

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОЛОСТЕЙ МЕЖДУ БОЛЮСОМ И КОЖЕЙ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ДОЗУ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКАМИ ФОТОНОВ

А.И. Поподько, А.П. Черняев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

При использовании болюса в лучевой терапии возможно возникновение воздушных полостей между болюсом и кожей пациента, что может привести к ухудшению качества лечения. В настоящей работе исследована зависимость изменения поверхностной дозы для пучков тормозных фотонов с максимальными энергиями 6 и 10 МэВ для полостей толщиной 2, 5, 7 и 10 мм. Показано, что для поля 5×5 см полости больше 5 мм оказывают существенное влияние на уменьшение дозы от обоих пучков – от 2,2 до 9 % для энергии 6 МэВ и от 2,2 до 8,9 % для 10 МэВ. Поля больше 10×10 см, зависят от увеличения полости менее выражено, и при толщине 1 см уменьшение дозы составляет от 2,2 до 3,9 % и от 2,7 до 4 % для 6 и 10 МэВ. Снижение поверхностной дозы при моделировании полостей для пучков без выравнивающего фильтра для обеих энергий было в среднем на 1,3 % больше, чем для обычных пучков. При увеличении угла падения пучка разница в дозе, по сравнению с нормально падающим пучком, увеличивается на 2–3 % при угле 60° и энергии 6 МэВ. Таким образом, суммарное уменьшение поверхностной дозы может достичь 10–12 %, что следует учитывать при планировании облучения опухоли.

Ключевые слова: лучевая терапия, поверхностная доза, болюс, воздушные полости, Монте-Карло моделирование

Введение

В лучевой терапии при лечении рака молочной железы, области голова–шея или других областей, прилегающих к поверхности тела человека, в некоторых случаях требуется использование болюса для достижения оптимального изодозного распределения в объеме мишени. Это необходимо при наличии риска возникновения рецидива в поверхностной области облучения. Кожа, в зависимости от участка расположения, может составлять в толщине 0,5–5 мм. Так, дерма с располагающимися в ней кровеносными и лимфатическими сосудами, потовыми железами и нервными окончаниями находится на глубине до 4–5 мм [1]. Именно эти 4–5 мм кожного покрова как раз оказываются “пощажены” вследствие одно-

именного эффекта при облучении фотонами 6 МВ и более без использования болюса [2].

Обычно контур поверхности тела пациента не всегда позволяет расположить болюс без возникновения в некоторых местах зазора между ним и кожей пациента. Такие воздушные полости могут снижать поверхностную дозу и дозу в коже пациента, тем самым повышая вероятность рецидива в определенных случаях. В работах [3, 4] была экспериментально показана обратная зависимость поверхностной дозы от размера полости для зазоров от 0,5 до 5 см и нескольких типов полей. Khan et al. [3] экспериментально показали падение дозы для полей 5×5 см на 34 % и 30 % для излучений 6 и 10 МВ соответственно при толщине зазора в 5 см. Для полей, больших 15×15 см, авторы указывают на более слабую зависимость от

размеров полости, и, например, для 5 см падение дозы не превысило 6 %. Butson et al. [4] в своем исследовании для фотонов 6 МВ показали, что при зазоре в 4 мм поверхностная доза уменьшится на 0–4 % в зависимости от поля, а для 1 см разница может достигать 10 %.

Материал и методы

В настоящей работе рассматривается влияние полостей с линейными размерами 2, 5, 7 и 10 мм между болусом и водным фантомом на поверхностную дозу для пучков тормозных фотонов с максимальными энергиями 6 и 10 МэВ. В программном комплексе Geant были смоделированы болус толщиной 10 мм и водный фантом с размерами 0,5×0,5×1,0 м. Также, по спецификациям производителя аппарата Varian, были смоделированы верхние и нижние шторки коллиматора для формирования полей 5×5, 10×10, 15×15 и 10×20 см, с учетом рассеяния первичных фотонов на краях шторок. В качестве моделей пучков использовались файлы фазовых пространств аппарата Varian Truebeam, содержащие 3×10^8 фотонов с тормозным спектром. Фазовые пространства излучений 6 и 10 МВ для стандартного пучка и пучка без выравнивающего фильтра (Flattening Filter Free, FFF) были смоделированы методом Монте-Карло компанией Varian в программном комплексе Geant и записаны в файлы в формате МАГАТЭ (International Atomic Energy Agency, IAEA) [5]. Данные для этих файлов записываются в плоскости, располагающейся перед верхними шторками коллиматора (рис. 1). Поверхностная доза рассчитывалась как доза внутри вокселя с линейными размерами 10×10×0,1 мм, который был расположен на центральной оси пучка на глубине 0,4 мм от поверхности водного фантома. Расстояние источник-поверхность фантома составляло 100 см.

Результаты и обсуждение

Каждая кривая была нормирована на референсное значение дозы на поверхности фантома при отсутствии полости, то есть при расстоянии болус – поверхность, равному нулю. В результате проведенного исследования было показано согласие между теоретическим моделированием и экспериментами в работах [3, 4], где были рассмотрены зависимости поверхностной дозы от размеров полости, поля и типа

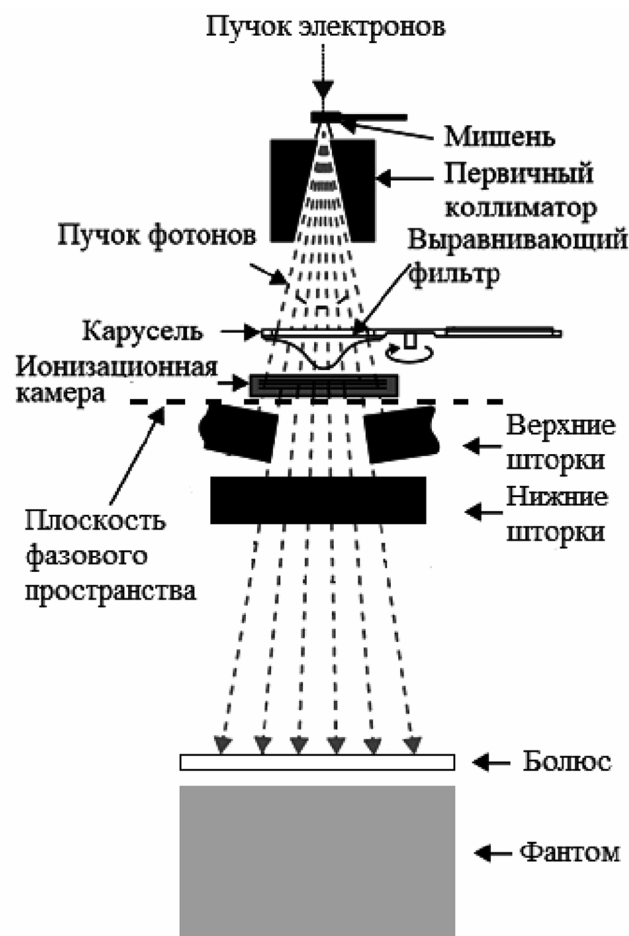


Рис. 1. Принципиальная схема модели

энергии, а также от угла падения пучка. Данные зависимости для нормально падающих пучков фотонов 6 МВ с выравнивающим фильтром и без него представлены на рис. 2. Наибольшее проявление данной зависимости выражено для небольших полей (менее 10 × 10 см) в частности для полости в 1 см при максимальной энергии 6 МэВ и поля 5×5 см разница достигает 9,0 % для обычного пучка и 9,7 % для пучка без выравнивающего фильтра соответственно. В то время как для больших полей в зависимости от размеров поля она достигает 2,0–3,9 % для обычного пучка и 3,6–5,4 % для пучка без выравнивающего фильтра.

Для пучков фотонов 10 МВ зависимости выглядят аналогично и показаны на рис. 3. Зависимость, так же как и для излучения 6 МВ, ярко выражена для небольших полей. В частности, для поля 5×5 см с полостью в 1 см

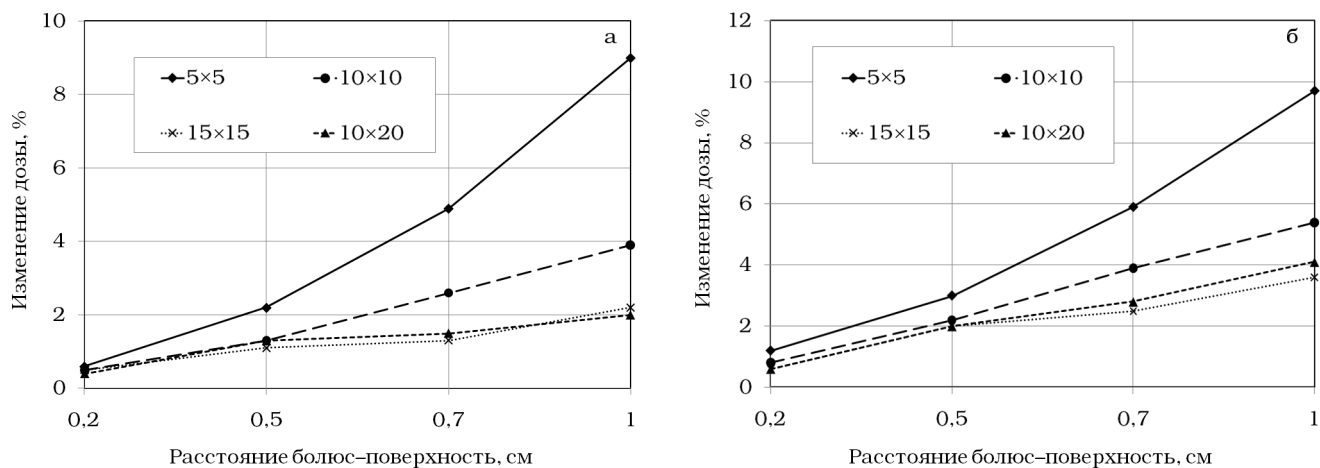


Рис. 2. Зависимость разницы в дозе от величины полости для различных полей пучков фотонов 6 МВ (А – стандартный, Б – без выравнивающего фильтра)

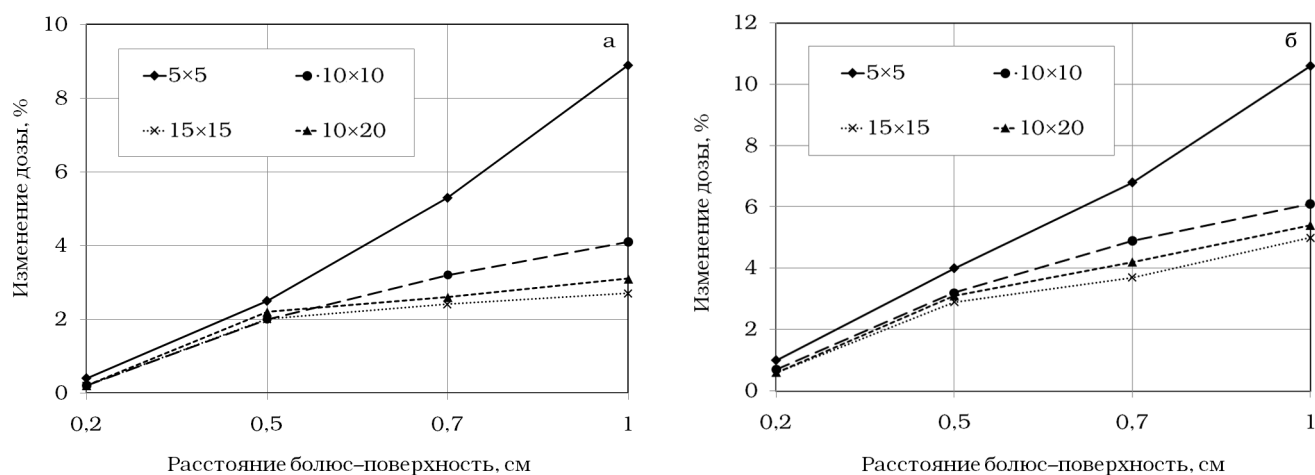


Рис. 3. Зависимость разницы в дозе от величины полости для различных полей пучков фотонов 10 МВ (А – стандартный, Б – без выравнивающего фильтра)

разница в дозе достигает 8,9 % для обычного пучка и 10,6 % для пучка без сглаживающего фильтра соответственно. В то время как для полей больших, чем 10×10 см, в зависимости от размеров поля она достигает 2,7–4,1 % для обычного пучка и 5–6,1 % для пучка без выравнивающего фильтра.

При исследовании зависимости изменения дозы от угла наклона гантри также было выявлено незначительное влияние воздушных полостей толщиной до 0,5 см. В этом случае, с увеличением угла падения пучка разница в дозе практически не изменялась. Для полостей, чья толщина превышает 0,5 см, эта разница более существенна. При моделировании

прохождения пучка фотонов 6 МВ наблюдается рост разницы дозы с 9 % при нулевом положении гантри до 12 % при наклоне в 60° для поля 5×5 см и толщине воздушной прослойки в 1 см. Для той же энергии и поля 10×10 см разница увеличивается 3,9 % до 5,4 % при изменении угла падения с 0° до 60°. Соответствующие зависимости изменения дозы от угла наклона гантри для различных полостей представлены на рис. 4.

Также были получены аналогичные зависимости для пучка фотонов 6 МВ без выравнивающего фильтра, которые показаны на рис. 5. В данном случае влияние полостей с толщиной до 0,5 см также не представляет

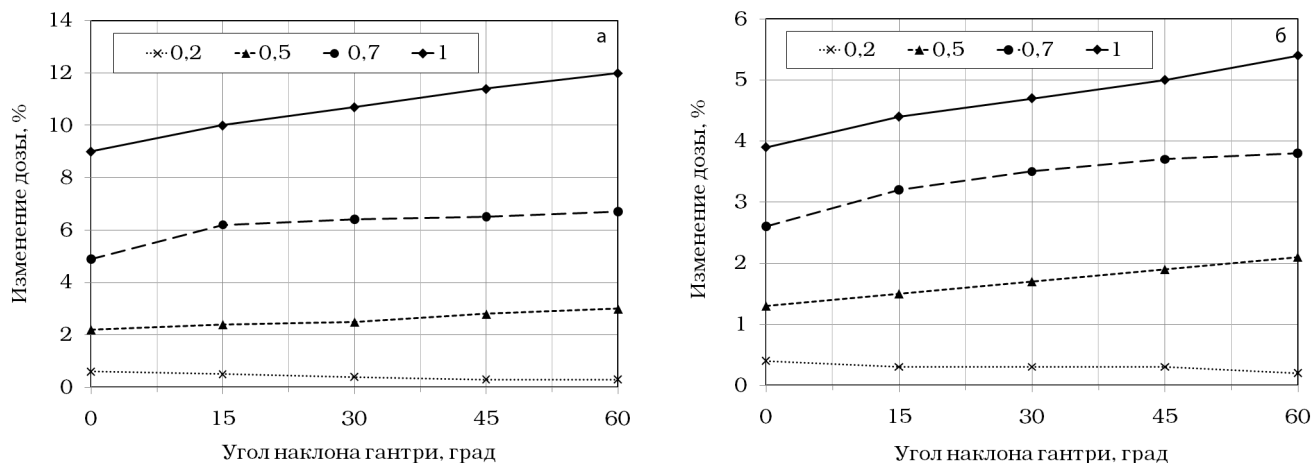


Рис. 4. Зависимость разницы в дозе от угла наклона гантри для различных полостей для фотонов 6 МВ (А – поле 5×5 см, Б–10×10 см)

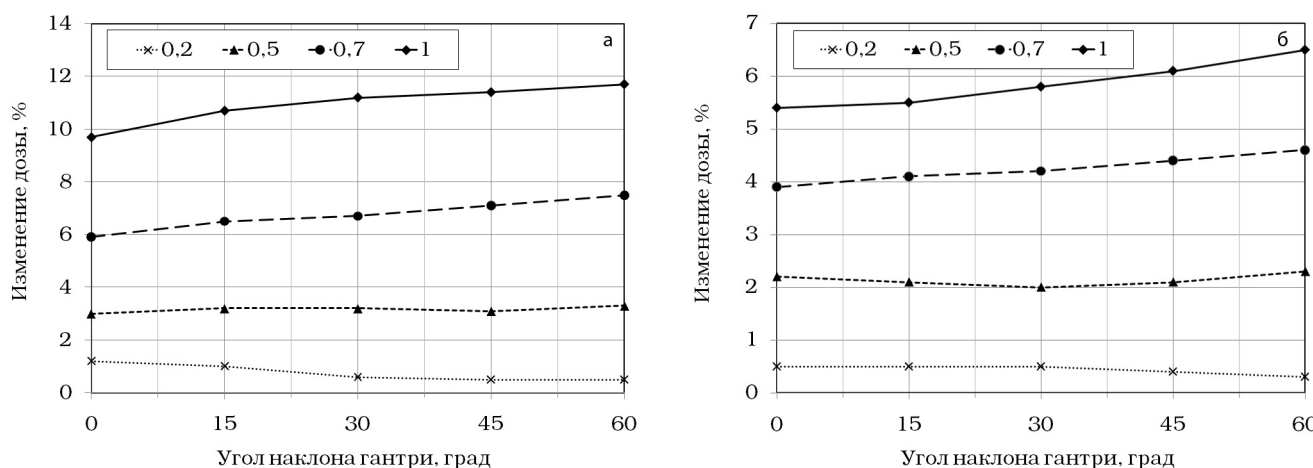


Рис. 5. Зависимость разницы в дозе от угла наклона гантри для различных полостей для фотонов 6 МВ без выравнивающего фильтра (А – поле 5×5 см, Б–10×10 см)

значимости, в то время как с большей толщиной – рост разницы поверхностной дозы схож с зависимостью для обычного пучка 6 МВ. Для поля 5×5 см и толщине воздушной прослойки 1 см наблюдается возрастание изменения дозы с 9,7 % при нормальном падении пучка до 11,7 % при наклоне пучка в 60°. В свою очередь, для поля 10×10 см – с 5,4 % до 6,5 % при изменении угла падения с 0° до 60° соответственно.

Такое выраженное падение дозы с возникновением и увеличением воздушной полости между болюсом и поверхностью фантома в первую очередь связано с тормозным спектром рассматриваемых пучков фотонов с макси-

мальными энергиями 6 и 10 МэВ. Кроме того, определенный вклад вносят вторичные частицы небольшой энергии, образующиеся в результате рассеяния первичных фотонов на различных элементах ускорителя, например, на мишени, на ионизационной камере, шторках коллиматора и т.д. Проходя через болюс толщиной 1 см, фотоны с недостаточной энергией будут либо полностью поглощаться в болюсе, либо породят вторичные частицы, которые, в свою очередь, могут рассеиваться в воздушной прослойке, таким образом, не принося вклад в поверхностную дозу.

Для полей, больших 10×10 см, влияние воздушной полости ниже, чем для меньших,

что связано с рассеянием первичных фотонов на стенках шторок коллиматора, что прекрасно видно на рис. 2–5. Сравнивая полученные результаты для обычных пучков и пучков без выравнивающего фильтра, можно заметить, что разница в дозе больше для второго типа пучков в среднем на 1,3 %. Это может быть связано с тем, что выравнивающий фильтр поглощает низкоэнергетические фотоны, причем особенно сильно в центре пучка ввиду своей иррегулярной формы. И хотя при взаимодействии пучка первичных фотонов с фильтром образуются вторичные частицы, большинство из них поглощается специальной рассеивающей фольгой. Наконец, влияние угла падения пучка возникает из-за увеличения эффективного расстояния пробега частиц в болусе, следующего из простых геометрических соображений. С увеличением угла разница в среднем увеличивается также до 2–3 %. В конечном итоге, в самых худших случаях разница в поверхностной дозе может достигать 10–12 %, что, несомненно, следует учитывать при планировании облучения.

Заключение

Таким образом, при проведении лучевой терапии с использованием болуса особое внимание следует уделять наличию воздушных полостей в случае локализации в области голова-шея и небольших размеров облучаемого объема при неспецифических локализациях. При таких условиях доза на поверхности кожи

пациента в самом худшем случае может составить около 90 % от предписанной. Тем не менее, в большинстве случаев (например, молочная железа), локализация и геометрические параметры мишени будут требовать полей больших, чем 10×10 см. Снижение поверхностной дозы в таких случаях при толщине полости в 10 мм может достигать 3–5 % в зависимости от угла наклона гантри. Такая разница в дозе не оказывает значительного влияния на эффективность облучения опухоли крупных размеров.

Список литературы

1. Гаврилов Л.Ф., Татаринцов В.Г. Анатомия. – М.: Медицина. 1986. 368 с.
2. Khan F.M., Gerbi B.J. Treatment Planning in Radiation Oncology. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 5 ed. 2014.
3. Khan Y., Villarreal-Barajas J.E., Udowicz M. Clinical and dosimetric implications of air gaps between bolus and skin surface during radiation therapy // J. Cancer Ther. 2013. Vol. 4. № 7. P. 1251–1255.
4. Butson M.J., Cheung T., Yu P., Metcalfe P. Effects on skin dose from unwanted air gaps under bolus in photon beam radiotherapy // Radiat. Meas. 2000. Vol. 32. № 3. P. 201–204.
5. Constantin M., Perl J., LoSasso T. Modeling the TrueBeam linac using a CAD to Geant4 geometry implementation: dose and IAEA-compliant phase space calculations // Med. Phys. 2011. Vol. 38. P. 4018–4024.

THE INFLUENCE OF AIR GAPS BETWEEN BOLUS AND SKIN ON SURFACE DOSE FOR THERAPEUTIC PHOTON BEAMS MODELING

A.I. Popodko, A.P. Chernyaev

M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

In radiotherapy unwanted air gaps can occur between bolus and patient skin surface that can lead to deterioration in the quality of treatment. Surface dose reduction for normally and obliquely incident 6 and 10 MV photon beams in the presence of air gaps of 0.2 to 10 mm thickness was investigated. For a field of 5×5 cm air gaps larger than 5 mm exert a strong influence on the dose reduction for both energies from 2.2 to 9.0 % depending on the air gap thickness for 6 MV and from 2.2 to 8.9 % for 10 MV. Fields greater than 10×10 cm are less affected by increasing air gaps thickness. For a 1 cm air gap depending on the field size dose reduction is from 2.2 to 3.9 % and from 2.7 to 4.0 % for 6 MV and 10 MV photon beams respectively. For a flattened free filter beams surface dose reduction is higher than for a flattened beams by 1.3 % in average. Increasing obliquity angle increases surface dose reduction on average by 2–3 % with respect to the normally incident beam. Thus the total reduction in the surface dose can reach 10–12 % which is definitely should be taken into consideration in treatment planning.

Key words: *radiotherapy, surface dose, bolus, air gaps, Monte-Carlo modeling*

E-mail: popodjko.aleksey@physics.msu.ru