

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТРЁХМЕРНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ PLUNC В ПОДГОТОВКЕ МЕДИЦИНСКИХ ФИЗИКОВ

Е.С. Сухих^{1,2}, Л.Г. Сухих², Я.Н. Сутыгина^{1,2}, И.Ж. Хасенова², А.А. Баулин^{1,2}

¹ Томский областной онкологический диспансер, Томск

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

Представлен опыт Томского политехнического университета и Томского областного онкологического диспансера во внедрении некоммерческой трёхмерной системы планирования дистанционной лучевой терапии Plan-UNC (PLUNC) в процесс подготовки магистров медицинской физики в области клинической лучевой терапии. Кратко описана система PLUNC и её особенности, а также представлены варианты её использования в образовательном процессе, реализованные на базе Томского политехнического университета.

Ключевые слова: *лучевая терапия, медицинские физики, образование, некоммерческая трёхмерная система Plan-UNC (PLUNC), дозиметрическое планирование*

Введение

Несмотря на то, что медицинская физика включает в себя большое число направлений и специализаций, основное число специалистов в данной области традиционно связано с лучевой терапией злокачественных новообразований [1]. В обязанности медицинских физиков входит дозиметрическое планирование облучения, контроль качества, участие в топометрической подготовке, медико-физическое сопровождение лечения и т.п.

Подготовка медицинских физиков в нашей стране представляет собой ещё не до конца решённую проблему, которая, с одной стороны, обусловлена потребностью в большем числе специалистов, а с другой стороны – отсутствием единой концепции подготовки. Нельзя не согласиться с классическим видением ситуации, изложенным в работе В.А. Костылева [2], что, несмотря на наличие вузов, готовящих меди-

цинских физиков, вузы готовят “заготовки”. Пусть хорошие “заготовки”, но они должны “обрабатываться” в рамках программ послевузовской переподготовки и обучения на рабочих местах в медицинских онкологических центрах.

Причины, по которой вузы готовят “заготовки” медицинских физиков, достаточно очевидны. Главной из них является слабость или полное отсутствие материально-технической базы, т.к. медицинских физиков готовят инженерные вузы, которые не могут иметь дорогостоящего оборудования для клинического использования и лечения пациентов. Университеты, совмещающие в себе программы по подготовке физиков и медиков (т.е. те, которые потенциально могут иметь клиническое оборудование и работать с пациентами), в нашей стране можно пересчитать по пальцам. К ним относятся, например, МГУ им. М.В. Ломоносова и

Новосибирский госуниверситет. Однако и они не укомплектованы оборудованием для современной лучевой терапии. Из-за отсутствия материально-технической базы и практикующих специалистов инженерные вузы развивают сотрудничество с онкологическими центрами. Наиболее известным примером является сотрудничество между Национальным исследовательским ядерным университетом «МИФИ» (Москва) и ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» (Москва).

Национальный исследовательский Томский политехнический университет начал подготовку магистров в области медицинской физики в 2004 г. В 2015 г. программа была реформатирована в магистерскую программу, обеспечиваемую совместно двумя вузами Томска: Томским политехническим университетом, подведомственным Министерству образования и науки РФ, и Сибирским государственным медицинским университетом, подведомственным Минздраву РФ. В качестве практической базы используется оборудование Томского областного онкологического диспансера (ТООД), в котором в 2015 г. был введен в эксплуатацию новый радиологический каньон. Основным радиотерапевтическим аппаратом в ТООД является линейный ускоритель Elekta Synergy, позволяющий реализовывать все современные методики облучения. Наличие современного радиотерапевтического оборудования, методик лечения и практикующих специалистов в области медицинской физики является очень важным для обучения студентов.

Однако загруженность оборудования не позволяет использовать его в существенной части образовательного процесса, прививая студентам не только теоретические знания и практические навыки, но и опыт использования этих знаний и умений. Таким образом, Томский политехнический университет сталкивается с такими же ограничениями в области материально-технической базы, как и большинство других вузов страны. Ниже изложен наш подход и опыт в преодолении этого ограничения, который может быть полезен для других организаций, готовящих и переподготавливающих медицинских физиков в области дозиметрического планирования лучевой терапии.

Дозиметрическое планирование лучевой терапии

Развитие современной лучевой терапии, обусловленное как развитием технологий доставки дозы в опухоль, так и переоснащением медицинских центров страны, теперь привело к тому, что основные методики дистанционного облучения, используемые в настоящее время в клиниках России, можно разделить на конвенциональное облучение, реализуемое на ускорителях и гамма-аппаратах, конформное облучение с применением многолепестковых коллиматоров, проводимое, в основном, на электронных ускорителях, а также более сложные методики с модуляцией интенсивности (IMRT, VMAT и т.д.).

Одной из основных обязанностей физиков, работающих в отделениях лучевой терапии, является дозиметрическое планирование дистанционной фотонной лучевой терапии, которое включает в себя расчет распределения дозы в объеме опухоли и в органах риска в соответствии с предписанием. При этом задачей физика является оптимизация процесса облучения, направленная на получение максимально однородного распределения предписанной дозы в опухоли и минимальной дозы в критических органах и окружающих тканях. Опытный физик легко может спрогнозировать распределение дозы в опухоли и критических органах в зависимости от геометрических и физических особенностей пучка. У начинающего физика, из-за отсутствия опыта, перебор возможных вариантов занимает существенное время. При этом знания каких-то оптимальных методик подведения дозы, полученные в вузе или изученные в теории самостоятельно, не очень помогают без соответствующих практических навыков.

Планирование облучения в клиниках осуществляется с использованием специализированных компьютерных кодов. В последнее время большинство таких программ поставляется производителями радиотерапевтических аппаратов. Основными системами планирования облучения, используемыми в России, являются следующие коммерческие СП: XiO и Monaco (Elekta AB), Eclipse (Varian Medical System), Pinnacle (Phillips) и другие, менее распространенные. Так как стоимость коммерческих программных продуктов очень высока, обычно в отделениях лучевой терапии имеется лишь несколько рабочих станций. Например, в ТООД

имеется две рабочие станции XiO и одна рабочая станция Monaco, которые обслуживают ускоритель Elekta Synergy и гамма-аппарат Theratron Equinox 100. В связи с этим, обучение студентов навыкам планирования на этих станциях затруднено из-за нехватки свободного машинного времени.

Для решения этой задачи в Томском политехническом университете в образовательный процесс была внедрена некоммерческая СП Plan-UNC (PLUNC версии 6.6) с открытым кодом, разработанная в университете Северной Каролины (США) [3]. Использование данной системы, основные свойства которой приведены ниже, позволяет обучать навыкам планирования одновременно группы из 12 студентов, что существенно экономит время преподавателя, а также позволяет студентам работать самостоятельно, нарабатывая практический опыт планирования лучевой терапии.

СП PLUNC (версия 6.6) позволяет проводить 3D планирование с использованием электронных и фотонных пучков различной энергии. Для дистанционного облучения доступными методиками являются конвенциональная лучевая терапия с использованием блоков и клиньев, 3D-конформная лучевая терапия, а также IMRT в варианте step-and-shoot. Процедура дозиметрического планирования включает в себя:

1. Импорт DICOM-изображений пациента, полученных с помощью рентгеновской КТ или МРТ. В образовательных целях мы используем обезличенные снимки пациентов с наиболее типичными опухолями областей головы и шеи, молочной железы, лёгких, области малого таза.
2. Ручное и автоматическое оконтурирование анатомического строения пациента с выделением контуров тела, областей опухоли и органов риска.
3. Выбор параметров облучения для прямого планирования: методика подведения дозы, количество полей, углы поворота гантри, поворот стола, использование клиньев, блоков, многолепесткового коллиматора и т.д.
4. Выбор параметров облучения для инверсного планирования: количество полей, угол поворота гантри, поворот стола, приоритеты и желаемые дозы для конкретной структуры при оптимизации плана.
5. Расчёт дозного распределения в теле пациента, получаемого при его облучении фотонным или электронным пучком с заданными

ми параметрами пучка и геометрии облучения.

6. Анализ результатов на основе изодозных распределений и гистограмм доза-объём (ГДО) в кумулятивной и дифференциальной форме.

Таким образом, с методической точки зрения, процесс планирования лучевой терапии, реализуемый в системе PLUNC, не отличается от процедуры планирования в коммерческих системах.

Одной из удобных особенностей системы является возможность создания модели электронного или фотонного пользовательского пучка. По умолчанию в систему заложены пучки фотонов 6 МВ и 15 МВ. Возможность создания собственных виртуальных пучков позволяет планировать облучение в условиях, максимально приближенных к клиническим, и сравнивать планы лечения, созданные студентами, с планами, реализованными на практике. Для создания пользовательского пучка нужна базовая дозиметрическая информация, включающая в себя профили и глубинные распределения дозы в воде для различных размеров полей. Как правило, такие измерения проводятся при вводе аппарата/ускорителя в эксплуатацию и при ежегодных проверках в рамках процедур гарантии качества [4–6].

Дозиметрическое планирование лучевой терапии в системе PLUNC проводится на основе алгоритма “суперпозиция” (Superposition).

Для примера ниже представлен результат планирования лучевой терапии для случая рака предстательной железы, реализованного в системе PLUNC. Согласно предписанию, был составлен план для суммарной дозы за курс терапии 76 Гр со следующими условиями согласно протоколу QUANTEC [7]:

- ✓ Планируемый объём облучения (PTV76): 90 % от величины предписанной дозы должно получить не менее 90 % объёма;
- ✓ Прямая кишка: 70 Гр должно получить не более 20 % объёма, 65 Гр должно получить не более 35 % объёма;
- ✓ Мочевой пузырь: 70 Гр должно получить не более 35 % объёма, 65 Гр должно получить не более 50 % объёма;
- ✓ Головки бедренных костей – менее 50 Гр;

План облучения был реализован для пучка фотонов с номинальной энергией 6 МэВ по методике 3D-конформного планирования.

На рис. 1 показан изометрический вид контура тела пациента и выделены анатомиче-



Рис. 1. Изометрический вид контура тела пациента и основные анатомические структуры

ские структуры. Для целей настоящей статьи рисунок был конвертирован в оттенки серого. В системе PLUNC используется цветное выделение мишеней и органов риска.

На рис. 2 приведена кумулятивная ГДО для мишени и критических органов, полученная в результате планирования облучения.

Образовательный процесс

В процессе обучения студенты, работая индивидуально, проводят дозиметрическое планирование для ряда пациентов, взятых из базы данных, получая и закрепляя практические навыки планирования. Несмотря на то, что оконтуривание анатомических структур и опухолей является задачей лучевых терапевтов, мы считаем, что физик должен видеть и уметь различать основные структуры. Поэтому для нескольких пациентов студент проводит оконтуривание самостоятельно. Как правило, это опухоли головы и шеи с лимфоузлами, опухоли молочной железы и опухоли предстательной железы. Все последующие планы студент создаёт для оконтуренных изображений пациентов. Но, как минимум, для одного пациента

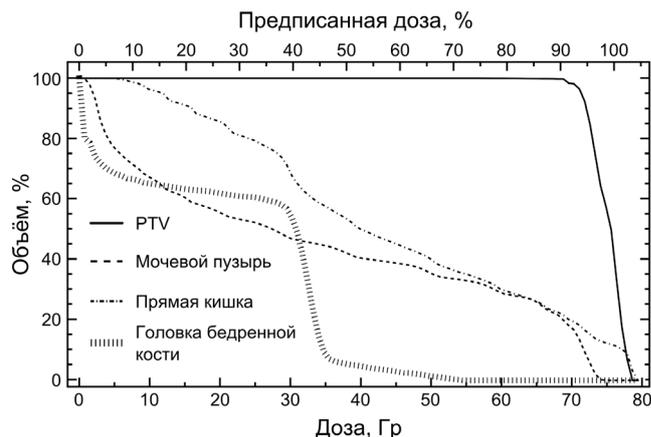


Рис. 2. Интегральная ГДО для мишени и критических органов, полученная в результате планирования облучения

оконтуривание выполнено с грубой ошибкой (например, в контур тела включен объем внешнего воздуха) или погрешностью автоматического оконтуривания, что должно приучить студента к постоянной внимательности, которая на практике позволит избежать ошибок.

Кроме того, студенты реализуют три-пять случаев лучевой терапии с клиньями и блоками (как правило, случаи паллиативного лечения), десять-двенадцать случаев 3D-конформной лучевой терапии, а также создают один-два плана IMRT. На планах разных методик облучения, созданных для одного пациента, студенты наглядно видят преимущества более сложных методик облучения, сравнивая ГДО и рассчитывая ожидаемые биологические эффекты на основе моделей TCP/NTCP (Tumor Control Probability – вероятность локального контроля опухоли / Normal Tissue Complication Probability – вероятность повреждения нормальной ткани) [8].

Обсуждение

Эффективное обучение студентов – медицинских физиков в областях, связанных с лучевой терапией, возможно только при условии тесного сотрудничества специалистов в области физики взаимодействия излучения с веществом, преподавателей-медиков, а также практикующих медицинских физиков, ежедневно профессионально обеспечивающих проведение лучевой терапии на современном уровне. Очевидно также, что наличие преподавателей

и специалистов является лишь первым из необходимых условий. Вторым необходимым условием является наличие технологической базы для выработки у студентов практических навыков на основе полученных теоретических знаний. Без технологической базы вся тяжесть передачи практических навыков планирования перекладывается на клинику и курсы переподготовки.

В настоящее время мы используем систему PLUNC для обучения студентов навыкам дозиметрического планирования, однако система может быть использована шире. Очевидным направлением её использования может стать обучение студентов-медиков и врачей основам оконтуривания анатомических структур и опухолей, а также “приёмке” планов облучения, подготовленных физиками. Вторым направлением использования может стать визуализация дозных распределений в водных и твердотельных фантомах, демонстрация влияния размера поля и т.д., что можно использовать в обучении основам клинической дозиметрии.

Мы считаем наш опыт обучения студентов дозиметрическому планированию лучевой терапии положительным и требующим дальнейшего расширения. Поэтому в настоящее время мы сосредоточены на пополнении базы данных пациентов, включая интересные и сложные, с точки зрения планирования, случаи.

Список литературы

1. Martin M.C. Challenges to unifying Medical Physics // Sun Nuclear 10th QA and Dosimetry Symposium, USA, 2017. [Электронный ресурс]: https://www.sunnuclear.com/email_mktg/2017/QADS/QADS_020817.html (дата обращения: 04.02.2018).
2. Костылев В.А. О подготовке медицинских физиков // Мед. физика. 2007. № 3(35). С. 5–19.
3. Tewell M.A and Adams R. The PLUNC 3D treatment planning system: a dynamic alternative to commercially available systems // Med. Dosimetry, 2004. Vol. 29, № 2, P. 134–138.
4. Peter R.A., Peter J.B., Coursey B.M. et al. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams // Med. Phys, 1999. Vol. 26. № 9. P. 1847–1870.
5. Определение поглощённой дозы при дистанционной лучевой терапии: Международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощённой дозы в воде. Technical Report Series №398. – Вена: МАГАТЭ. 2004. 269 с.
6. Ravinder N., Peter J. B., Frank J.B. et al. AAPM code of practice for radiotherapy accelerators: Report of AAPM Task Group No. 45 // Med. Phys. 1994. Vol. 21. № 7. P. 1093–1121.
7. Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC) // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 2010. Vol. 76. Suppl. S. 1–120.
8. Джойнер М.С., Ван дер Когель О.Дж. Основы клинической радиобиологии. Пер. с англ. – М.: БИНОМ. 2015. 600 с.

APPLICATION OF 3D TREATMENT PLANNING SYSTEM PLUNC IN MEDICAL PHYSICS EDUCATION

E.C. Sukhikh^{1,2}, L.G. Sukhikh², Ya.N. Sutygina^{1,2}, I.Zh. Khasenova², A.A. Baulin^{1,2}

¹ Tomsky Regional Oncology Center, Tomsk, Russia

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Presents the experience of Tomsk Polytechnic University and Tomsk Regional Oncology Center in the application of non-commercial 3D planning system for external beam radiotherapy Plan-UNC (PLUNC) in the training of masters in the field of clinical radiation therapy. The TPS PLUNC and its features as well as variants of its use in the educational process are briefly described, implemented at Tomsk Polytechnic University.

Key words: radiotherapy, medical physicists, education, non-profit 3D planning system Plan-UNC (PLUNC), dose planning

E-mail: kulikova_jenya@mail.ru