

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА И СТАНДАРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ ЭЛЕКТРОНОВ

О.И. Филонова¹, А.О. Лисовская², А.А. Майоров¹

¹ Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва

² Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Д. Рогачева Минздрава РФ, Москва

Изучена система позиционирования Sentinel (C-RAD), обладающая функцией сканирования поверхности тела пациента. Для определения ее преимуществ и недостатков, а также для установки рекомендаций по ее применению, проведено сравнение этой системы со стандартной системой портальной визуализации iViewGT. В качестве независимой оценки экспериментальных значений использованы данные, полученные с помощью компьютерной томографии в коническом пучке. По результатам исследования определено, что систему Sentinel удобно применять для коррекции первичного позиционирования пациента перед использованием iViewGT, поскольку она не дает дополнительной дозовой нагрузки и имеет высокое быстродействие.

Ключевые слова: лучевая терапия, укладка пациента, система позиционирования, портальная система, сравнительный анализ

Введение

В настоящее время лучевая терапия (ЛТ) играет важную роль в лечении многих злокачественных опухолей. Важным этапом ЛТ является дозиметрическое планирование лучевого воздействия на пациентов. Его главная задача состоит в разработке и реализации такого плана лечения, который обеспечит подведение рекомендуемой дозы излучения в объем опухоли и минимальное поглощение дозы окружающими мишень (область пораженных клеток) здоровыми тканями и органами [1]. Для уменьшения риска возникновения лучевых осложнений (миелит, катаракта, перикардит, кардиофиброз, пневмофиброз, хронический нефрит, гипо-

тиреоидизм, атрофия кожи и мягких тканей, фиброз подкожной жировой клетчатки и т. д.) требуется высокая точность подведения ионизирующего излучения к патологическому очагу.

Решение этой задачи под силу радиологическим учреждениям, оснащенным современной радиотерапевтической техникой, позволяющей проводить ЛТ под контролем средств визуализации (ЛТВК) [2]. ЛТВК позволяет наблюдать за положением мишени до начала и непосредственно во время ее облучения. Созданные при этом снимки с помощью специализированного компьютерного обеспечения моментально сравниваются с изображениями,

полученными на этапе моделирования процедуры. Существует несколько видов систем, позволяющих проводить ЛТВК: порталные изображения, рентгенография, компьютерная томография в коническом пучке [3] и оптические системы, обладающие функцией сканирования поверхности тела, в частности Sentinel (C-RAD), которая в отличие от остальных не дает дополнительной лучевой нагрузки [4].

Известно, что в процессе ЛТ человек получает дозу облучения. Помимо лечебной дозы она может включать дозу при получении контрольных изображений (КИ), которые производят для определения положения мишени перед началом лечения и между фракциями во время курса ЛТ [1]. Эта доза может концентрироваться в коже или распределяться в некотором анатомическом объеме. При получении обычного МВ-портального снимка пациенту доза составляет 50–100 мГр, а при КТ в киловольтном коническом пучке – 10–80 мГр на изображение [3]. Таким образом, при ежедневном контроле положения пациента в течение всего курса общая дополнительная доза может быть значительно больше, чем фоновая доза, и может привести к увеличению терапевтической дозы на несколько процентов. Следовательно, нельзя отбросить дозовую нагрузку от одной процедуры получения КИ, или считать, что суммарной дозой можно пренебречь в сравнении с терапевтической дозой. Поэтому возможность применения системы позиционирования, основанной на визуализации поверхности, которая не дает дополнительной дозы облучения, является весьма перспективной.

Система Sentinel (C-RAD) существенно представлена на рынке медицинских изделий, но существует совсем небольшое количество публикаций, описывающих ее применение в клинической практике. В работе [5] делается вывод о том, что Sentinel можно применять ежедневно при клинических процедурах. Автор [6] подтверждает этот вывод. В то же время, в публикации [7] показано, что использование системы может привести к ошибочному позиционированию пациента на лечебном столе. Поскольку выводы авторов этих статей о применении системы Sentinel противоречивы, в данной работе поставлены задачи, направленные на изучение аспектов практического использования системы Sentinel и ее сравнение с системой порталной визуализации iViewGT [8], а также на установление рекомендаций по ее применению.

Материал и методы

В работе использованы следующие системы визуализации: стандартная порталная система iViewGT, компьютерная томография в коническом пучке X-Ray Volume Imaging (XVI) [9, 10] и система Sentinel (C-RAD).

Sentinel (C-RAD) – это система для сканирования поверхности тела и мониторинга положения пациента во время проведения облучения, которая не дает дополнительной дозы облучения. Платформа Sentinel основана на лазерной технологии с многоцелевыми программными модулями, предназначенными для быстрой и точной укладки пациента и для обнаружения движения во время процедуры лечения. Аппаратное обеспечение Sentinel состоит из одного блока – сканера, содержащего лазер и камеру, установленные в потолке над лечебным столом (рис. 1). Сканер подключен к персональному компьютеру с программным



Рис. 1. Система Sentinel

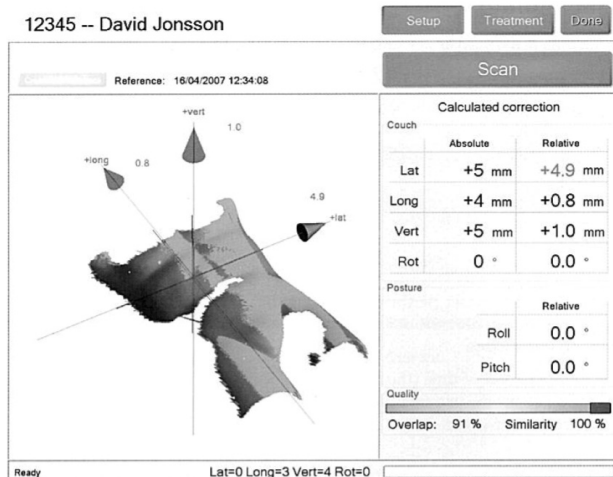


Рис. 2. Изображение поверхности тела человека, сформированное с помощью системы Sentinel

обеспечением (ПО). В процессе сканирования поверхности пациента лазерный пучок проходит вдоль тела, а камера фиксирует отраженное излучение и преобразует его в набор снимков. Из полученных данных восстанавливается полная трехмерная поверхность тела пациента с помощью метода триангуляции лазерных линий (рис. 2). Для укладки пациента сканирование выполняется в течение нескольких секунд, получая несколько сотен снимков. А для обнаружения движения во время лечения количество снимков обычно снижается так, что достигается желаемая частота кадров. Система способна собирать более 50 снимков в секунду [4].

Используемые в работе системы проведения ЛТ под контролем визуализации установлены на двух дозиметрически совмещенных ускорителях фирмы Elekta. Один из них оснащен системами XVI и iViewGT, второй – Sentinel и iViewGT.

Особенность процесса состоит в том, что первые несколько сеансов лучевой терапии проводят на ускорителе Elekta Synergy с целью верификации положения пациента перед началом лечения с помощью системы XVI. После коррекции систематических ошибок процедура XVI выполняется еженедельно, а последующие сеансы облучения проводятся на втором ускорителе, где в качестве систем позиционирования можно использовать iViewGT и Sentinel. Преимущества использования системы XVI не вызывают сомнений (результатом работы системы являются трехмерные контрастные изображения), а достоинства и недостатки

iViewGT и Sentinel требуют дополнительной оценки.

Известно, что с помощью XVI и iViewGT получают соответственно трехмерное и двумерное изображения внутренних структур, которые с помощью компьютерного ПО или ручную (iViewGT) сравниваются с референсными изображениями. В результате сравнения становится известным отклонение положения пациента на лечебном столе от запланированного. Система Sentinel определяет координаты мишени относительно положения изоцентра сразу после завершения процесса сканирования. Таким образом, для изучения системы Sentinel было предложено сравнить ее показания с показаниями стандартной порталной системы визуализации и показаниями XVI, полученными при моделировании процесса проведения ЛТ на антропоморфном фантоме Freddie (CIRS) [11].

Первым этапом стало создание планов статического облучения фантома в системе планирования Monaco 5.10 для трех областей (голова, грудная клетка и таз) с разным положением изоцентров, координаты которых были переданы во все системы позиционирования. Затем фантом был размещен на столе ускорителя Elekta Synergy таким образом, чтобы при регистрации с помощью XVI координаты полученного изоцентра отличались от запланированного не более чем на 0,5 мм. Для дальнейшего переноса фантома Freddie (CIRS) на другой ускоритель, на него наносили метки. После чего было предложено искусственно внести ошибки в положение фантома на столе. А именно, поочередно сместить (вверх, вниз, вправо, влево) на заранее заданные величины (2, 3 и 5 мм) и повернуть фантом относительно изоцентра в разные стороны вдоль осей X, Y, Z для всех исследуемых областей. Каждое положение было зарегистрировано с помощью XVI, а на фантом нанесены соответствующие метки.

Далее для моделирования ситуации с реальным пациентом фантом устанавливали по нанесенным меткам на другом ускорителе, и при помощи систем позиционирования Sentinel (рис. 3) и iViewGT (рис. 4) получали значения “ошибочных” положений изоцентра для каждой области сканирования. Все выше описанные измерения были проделаны по три раза.

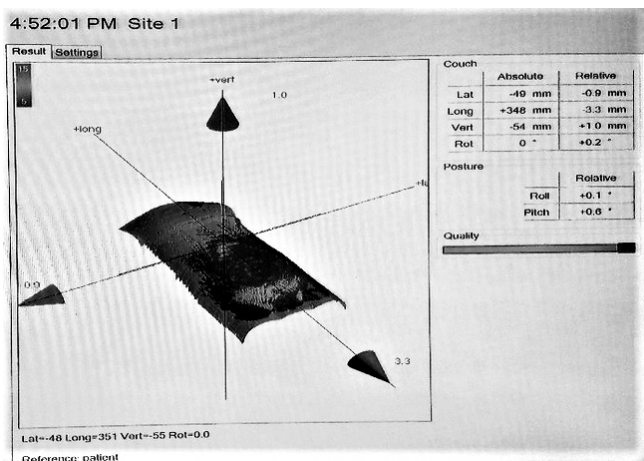


Рис. 3. Изображение “ошибочного” положения изоцентра области таза, полученного с помощью системы Sentinel

Результаты и обсуждение

После выполнения эксперимента все полученные данные были занесены в табл. 1 и 2. На рис. 5 представлен результирующий вектор отклонений зарегистрированных значений “ошибочных” положений изоцентра от искусственно внедренных ошибок позиционирования фантома. Из гистограммы видно, что для антропоморфного фантома все системы визуализации показали согласованные значения. Результирующий вектор отклонений показаний системы Sentinel не превышал 2 мм, а для системы iViewGT – 3 мм. Кроме того, из табл. 1 видно, что система визуализации Sentinel ро-

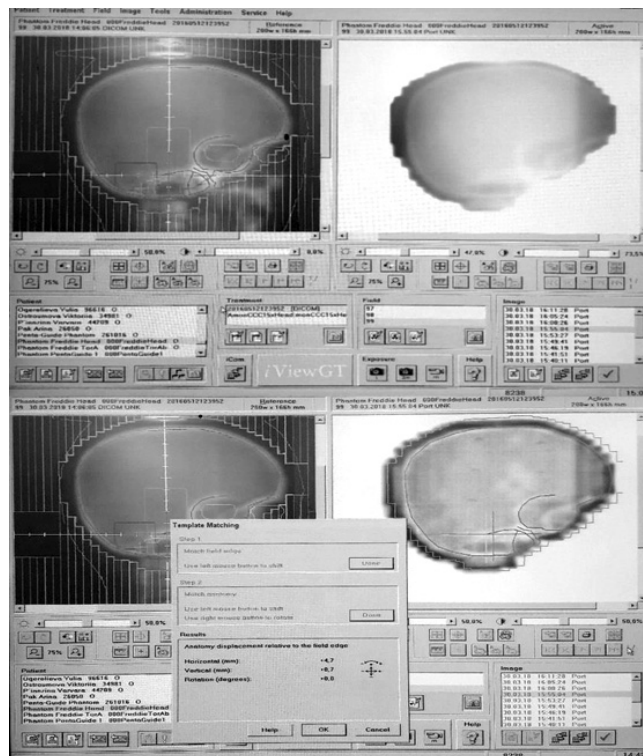


Рис. 4. Изображение “ошибочного” положения изоцентра головы, полученного с помощью системы iViewGT

тацию фантома отражает лучше, чем iViewGT (отклонение показаний Sentinel от показаний XVI при ротации составляет $0,30^\circ \pm 0,12^\circ$, а iViewGT – $1,42^\circ \pm 0,29^\circ$ при усреднении по всем направлениям ротации и областям). Заметим, что значения углов поворота, полученные с помощью XVI, были приняты за референсные для данного анализа, так как в процессе проведения эксперимента поворот фантома на заранее

Таблица 1

Отклонение зарегистрированных при помощи Sentinel и iViewGT значений “ошибочных” положений фантома от искусственно внедренных ошибок позиционирования

Область таза					
Смещение вдоль оси:	x, мм	y, мм	z, мм	Поворот, град.	Вектор смещений, мм
Sentinel	0,78±0,64	1,10±0,65	1,27±0,64	0,46±0,03	1,84±1,20
iViewGT	0,93±1,07	2,43±0,68	1,03±0,78	0,63±0,20	2,80±2,10
Область грудной клетки					
Смещение вдоль оси:	x, мм	y, мм	z, мм	Поворот, град.	Вектор смещений, мм
Sentinel	0,10±0,62	0,27±0,72	0,10±0,60	0,27±0,07	0,30±0,20
iViewGT	0,73±0,80	1,63±0,74	0,78±0,80	1,43±0,30	1,95±1,50
Область головы					
Смещение вдоль оси:	x, мм	y, мм	z, мм	Поворот, град.	Вектор смещений, мм
Sentinel	0,70±0,60	0,20±0,60	0,27±0,60	0,20±0,30	0,78±0,50
iViewGT	0,20±0,70	0,50±0,70	0,63±0,70	2,07±0,20	0,83±0,60

Таблица 2

Отклонение зарегистрированных при помощи XVI значений “ошибочных” положений фантома от искусственно внедренных ошибок позиционирования

Область таза				
Смещение вдоль оси:	x, мм	y, мм	z, мм	Вектор смещений, мм
XVI	0,5±0,6	0,2±0,6	0,2±0,6	0,6±0,4
Область грудной клетки				
Смещение вдоль оси:	x, мм	y, мм	z, мм	Вектор смещений, мм
XVI	0,2±0,6	0,4±0,6	0,2±0,6	0,5±0,3
Область головы				
Смещение вдоль оси:	x, мм	y, мм	z, мм	Вектор смещений, мм
XVI	0,5±0,6	0,4±0,6	0,6±0,6	0,9±0,6

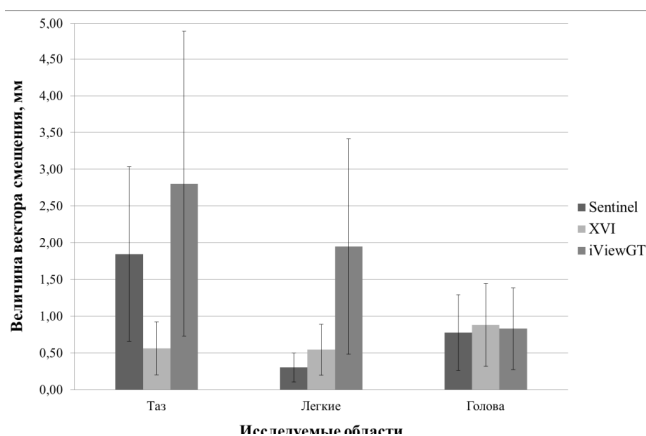


Рис. 5. Результирующий вектор отклонений зарегистрированных значений “ошибочных” положений изоцентра от искусственно внедренных ошибок позиционирования фантома (XVI, Sentinel и iView)

заданные углы оказался технически сложно выполнимой задачей. Поэтому оценка точности определения ротации фантома с помощью Sentinel и iViewGT была основана на сравнении разности между показаниями этих систем и показаниями XVI.

Рассмотрим более детально результаты эксперимента для каждой исследуемой области. Из рис. 5 видно, что для области головы результаты всех трех систем визуализации согласуются и находятся в пределах 1 мм, что верно для фантома. Однако для верификации положения головы пациентов Sentinel не используется, так как при облучении интракраниальных новообразований всегда применяют термопластические маски, следовательно, при сканировании в Sentinel приходит информация о положении данного устройства фиксации, а не головы под маской.

При сканировании фантома в области легких было получено, что показания iViewGT сильно отличаются от показаний двух других систем (рис. 5). Это можно объяснить тем, что получается изображение низкого качества, и на нем сложно добиться высокого контраста таких тонких структур как ребра. Sentinel же в случае сканирования неподвижного фантома дает более точные показания, потому что они не зависят от толщины и плотности костей, а привязаны к статичной поверхности фантома. Однако в отличие от фантома пациент совершает дыхательные движения, и положение грудной клетки меняется [12], поэтому произвести оценку точности позиционирования подвижных частей тела по данным, полученным с использованием фантома, не представляется возможным.

Что же касается мишени в области таза, то показания системы Sentinel оказались ближе к внедренным ошибкам, чем показания iViewGT (рис. 5). Это возможно, так как на iViewGT получаются изображения с низким контрастом, из-за этого возникает субъективность совмещения по костным структурам. Однако у пациентов в отличие от фантома положение кожных меток может быть смещено относительно тазобедренных костей [12], поэтому для визуализации положения пациента необходимо совмещение по костным структурам.

Таким образом, использование той или иной системы контроля положения имеют свои плюсы и минусы. Достоинствами системы Sentinel являются отсутствие дозовой нагрузки на здоровые ткани и высокое быстродействие, поэтому ее рекомендовано применять для многократной коррекции первичной укладки пациентов детского возраста перед использованием iViewGT. Недостатками являются отсут-

ствии возможности совмещения по внутренним структурам и ограничения, связанные с углом обзора камеры.

Преимущества системы порталной визуализации iViewGT – способность совмещения изображений по костным структурам, недостатки – субъективность регистрации снимков, низкий контраст изображений, высокая дозовая нагрузка на пациента.

Заключение

Точность позиционирования пациента является одним из определяющих факторов успешного проведения ЛТ. В данной работе исследованы различные системы верификации положения пациента перед началом лечения, применяемые в отделении лучевой терапии.

Нами получены согласованные между собой результаты точности позиционирования антропоморфного фантома с помощью систем Sentinel и iViewGT. На основе их сравнительного анализа и опыта работы отделения были выявлены преимущества и недостатки системы Sentinel, а также сформулированы рекомендации по ее применению.

Список литературы

1. Климанов В.А., Крылова Т.А. Дозиметрическое планирование лучевой терапии. Ч. 1. Дистанционная лучевая терапия пучками тормозного и гамма-излучения: учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ. 2007. 216 с.
2. De Los Santos J., Popple R., Agazaryan N. et al. Image guided radiation therapy (IGRT) technologies for radiation therapy localization and delivery // *Int. J. Radiat. Oncol. Boil. Phys.* 2013. Vol. 87. № 1. P. 33–45.
3. Учет дозы, получаемой пациентом во время проведения лучевой терапии с применением контрольных изображений. Доклад TG-75 Комитета по лучевой терапии ААРМ. Перевод с англ. // *Мед. физика.* 2012. № 4(56). С. 100–117.
4. Maintenance User Guide of Sentinel, inc. C-RAD Positioning AB. PB C-RAD 010706. 2010.
5. Stieler F., Lohr F., Wenz F. Patient Positioning for IMRT with Laser Tracking versus CBCT // *Radiation Oncology.* 2011. Vol. 81. № 2. P. 792.
6. Schoenecker S., Walter F., Freislederer P. et al. Treatment planning and evaluation of gated radiotherapy in left-sided breast cancer patients using the Catalyst or Sentinel system for deep inspiration breath-hold (DIBH) // *BioMed Central.* 2016. Vol. 11. № 1. P. 143–152.
7. Kim Y., Ruijiang L., Yong Hum N. et al. Accuracy of surface registration compared to conventional volumetric registration in patient positioning for head-and-neck radiotherapy: A simulation study using patient data // *Med. Phys.* 2014. Vol. 41. № 12. P. 1–7.
8. iViewGT™ R3.02 - R3.4., inc. Elekta Corrective Maintenance Manual. PB Elekta 194305. 2009.
9. Система XVI R5.0. Руководство по эксплуатации, inc. Elekta Corrective Maintenance Manual. PB Elekta 150607. 2014.
10. XVI версии 4.5. Учебное руководство по эксплуатации, inc. Elekta Corrective Maintenance Manual. PB Elekta 102063. 2011.
11. CIRS Computerized imaging reference systems, inc. ATOM® Manual Dosimetry Phantoms. PB ATOM 050418. 2013.
12. National Radiotherapy Implementation Group Report. Image Guided Radiotherapy (IGRT). Guidance for implementation and use. Department of Health. 2012. P. 1–93.

**COMPARISON OF THE SURFACE IMAGING SYSTEM AND THE STANDARD
PORTAL IMAGING SYSTEM AT LINAC PLATFORM**

O.I. Filonova¹, A.A. Loginova², A.V. Nechesnyuk²

¹ *National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia*

² *D. Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology,
Moscow, Russia*

The positioning system Sentinel (C-RAD) scanning the surface of the body was investigated. A comparison was made between the this system and the standard portal imaging system iViewGT, in order to determine its the advantages and disadvantages and to establish recommendations for its use. The data of cone-beam computed tomography were used as an independent estimated experimental values. It was determined that the Sentinel system is convenient for correcting the patient's primary positioning before using iViewGT, since it does not provide an additional dose load and has a high response rate.

Key words: *radiation therapy, patient's positioning, the positioning system, portal imaging system, comparison*

E-mail: olesia.filonova@mail.ru