

Таким образом, диагностические референтные уровни являются современным и нужным средством радиационной защиты пациента при медицинском облучении. Внедрение этого инструмента в практическое здравоохранение проведено в России и уже успело показать свою эффективность. Работа по разработке этих уровней в Беларуси для рентгенографии находится в начале пути и на данном этапе не может целиком опираться на измерения. Поэтому предлагается в отсутствие дозиметрической аппаратуры пользоваться программным продуктом «Оценка доз».

ЛИТЕРАТУРА

1. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation [Electronic resource]: Specific Safety Guide No. SSG-46. – Vienna: IAEA, 2018. – Mode of Access: <https://www.iaea.org/publications/11102/radiation-protection-and-safety-in-medical-uses-of-ionizing-radiation>. – Date of access: 28.05.2020.
2. Радиационная защита в медицине. Публикация 105 МКРЗ : пер. с англ. / Под ред. Д. Валентина. – СПб, 2011. – 66 с.
3. *Водоватов, А.В.* Анализ уровней облучения взрослых пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенографических исследований в Российской Федерации в 2009-2014 гг. / А. В. Водоватов, В. Ю. Голиков, С. А. Кальницкий, И. Г. Шацкий, Л. А. Чипига // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, №. 3. – С. 66–75.
4. *Стадник, Л. Л.* Оценка доз пациентов в рентгенографии и их оптимизация путем установления национальных диагностических рекомендованных уровней / Л. Л. Стадник, О. Ю. Шалепя, О. В. Носик // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 84–91.
5. *Веренич, К. А.* Компьютерная программа для экспресс-оценки доз облучения пациентов при диагностической рентгенографии / К. А. Веренич, В. Ф. Миненко, С. А. Кутень // Здоровье и окружающая среда : сборник научных трудов. – Минск : РИВШ, 2019. – Вып. 29. – С. 27–30.

АНАЛИЗ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ УКЛАДКЕ ПАЦИЕНТОВ С ЛЕВОСТОРОННИМ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ CATALYST+HD И СИСТЕМЫ ABC

ANALYSIS OF AVERAGE STATISTICAL ERRORS IN THE PLACEMENT OF PATIENTS WITH LEFT-SIDED BREAST CANCER USING THE CATALYST+HD SYSTEM AND THE ABC SYSTEM

С. К. Семковский¹, Е. А. Лобова²
S. K. Semkovsky, E. A. Lobova

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь

²Минский городской клинический онкологический центр, г. Минск, Республика Беларусь
lizlobova@gmail.com

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus ²Minsk City Clinical Oncology Center, Minsk, Republic of Belarus

Лучевая терапия злокачественных новообразований способна вызвать у пациентов лучевые реакции и осложнения со стороны нормальных тканей. Главное требование к радиационной защите пациентов состоит в максимально возможном снижении дозы в нормальных органах и тканях, окружающих мишень. При лечении рака левой молочной железы часто используется дистанционная лучевая терапия. Для снижения дозовой нагрузки на органы и ткани, располагающиеся рядом с мишенью, применяются несколько методик, основанные на задержке дыхания, такие как система Catalyst+HD и системы ABC.

Radiation therapy of malignant neoplasms can cause radiation reactions and complications from normal tissues in patients. The main requirement for radiation protection of patients is the maximum possible dose reduction in normal organs and tissues surrounding the target. In the treatment of cancer of the left breast, remote radiation therapy is often used. To reduce the dose load on organs and tissues located near the target, several techniques based on breath retention are used, such as the Catalyst+HD system and ABC systems.

Ключевые слова: рак левой молочной железы, термопластичная фиксирующая маска, задержка дыхания на глубоком вдохе, система Catalyst+HD, система ABC (Active breathing coordinator), DIBH (Deep Inspiration Breath Hold).

Keywords: рак левой молочной железы, термопластичная фиксирующая маска, задержка дыхания на глубоком вдохе, система Catalyst+HD, система ABC (Active breathing coordinator), DIBH (Deep Inspiration Breath Hold).

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-1-321-324>

Рак молочной железы - одна из наиболее распространенных форм злокачественных новообразований у женщин. Эта форма рака характеризуется довольно агрессивным ростом и способностью к активному метастазированию. Заболеваемость раком молочной железы среди женского населения Беларуси сохраняется на средних уровнях по сравнению с соответствующими показателями в других республиках СНГ. При лечении рака левой молочной железы используется методика задержки дыхания на глубоком вдохе (Deep Inspiration Breath Hold).

Положение ряда анатомических структур организма зависит от фазы дыхательного цикла: в первую очередь это касается органов грудной клетки и брюшной полости. Возможность учета изменения положения таких структур при проведении лучевой терапии позволяет снизить лучевую нагрузку на окружающие здоровые органы и ткани. Контроль дыхательных движений имеет большое значение в лечении рака молочной железы, злокачественных опухолей легких, печени, поджелудочной железы, почек, надпочечников, селезенки и лимфатических узлов [1].

Попытка компенсировать вариабельность положений мишени и ее частей в зависимости от фазы дыхательного цикла в течение сеанса лучевой терапии основывается на увеличении отступов, формирующего планируемый объем мишени, что приводит к увеличению риска постлучевых осложнений. Принципиально другие возможности дает проведение лучевой терапии с задержкой дыхания, в частности на вдохе. Доза в сердце значительно снижается за счет того, что легочная ткань на высоте фиксированного вдоха отодвигает сердце от зоны высокой дозы. Применение данной методики позволяет снизить дозу не только в сердце, но и в левой передней нисходящей ветви коронарной артерии, уменьшить объем облучения. Точность подведения дозы ионизирующего излучения основывается на малой подвижности мишени при отсутствии значимых дыхательных движений [1].

Во время лечения дыхание пациента, а также движения опухоли или нормальной ткани могут повлиять на клинический результат, пропуская мишени или вызывая дополнительное распределение дозы в нормальной ткани. Система Catalyst+HD - это система контроля за поверхностью пациентов во время проведения лечения, обеспечивая более точное позиционирование.

Для лечения пациентов обычно укладывали на кушетку, используя метки на коже и обычную систему лазерного выравнивания. Затем пациентов перемещали в расчетное положение изоцентра. Когда пациент находился в положении для лечения, было выполнено оптическое сканирование. Оптическое сканирование поверхности проводилось с использованием системы Catalyst+HD. Три сканирующих блока, каждый из которых состоит из двух компонентов: проектора, использующего светодиоды (LED), и камеры с зарядовой связью (CCD), установлен на потолке в процедурном кабинете, проецируя быструю и почти видимую последовательность света узоры на поверхности пациентов. Используется оптически видимый свет с длиной волны 450 (синий), 528 (зеленый) и 624 нм (красный). Отраженный свет от поверхности пациента улавливается блоком камеры. Положение пациента в помещении определяется с помощью отраженного света, а программное обеспечение Catalyst+HD вычисляет поверхность пациента с использованием определенного алгоритма регистрации. Для сбора данных используется приложение "сPositioning" программного обеспечения с4D в "клиническом режиме", которое позволяет только выбрать соответствующего пациента и настроить настройки камеры в "режиме предварительной настройки" для оптимизации качества изображения. Режим предварительной настройки включает предопределенные шаблоны для настроек камеры, значения допуска для отображения отклонений поверхности и время усреднения поверхности [2].

При облучении левой молочной железы применяется так называемая методика глубокой задержки дыхания на вдохе (DIBH). Благодаря её применению достигается минимизация дозы на сердечную мышцу.

Система ABC (Active breathing coordinator system) - это система управления дыханием, используемая совместно с аппаратом для дистанционной лучевой терапии. Эта система использует спирометр для отслеживания фактического объема легких пациента. Система ABC используется, когда есть необходимость уменьшить анатомические движения в грудной клетке и брюшной полости, вызванные дыханием и сердечными сокращениями. Данная методика специально используется для лечения левой молочной железы с целью уменьшения дозы на сердечную мышцу, легкие и другие органы грудной клетки, для уменьшения границ опухолевых мишеней, а также для некоторых опухолей печени и поджелудочной железы. При лечении левостороннего рака молочной железы для фиксации и более точной укладки перед процедурой лучевой терапии использовались термопластичные фиксирующие маски компании Orfit. Маски обеспечивают равномерную и удобную укладку, ограничивая при этом движение пациента [3].

Принцип работы системы ABC следующий: пациент с зажатым носом дышит через выдвижную дыхательную трубку длиной 20-44 см через трубку, оснащенную фильтром на дистальном конце. Результирующий поток воздуха вращает крыльчатку во встроеном турбинном патроне прилагаемого цифрового датчика объема. Направление и количество оборотов крыльчатки определяются оптико-электрическими детекторами в приемном узле датчика. Полученный электрический сигнал передается в модуль управления, где он преобразуется и отображается в виде кривой объема на компьютере, выполняющем управляющее программное обеспечение. Оператор предварительно устанавливает пороговое значение громкости для задержки дыхания при вдохе или выдохе

и продолжительность задержки дыхания в управляющем программном обеспечении. Чтобы подготовить задержку дыхания, оператор активирует систему нажатием клавиши пробела на управляющем компьютере и инструктирует человека глубоко вдохнуть или выдохнуть. Когда объем воздуха превышает заданный порог объема вдоха или выдоха, автоматически достигается остановка дыхания на заданную продолжительность путем надувания клапана баллона для закупорки дыхательных путей. Соответствие требованиям пациента и безопасность гарантируются ручным электрическим выключателем, который при отпускании сдувает клапан баллона. Оператор также может досрочно прекратить задержку дыхания с помощью управляющего компьютера [4].

Объектом исследования являются 18 пациентов с раком левой молочной железы, прошедших лечение методикой DIBH с использованием системы Catalyst+HD, и 18 пациентов с раком левой молочной железы, прошедших лечение с использованием термопластичных фиксирующих масок компании Orfit методикой ABC. Для расчета были использованы данные смещений по координатам x, y, z относительно изоцентра линейного ускорителя, вычисленные для каждого из первых трех проверочных сканирований.

Таблица 1

Данные смещений по координатам x, y, z относительно изоцентра линейного ускорителя для пациентов при использовании разных методик

Patient	DIBH			ABC		
	x	y	z	x	y	z
1	-0,41	-0,64	-0,82	-0,5	-0,19	0,13
	-0,41	-0,43	-0,44	0,06	-0,11	0,39
	-0,24	0,05	-0,09	-0,2	-0,2	-0,16
2	0,45	-0,23	0,12	0,07	0,55	-0,22
	-0,28	-0,3	-0,29	-0,37	-0,25	0,1
	-0,3	-0,32	0,18	0,16	0,31	0,08
3	1,09	0,76	0,43	1	-0,76	-0,09
	-0,12	0,06	-0,22	0,06	0,19	-0,17
	-0,36	0,47	0,18	0,02	0,18	-0,19
4	4,99	-0,7	-0,82	-0,17	-0,18	-0,01
	3,95	0,95	0,52	-0,16	0	-0,02
	5,65	0	-0,16	-0,37	0,36	-0,06
5	0,13	-0,09	-0,41	0,23	0,35	-0,21
	3,95	0,8	0,61	-0,36	0,3	-0,11
	5,66	-1,5	-1,46	0,03	0,07	-0,13
6	0,08	-1,11	-0,31	-0,21	-0,26	-0,14
	0,13	-0,19	-0,02	-0,05	-0,2	-0,25
	-0,08	-0,75	0,07	0,13	0,24	0,22
7	0,5	0,13	-0,54	0,05	-0,46	0,3
	0,2	0,21	0,11	-0,04	0,26	-0,2
	0,33	0,33	-0,65	-0,07	-0,03	-0,05
8	-0,46	0	-0,1	-0,57	-0,32	-0,1
	-0,64	0	-0,2	-0,05	0,3	-0,05
	-0,01	0,14	0,03	-0,2	-0,27	-0,2
9	0,12	0,27	-0,6	-0,21	0,29	-0,18
	-0,24	0,18	0,12	0,46	0,11	-0,16
	-0,2	-0,2	-0,8	0,14	0,41	-0,18
10	-0,25	-0,09	-0,32	0,41	-0,48	0,13
	-0,04	0	0,28	-0,14	-0,01	0,18
	0,16	-0,61	-0,17	0	0,25	0,24

Patient	DIBH			ABC		
	x	y	z	x	y	z
11	0	0,23	0,17	0,08	0,34	-0,49
	-0,31	-0,28	0	0,05	0,14	0,09
	0,45	-0,08	0,12	0,11	-0,06	0,13
12	1,04	1,62	1,02	-0,14	-0,04	-0,19
	0,44	0,19	-0,37	0,06	0,05	0,21
	0,2	-0,13	-0,07	-0,18	0,13	0,07
13	-0,14	-0,24	-0,14	-1,01	0,31	0,11
	-0,51	-0,12	0,05	0,15	-0,43	0,1
	0,39	0,05	-0,49	0,1	-0,01	0,3
14	-0,37	-0,3	0,11	-0,01	-0,33	-0,01
	-0,07	0,09	0,33	-0,03	0,09	0,15
	0,12	0,3	0	0,07	0,05	0,04
15	-0,74	0,69	0,61	-0,31	0,1	0,07
	0,2	-0,12	0,24	0,1	0,01	0,17
	0,16	0,34	0,17	0,01	0,01	0,03
16	-0,11	0,27	0,04	-1,58	-1,15	-0,23
	0,21	-0,31	-0,26	-0,11	0,02	-0,15
	0,05	0,11	0,16	0,07	0,19	0,06
17	-0,38	0,46	-0,24	-0,16	0,51	0,08
	0,05	0,03	-0,13	-0,15	-0,09	0,13
	-0,22	0	0,34	-0,04	0,21	0,03
18	0,02	0,28	0,11	0,13	0,11	-0,27
	0,13	0,2	-0,06	0,22	0,21	0,03
	-0,69	0,3	0,1	-0,3	-0,4	0,03

Среднестатистические изоцентрические смещения для пациентов с раком левой молочной железы, прошедших лечение методикой DIBH с использованием системы Catalyst+HD, составили $(0,60 \pm 0,43)$ мм, $(0,26 \pm 0,02)$ мм и $(0,27 \pm 0,07)$ мм для координат x, y, z соответственно. Среднестатистические изоцентрические смещения для пациентов с раком левой молочной железы, прошедших лечение с использованием термопластичных фиксирующих масок производства компании Orfit методикой ABC, составили $(0,14 \pm 0,07)$ мм, $(0,13 \pm 0,01)$ мм и $(0,07 \pm 0,01)$ мм для координат x, y, z соответственно.

Несмотря на разницу полученных значений ошибок позиционирования пациентов на протяжении курса лучевой терапии, результаты применения систем контроля дыхания говорят о высокой точности укладки, а соответственно и о качестве проведения лучевой терапии для пациентов с раком левой молочной железы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gladilina I. A., Fedoseenko D. I., Makarov E. S., Shabanov M. A., Valiev R. K. et al. Radiotherapy after organsparing surgery for I-IIA stages of left-sided breast cancer. *Malignant Tumours* 2017; 4: 05–12.
2. F. Walter, P. Freislederer, C. Belka, C. Heinz, M. Söhn, and F. Roeder, Evaluation of daily patient positioning for radiotherapy with a commercial 3D surface-imaging system (Catalyst™). *Radiation Oncology* 2016; 11: 154.
3. Freislederer P, Reiner M, Hoischen W, Quanz A, Heinz C, Walter F, Belka C, Soehn M. Characteristics of gated treatment using an optical surface imaging and gating system on an Elekta linac. *Radiat Oncol.* 2015;10:68.
4. E. Kaza, R. Symonds-Tayler, D. J. Collins, F. McDonald, H. A. McNair, E. Scurr, D.-M. Koh and M. O. Leach, First MRI application of an active breathing coordinator. *Physics in Medicine & Biology*, Volume 60, Number 4.