

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХ ЦВЕТОВЫХ КАНАЛОВ ПРИ ДОЗИМЕТРИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОХРОМНЫХ ПЛЕНОК

Е.В. Кузнецова, Т.Е. Понежа, Т.Н. Бочкарева  
Российский научный центр радиологии  
и хирургических технологий Минздрава РФ,  
Санкт-Петербург

Рассмотрена возможность применения трехканального метода дозиметрии с использованием всех каналов RGB-изображений для радиохромных пленок Gafchromic EBТЗ при проверке планов лучевой терапии с модулированной интенсивностью (ЛТМИ). Сравнивались данные дозиметрии для трехканального метода, классического метода с использованием красного канала и расчеты, полученные в планирующей системе. Анализировались тесты, рекомендованные документом ААРМ TG 119, а также индивидуальные планы лучевой терапии. Было получено, что для ряда образцов результаты анализа распределения гамма-индекса практически не отличались, однако в некоторых случаях трехканальный метод позволял увеличить количество точек, прошедших гамма-анализ, на 50 % по сравнению с методом определения дозы только по красному каналу. В результате проделанной работы сделан вывод, что трехканальный метод может рассматриваться как стандартная процедура для проведения пленочной дозиметрии.

Ключевые слова: радиохромные пленки, трехканальный метод пленочной дозиметрии, ЛТМИ, проверка индивидуальных планов

### Введение

Пленочная дозиметрия – базовый метод получения двумерных дозовых распределений для проверки планов лучевой терапии с модулированной интенсивностью (ЛТМИ), а также для контроля качества линейного ускорителя. Самопроявляющиеся пленки Gafchromic EBТЗ являются удобным инструментом для комплексной проверки дозы, т.к. они тканеэквивалентны, обладают высоким пространственным разрешением и слабой энергетической зависимостью дозовой чувствительности [1]. Кроме того, благодаря возможности нарезки, их можно ориентировать в фантоме в любом положении, что дает возможность использовать пленки для различных клинических ситуаций и задач.

Традиционно, при работе с пленками Gafchromic использовался метод, в котором с отсканированного RGB-изображения считывались показания только от красного канала. Далее к нему применялись данные калибровки, и, таким образом, получалось дозовое распределение. Ряд работ [1, 4] указывает на различные сложности, связанные с пленочной дозиметрией. При сканировании с помощью планшетного сканера на изображении могут проявляться различные артефакты, такие как увеличение оптической плотности на краях изображения за счет неоднородности свечения лампы, а также артефакты, связанные с неравномерностью толщины пленки и неравномерностью нанесения активного слоя [1].

Несколько лет назад A. Micke, D. F. Lewis and X. Yu предложили новый метод получения

дозы для пленок Gafchromic с использованием всех трех каналов RGB-изображения [1]. Согласно описанию, он позволяет улучшить точность пленочной дозиметрии, разделив значение отклика сканера на зависящую и не зависящую от дозы составляющие.

В данной работе представлено использование метода трехканальной дозиметрии, описанного в [1], для введения в эксплуатацию системы дозиметрического планирования Monaco по рекомендациям документа AAPM TG 119 [2] и проверки индивидуальных планов.

## Материал и методы

### Дозиметрическое оборудование и программное обеспечение

Облучение проводилось на линейном ускорителе Elekta Axesse, для получения двумерных дозовых распределений использовалась пленка Gafchromic EBT3. Для построения калибровочной кривой лист пленки (25×20 дюймов) разрезался на 8 равных частей. Каждая часть помещалась в наборный пластинчатый фантом SP34 (IBA) на глубину 5 см и облучалась полем 10,4×10,4 см на РИП 100 см. Перед облучением пленки доза в тех же условиях была измерена ионизационной камерой FC65G (IBA), точки для калибровочной кривой были получены в диапазоне от 0 до 3,5 Гр.

При облучении пленки для проверки индивидуальных планов использовались фантомы SP34 и фантом ГmRT фирмы IBA, имитирующий туловище и область головы-шеи (H&N куб).

Сканирование пленки осуществлялось спустя 2,5 ч после облучения на сканере Epson V700 при разрешении 75 пикселей на дюйм (dpi), цветовая модель / палитра RGB, глубина цвета 48 бит. Изображения сохранялись в графическом формате tiff.

Для обработки и анализа данных использовалось программное обеспечение MatLabR 2010a, OriginPro 8.1 и OmniPro ГmRT v1.7 (IBA).

Расчеты производились в системе дозиметрического планирования Monaco©CMS 3.2.

### Трехканальная дозиметрия

При реализации метода, предложенного в [1], значение отклика сканера, выраженное оптической плотностью, разделяют на две части:

зависящую и не зависящую от дозы. Не зависящая от дозы составляющая включает в себя возмущения значений оптической плотности, связанные с неравномерностью толщины листа пенки и неравномерностью нанесения активного слоя, латеральными артефактами и неточностью позиционирования пленки при сканировании.

При реализации этого метода дозовая калибровка проводилась одновременно по трем каналам: красному (R), зеленому (G) и синему (B). Отклик каждого канала  $X=\{R,G,B\}$  преобразовывался в значение оптической плотности:

$$d_x = -\lg(X/2^{16}). \quad (1)$$

Для аппроксимации калибровочной кривой использовалась функция вида:

$$\bar{d}_x(D) = -\ln\left(\frac{a+bD}{c+D}\right), \quad (2)$$

где  $D$  – доза, Гр,  $\bar{d}_x(D)$  – усредненная оптическая плотность,  $a, b, c$  – коэффициенты, подбираемые при аппроксимации.

При определении дозы с использованием только одного канала сложность интерпретации заключается в том, что значение отклика сканера в конкретном пикселе не равно калибровочному усредненному значению, так как существует “возмущение”  $\Delta X$  (неравномерность толщины пленки, артефакты сканера и т.д.), которое вызывает “нежелательную” дозу  $\Delta D$ .

Значение оптической плотности каждого из трех каналов  $X=\{R,G,B\}$  для изучаемой пленки, согласно закону Бугера–Ламберта–Бера [1], можно записать:

$$d_{x,scan} = \bar{d}_x(D) \times \Delta d, \quad (3)$$

где  $d_{x,scan}$  – значение, полученное при сканировании,  $\bar{d}_x(D)$  – усредненное калибровочное значение,  $\Delta d$  – “возмущение” канала, не зависящее от дозы.

Тогда,

$$\Delta d(X) = d_{x,scan} / \bar{d}_x(D). \quad (4)$$

Для того чтобы определить значение дозы, строилась целевая функция [5]:

$$(\Delta d_R - \Delta d_B)^2 + (\Delta d_B - \Delta d_G)^2 + (\Delta d_G - \Delta d_R)^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Искомое значение дозы  $D$  оптимизировалась таким образом, чтобы значение выражения (5) было минимальным.

### Результаты

Приведенный метод использовался в ходе внедрения в клиническую практику ЛТМИ, а также для проверки индивидуальных планов лучевой терапии. Во время подготовительного периода проводилось тестирование комплекса “ускоритель – система дозиметрического планирования” согласно документу AAPM TG 119 [2]. В этом документе предлагается серия тестов, в том числе включающих измерения дозы в точке ионизационной камерой и измерения двумерных дозовых распределений с помощью пленок. Благодаря обширным данным, полученным во время тестирования, у нас была возможность проверить потенциал нового метода пленочной дозиметрии.

Максимальное расхождение дозы, полученной с помощью ионизационной камеры, и расчетных значений системы дозиметрического планирования Monaco было менее 2,5 %, поэтому в качестве референсных значений для оценки результатов пленочной дозиметрии мы использовали расчетные данные.

На рис. 1 представлены полученные калибровочные кривые, аппроксимированные с помощью функции (2):  $d_xR(D)$ ,  $d_xG(D)$ ,  $d_xB(D)$ .

На рис. 2–4 представлены примеры дозовых профилей, полученных с помощью пленочной дозиметрии для трехканального метода красного канала, а также рассчитанные в системе дозиметрического планирования Monaco.

На рис. 2 показаны результаты теста P1 из TG119, представляющего собой два

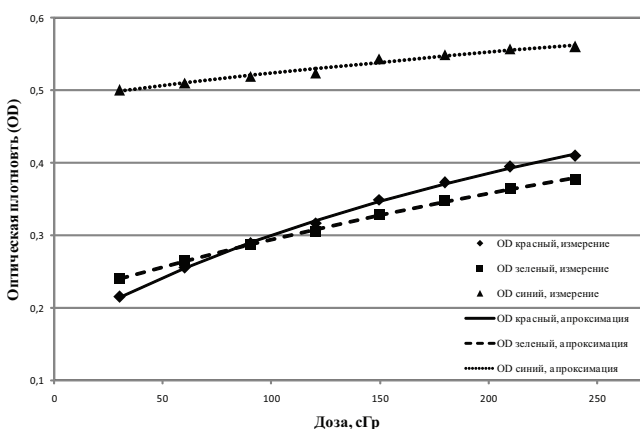


Рис. 1. Калибровка значения дозы в зависимости от оптической плотности для трех каналов RGB

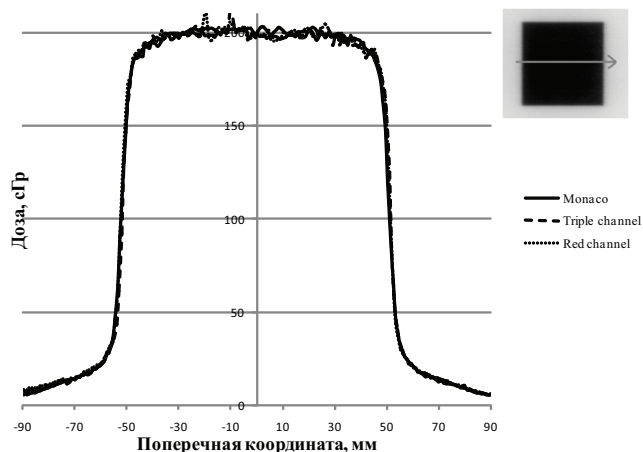


Рис. 2. Дозовые профили, полученные для изоцентрической линии 2D распределения теста P1 TG119

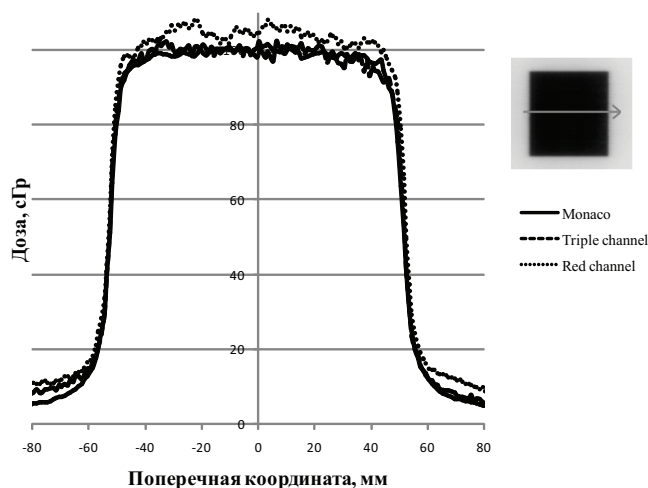


Рис. 3. Дозовые профили, полученные для изоцентрической линии 2D распределения референсного поля

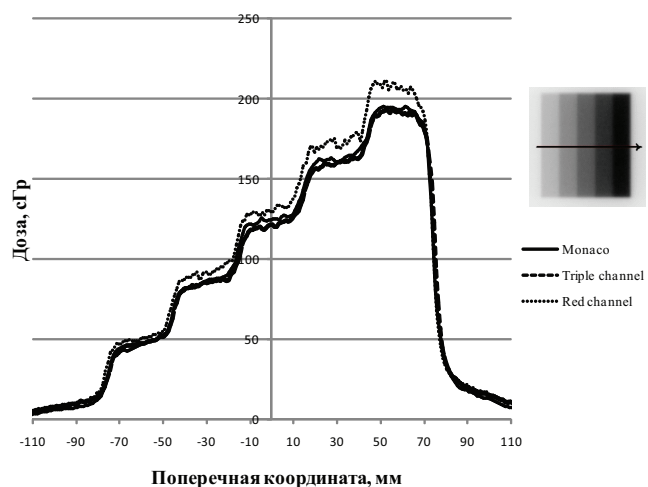


Рис. 4. Дозовые профили, полученные для центральной линии 2D распределения теста P2 TG119

Таблица 1

## Результаты гамма-анализа 3 % / 3 мм для некоторых образцов

План	Трехканальный метод	Красный канал
P1 (TG119) Два встречных поля APRA	91,90	92,54
P2 (TG119) "лестница"	96,42	46,68
C2 (TG119) простата №1	97,95	93,28
C2 (TG119) простата №2	98,38	98,77
C3 (TG119) голова-шея №1	91,92	84,36
C3 (TG119) голова-шея №2	94,51	83,71
C4 (TG119) C-shape №1	97,5	97,5
C4 (TG119) C-shape №2	96,64	96,88
Пациент1	95,81	95,12
Пациент2 №1	93,32	81,09
Пациент2 №2	98,04	95,61
Пациент3	94,8	95,0

встречных поля размером 10,4×10,4 см с равными весами. Профили взяты на середине передне-заднего размера. Разница между расчетом и двумя дозиметрическими методами незначительна.

На рис. 3 показаны профили для одного поля размером 10,4×10,4 см под углом 0°. Разница между расчетными данными и данными по методу красного канала вдоль профиля достигает 10 %, при этом видно, что данные трехканального метода хорошо согласуются с расчетными.

На рис. 4 показаны профили для теста P2 из TG119, в котором на пленке последовательно были созданы 5 дозовых уровней с помощью встречных полей. В области высоких доз видно значительное расхождение между расчетными данными и данными по методу красного канала, при этом трехканальный метод снова дает хороший результат.

В табл. 1 представлены результаты гамма-анализа (метод определения степени совпадения дозовых распределений, подробно описанный в [6]) 3 % / 3 мм (глобальная гамма) для некоторых тестов TG119 и индивидуальных планов лучевой терапии.

## Обсуждение

Для тестов TG119 и индивидуальных планов лучевой терапии трехканальный метод пленочной дозиметрии улучшил совпадение измеренной и расчетной дозы по сравнению со стандартным методом красного канала. Для ряда образцов результаты гамма-анализа для трехканального способа считывания дозы и

красного канала были практически одинаковы. Однако в некоторых случаях количество точек, прошедших гамма-анализ, для этих двух методов отличалось на 20–50 %, что, по-видимому, связано с неоднородностью пленок в пределах одной партии. По результатам проделанной работы мы сделали вывод, что трехканальный метод может рассматриваться как стандартная процедура при проведении пленочной дозиметрии.

## Список литературы

1. Micke A., Lewis D.F., Yu Xiang. Multichannel film dosimetry with nonuniformity correction. // *Med. Phys.*, 2011, **38**, No. 5, P. 2523–2534.
2. Ezzell G. A., Burmeister J.W. et al. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons. A report from AAPM Task Group 119. // *Med. Phys.*, 2009, **36**, No. 11, P. 5359–5373.
3. Lewis D., Micke A., Yu Xiang. An efficient protocol for radiochromic film dosimetry combining calibration and measurement in a single scan. // *Med. Phys.*, 2012, **39**, No. 10, P. 6339–6350.
4. Sorriaux J., Kacpersek A., Rossomme S. et al. Evaluation of Gafchromic® EBT3 films characteristics in therapy photon, electron and proton beams. // *Phys. Med. Biol.*, 2013, **29**, No. 6, P. 599–606.
5. Micke A.. Multi-Channel Film Dosimetry. // Technology Report. Ashland. International Specialty Products Inc. patents pending.
6. Alber M., Broggi S., Wagter De C. et al. ESTRO Booklet No 9. Guidelines for the verification of IMRT. – Brussels: ESTRO, 2008.

**THE USE OF THE THREE COLOR CHANNELS IN DOSIMETRY USING RADIOCHROMIC FILMS**

*E. Kuznetsova, T. Ponezha, T. Bochkareva*

*Russian Research Center for Radiology and Surgical Technologies, St.Petersburg, Russia*

To investigate the possibility of using triple channel dosimetry method using all channels of RGB images to radiochromic films Gafchromic EBT3 when checking plans of intensity modulated radiation therapy.

Key words: *radiochromic films, EBT3, triple channel film dosimetry, IMRT commissioning*

E-mail: [kuznetsova.evgenia@gmail.com](mailto:kuznetsova.evgenia@gmail.com)