

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДВУМЕРНЫХ МАССИВОВ ДЕТЕКТОРОВ К СПЕЦИАЛЬНО ВНЕДРЕННЫМ ОШИБКАМ В ПЛАНЫ ЛТМИ

М.П. Шатенок, И.Н. Коростин, Т.А. Крылова, А.В. Михайлова, С.С. Хромов  
Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина, Москва

Сравнивались две дозиметрические системы: OCTAVIUS (PTW) и MapCheck (SunNuclear). Проведено сравнение рассчитанных и измеренных дозовых распределений для набора планов ЛТМИ со специально внедренными ошибками и без них с помощью гамма-метода по критериям 2 %/2 мм и 3 %/3 мм. Ошибки относились к параметрам МЛК, повороту коллиматора, значению абсолютной дозы и к положению стола. Показано, что чувствительность обеих систем к специально внедренным ошибкам практически совпадает. Однако в ряде случаев чувствительность системы MapCheck оказалась несколько ниже, особенно при критерии 3 %/3 мм. Общее число выявленных ошибок при критерии 3 %/3 мм составило для Octavius 72 % и для MapCheck 60 %, при критерии 2 %/2 мм – 84 % и 76 % соответственно. Наблюдалось возрастание чувствительности к детектированию специально внедренных ошибок при использовании более строгого гамма-критерия. Чувствительность дозиметрической системы к внедренным ошибкам зависит от типа тестируемого плана и вида ошибки. Наименьшая чувствительность к наличию ошибок была прослежена для ошибки в развороте коллиматора. Системы OCTAVIUS и MapCheck рекомендованы для проведения процедур ГК в клинике.

Ключевые слова: *гарантия качества, лучевая терапия с модуляцией интенсивности (ЛТМИ), внедрение ошибок, двумерные массивы детекторов, чувствительность*

### Введение

В настоящее время методика лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) широко используется и продолжает активно внедряться в клиниках по всему миру. Безусловно, основной целью при проведении процедур гарантии качества (ГК) ЛТМИ является обеспечение точности облучения и минимизация вероятности возникновения ошибок в процессе реализации данной методики. Ошибки при ЛТМИ, в зависимости от источника их возникновения, можно разделить по следующим группам:

✓ Ошибки в системе планирования (СП), связанные с неверной конфигурацией алгоритма и ошибочными входными дозиметрическими данными;

- ✓ Ошибки настроек облучающего аппарата, в том числе калибровка, параметры пучка, стабильность работы многолепесткового коллиматора (МЛК), точность позиционирования, скорость движения лепестков и т.д.;
- ✓ Ошибки в передаче данных, например, передача поврежденного файла МЛК из СП на аппарат;
- ✓ Человеческий фактор.

ГК ЛТМИ должна содержать исчерпывающий набор процедур и тестов, позволяющих выявлять и устранять все возможные ошибки при ЛТМИ. При внедрении ЛТМИ, как и при внедрении любой новой методики в клиническую практику, необходимо провести тщательное тестирование данной методики, установить толерантные уровни возможных отклоне-

ний физических параметров, внедрить и оценить эффективность набора процедур периодического контроля качества непосредственно в условиях данной клиники. В международных документах [1–3] приводятся рекомендации по проведению процедур ГК ЛТМИ, включая список необходимых тестов и советы по выбору оборудования для тестирования.

На рынке современного дозиметрического оборудования представлен широкий ассортимент устройств для ГК ЛТМИ. Одним из наиболее популярных типов устройств являются двумерные и трехмерные массивы детекторов. Их преимущество заключается в том, что дозовое распределение может быть сразу измерено в плоскости или в объеме соответственно, что критически необходимо для проверки планов ЛТМИ. Различают два типа подобных устройств: на основе полупроводниковых детекторов и на основе ионизационных камер. Оба типа устройств используются на этапе приемо-сдаточных испытаний, ввода в эксплуатацию и периодического контроля качества ЛТМИ. Наиболее активно данное оборудование применяется для индивидуальных предтерапевтических проверок планов ЛТМИ. Использование многодетекторных сборок позволяет убедиться в том, что дозовое распределение, рассчитанное на СП, совпадает с реальным дозовым распределением, полученным на аппарате, и, в случае наличия ошибок на одном или нескольких этапах цепочки ЛТМИ, выявить расхождение. Также к многомерным детектирующим системам для ГК ЛТМИ можно отнести системы портальной дозиметрии, пленочные дозиметры и дозиметры на основе гелей, однако они не являлись предметом исследования в настоящей работе.

В публикации [4] приводятся результаты сравнительного анализа различных устройств для ГК ротационного облучения при нарочитом внедрении ошибок, связанных с работой линейного ускорителя. Работа заключалась в исследовании способности четырех дозиметрических систем (Delta4, OCTAVIUS, COMPASS и Eriqa) к выявлению подобных ошибок, относящихся к количеству мониторинговых единиц, размеру шторок МЛК и к поворотам коллиматора. Проведено сравнение рассчитанных на СП Eclipse и измеренных на ускорителе ClinacIX дозных распределений как с ошибками так и без них. Для сравнения использовался гамма-метод [5, 6] с критериями по дозе/расстоянию 3 %/3 мм и 2 %/2 мм. Был получен существен-

ный разброс по типу ошибок, детектированных различными дозиметрическими системами. При использовании гамма-критерия 2 %/2 мм и 95 % уровня прохождения (passin grate) Delta4 детектировал 15 из 20, OCTAVIUS – 8 из 20 ошибок, COMPASS – 8 из 20 и Eriqa 20 из 20 ошибок. Сделан вывод о том, что чувствительность дозиметрической системы к внедренным ошибкам зависит от типа тестируемого плана.

В исследовании [7] оценивали чувствительность результатов индивидуальных предтерапевтических проверок планов ЛТМИ к относительно малым ошибкам в позиционировании лепестков МЛК. Случайные ошибки со значениями до 2 мм и систематические ошибки со значениями  $\pm 1$  мм и  $\pm 2$  мм в позиционировании лепестков МЛК были внедрены в 8 клинических планов ЛТМИ. Рассчитанные планарные дозовые распределения сравнивались с измерениями, проведенными с помощью матрицы полупроводниковых детекторов MapCheck 1175 (SunNuclear) и радиохромных пленок Gafchromic EBT (ISP). При сравнении применяли гамма-метод с критериями 2 %/2 мм и 3 %/3 мм и метод согласованного расстояния (distance-to-agreement). Было установлено, что оба средства измерения способны выявить только систематические ошибки порядка 2 мм и более. Матрица детекторов показала более высокую чувствительность по сравнению с пленками благодаря более высокой чувствительности детекторов. Рост чувствительности также наблюдался при более жестком гамма-критерии 2 %/2 мм.

Цель работы [8] заключалась в исследовании чувствительности результатов гамма-анализа к наличию ошибок в позиционировании МЛК для планов RapidArc. Также определялась корреляция между результатами гамма-анализа и значениями, полученными при сравнении гистограмм доза–объем (ГДО). Тестирование проводилось для пяти планов облучения предстательной железы. Значение чувствительности с критерием 3 %/3 мм составило 0,78, а при использовании критерия 2 %/2 мм – 0,82. Соответственно, был сделан вывод о возрастании чувствительности к детектированию специально внедренных ошибок при использовании более строгого критерия 2 %/2 мм. Выявлено отсутствие значительной корреляции между результатами гамма-анализа и значениями, полученными при анализе ГДО для PTV, мочевого пузыря и прямой кишки. В заключении говорится о недостаточности ис-

пользования гамма-индекса для оценки планов RapiArc и предлагается внедрение новой методологии. Аналогичные выводы приводятся в работе [9].

Таким образом, на основе изученного материала можно сделать вывод об очевидной актуальности представленной тематики. Оценка эффективности процедур ГК ЛТМИ остается открытой проблемой с множеством вопросов и пространством для научных исследований. Причем полученные результаты могут различаться в зависимости от специфики методик облучения, применяемых в клинике. Поэтому очень важно получить и использовать результаты в каждой конкретной клинике.

Целью настоящей работы являлось исследование чувствительности двумерных массивов детекторов к наличию специально внедренных ошибок в планы облучения ЛТМИ. Для достижения этой цели:

- 1) Подготовлен набор тестовых планов ЛТМИ для различных клинических случаев.
- 2) Выделен набор ошибок для внедрения в тестовые планы.
- 3) Проведено сравнение чувствительности двумерных массивов детекторов MapCheck и OSTAVIUS к наличию специально внедренных ошибок.
- 4) Определена зависимость чувствительности используемых в работе двумерных массивов детекторов к внедренным ошибкам от вида ошибки и вида тестового плана.

## Материал и методы

### Подготовка тестовых планов

Основываясь на рекомендациях [2], был выбран набор тестовых планов ЛТМИ для их последующей верификации на ускорителе с помощью имеющихся двумерных массивов детекторов. Планирование проводилось на СП Eclipse версии 8.6 в гомогенном водэквивалентном фантоме размером 30×30×30 см, для всех планов использовались фотоны 6 МВ и техника облучения sliding window. Подготовлено 5 планов облучения с модуляцией интенсивности, охватывающих различные клинические локализации:

#### План 1 "Тест скорости"

Первый план создан на основе шаблона движения лепестков МЛК, который используется в ежедневной практике отделения для про-

верки скорости движения лепестков каждое утро. Лепестки МЛК в плане движутся с разными скоростями, что позволяет получить дозовое распределение с набором полос разной интенсивности. По размеру и форме полос можно оценить точность работы МЛК. Таким образом, используя данный план, можно оценить его эффективность при выявлении возможных ошибок, что будет учитываться в дальнейшей рутинной работе. В отличие от четырех следующих планов, данный план состоит из одного вертикального поля, что позволяет отсеять при анализе возможные ошибки, связанные с угловой зависимостью детектирующего устройства, зависимостью от гравитации и эффектами наложения ошибок от нескольких полей.

#### План 2 "Несколько мишеней"

Выполнено оконтуривание трех цилиндрических мишеней, расположенных вдоль оси гантри. Диаметр каждой около 4 см и длина 4 см. Мишени должны получить различные дозы, причем центральная мишень должна получить наибольшую дозу за фракцию. Нижняя мишень должна получить 50 % от дозы, приходящейся на центральную мишень, а верхняя – 25 %. Дозовые ограничения задавались для  $D_{99}$  (доза, которую получает 99 % объема мишени) и  $D_{10}$  (доза, которую получает 10 % объема мишени) (табл. 1). План состоит из 7 полей с интервалом 50° от вертикали, т.е. 0°, 50°, 100°, 150°, 310°, 260°, 210°.

#### План 3 "Предстательная железа"

СТV простаты представлена эллипсом с углублением с задней стороны, размерами 4,0, 2,6 и 6,5 см. Отступ PTV от СТV составляет 0,6 см. Прямая кишка представлена цилиндром 1,5 см в диаметре, который примыкает к простате. Объем PTV включает около 1/3 объема прямой кишки на уровне самого широкого

Таблица 1  
Дозовые ограничения для плана 2  
"Несколько мишеней"

Планируемый параметр	Доза в мишени, сГр	$D_{ср}$ , сГр
Центральная мишень $D_{99}$	>5000	4955
Центральная мишень $D_{10}$	<5300	5455
Верхняя мишень $D_{99}$	>2500	2516
Верхняя мишень $D_{10}$	<3500	3412
Нижняя мишень $D_{99}$	>1250	1407
Нижняя мишень $D_{10}$	<2500	2418

**Таблица 2**  
**Дозовые ограничения для плана 3**  
**“Предстательная железа”**

Планируемый параметр	Предписанная доза, сГр	$D_{ср.}$ сГр
Простата $D_{95}$	>7560	7566
Простата $D_5$	<8300	8143
Прямая кишка $D_{30}$	<7000	6536
Прямая кишка $D_{10}$	<7500	7303
Мочевой пузырь $D_{30}$	<7000	4394
Мочевой пузырь $D_{10}$	<7500	6269

**Таблица 3**  
**Дозовые ограничения для плана 4**  
**“Голова/шея”**

Планируемый параметр	Предписанная доза, сГр	$D_{ср.}$ сГр
PTV $D_{90}$	5000	5028
PTV $D_{99}$	>4650	4704
PTV $\Sigma_{20}$	<5500	5299
Позвоночник $D_{макс}$	<4000	3741
Слюнные железы $D_{50}$	<2000	1798

**Таблица 4**  
**Дозовые ограничения для плана 5**  
**“С-образная форма”**

Планируемый параметр	Предписанная доза, сГр	$D_{ср.}$ сГр
PTV $D_{95}$	5000	5010
PTV $D_{10}$	<5500	5440
Core $D_{10}$	<2500	2200

среза PTV. Мочевой пузырь – это эллипс размерами, равными 5,0, 4,0 и 5,0 см. Предписанные дозы для PTV простаты и дозовые ограничения для прямой кишки и мочевого пузыря представлены в табл. 2. План состоит из 7 полей с интервалом 50° от вертикали.

*План 4 “Голова/шея”*

Проведено оконтуривание объема PTV головы и шеи в водозэквивалентном фантоме, который включает в себя объемы, расположенные от основания черепа до нижней границы шеи, включая задние лимфатические узлы шеи. Расстояние между PTV и спинным мозгом составляет около 1,5 см. Слюнные железы находятся на верхнем крае PTV и являются органами риска. Предписанные дозы и дозовые ограничения представлены в табл. 3. План состоит из 9 полей, расположенных с интервалом 40° от вертикали.

*План 5 “С-образная форма”*

Мишень имеет С-образную форму и окружает центрально расположенный орган, который следует обойти. Центральное ядро изображается цилиндром радиусом 1 см. Расстояние между ядром и PTV составляет 0,5 см, так что радиус внутренней дуги поверхности PTV равен 1,5 см. Радиус внешней поверхности PTV составляет 3,7 см. Длина PTV равна 8 см, и длина ядра равна 10 см. Центральное ядро может получить до 50 % от дозы в мишени. Дозовые предписания для С-образной мишени и ограничения для центрального ядра приведены в табл. 4. План состоит из 9 полей, расположенных с интервалом 40° от вертикали.

**Внедрение ошибок**

В качестве ошибок были выбраны наиболее частые и вероятные ошибки, возникающие в процессе ЛТМИ, причем как на этапе ввода в эксплуатацию, так и в рутинной практике.

В отличие от трехмерной конформной лучевой терапии, при ЛТМИ критически важным становится точное описание параметров МЛК, поскольку дозовое распределение формируется с помощью большого количества малых сегментов МЛК. В СП Eclipse при конфигурации алгоритма расчета отдельно для МЛК задаются два параметра: коэффициент пропуска через лепестки и значение дозиметрического зазора между лепестками. Ошибки при заведении этих параметров являются достаточно распространенными. Можно просто забыть ввести данные параметры в алгоритм, и при этом система не выдаст никакой ошибки и позволит произвести расчет плана облучения, причем в данном случае тестирование для не-ЛТМИ планов, скорее всего, покажет неплохое совпадение результатов. Или есть вероятность ввести неверные значения параметров МЛК из-за ошибки при их измерении или неверного понимания размерности величин.

Ошибки в параметрах МЛК, вводимых в СП, могут привести к серьезным расхождениям между планом облучения и реальным дозовым распределением, полученным пациентом. Особенно сильно это может проявиться для сложных планов ЛТМИ с большим количеством сегментов и сложной формой дозового распределения.

В данной работе были выбраны и внедрены в планы облучения следующие ошибки в параметрах МЛК:

Ошибка 1: Фактор пропуска (ФП) – 0,00, дозиметрический зазор (ДЗ) – 0,00.

Ошибка 2: ФП – 0,05, ДЗ – 0,50.

Первая ошибка соответствует случаю, когда параметры МЛК не были заведены вовсе, а вторая ошибка симулирует случай неверно введенных значений данных параметров. Верное значение параметров МЛК, используемого в данной работе, составляет: ФП – 0,015, ДЗ – 0,19.

В качестве остальных ошибок выбраны ошибки, связанные с точностью работы ускорителя (ошибки 3,4) и точностью укладки (ошибка 5):

Ошибка 3: 2° в угле разворота коллиматора.

Ошибка 4: 2 % в значении абсолютной дозы.

Ошибка 5: сдвиг стола на 5 мм.

Предполагается, что при должном выполнении процедур ГК все значения параметров ускорителя находятся в пределах толерантных уровней (допусков), которые выбираются так, чтобы соблюдалась заявленная точность подведения плана облучения пациенту. В международных документах [10, 11] приведены рекомендации по выбору толерантных уровней. Речь идет об ошибках, если эти уровни оказываются превышены. В настоящей работе количественные значения ошибок выбирались близко к границе толерантных уровней. Так как такие ошибки не являются грубыми и очевидными, то отследить их без выполнения специфических процедур ГК часто бывает трудно.

Ошибка 4 симулирует случай неверной калибровки аппарата, и её значение находится на границе толерантного уровня в 2 %. При ошибке 5 осуществлялся сдвиг стола на 5 мм отдельно по всем трем направлениям (продольном, поперечном и по высоте). Финальное значение было получено путем усреднения. Ошибка в 5 мм – реальное значение ошибки, которая может возникнуть при укладке пациента в результате наложения ошибок, связанных с точностью наведения лазеров, размера метки и т.д.

### Измерения

Верификация подготовленных планов проводилась с помощью двух дозиметрических систем OCTAVIUS (PTW) и MapCheck (SunNuclear).

Система OCTAVIUS включает в себя двумерный массив детекторов на основе ионизационных камер и гомогенный октогональный фантом из ПММА с полостью для матрицы.

Матрица Seven29 состоит из 729 ионизационных камер с чувствительным объемом 0,125 см<sup>3</sup>, пространственное разрешение составляет 10 мм, размер матрицы 27×27 см.

Система MapCheck состоит из матрицы полупроводниковых детекторов MapCheck и гомогенного водозэквивалентного прямоугольного фантома MapPhan. Матрица содержит 445 полупроводниковых детекторов. Расстояние между детекторами в центральной области 10×10 см составляет 7 мм, а вне центральной области – 14 мм. Размер MapCheck 22×22 см.

Фантомы вместе с матрицами были предварительно отсканированы на компьютерном томографе и занесены в СП. Созданы верификационные планы на обоих фантомах для пяти тестовых планов с внедренными ошибками и без них. В общей сложности на каждой дозиметрической системе было измерено по 30 планов, из них пять без ошибок и по пять планов для каждой из пяти ошибок.

Ввиду наличия угловой зависимости у MapCheck измерения для углов 90° и 270° проводились при нулевом вертикальном положении гантри, при этом угол поворота коллиматора соответствовал плану [12]. Облучение OCTAVIUS проводилось при реальных углах поворота гантри.

Измерения проводили на линейном ускорителе электронов Clinac 6EX (Varian) с фотонами 6 МВ. Ускоритель оснащен МЛК Millenium 120, состоящим из 120 лепестков. Ширина 40 центральных лепестков составляет 5 мм, а краевые лепестки имеют ширину 10 мм.

### Результаты и выводы

Рассчитанные дозовые распределения в плоскости двумерного массива детекторов были экспортированы из СП. Сравнение рассчитанных и измеренных абсолютных дозовых распределений проведено с помощью программного обеспечения VeriSoft 3.2 (OCTAVIUS) и MapCheck 5.0 (MapCheck), при этом применен гамма-метод с критериями 2 %/2 мм и 3 %/3 мм. Оценивали процент точек, не прошедших по гамма-критерию для всех планов (рис. 1). Чтобы определить, в каких случаях ошибки считать выявленными, а в каких нет, был установлен некий порог выявления ошибок. Его величину определяли исходя из результатов сравнения по гамма-методу для планов

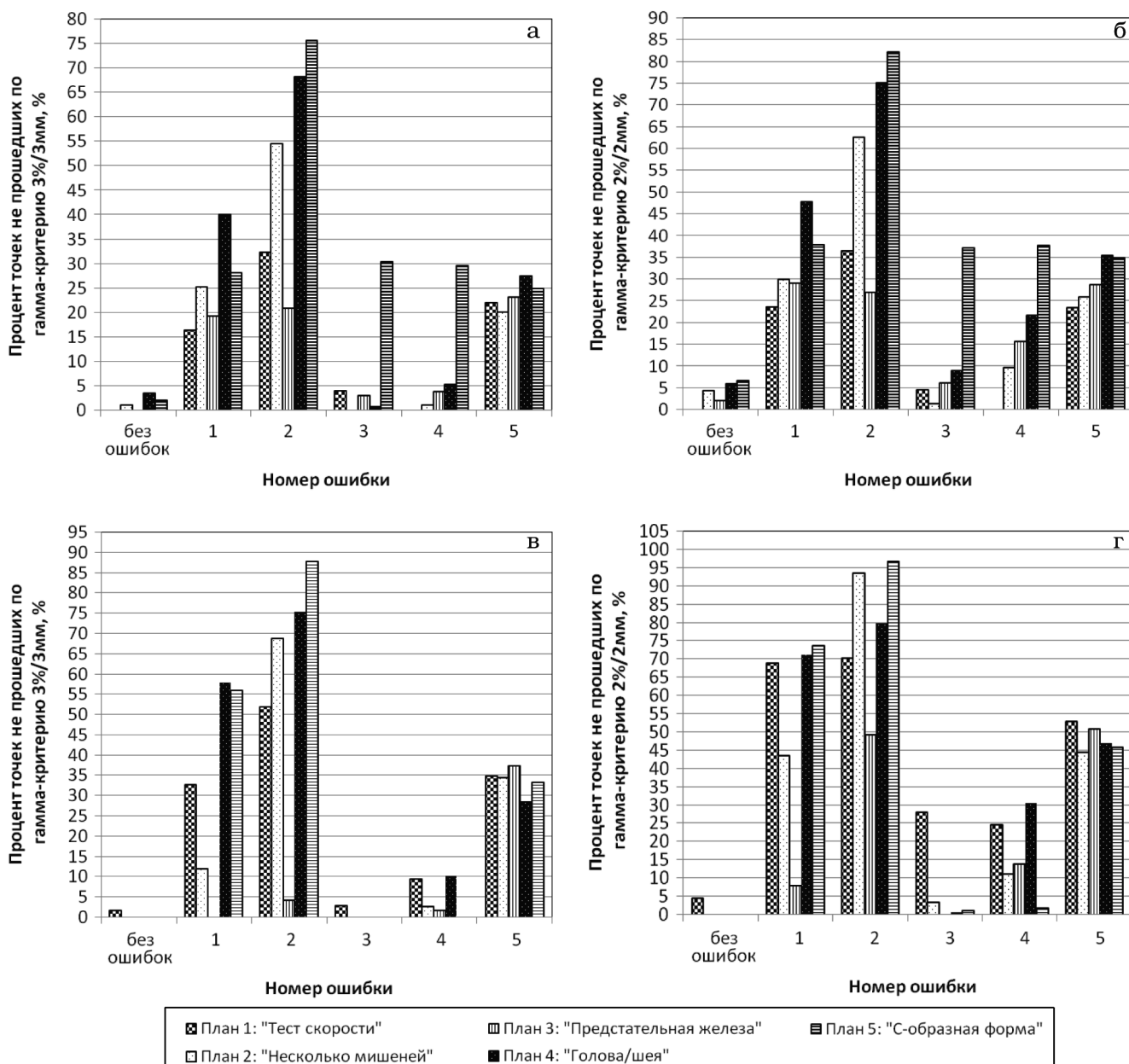
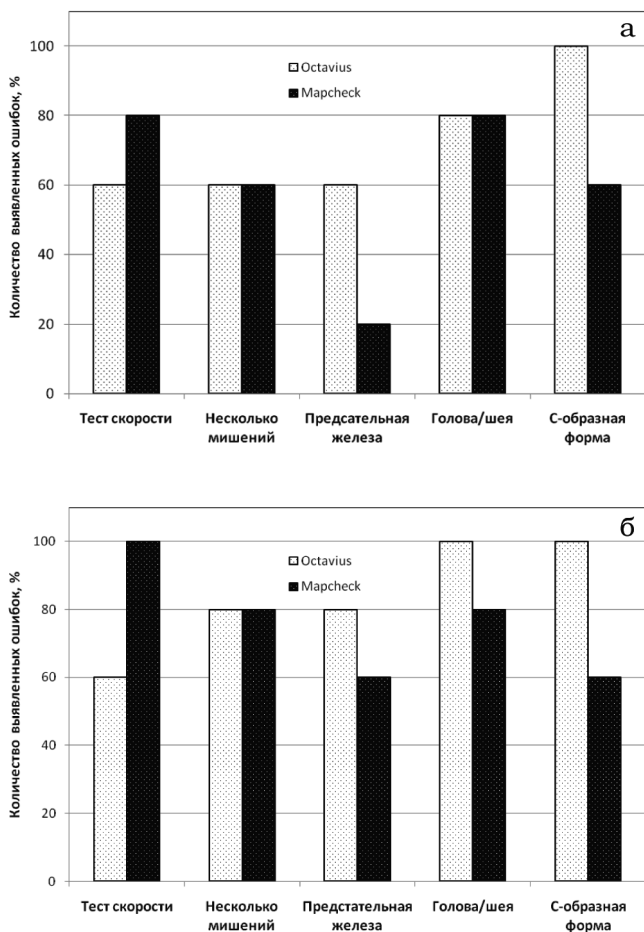


Рис. 1. Результаты верификации планов с помощью OSTAIVUS (а, б) и MapCheck (в, г).

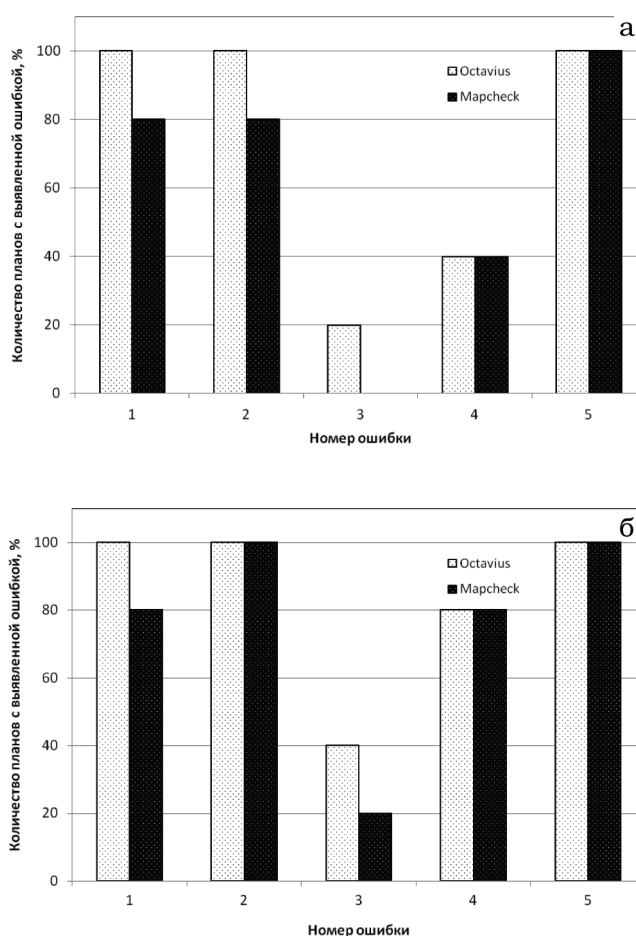
без ошибок. Ошибка считалась выявленной, если процент точек, не прошедших по гамма-критерию, превышал значение 5 % для критерия 3 %/3 мм и 8 % для критерия 2 %/2 мм.

В результате проведенного анализа выявлено, что чувствительность систем OSTAIVUS и MapCheck к наличию и характеру специально внедренных ошибок практически совпадает. Однако в ряде случаев чувстви-

тельность системы MapCheck оказалась несколько ниже, особенно при критерии 3 %/3 мм. Наблюдалось возрастание чувствительности к детектированию специально внедренных ошибок при использовании более строгого гамма-критерия. Общее число выявленных ошибок при критерии 3 %/3 мм составило 72 % для OSTAIVUS и 60 % для MapCheck, при критерии 2 %/2 мм – 84 % и 76 % соответственно.



**Рис. 2.** Зависимость процента выявленных ошибок от вида плана А) гамма-критерий 3 %/3 мм; Б) гамма-критерий 2 %/2 мм



**Рис. 3.** Зависимость процента планов с выявленной ошибкой от номера ошибки А) гамма-критерий 3 %/3 мм; Б) гамма-критерий 2 %/2 мм

Также было показано, что чувствительность дозиметрической системы к внедренным ошибкам зависит от типа тестируемого плана и вида ошибки (рис. 2, 3).

Для всех планов, за исключением плана для предстательной железы, количество выявленных ошибок составило более 60 % для обоих критериев, т.е. три и более ошибки для этих планов были детектированы. План для предстательной железы оказался наименее чувствительным к внедренным ошибкам, что можно объяснить несложной формой дозовой мишени. Наибольший процент ошибок был выявлен для плана “Голова/шея”, данный план имеет достаточно сложную форму РТВ.

В отличие от других случаев, где результаты для OCTAVIUS были сопоставимы или лучше чем для MapCheck, чувствительность

MapCheck к наличию ошибок для плана “Тест скорости” оказалась выше. План “Тест скорости”, единственный из пяти планов, состоит из одного вертикально поля со сложным флюенсом. В таком случае хорошее пространственное разрешение матрицы становится критически важным для регистрации истинного дозового распределения. Разрешение MapCheck в центральной области несколько лучше у OCTAVIUS, что объясняет полученный результат.

Ошибки 1 и 2 в параметрах МЛК были детектированы обеими системами для всех пяти планов как при критерии 2 %/2 мм, так и при критерии 3 %/3 мм, за исключением результата, полученного на MapCheck для плана облучения предстательной железы при критерии 3 %/3 мм для обеих ошибок и при критерии 2 %/2 мм для ошибки 1, что говорит о сильном

влиянии параметров МЛК на дозовое распределение планов ЛТМИ. При сравнении рассчитанных и измеренных планов с ошибками в параметрах МЛК расхождение по абсолютной дозе в зоне мишени достигало 8 % (“С-образная форма”) для ошибки 1 и 17 % (“Голова/шея”) для ошибки 2.

Наименьшая чувствительность к наличию ошибок была прослежена для ошибки 3 в развороте коллиматора. При критерии 3 %/3 мм эта ошибка не была выявлена ни для одного плана при измерениях на MapCheck, а система OCTAVIUS детектировала данную ошибку только для плана “С-образная форма”. При критерии 2 %/2 мм ошибка была выявлена в двух из пяти случаев для OCTAVIUS, а на MapCheck – только для плана “Тест скорости”. Одно из возможных объяснений данного результата заключается в особенности методики измерений с помощью MapCheck, когда все поля отпускаются с нулевого положения гантри, что, возможно, вызвало компенсацию ошибок между собой. К другой возможной причине можно отнести тот факт, что пространственное разрешение MapCheck по краям матрицы несколько хуже, чем у OCTAVIUS, а ошибка в повороте угла коллиматора становится более явной при удалении от центра матрицы ввиду растущей радиальной компоненты.

Ошибка 4 в значении абсолютной дозы в 2 % при критерии 3 %/3 мм была выявлена только для двух планов из пяти, что весьма ожидаемо для выбранного значения критерия. При более строгом критерии 2 %/2 мм результат выявления данной ошибки был уже практически стопроцентным для обеих систем.

Ошибка 5 в сдвиге стола на 5 мм детектирована системами OCTAVIUS и MapCheck во всех рассмотренных случаях.

Результаты по оценке чувствительности двумерных массивов детекторов к наличию специально внедренных ошибок, полученные в данной работе, можно считать удовлетворительными. Системы OCTAVIUS и MapCheck рекомендованы для проведения процедур ГК в клинике.

## Список литературы

1. Alber M., Broggi S., Eichwurz I. et al. Guidelines for the verification of IMRT. // ESTRO booklet No. 9, 2008.
2. Ezzel G.A., Burmeister J.W., Dogan N. et al. IM-RT commissioning: multiple institution planning and dosimetry comparisons. A report from AAPM Task Group 119. // Med. Phys., 2009, **36**, No. 11, P. 5359–5373.
3. Low D.A., Moran J.M., Dempsey J.F. et al. Dosimetry tools and techniques for IMRT: the report of AAPM Task Group 120. // Med. Phys., 2011, **38**, No. 3, P. 1313–1338.
4. Fredh A., Scherman J.B., Fog L.S. et al. Patient QA systems for rotational radiation therapy: A comparative experimental study with intentional errors. // Med. Phys., 2013, **40**, No. 3, P. 031716-1–031716-9.
5. Low D.A., Harms W.B., Mutic S. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. // Med. Phys., 1998, **25**, P. 656–661.
6. Low D.A., Dempsey J.F. Evaluation of the gamma dose distribution comparison method. // Med. Phys., 2003, **30**, P. 2455–2464.
7. Yan G., Liu C., Simon T.A. et al. On the sensitivity of patient-specific IMRT QA to MLC positioning errors. // J. Appl. Clin. Med. Phys., 2009, **10**, No 1, P. 120–128.
8. Coleman L., Skourou C. Sensitivity of volumetric modulated arc therapy patient specific QA results to multileaf collimator errors and correlation to dose volume histogram based metrics. // Med. Phys., 2013, **40**, No 11, P. 111715-1–111715-7.
9. Heilemann G., Poppe B., W. Laub. On the sensitivity of common gamma-index evaluation methods to MLC misalignments in Rapidarc quality assurance. // Med. Phys., 2013, **40**, No 3, P. 031702-1–031702-12.
10. Kutcher G.J., Coia L., Gillin M. et al. Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. // Med. Phys., 1994, **21**, No 4, P. 581–618.
11. Klein E.E., Hanley J., Bayouth J. et al. Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. // Med. Phys., 2009, **36**, No 9, P. 4197–4212.
12. Бердник А.В., Прусова М.П. Исследование характеристик матричных детекторов на основе полупроводниковых и ионизационных камер для лучевой терапии. // Мед. физика, 2012, № 3(55), С. 47–53.



**ON SENSITIVITY OF 2D-ARRAY QA SYSTEMS TO INTENTIONAL ERRORS IN IMRT PLANS***M.P. Shatenok, I.N. Korostin, T.A. Krylova, A.V. Mikhailova, S.S. Khromov**N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center of RAMS, Moscow, Russia*

Two dosimetry systems were compared: OCTAVIUS (PTW) and MapCheck (SunNuclear). Comparison of calculated and measured dose distributions for the set of IMRT plans with and without intentional errors was performed with the help of gamma-evaluation method with 2 %/2 mm and 3 %/3 mm criteria. Intentional errors were made in MLC parameters, collimator rotation, absolute dose values and table position coordinates. The sensitivity of OCTAVIUS and MapCheck to the presence and type of intentional errors almost matches. However in several cases the sensitivity of MapCheck was lower, especially with 3 %/3 mm criteria. The total number of errors detected by OCTAVIUS was 72 % and by Mapcheck 60 % when using 3 %/3 mm criteria and 84 % and 76 % accordingly when using 2 %/2 mm criteria. The rise of sensitivity was observed when stricter criteria was used. The sensitivity of dosimetry system to the intentional errors depends on type of plan and type of error. The lowest sensitivity was observed for the error in collimator rotation. OCTAVIUS and MapCheck systems are recommended for QA procedures in clinic.

Key words: *quality assurance, IMRT, intentional errors, 2D-arrays, sensitivity*

E-mail: [maria.prusova@gmail.com](mailto:maria.prusova@gmail.com)