shaper applicator, Monte Carlo Simulation

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(140): 212-217 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-21]

گزارش کوتاه

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۴۰ شهریور سال ۱۳۹۵ (۲۱۷-۲۱۲)

ارزیابی آلودگی فوتونی اپلیکاتور Beam Shaper با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

نعمت الله حیدرلو[۱]
حمیدرضا باغانی[۲]
سید محمودرضا آقامیری[۳]
سید ربیع مهدوی[۴]

چکیده

سابقه و هدف: Beam Shaper نوعی اپلیکاتور مورد استفاده در رادیوتراپی حین عمل توسط الکترون است. هدف از این مطالعه بررسی کمی میزان آلودگی فوتونی ناشی از این اپلیکاتور با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه تجربی ابتدا سر شتاب دهنده LIAC به همراه اپلیکاتور Beam Shaper توسط کد مونت کارلوی MCNPX شبیه‌سازی گردید و سپس اعتبار مدل شبیه‌سازی‌شده از طریق مقایسه منحنی‌های درصد دوز عمقی حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو و دوزیمتری عملی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت میزان آلودگی فوتونی در اندازه‌های میدان و انرژی‌های مختلف به صورت کمی در سطح فانتوم آب مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این کار نشان داد که میزان آلودگی فوتونی ناشی از اپلیکاتور beam shaper با افزایش ابعاد میدان به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. به علاوه میزان آلودگی فوتونی با افزایش انرژی بیش‌تر می‌شود.

استنتاج: افزایش میزان آلودگی فوتونی در سطح فانتوم با کاهش ابعاد میدان و افزایش انرژی را می‌توان به افزایش احتمال برهم کنش الکترون با تیغه‌های فلزی اپلیکاتور و تولید تابش ترمزی در انرژی‌های بالاتر نسبت داد. استفاده از اپلیکاتور beam shaper به دلیل ایجاد آلودگی فوتونی باعث افزایش میزان دوز رسیده به سطح خواهد شد.

واژه های کلیدی: رادیوتراپی حین عمل، آلودگی فوتونی، اپلیکاتور Beam Shaper، شبیه‌سازی مونت کارلو

مقدمه

رادیوتراپی حین عمل IntraoerativeRadiotherapy (IORT) یکی از روش‌های خاص پرتودرمانی است که که با تحویل یک جلسه‌ای دوز (از مرتبه ۱۰ تا ۲۰ گری) به بستر تومور بلافاصله بعد از عمل جراحی انجام می‌شود(۱). برای پیاده‌سازی IORT می‌توان از روش‌های مختلفی شامل باریکه الکترون (Intraoperative Electron Radiation Therapy)، پرتوهای ایکس کم انرژی (Low-KV IORT) و هم‌چنین چشمه‌های پرتوزا با فعالیت بالا (HDR-IORT) (۲) استفاده نمود. شتاب دهنده اختصاصی LIAC (Sordina، ایتالیا) یکی از مهم‌ترین شتاب دهنده‌های مورد استفاده در IOERT می‌باشد(۴،۳). یکی از

مولف مسئول: حمیدرضا باغانی- تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه پرتوپزشکی E-mail:hamidreza.baghani@gmail.com
۱. کارشناسی ارشد پرتوپزشکی، دانشکده مهندسی هسته ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه پرتوپزشکی، دانشکده مهندسی هسته ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استاد، گروه پرتوپزشکی، دانشکده مهندسی هسته ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. دانشیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۴/۹/۲۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۴/۱۰/۵ تاریخ تصویب : ۱۳۹۵/۳/۱۶

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-21]

اپلیکاتورهای مورداستفاده با این شتاب دهنده، اپلیکاتور beam shaper می‌باشد(۵). به دلیل استفاده از تیغه‌های فلزی در انتهای این اپلیکاتور به منظور تولید میدان‌های مربعی ومستطیلی، احتمال‌آلودگی فوتونی باریکه الکترون در اثر برخورد الکترون‌ها به تیغه فلزی و تولید تابش ترمزی وجود دارد. هدف از این مطالعه استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو جهت ارزیابی‌کمی میزان آلودگی فوتونی ناشی از این اپلیکاتور در میدان‌های بالینی و انرژی‌های مختلف می‌باشد.

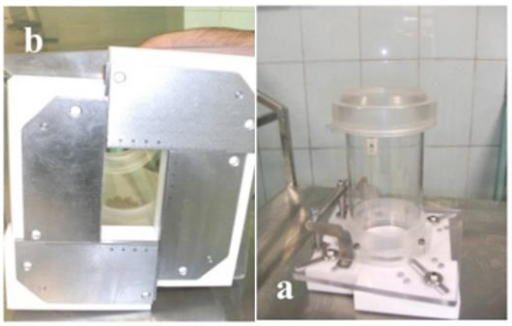
مواد و روش ها

شتاب دهنده اختصاصی رادیوتراپی حین عمل LIAC

در مطالعه تجربی و شبیه‌سازی حاضر از شتاب‌دهنده رادیوتراپی حین عمل LIAC مدل ۱۲ MeV استفاده شد. این مدل قادر به تولید باریکه الکترون با انرژی‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ MeV می‌باشد(۶). قابلیت حرکت سر شتاب دهنده در راستای عمودی به اندازه۱۰۰ cm، چرخش سر شتاب‌دهنده به چپ و راست (roll angle) به‌اندازه ۶۰± درجه و چرخش سر شتاب دهنده در راستای عرضی (pitch angle) با زوایای ۳۰ و ۱۵ درجه (به ترتیب به سمت خارج و داخل بدنه شتاب دهنده) از قابلیت‌های این سیستم است(۶). این شتاب دهنده برای پهن کردن باریکه الکترون به یک فویل پراکنده ساز آلومینیومی باضخامت ۸۲۰ µm مجهز است که علت اصلی استفاده از فویل آلومینیومی کاهش میزان آلودگی نوترونی در انرژی‌های بالا می‌باشد(۷).

اپلیکاتور Beam Shaper

اپلیکاتور beam shaper از چهار تیغه تشکیل‌شده است که دوبه‌دو به‌صورت کشویی باز و بسته می‌شوند. حرکت تیغه‌ها وابسته به یکدیگر بوده و تیغه‌های موازی به‌صورت هم زمان حرکت می‌کنند. این تیغه‌ها از دو لایه شامل (Polytetrafluoroethylene) (تفلون) با ضخامت ۲۶ mm و فولاد زنگ نزن (استیل) با ضخامت ۸ mm ساخته شده است. قسمت استوانه‌ای شکل اپلیکاتور از جنس پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) با ضخامت ۵ mm و طول ۲۵ cm ساخته شده است. ابعاد این اپلیکاتور برابر $۲۱۰\times۲۵۰\times۲۵۰\ mm^3$ می‌باشد(۵). نمایی از این اپلیکاتور و قسمت‌های مختلف آن در تصویر شماره نشان داده شده است.



تصویر شماره ۱: (a) نمایی از اپلیکاتور beam shaper که بخش استوانه ای در بالا و بخش تیغه های شکل دهنده میدان در پایین اپلیکاتور واقع شده است، (b) نمای اپلیکاتور از پایین که تیغه‌های فلزی در آن تعبیه‌شده است

شبیه‌سازی مونت‌کارلو

و اپلیکاتور LIACبرای شبیه‌سازی سر شتاب‌دهنده نسخه MCNPX۲/۶ از کد مونت‌کارلوی beam shaper استفاده شد. نمای دو بعدی و سه بعدی از مدل شبیه‌سازی beam shaper به همراه اپلیکاتور LIACشده شتاب دهنده متصل به آن در

تصویر شماره آمده است. برای محاسبه منحنی‌های درصد دوز عمقی (PDD) باریکه الکترون حاصل از اپلیکاتور beam shaper در میدان‌های مربعی ۴×۴، ۶×۶ و $۸\times۸\ cm^2$ و به ازای تمام انرژی‌های اسمی شتاب دهنده LIAC (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ MeV) از یک سری سلول استوانه‌ای به قطر ۵ mm و ضخامت ۲ mm در داخل فانتوم آب استفاده شد.

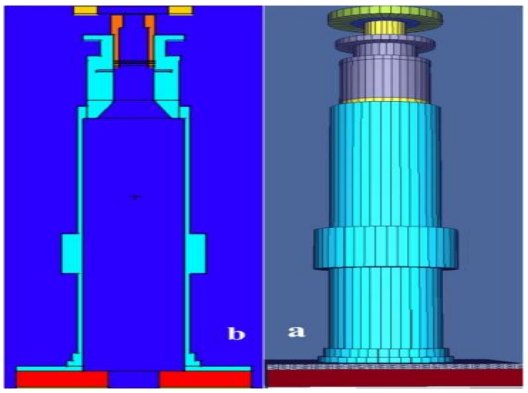
دوزیمتری عملی

برای اندازه‌گیری عملی منحنی درصد دوز عمقی در beam shaperباریکه الکترون حاصل از اپلیکاتور

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-21]

میدان‌ها و انرژی‌های مذکور از تکنیک دوزیمتری یونی Semifelx و Advanced Markusتوسط اتاقک‌های یونش استفاده شد(۷). نمایی از چیدمان دوزیمترهای مورد استفاده در اندازه‌گیری منحنی‌های درصد دوز عمقی در داخل فانتوم آب در

تصویر شماره نشان داده شده است.



تصویر شماره ۲: مدل شبیه سازی شده از اپلیکاتور beam shaper: (a) نمای سه بعدی، (b) نمای دو بعدی



تصویر شماره ۳: (a)دوزیمتر میدان Advanced Markus، (b)دوزیمتر مرجع Semiflex جهت کنترل تغییرات خروجی شتاب دهنده، (c) قرارگیری اپلیکاتور beam shaper در سطح فانتوم آب

اعتبار سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی مونت کارلو

برای اعتبارسنجی مدل شبیه سازی شده، منحنی‌های درصد دوز عمقی حاصل از شبیه سازی با نتایج متناظر عملی مورد مقایسه قرار گرفتند. این مقایسه به صورت کمی و از طریق به کارگیری تحلیل گاما با معیارهای درصد اختلاف دوز و فاصله تا توافق به ترتیب ۳ درصد و ۳ mm انجام شد(۸).

ارزیابی آلودگی فوتونی

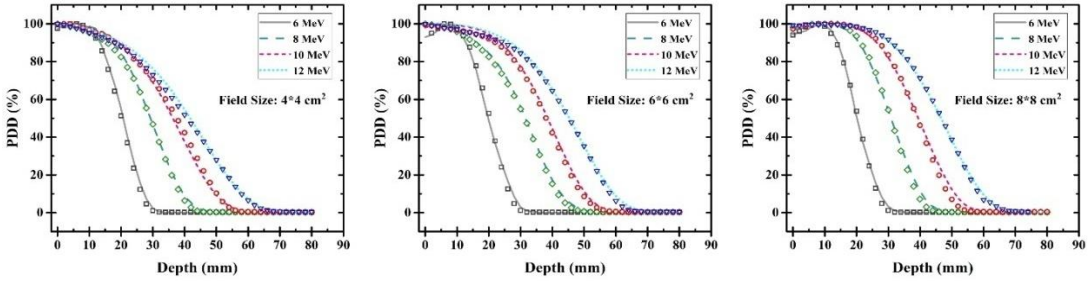
برای بررسی آلودگی فوتونی مربوط به میدان‌های بالینی مختلف حاصل از اپلیکاتور beam shaper شامل میدان‌های ۱×۱ تا $10\times10 cm^2$ در انرژی‌های مختلف ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ MeV باریکه الکترون شتاب دهنده LIAC، میزان مشارکت فوتون‌ها در میزان دوز رسیده به سطح فانتوم به صورت کمی و از طریق به‌کارگیری تالی استاندارد F4 محاسبه شد.

یافته ها و بحث

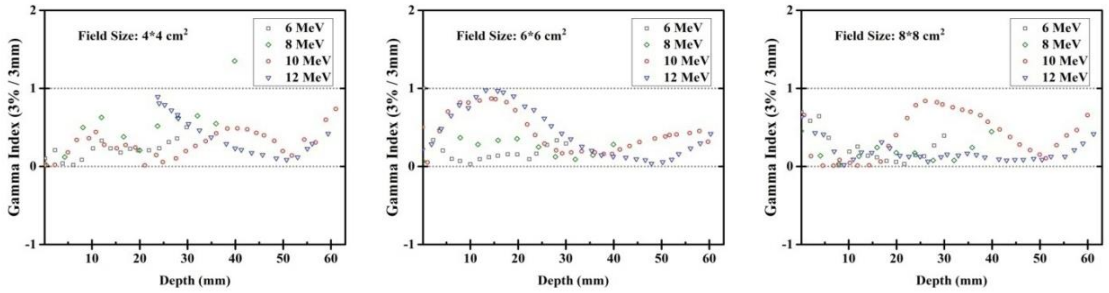
نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو در محاسبه منحنی‌های درصد دوز عمقی در

تصویر شماره و به‌صورت شکل‌های هندسی توخالی نشان داده شده است. خطوط مشخص شده در این تصویر نیز نشان‌دهنده نتایج حاصل از دوزیمتری عملی توسط اتاقک یونش می‌باشند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت‌کارلو و دوزیمتری عملی از توافق قابل قبولی برخوردارند. مقایسه‌کمی اختلاف نتایج توسط تحلیل گاما نیز صحت این ادعا را مورد تائید قرار می‌دهد(تصویر شماره).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-21]

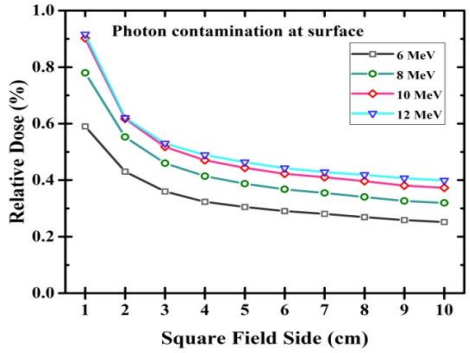


تصویر شماره ۴: منحنی های درصد دوز عمقی حاصل از شبیه سازی مونت‌کارلو (شکل های توخالی) و اندازه گیری عملی (خطوط توپر) در انرژی‌ها و ابعاد میدان مختلف



تصویر شماره ۵: مقادیر شاخص گاما به تفکیک انرژی در عمق ها و میدان های تابش مختلف

نتایج مربوط به میزان دوز ناشی از آلودگی فوتونی در سطح فانتوم آب در میدان‌ها و انرژی‌های مختلف در تصویر شماره نشان داده‌شده است. قابل‌ذکر است که مقادیر دوز ناشی از آلودگی فوتونی بر حسب درصد بیشینه دوز در امتداد محور بالینی باریکه الکترون در انرژی و ابعاد میدان متناظرگزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با کاهش ابعاد میدان در یک انرژی مفروض میزان آلودگی فوتونی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. با کاهش ابعاد میدان بخشی از تیغه‌های فلزی مورد استفاده در اپلیکاتور beam shaper که در مقابل باریکه الکترون قرار می‌گیرد، افزایش و به تبع آن میزان فوتون‌های تابش ترمزی تولید شده و آلودگی فوتونی متناظر با آن افزایش می‌یابد. به همین ترتیب با افزایش ابعاد میدان به دلیل خارج شدن بخش بیش‌تری از تیغه‌های فلزی از معرض باریکه الکترون فرودی، میزان آلودگی فوتونی کاهش می‌یابد. به علاوه با افزایش انرژی در یک میدان تابشی مفروض، میزان آلودگی فوتونی افزایش می‌یابد. به طور کلی احتمال تولید تابش ترمزی با افزایش انرژی الکترون فرودی افزایش می‌یابد. بنابراین با افزایش انرژی الکترون میزان تابش ترمزی حاصل از برهمکنش باریکه با تیغه‌های فلزی beam shaper افزایش یافته و به دنبال آن میزان آلودگی فوتونی افزایش می‌یابد.



تصویر شماره ۶: درصد دوز نسبی ناشی از آلودگی فوتونی در سطح فانتوم برای میدان‌های مربعی^{2}۱×۱cm تا ^{2}۱۰×۱۰cm در انرژی‌های مختلف

در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که استفاده از اپلیکاتور beam shaper در رادیوتراپی حین عمل، میزان دوز رسیده به سطح را افزایش خواهد داد که این افزایش به دلیل مشارکت آلودگی فوتونی حاصل از این اپلیکاتور در میزان دوز رسیده به سطح است. البته باید خاطرنشان کرد که میزان

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-21]

مشارکت آلودگی فوتونی در میزان دوز رسیده به سطح در بیش‌ترین حالت در حدود ۱ درصد است (تصویر شماره ۶)، اما با توجه به تحویل دوزهای بسیار بالا در رادیوتراپی حین عمل، میزان دوز ناشی از آلودگی فوتونی حاصل از اپلیکاتور beam shaper می‌تواند به لحاظ بالینی حائز اهمیت باشد.

References

1. Willett CG, Czito BG, Tyler DS. Intraoperative radiation therapy. J Clin Oncol 2007; 25(8): 971-977.
2. Sztankay A. Importance of intraoperative radiation therapy in the treatment of soft tissue sarcoma: data at hand. Memo-Magazine of European Medical Oncology 2014; 7(3): 172-176.
3. Baghani HR, Aghamiri SM, Mahdavi SR, Robatjazi M, Zadeh AR, Akbari ME, et al. Dosimetric evaluation of Gafchromic EBT2 film for breast intraoperative electron radiotherapy verification. Phys Med 2015; 31(1): 37-42.
4. Robatjazi M, Mahdavi SR, Takavr A, Baghani HR. Application of Gafchromic EBT2 film for intraoperative radiation therapy quality assurance. Phys Med 2015; 31(3): 314-319.
5. Soriani A, Iaccarino G, Felici G, Ciccotelli A, Pinnarò P, Giordano C, et al. Development and optimization of a beam shaper device for a mobile dedicated IOERT accelerator. Med Phys 2012; 39(10): 6080-6089.
6. Iaccarino G, Strigari L, D'Andrea M, Bellesi L, Felici G, Ciccotelli A, et al. Monte Carlo simulation of electron beams generated by a 12 MeV dedicated mobile IORT accelerator. Phys Med Biol 2011; 56(14): 4579-4596.
7. Baghani HR, Aghamiri SM, Mahdavi SR, Akbari ME, Mirzaei HR. Comparing the dosimetric characteristics of the electron beam from dedicated intraoperative and conventional radiotherapy accelerators. J Appl Clin Med Phys 2015; 16(2): 5017.
8. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. Med Phys 1998; 25(5): 656-661.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-21]