

УДК [621.384.64:539.1.089.6]: 615.849.1

Алгоритм определения компонентов сеанса лучевой терапии для различных методов облучения онкологических пациентов на этапе их предлучевой подготовки

Титович Е.В.¹, Потепалов П.О.¹, Петкевич М.Н.¹, Киселев М.Г.²

¹РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова,
агродорок Лесной 223040, Минский район, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь

Поступила 09.01.2017

Принята к печати 15.02.2017

Одним из основных факторов, влияющих на эффективность облучения онкологических больных являются временные параметры (время, которое больной проводит в процедурном помещении) сеанса облучения пациента, от которых напрямую зависит точность его позиционирования, а значит и правильность доставки предписанного дозового распределения. Цель работы – определение оказывающих влияние на сеанс облучения компонентов временных характеристик и разработка алгоритма, позволяющего установить продолжительность лечения с использованием различных методик лучевой терапии и локализаций опухоли.

Для установления компонентов сеанса лучевой терапии, оказывающих доминирующее влияние на его временные характеристики, авторами проведен ретроспективный анализ каждой фракции всей выборки планов облучения онкологических пациентов с локализациями опухолевых очагов, которые наиболее часто подвергались лучевому лечению с применением линейных ускорителей в РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова (более 5200 фракций). На основании результатов анализа разработаны алгоритмы для оценки временных параметров сеанса лучевой терапии онкологического пациента на этапе его предлучевой подготовки, с учетом индивидуальных особенностей лучевого лечения для каждой из наиболее применимых в клинической практике отделений лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова методик облучения.

С использованием предложенных алгоритмов выявлены компоненты сеансов лучевой терапии, оказывающие доминирующее влияние на его временные характеристики при облучении по методикам трехмерной конформной лучевой терапии (ЗД КЛТ), лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) и секторной лучевой терапии с объемной модуляцией интенсивности (СЛТМИ) (количество радиационных полей, установка дозомодулирующих устройств, поворот терапевтического стола, длительность облучения одного радиационного поля, верификация положения пациента, инициализация ускорителя с параметрами облучения) и характеристики линейного ускорителя и плана облучения, от которых зависит длительность этих компонентов. Установлено среднее время облучения по каждой из методик лучевой терапии и рассматриваемых локализаций опухолевых очагов (от 4 до 8 мин для ЗД КЛТ, от 4 до 8 мин для ЛТМИ, от 3 до 4 мин для СЛТМИ).

Ключевые слова: сеанс облучения, линейный ускоритель, лучевая терапия, временные характеристики.

DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-73-80

Адрес для переписки:

Потепалов П.О.
РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова,
агродорок Лесной 223040, Минский район, Беларусь
e-mail: pashokpashok@tut.by

Address for correspondence:

Patsiapalau P.A.
N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus,
Lesnoy 223040, Minsk District, Belarus
e-mail: pashokpashok@tut.by

Для цитирования:

Титович Е.В., Потепалов П.О., Петкевич М.Н., Киселев М.Г.
Алгоритм определения компонентов сеанса лучевой терапии для различных методов облучения онкологических пациентов на этапе их предлучевой подготовки.
Приборы и методы измерений.
2017. – Т. 8, № 1. – С. 73–80.
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-73-80

For citation:

Titovich E.V., Patsiapalau P.A., Piatkevich M.N., Kiselev M.G.
[The algorithm for determining timing of radiotherapy session components for different methods of oncology patients irradiation at the stage of radiotherapy planning].
Pribory i metody izmerenii [Devices and Methods of Measurements].
2017, vol. 8, no. 1, pp. 73–80 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-73-80

The algorithm for determining timing of radiotherapy session components for different methods of oncology patients irradiation at the stage of radiotherapy planning

Titovich E.V.¹, Patsiapalau P.A.¹, Piatkevich M.N.¹, Kiselev M.G.²

¹N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus,
Lesnoy 223040, Minsk District, Belarus

²Belarusian National Technical University,
Nezavisimosty Ave., 65, Minsk 220013, Belarus

Received 09.01.2017

Accepted for publication 15.02.2017

Abstract

One of the main factors affecting the efficiency of oncology patients radiation therapy are time parameters (the amount of time that a patient spends in the therapy room) of the patient exposure session, because the patient treatment position depends on them, and thus the accuracy of delivery of the prescribed dose distribution too. The objective of this work was to define components that influence on the treatment session and to develop an algorithm that allows to determine the duration of the patient treatment sessions with the use of different methods of radiotherapy and tumor localization.

In order to determine radiation therapy session components, that cause the dominant influence on the session timing, the authors carried out a retrospective analysis of each fraction of the total sample of cancer patients treatment plans with most often irradiated with the use of linear accelerators in the NCCB localizations of tumors (more than 5200 fractions).

The appropriate algorithms were designed to assess the results of the analysis of time parameters of radiation therapy oncology patient session during its pre-radiation preparation. It allowed to take into account the individual characteristics of radiation treatment for each irradiation techniques that are the most useful in clinical practice of NCCB radiotherapy department. The components of radiation therapy sessions that caused dominant influence on session characteristics using methods of three-dimensional conformal radiation therapy (3D CRT), intensity modulated radiation therapy (IMRT) and volumetric modulated arc therapy (VMAT) were identified.

The characteristics of the linear accelerator and the irradiation plan that influenced the duration of these components (number of radiation fields, dose affecting devices placement, treatment table rotation, treatment field irradiation duration, verification of patient positioning, treatment parameters initialization) were defined. Average exposure time is established for each of the examined methods of radiotherapy and localizations of tumor (from 4 to 8 min for 3D CRT, from 4 to 8 min for IMRT for 3 to 4 min for VMAT).

Keywords: treatment session, linear accelerator, radiation therapy, timing.

DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-73-80

Адрес для переписки:

Потепалов П.О.
РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова,
аэрогородок Лесной 223040, Минский район, Беларусь
e-mail: pashokpashok@tut.by

Address for correspondence:

Patsiapalau P.A.
N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus,
Lesnoy 223040, Minsk District, Belarus
e-mail: pashokpashok@tut.by

Для цитирования:

Титович Е.В., Потепалов П.О., Петкевич М.Н., Киселев М.Г.
Алгоритм определения компонентов сеанса лучевой терапии для различных методов облучения онкологических пациентов на этапе их предлучевой подготовки.
Приборы и методы измерений.
2017. – Т. 8, № 1. – С. 73–80.
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-73-80

For citation:

Titovich E.V., Patsiapalau P.A., Piatkevich M.N., Kiselev M.G.
[The algorithm for determining timing of radiotherapy session components for different methods of oncology patients irradiation at the stage of radiotherapy planning].
Pribory i metody izmerenii [Devices and Methods of Measurements].
2017, vol. 8, no. 1, pp. 73–80 (in Russian).
DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-1-73-80

Введение

Лучевая терапия (ЛТ) является одним из ведущих методов лечения больных с онкологическими заболеваниями и эффективна более чем у 50 % пациентов [1]. Главным требованием к радиационной защите пациентов в лучевой терапии является максимально возможное снижение поглощенной дозы на нормальные ткани и органы, окружающие опухоли, при высоких значениях дозы в самой опухоли [2]. Для обеспечения радиационной безопасности онкологических пациентов, получающих лучевую терапию, требуется обеспечить постоянство их положения на лечебном столе с использованием фиксирующих приспособлений различной конструкции на протяжении всего сеанса облучения [3]. Международная комиссия по радиологическим единицам в 1976 г. рекомендовала, чтобы неопределенность подведения поглощенной дозы к мишени на любых терапевтических аппаратах не превышала 5 % [4]. Одним из основных факторов, от которых зависит эффективность облучения, являются временные параметры (время, которое пациент проводит в процедурном помещении) сеанса облучения пациента, от которых напрямую зависит точность позиционирования пациента, а значит и точность доставки предписанного дозового распределения [5]. В настоящее время не представляется возможным полностью исключить смещение опухоли, здоровых органов и тканей и самого тела пациента, возникающих в процессе его лучевого лечения, что может привести к лучевым реакциям и осложнениям. Известные протоколы дозиметрического планирования условий лучевого лечения не учитывают временные параметры сеанса облучения при выборе методики лучевой терапии [6, 7]. Известны клинические случаи, когда опухоль в процессе длительной процедуры лучевого лечения изменила свое положение более чем на 1 см. [8, 9]). Такие отклонения в положении облучаемых тканей и структур могут привести к возникновению лучевых осложнений у пациентов, что обуславливает необходимость учета индивидуальных временных параметров сеанса лучевой терапии онкологического пациента на этапе его предлучевой подготовки. Разработка алгоритма для оценки временных параметров сеанса лучевой терапии онкологического пациента на этапе его предлучевой подготовки позволит учесть индивидуальные особенности лучевого лечения онкологического пациента и

выполнить обоснованный выбор методики лучевой терапии (3Д КЛТ – трехмерная конформная лучевая терапия, ЛТМИ – лучевая терапия с модуляцией интенсивности либо СЛТМИ – секторная лучевая терапия с объемной модуляцией интенсивности) в каждом конкретном клиническом случае с учетом локализации злокачественного новообразования и предполагаемой длительности сеанса облучения.

Цель работы – определение оказывающих влияние на сеанс облучения компонентов временных характеристик и разработка алгоритма, позволяющего установить продолжительность лечения с использованием различных методик лучевой терапии и локализаций опухоли.

Основная часть

Сеанс лучевой терапии онкологического пациента в общем случае состоит из следующих этапов:

- загрузка условий лучевого лечения больного (план облучения) в персональный компьютер (консоль ЛУ) с установленным на нем специализированным программным обеспечением 4DITC;
- проверка плана облучения больного на отсутствие ошибок в передаче данных;
- укладка пациента и центрация в предписанном для проведения облучения положении;
- при необходимости устанавливаются дополнительные фиксирующие и дозимодулирующие устройства (физические клиновидные фильтры, теневые защитные блоки, компенсаторы) для индивидуализации условий лучевого лечения;
- инициализация ускорителя с параметрами облучения, актуальными для первого лечебного поля;
- установка необходимых механических параметров ускорителя под визуальным контролем из процедурного помещения;
- при необходимости верификация положения больного на терапевтическом столе путем сравнения рентгеновских изображений, полученных непосредственно перед началом облучения с опорными изображениями, полученными при проведении симуляции условий лучевой терапии пациента;
- оператор консоли ЛУ инициирует включение ионизирующего излучения и, таким образом, начинает процедуру лучевого лечения;
- по окончании облучения первого радиационного поля осуществляется инициализация

ускорителя с параметрами облучения, актуальными для следующего лечебного поля.

Такие величины, как значения угла поворота штатива и коллиматора ускорителя, размеры радиационного поля, положение лепестков мультилепесткового коллиматора, могут быть изменены оператором консоли удаленно с использованием специализированного программного обеспечения. В случаях, когда этого не достаточно для точной установки всех предписанных условий лучевого лечения, медицинская сестра заходит в процедурный зал и устанавливает дозимодулирующие устройства, а также остальные необходимые па-

раметры ЛУ с использованием пульта ручного управления. Процесс инициализации ЛУ и установки его параметров, требуемых для соблюдения условий облучения повторяется для каждого последующего радиационного поля вплоть до последнего. После облучения последнего предписанного радиационного поля оператор консоли ЛУ документирует результаты проведенного сеанса лучевой терапии как в онкологической информационной системе, так и в амбулаторной карте больного. Типовой план размещения медицинского линейного ускорителя на примере ЛУ *TrueBeam* компании *Varian*, представлен на рисунке 1 [10].

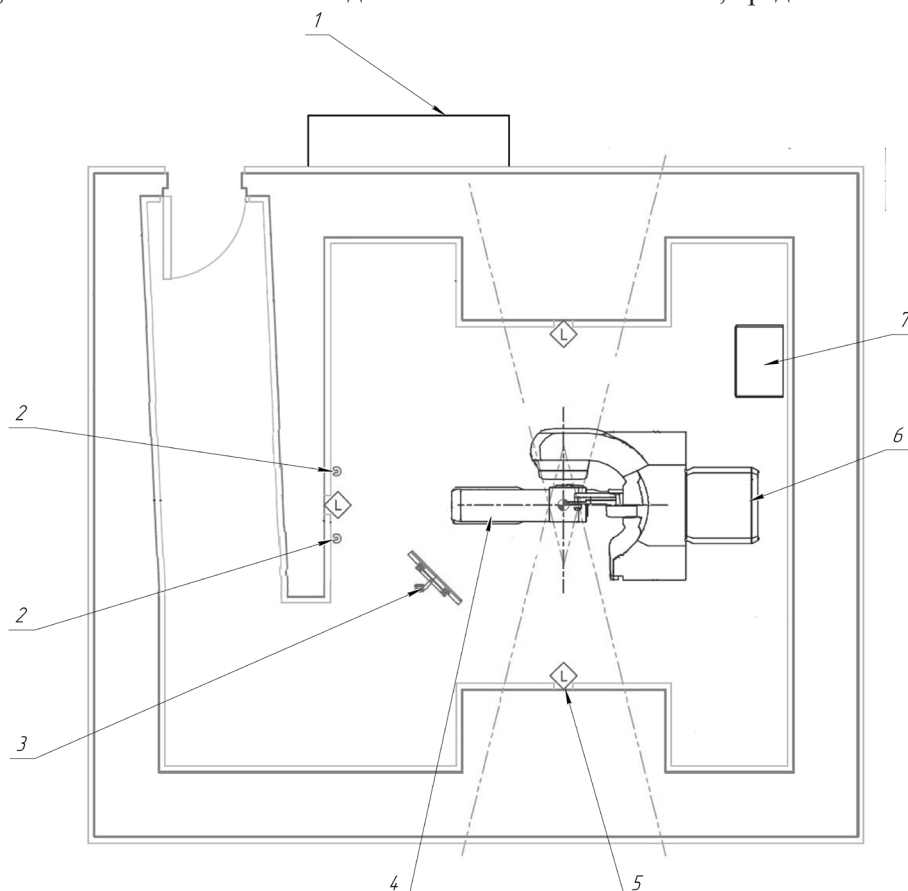


Рисунок 1 – Типовое размещение медицинского линейного ускорителя, его систем и консоли управления [10]: 1 – консоль линейного ускорителя; 2 – камеры видеонаблюдения; 3 – монитор в процедурной; 4 – терапевтический стол; 5 – лазер для позиционирования пациентов; 6 – линейный ускоритель; 7 – шкаф модулятора

Figure 1 – Typical placement of medical linear accelerator, its systems and treatment console [10]: 1 – linear accelerator console; 2 – CCTV cameras; 3 – treatment room monitor; 4 – treatment table; 5 – positioning laser; 6 – linear accelerator; 7 – modulator

Результаты исследований

Для установления компонентов сеанса лучевой терапии, оказывающих доминирующее влияние на его временные характеристики, авторами проведен ретроспективный анализ каждой фракции всей выборки планов облучения онко-

логических пациентов с локализациями опухолевых очагов, которые наиболее часто подвергались лучевому лечению с применением ЛУ в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова (более 5200 фракций).

На основании результатов анализа авторами разработаны алгоритмы для оценки временных

параметров сеанса лучевой терапии онкологического пациента на этапе его предлучевой подготовки с учетом индивидуальных особенностей лучевого лечения для каждой из наиболее применимый в клинической практике отделения луче-

вой терапии РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова методик облучения. Алгоритмы осуществления типового сеанса лучевой терапии по методикам 3Д КЛТ, ЛТМИ и СЛТМИ представлены на рисунках 2 и 3.

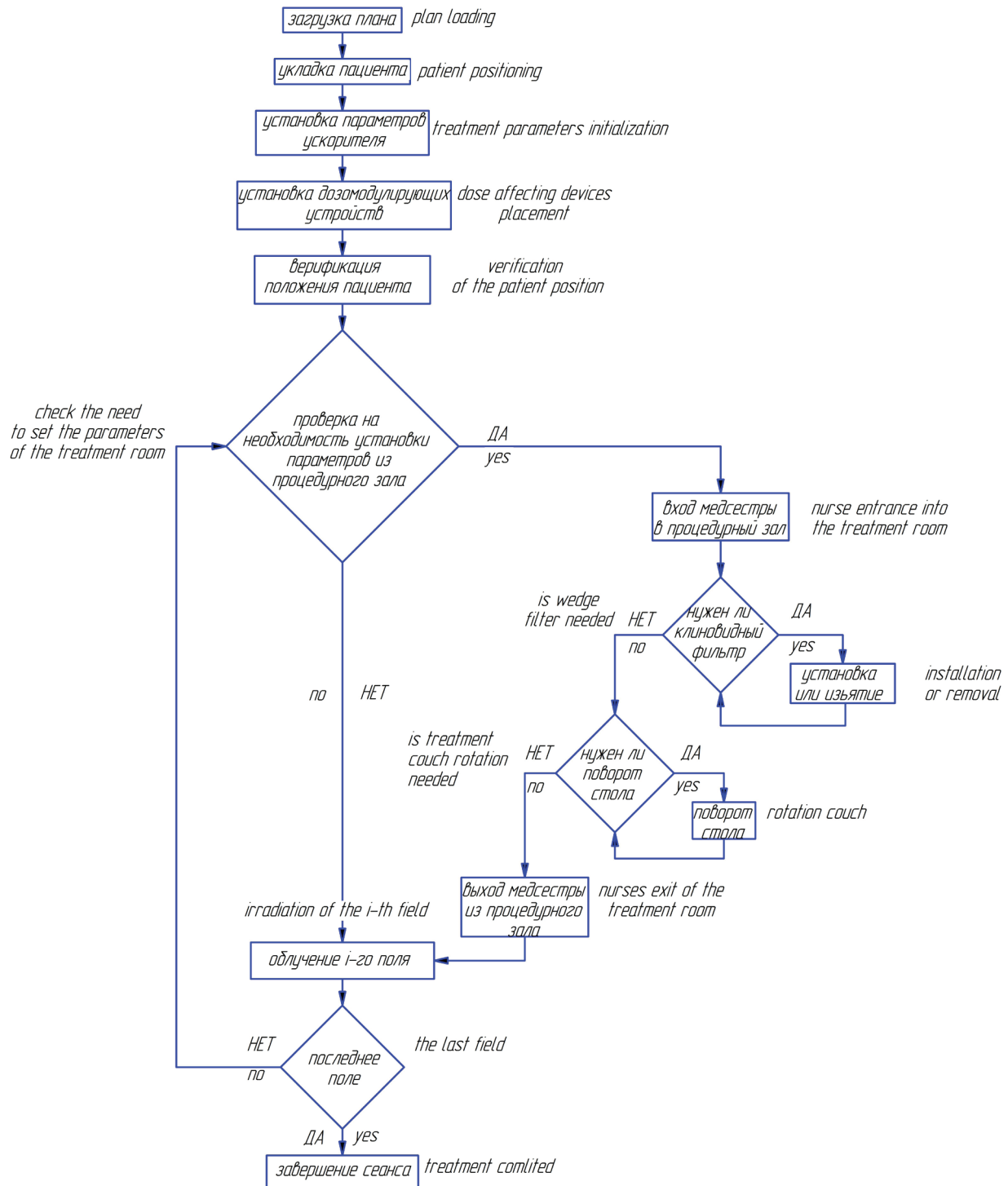


Рисунок 2 – Алгоритм осуществления сеанса облучения пациента по методике трехмерной конформной лучевой терапии (3Д КЛТ)

Figure 2 – The algorithm of a patient irradiation session using the 3D conformal radiation therapy (3D CRT) technique

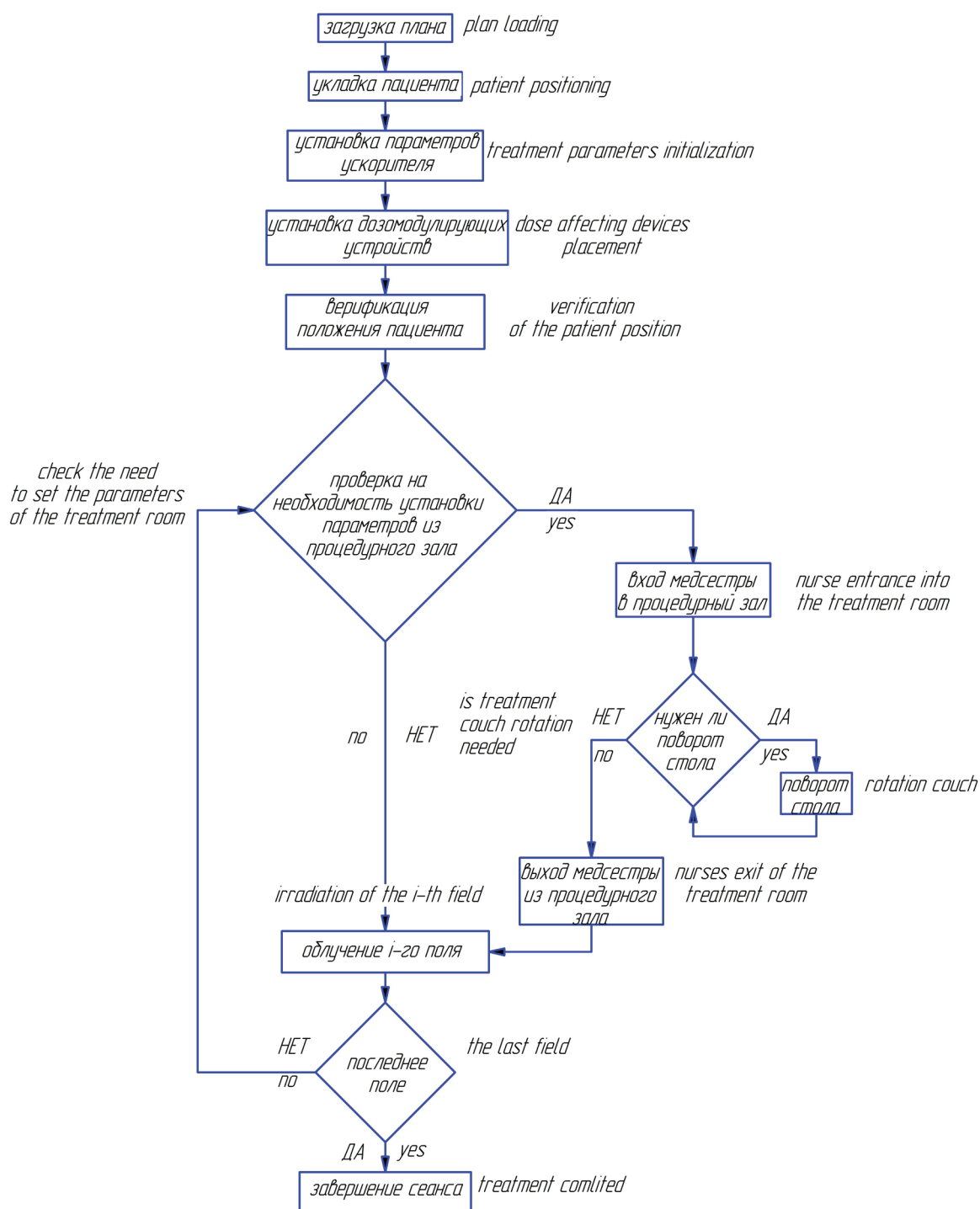


Рисунок 3 – Алгоритм осуществления сеанса облучения пациента по методикам лучевой терапии с модуляцией интенсивности (ЛТМИ) и секторной лучевой терапии с объемной модуляцией интенсивности (СЛТМИ)

Figure 3 – The algorithm of a patient irradiation session using the intensity-modulated radiotherapy (IMRT) and volumetric arc therapy VMAT techniques

На основании проведенного ретроспективного анализа планов облучения онкологических больных и с использованием разработанных алгоритмов осуществления типовых сеансов облучения онкологических пациентов по наиболее распространенным в клинической практике РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова методикам

лучевой терапии авторами выявлены компоненты сеанса лучевой терапии, оказывающие доминирующее влияние на его временные характеристики и характеристики линейного ускорителя и плана облучения от которых зависит длительность этих компонентов. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица / Table

Компоненты типового сеанса лучевой терапии
The components of standard radiotherapy session

Компонент сеанса облучения Treatment session component	От чего зависит длительность Duration depends from	Для каких методик лучевой терапии оказывает влияние Influences treatment techniques
Количество радиационных полей Number of treatment fields	От локализации и методики облучения Tumor localization and treatment technique	3Д КЛТ, ЛТМИ, СЛТМИ (3D CRT, IMRT, VMAT)
Установка дозимодулирующих устройств Dose affecting devices placement	От локализации и методики облучения Tumor localization and treatment technique	3Д КЛТ (3D CRT)
Поворот терапевтического стола Treatment table rotation	От локализации Tumor localization	3Д КЛТ, ЛТМИ, СЛТМИ (3D CRT, IMRT, VMAT)
Длительность облучения одного ради- ационного поля Treatment field irradiation duration	Количество мониторных единиц, мощ- ность дозы Monitor units quantity and dose rate	3Д КЛТ, ЛТМИ, СЛТМИ (3D CRT, IMRT, VMAT)
Верификация положения пациента Verification of the patient position	От локализации и методики облучения Tumor localization and treatment technique	3Д КЛТ, ЛТМИ, СЛТМИ (3D CRT, IMRT, VMAT)
Инициализация ускорителя с параме- трами облучения Treatment parameters initialization	Количество радиационных полей Treatment fields quantity	3Д КЛТ, ЛТМИ, СЛТМИ (3D CRT, IMRT, VMAT)

Установлено что при осуществлении луче-
вого лечения по методикам 3Д КЛТ и ЛТМИ,
наиболее часто применяются планы с 5–9 по-
лями облучения, а по методике СЛТМИ – с 2
радиационными полями, что обуславливает
значительные различия во времени проведения
сеанса облучения с их использованием. Дозо-
модулирующие устройства, используемые для
получения дозового распределения комплекс-
ной формы (физические клиновидные фильтры
и др.), для установки/снятия которых медицин-
ской сестре необходимо входить в процедурный
зал, что приводит к значительному увеличению
времени облучения для такого радиационного
поля применяются только для методики 3Д КЛТ.
При составлении плана облучения по методи-
кам ЛТМИ и СЛТМИ предписанное комплекс-
ное дозовое распределение достигается путем
создания дозовой карты (флюенса) с каждого
поля путем неравномерного запланированного
перемещения лепестков коллиматора ЛУ и ис-
пользование дозимодулирующих устройств не
требуется.

На основании проведенных исследований
авторами установлено среднее время облучения
по каждой из методик лучевой терапии для каж-
дой из рассматриваемых локализаций (от 4 до
8 мин для 3Д КЛТ, от 4 до 8 мин для ЛТМИ, от 3
до 4 мин для СЛТМИ).

Заключение

Проведен ретроспективный анализ наиболее
часто встречающихся в клинической практике он-
кологических учреждений Республики Беларусь
типовых процедур облучения онкологических
пациентов с использованием медицинского ли-
нейного ускорителя. Установлено распределение
локализаций опухолевых очагов и методов дис-
танционного облучения радиотерапевтических
пациентов с использованием ускорителей Trilogy
№ 3567 и Unique № 2015 в РНПЦ онкологии и
медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова
по частоте их применения.

Разработаны алгоритмы для оценки времен-
ных параметров сеанса лучевой терапии онко-
логического пациента на этапе его предлучевой
подготовки с учетом индивидуальных особенно-
стей лучевого лечения для каждой из наиболее
применяемых в клинической практике отделения
лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицин-
ской радиологии им. Н.Н. Александрова методик
облучения.

Установлены компоненты сеансов лучевой
терапии, оказывающие доминирующее влияние
на ее временные характеристики при облучении
по методикам 3Д КЛТ, ЛТМИ и СЛТМИ (количе-
ство радиационных полей, установка дозимоду-
лирующих устройств, поворот терапевтического

стола, длительность облучения одного радиационного поля, верификация положения пациента, инициализация ускорителя с параметрами облучения) и характеристики линейного ускорителя и плана облучения, от которых зависит длительность этих компонентов. Установлено среднее время облучения по каждой из методик лучевой терапии и рассматриваемых локализаций опухолевых очагов (от 4 до 8 мин для 3Д КЛТ, от 4 до 8 мин для ЛТМИ, от 3 до 4 мин для СЛТМИ).

Список использованных источников

1. The role of radiotherapy in cancer treatment: Estimating optimal utilization from a review of evidence-based clinical guidelines / G. Delaney [et al.] // *Cancer*. – 2005. – Vol. 104, № 6. – P. 1129–1137.
2. Лучевая терапия / Г.Е. Труфанов [и др.]; под ред. Г.Е. Труфанова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 208 с.
3. Тарутин. И.Г. Применение линейных ускорителей электронов в высокотехнологичной лучевой терапии / И.Г. Тарутин, Е.В. Титович // Минск : Беларуская навука, 2015. – 175 с.
4. Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma rays in Radiotherapy Procedures, International Commission On Radiation Units And Measurements. – Washington, D.C : ICRU, 1976. – Rep. 24.
5. Design and Implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects [Electronic resource] / Intern. Atomic Energy Agency. – 1998. – Mode of access: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1040_prn.pdf. – Date of access: 20.01.2017.
6. Алгоритмы диагностики и лечения злокачественных новообразований : сб. науч. ст. / М-во здравоохранения Респ. Беларусь, Респ. науч.-практ. центр онкологии и мед. радиологии им. Н.Н. Александрова; под ред. О.Г. Суконко, С.А. Красного. – Минск: Профессиональные издания, 2012. – Вып. 2. – 508 с.
7. Comprehensive audits of radiotherapy practices: a tool for quality improvement [Electronic resource] / International Atomic Energy Agency. – 2007. – Mode of access: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1297_web.pdf. – Date of access: 20.01.2016.
8. Stereotactic radiotherapy with real-time tumor tracking for non-small cell lung cancer: clinical outcome / N.C. Van der Voort [et al.] // *Radiother. Oncol.* – 2009. – Vol. 91, No. 3 – P. 296–330.

9. Transition from 2-D Radiotherapy to 3-D Conformal and Intensity Modulated Radiotherapy: IAEA-TECDOC-1588 / Intern. Atomic Energy Agency. – Vienna, 2008. – 68 p.

10. Varian Medical Systems I. Designers' Desk Reference. Version for TrueBeam STx. – Palo Alto, CA: Varian Medical Systems. – 2013. – Reference guide.

References

1. Delaney G., Jacob S., Featherstone C., Barton M. The role of radiotherapy in cancer treatment: Estimating optimal utilization from a review of evidence-based clinical guidelines. *Cancer*, 2005, vol. 104, pp. 1129–1137. doi: 10.1002/cncr.21324
2. Trufanov G.E., Asaturyan M.A., Zharinov G.M., Malahovskiy V.N. *Luchevaya terapiya* [Radiation therapy]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2012, 208 p.
3. Tarutin I.G., Titovich E.V. *Primenenie lineinykh uskoriteley elektronov v vysokotekhnologichnoi luchevoi terapii* [The use of linear electron accelerators in high-tech radiation therapy]. Minsk, Belarusskaya Navuka Publ., 2015, 175 p.
4. International Commission On Radiation Units And Measurements. Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma rays in Radiotherapy Procedures. Washington, D.C., ICRU, 1976, rep. 24. doi: 10.1093/jicru/ndh016
5. International Atomic Energy Agency. Design and Implementation of a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects. Vienna, IAEA, 1998, 97 p.
6. Sukonko O.G., Krasny S.A. *Algoritmy diagnostiki i lecheniya zlokachestvennykh novoobrazovaniy* [Algorithms for the diagnosis and treatment of malignancies] Minsk, Professionalnie izdaniya Publ., 2012, 508 p.
7. International Atomic Energy Agency. Comprehensive audits of radiotherapy practices: a tool for quality improvement. Vienna, IAEA, 2007, 94 p.
8. Van der Voort N.C., Prévost J.B., Hoogeman M.S., Praag J., van der Holt B., Levendag P.C., van Klaveren R.J., Pattynama P., Nuytens J.J. Stereotactic radiotherapy with real-time tumor tracking for non-small cell lung cancer: clinical outcome *Radiother. Oncol.*, 2009, vol. 91, pp. 296–330. doi: 10.1016/j.radonc.2009.02.011
9. International Atomic Energy Agency. Transition from 2-D Radiotherapy to 3-D Conformal and Intensity Modulated Radiotherapy: IAEA-TECDOC-1588 Vienna, IAEA, 2008, 68 p.
10. Varian Medical Systems International. Designers' Desk Reference. Version for TrueBeam STx. Palo Alto, CA, Varian Medical Systems, 2013, 206 p.