

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЭТ-КТ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ  
ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ. ОПЫТ УЧАСТИЯ  
В ПРОГРАММЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА С МАГАТЭ**

**THE USE OF PET-CT IMAGING FOR EXTERNAL BEAM RADIATION THERAPY  
TREATMENT PLANNING. EXPERIENCE OF THE PARTICIPATION  
IN THE IAEA TECHNICAL COOPERATION PROGRAMME**

***Е. И. Гольдман, Е. В. Титович***  
***Y. Holdman, E. Titovich***

*ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии  
им. Н. Н. Александрова»,  
аг. Лесной, Республика Беларусь  
e.holdman9@gmail.com*

*Alexandrov National Cancer Centre of Belarus,  
Lesnoy, Republic of Belarus*

ПЭТ-исследование в сочетании со структурной визуализацией (КТ или МРТ) предоставляет наиболее точную и достоверно интерпретируемую информацию о распространенности и локализации опухолевого поражения. Для максимально эффективного использования такой комплексной информации в лучевой терапии требуется особый подход, отражаемый в специальных протоколах. Для этого необходим обмен опытом с другими странами и организациями, реализующими подобные технологии в течение длительного времени. Решать эту задачу удастся при помощи сотрудничества с МАГАТЭ. Благодаря проектам международной технической помощи удалось осуществить подготовку кадров Центра в зарубежных клиниках и департаментах, осуществляющих деятельность в области ядерной диагностики и лучевой терапии.

PET research in combination with structural imaging (CT or MRI) provides the most accurate and reliably interpreted information about the prevalence and location of the tumor lesion. To maximize the use of such complex information in radiotherapy, a special approach is required, which is reflected in special protocols. This requires sharing experience with other countries and organizations that have been implementing such technologies for a long time. This task can be solved through cooperation with the IAEA. Thanks to international technical assistance projects, it was possible to train the Center's personnel in foreign clinics and departments that carry out activities in the field of nuclear diagnostics and radiation therapy.

*Ключевые слова:* ПЭТ, гарантия качества, дозиметрическое планирование, лучевая терапия.

*Keywords:* PET, quality assurance, treatment planning, radiation therapy,

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-40-43>

Получение качественных, а значит и информативных, диагностических изображений является важнейшей составляющей планирования лучевой терапии злокачественных новообразований. Позитронно-эмиссионная томография (далее – ПЭТ) произвела революцию в процессах визуализации многих распространенных видов рака и, поскольку она становится широко доступной в развитых странах, все чаще включается в рутинную практику онкологических отделений и клиник.

ПЭТ-исследование, обычно использующее <sup>18</sup>F-FDG в качестве радиофармпрепарата, в сочетании со структурной визуализацией, такой как рентгеновская компьютерная (далее – КТ) или магнитно-резонансная (далее – МРТ) томографии, в настоящее время поставляет наиболее точную и легко интерпретируемую информацию о распространенности и локализации опухоли для таких распространенных видов рака, как лимфомы, эпителиальные злокачественные новообразования легких, пищевода, шейки матки, головы и шеи и т.д.

Визуализация на основе ПЭТ-КТ предоставляет информацию, которая может повлиять на последующее планирование лучевой терапии разными способами. Можно выделить следующие, наиболее важные, пути воздействия полученной диагностической информации на процесс предлучевой подготовки [1]:

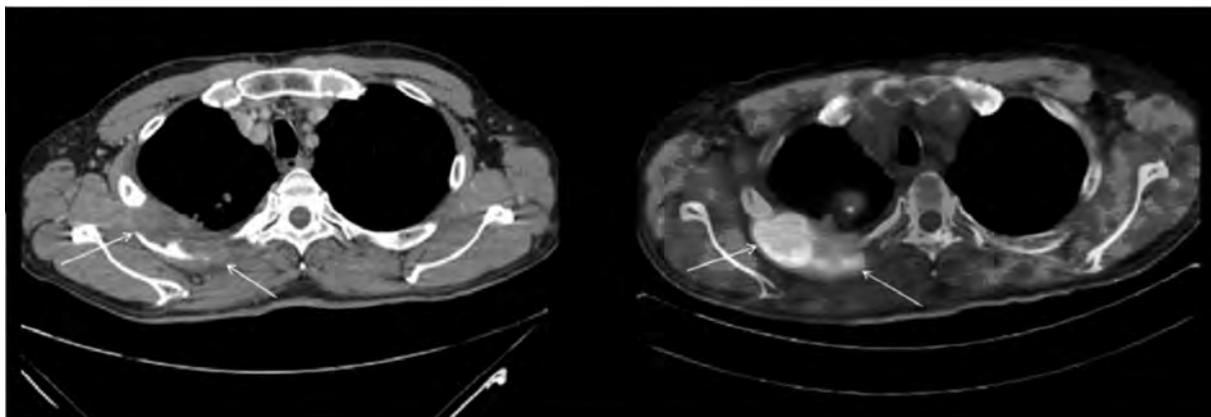
- ПЭТ-КТ может выявить объекты интереса, которые плохо визуализируются с помощью конвенциональных КТ/МРТ исследований. Эти мишени могут быть удалены от первичной опухоли, например, незамеченный лимфатический узел, или отдаленные метастазы, или это могут быть мягкие ткани, прилегающие непосредственно к объему опухоли, определяемому с помощью КТ/МРТ;

- ПЭТ-КТ улучшает дифференцирование тканей и снижает вероятность того, что лечебная доза будет доставлена в неоднозначно дифференцируемые области тканей, которые на самом деле могут быть вовсе не поражены

раковыми клетками. Причём эти области могут быть как удалёнными от первичного очага, так и находиться в непосредственной близости от него;

- визуализация биологических неоднородностей в объёме опухолевого очага может дать возможность адаптировать дозы к локальным различиям в радиочувствительности;
- ПЭТ-КТ исследование крайне полезно при определении остаточных очагов после проведения другого типа лечения, будь то хирургическое вмешательство или химиотерапия. Это помогает модифицировать предписанную дозу, увеличив нагрузку на заметные остаточные очаги, и снизив дозу на области с микроскопическими поражениями.

Таким образом, точная локализация области интереса с применением ПЭТ-КТ исследований позволяет существенно оптимизировать терапевтическое соотношение, снизив дозовую нагрузку на нормальные ткани, и одновременно максимизировав охват опухолевых объёмов методами современной лучевой терапии (рис. 1).



*Рисунок 1 – Пример улучшения качества диагностической информации с применением ПЭТ-КТ. Опухоль, трудноотличимая от нормальных тканей при КТ исследовании (слева) хорошо заметна при использовании ПЭТ при оценке накопления фармпрепарата (справа).*

Одним из наиболее продуктивных направлений применения ПЭТ в диагностике для лучевой терапии является определение опухолевых объёмов у пациентов с немелкоклеточным раком лёгкого (далее–НМРЛ). Ряд исследований показывает, что включение ПЭТ-КТ в процесс стадирования местнораспространённого НМРЛ изменяет запланированный подход к лечению в 30% случаев, определяя пациентов как непригодных для радикального курса лучевой терапии, из-за отдалённых метастазов или обширных внутригрудных заболеваний, обнаруженных с помощью ПЭТ. Эти же исследования отмечают, что стадирование при помощи ПЭТ-КТ сильнее коррелирует с общей выживаемостью, чем традиционное стадирование на основе конвенциональных КТ или МРТ исследований [2].

При использовании ПЭТ для планирования лучевой терапии, следует придерживаться точных протоколов и последовательно их применять. Основным источником ошибок в рутинной практике является определение точного контура опухоли. До недавнего времени оконтуривание мишеней находилось в полной зависимости от точки зрения исследователя. Было предпринято несколько попыток стандартизировать методики определения границ области интереса, как при помощи выбора процентного значения накопления от максимума накопления, так и с использованием конкретных пороговых значений, однако все они приводили к существенно разным результатам, особенно в гетерогенных областях человеческого тела [3].

Помимо описанных выше сложностей с определением точного контура очага поражения, существуют также технические трудности, связанные с требованиями к контролю качества, подготовке не только медицинского, но и технического персонала. Также требуется проведение серьёзной подготовительной работы, для перехода от использования ПЭТ-КТ в целях навигации при определении опухолевых объёмов, до полноценного оконтуривания целевых объёмов для лучевой терапии, и последующего их облучения. В связи с этим, в настоящее время значительный опыт планирования лучевой терапии по ПЭТ-КТ информации имеет лишь небольшой процент медицинских центров.

В 2015 году в Республике Беларусь, на базе РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им.

Н.Н. Александрова, был открыт первый в стране центр позитронно-эмиссионной томографии. Помимо самих установок для проведения ПЭТ-КТ сканирования, центр включает в себя также всю необходимую инфраструктуру для наработки радиофармпрепаратов (рис. 2)

Следует отметить, что даже в настоящее время технология ПЭТ является инновационной для Беларуси, что обуславливает высокую потребность в квалифицированном медицинском и техническом персонале. Существует необходимость в обмене опытом с другими странами и организациями, реализующими подобные технологии в течение длительного времени.

Решать эту задачу удастся при помощи Международного Агентства по Атомной Энергетике (МАГАТЭ). Республика Беларусь является активным и постоянным участником программы технического сотрудничества МАГАТЭ, которая нацелена на оказание содействия государствам в мирном использовании ядерных технологий.

В частности, благодаря проекту международной технической помощи МАГАТЭ ВУЕ/6/012 «Совершенствование гарантии качества в позитронно-эмиссионной томографии, совмещённой с компьютерной томографией»

удалось организовать подготовку кадров Центра в заграничных клиниках и департаментах, деятельность которых связана как ядерной и радиационной медициной вообще, так и с ПЭТ в частности.



Рисунок 2 – Циклотрон для наработки радиофармпрепаратов

Данный проект имеет следующие цели:

- улучшение качества диагностики (а именно улучшение качества получаемых изображений);
- повышение уровня знаний персонала о дополнительных возможностях оборудования и путях оптимизации исследований, связанных с использованием систем контроля качества ПЭТ-КТ;
- создание повсеместной практики лучевой терапии с использованием качественных ПЭТ изображений в процессе планирования;
- снижение радиационного воздействия на пациентов и персонал в результате оптимизации протоколов исследований;
- оптимизация использования радиофармпрепаратов;
- экономический эффект (за счет снижения активности используемого радиофармпрепарата, а также количества мероприятий, связанных с необходимостью минимизации рисков переоблучения работников и населения);
- в конечном счёте, улучшение качества жизни онкологических пациентов за счёт улучшения качества оказания услуг ядерной и радиационной медициной.

В рамках проекта сотрудники РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова проходили стажировку в Северо-Эстонской Региональной больнице (г. Таллин, Эстония), в отделениях ядерной медицины и лучевой терапии.

В течении учебного процесса стажёрами были получены теоретические знания и практические навыки в следующих областях:

1. Позитронно-эмиссионная томография:

- подготовка пациента к проведению ПЭТ/КТ процедуры;
- локальные и национальные протоколы проведения ПЭТ исследований;
- применение функции контроля дыхания в ПЭТ исследованиях;
- интерпретация полученных диагностических изображений;
- менеджмент качества на диагностических установках (ПЭТ сканерах);
- протоколы проведения ПЭТ исследований пациентов с применением специальных фиксирующих устройств в положении облучения линейными ускорителями.

2. Дистанционная лучевая терапия:

- применение функции контроля дыхания при проведении предлучевой разметки;
- использование функции контроля дыхания при проведении дистанционной лучевой терапии;
- особенности передачи данных ПЭТ/КТ в системы дозиметрического планирования;
- изучены протоколы определения целевого объёма облучения на основании диагностической информации ПЭТ/КТ на примере рака лёгкого и рака пищевода;
- рассмотрены особенности дозиметрического планирования таких случаев;
- получены практические навыки определения и оконтуривания целевого объёма по ПЭТ/КТ данным, а также навыки создания дозиметрических планов облучения таких локализаций;
- изучены локальные и национальные протоколы осуществления гарантий качества в дистанционной лучевой терапии, получены практические навыки.

Результатом тщательного анализа полученной в рамках Проекта информации, а также на основании консультаций со специалистами МАГАТЭ, в РНПЦ ОМР были созданы следующие клинические и технические протоколы, направленные на углубленное и эффективное использование диагностической ПЭТ/КТ информации в дистанционной лучевой терапии:

- протокол проведения ПЭТ/КТ исследования пациентов в положении облучения;

- протокол определения целевых объёмов облучения (GTV) на основании ПЭТ/КТ информации;
- протокол дозиметрического планирования лучевой терапии рака лёгкого, с учётом информации, предоставленной в ПЭТ/КТ исследовании.

В настоящее время все эти протоколы подготовлены и находятся на стадии рассмотрения и утверждения руководством Центра.

На основании заграничного опыта, а также с учётом высоких требований к качеству проведения таких высокотехнологичных процессов, как дистанционная лучевая терапия на основании ПЭТ/КТ диагностики, были также пересмотрены и дополнены локальные протоколы проведения контроля качества в дистанционной лучевой терапии, связанные как непосредственно с лечебной техникой, доставляющей дозу (линейные ускорители и кобальтовые пушки), так и с оценкой качества дозиметрических планов лучевой терапии.

Подобный опыт взаимодействия с другими клиниками при участии МАГАТЭ позволил значительно улучшить качество услуг, оказываемых отделениями ядерной диагностики и лучевой терапии РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. The role of PET/CT in radiation treatment planning for cancer patient treatment / IAEA // IAEA Technical Documentation, Vienna. – 2008.
2. The role of PET-CT in radiotherapy planning of solid tumors / Stasa Jelercic, Mirjana Rajer. // Radiol Oncol. – 2015. – Vol. 49, № 1. – P.1-9.
3. PET/CT imaging for target volume delineation in curative intent radiotherapy of non-small cell lung cancer: IAEA consensus report 2014 / T. Conert [et al.] // Radiother Oncol. – 2014. – Vol. 116. № 2015. – P. 27-34.

## ВЛИЯНИЕ НЕЗАПЛАНИРОВАННЫХ ПЕРЕРЫВОВ МЕЖДУ СЕАНСАМИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ТОЧНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМЫ ЛЕЧЕНИЯ

### THE IMPACT OF UNPLANNED INTERRUPTIONS BETWEEN RADIOTHERAPY SESSIONS ON THE ACCURACY OF IMPLEMENTATION OF THE FRACTIONATION PATTERN

***Е. В. Гончарова, В. П. Зорин***  
***E. Hancharova, V. Zorin***

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

*katsiaryna.hancharova@gmail.com*

*Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Незапланированные перерывы между сеансами лучевой терапии оказывают влияние на точность реализации схемы фракционирования, что может существенно воздействовать на результаты лечения. В статье рассмотрены варианты корректировок, которые можно внести в оставшуюся часть курса лучевой терапии (далее – ЛТ), чтобы учесть перерывы в облучении. Проанализированы основные причины возникновения перерывов и проблемы, которые появляются перед радиационными онкологами и медицинскими физиками в связи с их возникновением.

Unplanned breaks between radiotherapy sessions affect the accuracy of the fractionation pattern. This affects treatment outcomes. The article discusses the options for adjustments that can be made to remain about the course of radiation therapy to take into account interruptions in exposure. The article describes the main causes of breaks between radiotherapy sessions and problems associated with their appearance by radiation oncologists and medical physicists.

*Ключевые слова:* лучевая терапия, перерывы в облучении, радиобиологические модели.

*Key words:* radiation therapy, interruptions in irradiation, radiobiological models.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-43-46>

Ежегодно от онкологических заболеваний на земном шаре умирает свыше 8 миллионов человек. После болезни сердца, рак является одной из главных причин смерти людей в большинстве развитых стран и государств с переходной экономикой. Проблема смертности включает в себя вопросы ранней диагностики, доступного лечения, реабилитационных мероприятий и др.