

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ТЕРАПИИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ: КРАТКИЙ ОБЗОР ИТОГОВ PTCOG-63

2–7 июня 2025 г., Буэнос-Айрес, Аргентина

CURRENT TRENDS IN CHARGED PARTICLE THERAPY: A BRIEF REVIEW OF PTCOG-63 RESULTS

June 2–7, 2025, Buenos Aires, Argentina

В период с 2 по 7 июня 2025 г. в Буэнос-Айресе (Аргентина) впервые на южноамериканском континенте состоялась 63-я ежегодная конференция Particle Therapy Co-Operative Group (PTCOG-63). В работе форума приняли участие более 700 специалистов из 43 стран. Российскую Федерацию представляли официальные делегации МИБС (Санкт-Петербург) и НМИЦ радиологии Минздрава России (Обнинск).

Традиционно конференция открывалась двухдневной учебной сессией, которая была посвящена базовым и прикладным аспектам физики, биологии и клиники терапии заряженными частицами, а также обзору современных инноваций. Мобильное приложение PTCOG-63 позволило участникам в режиме реального времени формулировать вопросы докладчикам, оценивать качество представления материала и оставлять комментарии модераторам.

Наибольший интерес аудитории в первый день вызвал доклад проф. Гаральда Паганетти (США) “Радиобиология протонной терапии”. Автор представил новейшие (2025 г.) экспериментальные данные о повреждающем действии протонов на клетки-мутанты с различными вариантами генетических нарушений, ранее идентифицированных как критически важные для радиочувствительности.

Во второй день программа была организована в виде параллельных треков “Физика” и “Клиника”. Автор настоящего обзора присутствовал на физической секции, где доклад Пейдж Тейлор (США) о современных алгорит-

мах дозиметрических расчётов в системах планирования протонной терапии и сообщение Честера Рамзи (США) о процедурах ежедневной валидации систем гарантии качества ускорительной техники стимулировали оживлённые, но строго регламентированные дискуссии, подчеркнувшие как методологическую строгость, так и практическую значимость представленных результатов.

Учебный этап завершился приветственным банкетом, сочетавшим неформальные профессиональные контакты с официальным открытием технической выставки и камерным концертом оперного ансамбля, что придало мероприятию культурный акцент, способствующий дальнейшему междисциплинарному обмену. В целом, образовательная программа PTCOG-63 отличалась высоким уровнем научной аргументации и продемонстрировала актуальные тенденции развития терапии заряженными частицами, укрепив международное сотрудничество и обозначив перспективы дальнейших исследований в данной области.

С 4 по 6 июня 2025 г. проходил основной научный этап конференции PTCOG-63. Программа включала параллельные сессии – от четырёх до пяти одновременно – преимущественно с краткими, по 15 минут, докладами, посвящёнными наиболее актуальным достижениям и разработкам в области терапии заряженными частицами.

В рамках утренней сессии первого дня автор присутствовал на секции, посвящённой планированию протонной терапии. Наиболь-

шее внимание привлёк доклад итальянской группы исследователей под руководством Франчески Фрачиолли, в котором был представлен первый в мире клинический опыт применения протонной терапии с использованием так называемых дискретных арок. Метод основан на принципах ротационного облучения, аналогичных технике VMAT в классической фотонной терапии, но с интеграцией сканирующих протонных пучков. За счёт последовательного вывода пучков из дискретных углов достигается высокая степень конформности и точности дозного распределения. Кроме того, данный подход позволяет учитывать радиобиологические параметры: в частности, при оптимизации возможно целенаправленное увеличение вклада треков с окончанием внутри опухоли, что создаёт потенциал для пространственного управления распределением линейной передачи энергии (ЛПЭ) внутри объёма мишени.

Во второй секции, посвящённой калибровке компьютерной томографии, особый интерес вызвал доклад, посвящённый применению двухэнергетической КТ для повышения точности предсказаний относительных потерь энергии протонов в тканях. Представленные результаты демонстрируют возможность значительного улучшения дозиметрической точности на этапе планирования за счёт более точного восстановления карты плотностей тормозного выхода.

Следующая секция была сосредоточена на технологиях миниатюрных пучков (так называемые мини-пучки). В её рамках рассматривались как физические аспекты формирования и транспорта подобных пучков, так и биологические эффекты их применения. Отдельного внимания заслуживает доклад международной группы учёных из Испании, Японии и Франции, в котором обсуждались принципы генерации ионов неона в формате мини-пучков, а также потенциальные терапевтические преимущества и особенности их взаимодействия с тканями.

В рамках секции по микродозиметрии наибольшую ценность, по мнению автора, представляло межцентровое исследование, выполненное специалистами из трёх европейских центров ионной терапии – Гейдельберга и Марбурга (Германия), а также Виенер-Нойштадта (Австрия). В ходе работы были сопоставлены спектры микродозиметрических измерений, полученные с использованием идентичных протоколов и оборудования, что позволило про-

вести верификацию данных и оценить воспроизводимость результатов между различными учреждениями.

Послеобеденная программа первого дня открылась пленарным докладом, посвящённым проблеме токсичности протонного облучения головного мозга. Материал был структурирован по трем направлениям – физическому, биологическому и клиническому, каждое из которых освещал отдельный приглашённый эксперт. Часть представленных результатов лишь недавно направлена в печать, что придаёт особую значимость озвученным, по сути, первичным, данным о перспективах органосохраняющего протонного режима лечения. После пленарной лекции работа продолжилась в секционных залах. Автор принял участие в секции, посвящённой биологическим преимуществам заряженных частиц, где ключевым стал доклад о применении радиоактивных пучков ^{11}C для терапии трансплантированных опухолей у крыс с визуальным контролем по обменным изображениям. Финалом дня стала секция «Последние достижения», в рамках которой четыре сообщения затрагивали наиболее инновационные решения; наибольший интерес вызвало выступление о создании пассивных модификаторов пучка на базе трёхмерно-печатных пластиков различной плотности. Данная технология позволяет формировать монолитные объекты кубической формы, внутренние упорядоченные по строго рассчитываемому алгоритму распределения материалов, что открывает новые возможности для тонкой адаптации пробегов и целенаправленного перераспределения величины линейной передачи энергии непосредственно в мишени.

Второй день конференции традиционно начался с пленарной сессии, посвящённой вопросам адаптивного контроля лечения в режиме реального времени. Обсуждение сопровождалось интерактивным голосованием, организованным через официальное мобильное приложение, что позволило участникам вживую выразить отношение к предложенным концепциям и стратегиям.

В рамках утренней секции, посвящённой вопросам физики, особый интерес автора вызвал доклад Максимилиана Якоба Хоффера (Швейцария), в котором был представлен функциональный прототип программного обеспечения для расчёта дозовых распределений в гетерогенной среде с использованием уравнений переноса Больцмана. Данный подход предпо-

лагает более точное моделирование транспортных процессов в сложных анатомических структурах и демонстрирует потенциал для повышения точности индивидуализированных расчётов.

Следующая секция была сосредоточена на интеграции моделей биологического действия ионизирующего излучения в системы планирования терапии. В числе наиболее значимых выступлений был доклад Бина Кина (Ухань, Китай), посвящённый оптимизации ограничений на здоровые ткани на основе моделей вероятности осложнений (NTCP), что подчеркивает тенденцию к всё более глубокому учёту радиобиологических параметров при построении планов лечения.

После обеда работа продолжилась в секции, посвящённой пространственному фракционированию дозы. Среди представленных исследований особенно выделяется доклад французских специалистов, описывающих использование четырёхмерных режимов (4D) облучения в сочетании с пространственно-распределённой терапией. Подобная комбинация направлена на повышение конформности за счёт учёта временных изменений положения мишени и движущихся структур, что особенно актуально для прецизионного воздействия на сложно локализованные опухоли.

Заключительная часть дня включала две пленарные сессии, посвящённые применению протонной и ионной терапии в педиатрической онкологии. Были представлены клинические результаты и подходы к снижению токсичности у детей, что подчёркивает приоритетное внимание международного сообщества к уязвимым категориям пациентов. День завершился традиционным ужином на борту теплохода, что стало как символическим завершением насыщенной научной программы, так и возможностью для дальнейшего неформального профессионального общения между участниками.

Заключительный, третий день научной программы конференции открылся пленарной сессией, посвящённой современным подходам к лечению лимфом. В последующей секции, ориентированной на вопросы планирования терапии, особое внимание автора привлёк доклад, посвящённый инновационной вычислительной среде для Монте-Карло-расчётов – FRED. Эта платформа адаптирована для работы на потребительских графических процессорах и поддерживает распределённые вычисле-

ния с использованием технологии обмена сообщениями MPI, что делает возможным объединение нескольких видеокарт в единый вычислительный кластер. Решение отличается высокой производительностью и потенциальной доступностью для широкого круга учреждений.

Следующая секция, концептуально продолжая предыдущую тематику, была посвящена клиническим аспектам планирования, и наибольший интерес вызвал доклад голландской группы, в котором анализировалась эффективность робастной (устойчивой к неопределённостям) оптимизации с одновременным снижением объёмов допустимых отступов, что имеет непосредственное значение для снижения дозовой нагрузки на критические структуры.

В параллельной сессии, фокус которой был сосредоточен на математическом моделировании, оживлённую и редкую для формата конференции затянувшуюся дискуссию вызвало обсуждение возможности прямой интеграции моделей повреждения ДНК в высокоуровневые клинические модели планирования лучевой терапии. Представленные подходы поднимали фундаментальный вопрос о пределах детализации, допустимой и практически применимой в рамках персонализированного планирования лечения.

Далее, в секции, посвящённой машинному обучению, автор особо отмечает доклад, в котором демонстрировалось использование ИИ-модуля, интегрированного с платформой FRED, для сверхбыстрого расчёта доз от индивидуальных сканирующих тонких пучков в анатомической области головы и шеи. Благодаря оптимизации архитектуры и адаптации к особенностям задач протонной терапии, расчёты достигали времени отклика порядка сотен миллисекунд, что делает возможным применение таких систем в условиях клиники в реальном времени.

В завершение дня состоялась сессия по анализу результатов лечения (outcome analysis), в рамках которой наибольшее внимание привлёк проект немецкого исследовательского центра DKFZ. В ходе работы была построена обобщённая карта повреждений структур головного мозга у пациентов с глиомами высокой степени злокачественности, пролеченных с 2011 по 2023 гг. на ионном пучке в центре в Гейдельберге. Подобная интеграция ретроспективных данных в крупномасштаб-

ную модель представляет собой шаг к системной оценке пространственно-специфических токсичностей и потенциально открывает путь к улучшению индивидуализированного планирования и прогностических алгоритмов.

Заключительные мероприятия конференции начались с интерактивной дискуссии в формате balloon debate. Четырём исследователям предложили за десять минут убедить аудиторию, что именно их направление заслуживает «остаться в падающем воздушном шаре». В дебатах участвовали сторонники вертикального (стоячего или сидячего) облучения, FLASH-терапии, терапии арками и пространственно-ротационного облучения. После первого тура интерактивного голосования две темы были отсеяны; оставшимся докладчикам предоставили ещё десять минут на финальную аргументацию. С перевесом в четыре процента победу одержала концепция вертикального облучения пациентов, ярко представленная Хешамом Гаяром из центра McLaren (Флинт, США).

На официальной церемонии закрытия вновь избранный президент RTCOG Марко Дюранте, получивший мандат на очередной трёхлетний срок, подвёл итоги форума и подчеркнул результаты, впервые озвученные именно на RTCOG-63. Ключевым достижением он назвал данные группы Стивена Франка (США), которые в 2025 г. впервые в истории протонной терапии продемонстрировали в рандомизированном исследовании III фазы при раке ротоглотки статистически значимое превосходство интенсивно-модулированной протонной терапии (IMPT) над традиционной фотонной IMRT по общей выживаемости на десятилетнем рубе-

же. При наблюдении более тысячи пациентов в IMRT-когорте медиана выживаемости практически достигла 50 %-го уровня, тогда как в группе IMPT показатель общей выживаемости остаётся на уровне 75 %. Под громкие аплодисменты зала Марко Дюранте подчеркнул, что эти результаты подтверждают многообещающий потенциал протонной терапии и свидетельствуют о её значительном вкладе в будущие стандарты онкологического лечения.

Заключительным мероприятием, организованным уже после официального закрытия форума для ограниченного круга участников, стал технический визит на строящийся протонный центр в Буэнос-Айресе. Представители фирмы-производителя IBA (Бельгия), включая ведущего разработчика циклотрона Ива Йонгена, продемонстрировали текущее состояние объекта: комплекс спроектирован как двухкабинная клиническая установка с дополнительным исследовательским каналом, предусматривает выделенные помещения для вычислительного кластера и оснащается киберножом и несколькими томографами.

Следующая, 64-я конференция RTCOG пройдёт в июне 2026 г. в Каене (Франция).

*А.Н. Соловьев
Медицинский радиологический научный центр
им. А.Ф. Цыба – филиал Национального
медицинского исследовательского центра
радиологии Минздрава России*