



**В.А. Костылёв, Б.Я. Наркевич**  
**РАДИАЦИОННАЯ**  
**МЕДИЦИНСКАЯ ФИЗИКА:**  
**ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ**  
**И БУДУЩЕЕ**

**V.A. Kostylev, B.Ja. Narkevich**  
**Radiation Medical Physics:**  
**Past, Present and Future**

**РЕФЕРАТ**

Проанализирована роль современной радиационной медицинской физики (МФ) в развитии высоких диагностических и терапевтических технологий для клинической медицины, в первую очередь для онкологии. Приведено определение МФ как науки, находящейся на стыке фундаментальной физики и клинической медицины. Рассмотрены основные направления и задачи МФ. Обсуждаются требования к медицинским физикам, работающим в радиологических подразделениях медицинских учреждений. Актуальность МФ подтверждается постоянным расширением международного сотрудничества в этой области знаний. Кратко освещена история развития МФ в России. Особо выделена роль Ассоциации медицинской физики России (АМФР) в начавшемся за последнее десятилетие подъёме отечественной МФ, прежде всего в области медицинской радиологии и рентгенологии. На основе анализа литературных данных и собственного опыта авторов сформулированы основные направления дальнейшего развития радиационной МФ.

**Ключевые слова:** медицинская физика, медицинский физик, международное сотрудничество, Ассоциация медицинских физиков России, современное состояние, направления развития

**ABSTRACT**

The role of modern radiation medical physics (MP) in development of the high diagnostic and therapeutic technologies for clinical medicine, first of all for oncology, is analyzed. The definition of MP as science which is taking place on a junction of fundamental physics and clinical medicine is given. The basic directions and tasks of MP are considered. The requirements to medical physicists, working in radiological divisions of medical establishments are discussed. The urgency of MP proves to be true by constant expansion of the international cooperation in this area of human knowledge. The history of development of MP in Russia is briefly covered. A role of Association of Medical Physicists of Russia (AMPR) in the rise of national MP, which has begun for last decade, especially is allocated, first of all in the field of medical radiology. On the basis of the analysis of the literature data and own experience of the authors, the basic directions of the further development of radiation MP are formulated.

**Key words:** medical physics, medical physicist, international collaboration, Association of Medical Physicists of Russia, modern state, development tendency

**Введение**

Открытие рентгеновских лучей и радиоактивности в конце XIX века придало мощный импульс использованию физики в медицине. Появились и начали интенсивно развиваться такие области медицины, связанные с использованием ионизирующих излучений и сложной аппаратуры, как лучевая терапия, лучевая диагностика, ядерная медицина. Затем активизировалось применение неионизирующих излучений и соответствующей техники (лазерные, ультразвуковые, магнитные и др. технологии).

Конечно, большая часть физиков многие десятилетия занималась развитием физики как фундаментальной основы современного естествознания. Постепенно физика помимо этого стала всё больше и больше заниматься проблемами приложения физических законов, процессов, средств и технологий к различным областям деятельности человека, в первую очередь, к технике и вооружениям. Сегодня ситуация изменилась, и физика смещает свои приоритеты на мирные цели, в том числе на здравоохранение. Сегодня традиционная медицина все более превращается в физическую медицину, насы-

Институт медицинской физики и инженерии,  
115522, Москва, Пролетарский пр-т 15/6, корп.2  
Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина РАМН,  
115478 Москва, Каширское шоссе 24

Institute of Medical Physics and Engineering,  
115522 Moscow, Proletarsky pr. 15/6-2  
Russian Cancer Research Center,  
115478 Moscow, Kashirskoye shosse 24

щаясь сложнейшими, дорогостоящими, но очень эффективными медико-физическими комплексами и технологиями.

*Главным признаком современной медицины является ее высокая физико-техническая вооруженность.* При этом важнейшим оружием медиков в борьбе с заболеваниями становятся именно различные медико-физические технологии самого высокого уровня и радиологические аппараты диагностического и терапевтического назначения, которые многократно увеличивают возможности медицины. В настоящее время трудно себе представить какую-либо задачу профилактики, диагностики или лечения, где не были бы использованы достижения физики, прежде всего физики ионизирующих излучений, а медицинская радиология целиком и полностью базируется на достижениях современной медицинской физики.

### **Медицинская физика – что это такое?**

Опыт создания и развития медико-физических технологий и аппаратов показал, что их разработка и эффективное функционирование не могут быть в полной мере обеспечены без специальной науки, находящейся на стыке физики и медицины.

Именно в процессе развития этих технологий и происходило становление и развитие такой науки – медицинской физики. Процесс её становления проходил очень тяжело и долго.

Физика и медицина имеют настолько различный менталитет, разные "базы знаний" и научные методологии, что на практике они оказались плохо совместимыми. Для их "стыковки" и дальнейшего взаимодействия потребовалось создание новой науки, которая представляет собой не просто сумму физических и медицинских знаний, но и выработку и клиническое применение совершенно новых знаний и новой научной методологии.

Таким образом, *развитие медико-физических технологий совершенно естественным образом привело к появлению и утверждению новой науки и специальности – медицинской физики (МФ).*

Базируясь на достижениях экспериментальной физики и клинической медицины, МФ уже выработала свои специфические знания. Это – физика медицинской интроскопии или физика получения и обработки медицинских изображений, математическая реконструкция объёмных медицинских изображений, физико-математическое моделирование физиологических процессов, органов и систем (например, транспорта радиофармпрепаратов в организме, развития радиационных повреждений патологических и нормальных тканей при лучевой

терапии), дозиметрическое планирование лучевой терапии, клиническая дозиметрия, физические аспекты гарантии качества лучевой диагностики и терапии, физика различных органов и систем человеческого организма и т.д.

Таким образом, современная МФ занимается изучением систем, состоящих из физических излучений, организма человека и его болезней, лечебных и диагностических аппаратов, препаратов, материалов и технологий, а также использованием физических излучений и приборов для профилактики и диагностики заболеваний, для лечения больных с помощью методов и средств физики, математики и техники.

### **Основные научные направления радиационной медицинской физики**

В настоящее время из всех разделов МФ наибольшее развитие получила радиационная медицинская физика. Она составляет не менее 80 % по объёму работ и количеству специалистов от всей зарубежной и отечественной МФ, обслуживая лечебные и диагностические технологии, основанные на использовании ионизирующих излучений. Это, главным образом, лучевая терапия, ядерная медицина, рентгенологические исследования. В свою очередь, в клинических условиях основное назначение радиационной МФ – физико-техническое обеспечение терапевтической радиационной онкологии (лучевой терапии).

Радиационная МФ кроме практических задач в клинических условиях решает целый ряд фундаментальных и прикладных научных вопросов. В лучевой терапии к ним относятся:

- разработка радиационной терапевтической аппаратуры и технологий её применения в клинических условиях;
- разработка методов и средств лечебного использования тяжелых ядерных частиц;
- разработка аппаратуры и методик клинической дозиметрии;
- совершенствование дозиметрического планирования облучения;
- разработка аппаратуры и технологий клинической топометрии;
- разработка и реализация процедур гарантии качества в лучевой терапии.

В радионуклидной диагностике:

- разработка методов и средств измерения пространственно-временного распределения радиофармпрепаратов в организме человека (приборные, физические и математические аспекты);
- разработка критериев оценки, методов контроля

и управления качеством радиодиагностических исследований;

- оптимизация параметров приборов и режимов измерений;
- математическая обработка изображений, реконструкция изображений и их автоматизированное распознавание;
- математическое моделирование кинетики транспорта радиофармпрепаратов.

В радионуклидной терапии:

- разработка средств и методов дозиметрического планирования радионуклидной терапии с использованием радиофармпрепаратов;
- разработка средств и методов контроля очаговых доз внутреннего облучения, создаваемых радиофармпрепаратами.

В рентгенологических исследованиях:

- разработка средств и технологий цифровой рентгенографии и рентгеноскопии;
- разработка рентгеновских компьютерных томографов новых поколений;
- разработка интервенционных лечебных и диагностических процедур, выполняемых под рентгенологическим, ультразвуковым или магнитно-резонансным контролем;
- разработка средств и технологий снижения уровня медицинского облучения населения при рентгенологических процедурах.

Из всех этих актуальных научных задач хорошо виден комплексный характер МФ как науки, её специфика и высокая практическая значимость. При этом все научные направления МФ не сводятся к каким-либо разделам собственно физики, в том числе и радиационной физики, или клинической медицины, в том числе и медицинской радиологии, а представляют собой самостоятельные проблемы, специфические именно для радиационной МФ.

### **Медицинский физик – кто это такой?**

Чёткое определение профессии медицинского физика дано в преамбуле к уставу Европейской федерации организаций по медицинской физике (EFOMP).

*Медицинский физик* – специалист с высшим физико-техническим образованием, имеющий диплом университета или технического высшего учебного заведения по физике, математике, вычислительной технике, механике, электротехнике или электронике, работающий в сотрудничестве с медицинским персоналом в лечебных учреждениях, университетах, учебных или научно-исследовательских институтах.

Медицинский физик после получения базового высшего физического или технического образования должен пройти *клиническую специализацию* по МФ в научно-исследовательских или лечебных медицинских учреждениях онкологического или радиологического профиля, имеющих соответствующую лицензию. Специалисты, не прошедшие указанную специализацию и не получившие соответствующий квалификационный сертификат, к работе медицинским физиком допускаться не должны, т.к. на них лежит большая ответственность за судьбу больного.

Медицинские физики особенно нужны в клинической медицине. При этом их часто называют *клиническими физиками*. Без них врач при использовании наиболее сложных медико-физических технологий не в состоянии обеспечить высокие требования по точности, гарантии качества и безопасности, осуществлять ответственные физико-математические функции, например, по измерениям, обработке и анализу диагностических изображений, дозиметрическому планированию и контролю в процессе лучевого лечения. Медицинские физики совмещают глубокие физико-математические и медицинские знания, непосредственно участвуют в лечебно-диагностическом процессе, разделяют с врачом ответственность за пациента.

Основной обязанностью медицинского физика является обеспечение надлежащего физико-технологического уровня и качества повседневных лечебно-диагностических процедур, выполняемых на основе высоких медицинских технологий. В рамках своей компетентности он должен отвечать за стандартизацию и калибровку медико-физического оборудования, точность и безопасность физических методов, используемых в повседневной клинической практике, гарантию качества радиологических лечебно-диагностических процедур, калибровку и метрологическую поверку дозиметрической и радиометрической аппаратуры. Медицинский физик также несёт ответственность за проведение научных исследований по развитию новых технологий, радиационно-физических методов и техники. Он обязан обеспечивать обучение прикладной радиационной физике и радиационной безопасности врачей, медицинских сестер, младшего медико-технического персонала, а также студентов, стажировующихся физиков и технических работников.

В настоящее время активно ведётся подготовка дипломированных специалистов по МФ на специализированных профильных кафедрах в Московском инженерно-физическом институте, в Московском, Санкт-Петербургском, Воронежском, Томском и некоторых других государственных уни-

верситетах, Московском институте электроники и математики, Обнинском техническом университете атомной энергетики, а также в некоторых вузах политехнического профиля. Переподготовка и повышение квалификации по медицинской физике налажены в Российской медицинской академии последиplomного образования. Активное участие в обучении и переподготовке специалистов, в том числе и в ведущих зарубежных радиологических центрах, принимает Ассоциация медицинских физиков России (АМФР), которая организует и проводит клиническую стажировку выпускников вузов в ведущих онкологических и радиологических учреждениях России и других стран.

### **Международное сотрудничество по медицинской физике**

Главным признаком утверждения МФ как профессии является сформировавшееся в середине двадцатого века сообщество особых специалистов – клинических физиков, участвующих вместе с врачами в процессах диагностики и лечения.

Медицинские физики объединяются в национальные ассоциации и международные организации: Европейскую федерацию организаций медицинских физиков (ЕГОМР) и Международную организацию медицинских физиков (ИОМР), которые координируют деятельность национальных организаций, организуют образовательную и научную деятельность, разрабатывают нормативные и рекомендательные документы, организуют международные конгрессы и ведут другую работу по развитию МФ. В свою очередь, ИОМР совместно с Международной федерацией по медицинской и биологической инженерии (IFMB) входят в состав Международного союза физической и инженерной науки в медицине (IUPESM). Сегодня ИОМР объединяет национальные ассоциации 74 стран мира, а общее число медицинских физиков в них составляет более 20 тысяч. С 1965 по 2005 гг. IUPESM и ИОМР провели 13 международных конгрессов. На последнем конгрессе по медицинской физике и биоинженерии в Сиднее (Австралия), состоявшемся в 2004 г., приняли участие около 7 тыс. специалистов из 72 стран, в том числе и России, которые представили свыше 4,5 тыс. устных и стендовых докладов. IUPESM и ИОМР регулярно спонсируют и проводят региональные научные форумы, учебные курсы и национальные конференции по медицинской физике (от 8 до 12 в год), особенно в развивающихся странах, выпускают монографии и специализированные журналы по МФ и биоинженерии. Специалисты ИОМР совместно с МАГАТЭ в настоящее

время готовят электронную версию учебника по МФ для выпускников вузов с базовым физическим образованием.

Количество медицинских физиков в разных странах колеблется от нескольких человек (Иордания, Молдавия, Грузия, Панама, Шри-Ланка, Танзания) до нескольких тысяч (США). Наибольших успехов, что совершенно естественно, МФ достигла в высокоразвитых странах, т.е. там, где и сама медицина и особенно медицинская радиология находятся на высоком уровне развития. Так, например, в США за последние 50 лет было организовано около сотни отделов, центров и институтов МФ на базе университетов и госпиталей. В 1958 г. была создана Американская ассоциация медицинских физиков (AAPM), которая объединила тогда 400 специалистов. За эти годы их число возросло более чем в 10 раз. Сегодня в США работают около 5 тысяч медицинских физиков (т.е. намного больше, чем в других странах, и их "плотность" достаточно высока – 1,7 на 100 тыс. населения). Это сопровождается интенсивным насыщением медицины сложнейшими медико-физическими, диагностическими и терапевтическими комплексами, а следовательно, и высоким уровнем медицинского обслуживания. AAPM объединяет большое число американских ученых с мировым именем (G.D. Adams, G.L. Brownell, H.O. Anger, J.S. Laughlin, F. Ellis, C.G. Orton, J.A. Purdy, F.M. Khan, A.R. Smith, C.Y. Karzmark, R. Loevinger, G. Fullerton, B. Paliwall и многие другие), издается журнал "Medical Physics" и много другой специальной литературы, проводится множество всемирных, национальных и региональных конгрессов, конференций, симпозиумов, школ. По данным социологических опросов, в США профессия медицинского физика по престижности и востребованности занимает почетное третье место в списке более чем сотни профессий.

В других развитых странах уровень развития МФ тоже достаточно высок. Так, вслед за США наибольшим числом медицинских физиков (определяемым по количеству членов национальных ассоциаций) обладают Германия и Англия (1400 и 1280 соответственно). И, видимо, не случайно наибольшей "плотностью" медицинских физиков обладают Финляндия, Швеция и Швейцария, обладающие наиболее высоким уровнем жизни всего населения. Эти и другие развитые страны дополняют список "звезд первой величины" в области МФ. Это J.R. Cunningham и H.E. Johns (Канада), Y.R. Mallard, K. Boddy, S.J. Thomas, C. Williams (Англия), H. Swensson, A. Brahme, M. Nilsson, G. Rikner (Швеция), B. Mijneer, Y. van Dyk, S. Henkelom

(Нидерланды), F. Nusslin, V.E. Rosenov (Германия), N. Noel, P. Aletti (Франция) и другие.

### **Радиационная медицинская физика в России**

В России МФ появилась в 60-е годы, лет на десять позже, чем на Западе, и её развитие, в отличие от Запада, происходило очень медленно. Можно даже сказать, что медицинская физика у нас с момента зарождения находится в состоянии хронического застоя. Количество медицинских физиков почти за полвека увеличилось мало (не более чем в три раза) и достигло лишь 260 человек при очень низкой "плотности" – 0,2 на 100 тыс. населения.

В конце 50-х – начале 60-х гг. были созданы и начали использоваться в онкологических учреждениях первые гамма-терапевтические аппараты, были организованы отделы лучевой терапии и лаборатории радионуклидной диагностики, группы и лаборатории МФ. Наиболее сильные коллективы были созданы в Москве (МНИРРИ, ЦИУ врачей, ВОНЦ, ЦКБ 4-го управления МЗ СССР, МНИОИ им. П.А. Герцена), Ленинграде (ЦНИРРИ, НИИ онкологии им. Н.Н. Петрова), Обнинске (НИИ-ИМР).

В ряде научных институтов радиационно-физического профиля также были созданы квалифицированные коллективы профессионалов, в основном, разработчиков аппаратуры и технологий МФ. Это ИТЭФ, ЛЯП ОИЯИ (Дубна), ВНИИРТ (сегодня ВНИИТФА), СНИИП, ЦНИИ "Агат", МИРЭА, МИФИ, НИИЭФА (Санкт-Петербург). Ими было создано целое поколение отечественной радиотерапевтической аппаратуры, которая в то время вполне соответствовала мировому уровню. Этой техникой были оснащены все онкологические учреждения страны, и не было необходимости в импорте. В то же время все попытки создать отечественную аппаратуру для радионуклидной диагностики (сканеры, гамма-камеры), завершались неудачно. Не выпускаются до сих пор отечественные рентгеновские компьютерные томографы.

Многие из ведущих физиков страны также работали на стыке физики и медицины, внося свой неоценимый вклад в закладку фундамента отечественной школы МФ. В этом ряду можно назвать такие имена, как В.П. Желепов, Л.Б. Окунь, Л.Л. Гольдин, О.И. Лейпунский, В.И. Иванов, Н.Г. Гусев, Л.Р. Кимель, И.Б. Кеирим-Маркус, В.К. Ляпидевский, Д.П. Осанов, И.А. Лихтарёв, Е.Е. Ковалев, В.П. Машкович и многие другие. Благодаря им появились и сейчас работают настоящие медицинские физики, для которых МФ стала

профессией и главным делом жизни.

Начальный период развития отечественной радиационной МФ связан с именами К.К. Аглинцева, В.И. Поройкова, Ф.Н. Хараджи, Я.В. Шехтмана, А.В. Бибергаля, Е.С. Барана, А.Ф. Римана, В.В. Дмоховского, Р.В. Синицина, В.И. Феоктистова, В.К. Шмелева, А.Н. Кронгауза, У.Я. Маргулиса, А.Г. Сулькиной, А.М. Гурвича, М.И. Вайнберга, В.Ф. Смирнова и других. В этот период политическим и методическим центром для медицинских физиков являлась секция медицинских физиков Московского научного общества рентгенологов, возглавляемая А.Н. Кронгаузом. Было проведено три конференции по МФ в Ленинграде и Обнинске.

Своему появлению отечественная радиационная МФ в значительной мере обязана ряду крупнейших советских ученых-врачей в области онкологии и радиологии: Н.Н. Блохину, Н.Н. Александрову, Г.А. Зедгенидзе, А.С. Павлову, А.И. Рудерману, которые хорошо понимали значение этой профессии и науки для медицины и много сделали для её становления в нашей стране.

Однако за полвека существования МФ в России, её развитие и прогресс у нас весьма незначительны. Хотя за это время численность медицинских физиков росла, но теперь находится на уровне, который намного ниже уровня развитых стран. Нечем нам, к сожалению, похвастаться и по части крупных научных достижений в области МФ и квалификации большинства клинических физиков, где мы также сильно отстаем. За последнее десятилетие не было создано новых подразделений МФ. Более того, с началом перестройки и распадом СССР многие имевшиеся ранее центры МФ заметно ослабли, потеряв лучшие кадры. Это было время застоя МФ и борьбы за существование, что особенно видно на фоне бурного развития МФ на Западе за тот же период. Тем не менее, МФ в России даже в этих тяжелейших условиях выжила.

Важно подчеркнуть, что её выживание было невозможно без врачей, глубоко чувствующих и понимающих МФ и её значение для медицины, умеющих ценить и уважать в медицинском физике равноправного партнера. Это такие крупные ученые и организаторы, ведущие специалисты в области онкологии, радиологии и других областей медицины, как Л.А. Ильин, В.П. Харченко, В.И. Чиссов, А.Ф. Цыб, Л.А. Бокерия, А.М. Гранов, В.Н. Коновалов, В.Н. Герасименко, Г.В. Голдобенко, Ю.С. Мардынский, В.Б. Сергиенко, С.Л. Дарьялова, С.В. Канаев, Б.И. Долгушин, М.А. Каплан, К.Н. Костромина, Ю.В. Варшавский, Ф.М. Лясс, Д.С. Сивошинский, Ю.А. Рахманин, Г.А. Паньшин, И.А. Гулидов, Л.И. Мусабаева, Е.И. Минако-

ва, Б.В. Астрахан, С.А. Бальгер, Ю.Х. Саркисян, Ю.Н. Касаткин, В.Н. Корсунский, А.В. Бойко, А.В. Каралкин, С.В. Ширяев, С.И. Ткачев, Т.В. Юрьева и многие другие.

Выживание радиационной МФ в России обязано крупным специалистам и энтузиастам своего дела, какими являлись и являются С.А. Белов, Н.Н. Блинов, И.Н. Брикер, М.И. Вайнберг, А.Н. Варин, С.М. Ватницкий, В.И. Видюков, О.Н. Денисенко, И.А. Ермаков, М.И. Зеликман, А.В. Иванов, К.Д. Калантаров, С.Д. Калашников, В.А. Квасов, Г.И. Кленов, В.А. Климанов, Л.Я. Клеппер, А.Л. Козлов, В.А. Костылёв, С.Г. Кутузов, Л.А. Лебедев, М.Ф. Ломанов, Н.А. Лютова, Е.С. Матусевич, А.Р. Мирзоян, Г.В. Мицын, Б.Я. Наркевич, Т.Г. Ратнер, Ю.С. Рябухин, О.В. Савченко, Л.Д. Сошин, Р.В. Ставицкий, С.А. Терещенко, В.И. Трушин, М.А. Фадеева, Г.А. Фёдоров, Л.Я. Фишман, А.В. Хмелёв, М.В. Хетеев, В.С. Хорошков, А.П. Черняев, Э.Г. Чикирдин и другие.

МФ в России выжила и, более того, в последние годы наблюдается её подъем. Заметная активизация жизни медицинских физиков в нашей стране наметилась с 1993 г. – с момента создания Ассоциации медицинских физиков России (АМФР). Инициатором её создания был профессор А.М. Гурвич. Им в декабре 1991 г. на "развалинах" секции медицинских физиков Московского общества рентгенологов и радиологов было организовано Общество медицинских физиков как секция Физического общества СССР, и была проведена учредительная конференция этого Общества. Это был прообраз Ассоциации.

Как юридически и экономически самостоятельная организация со своим уставом и другими атрибутами, АМФР была учреждена лишь через полтора года в июне 1993 г. С этого момента, всего за двенадцать лет своего существования, Ассоциация провела шесть национальных конференций с международным участием, сделав их традиционными (за предыдущие почти полвека прошли всего три конференции), организовала и провела российско-американскую школу по физике в лучевой терапии и несколько учебных курсов под эгидой МАГАТЭ и ESTRO, а также I-ый и II-ой Евразийские конгрессы по МФ и биоинженерии.

АМФР учредила и регулярно издает журнал "Медицинская физика" и серию методических брошюр "Библиотека медицинского физика", проводит тематические симпозиумы и рабочие совещания, ведет большой объём научно-организационной, образовательной и практической работы в области МФ. Налажено тесное сотрудничество АМФР с журналами "Медицинская радиология и

радиационная безопасность", где ведущие отечественные специалисты по МФ регулярно публикуют свои работы. Специалисты Ассоциации написали и подготовили к печати учебник "Медицинская физика. Вводный курс". Важными направлениями деятельности АМФР являются проектирование радиологических корпусов для онкологических диспансеров и многопрофильных больниц во многих регионах России, разработка программ их комплексного аппаратного, технологического оснащения, а также кадрового обеспечения. Для разработки новых радиационно-медицинских технологий при непосредственном участии АМФР организован и начал функционировать Институт медицинской физики и инженерии, в котором сконцентрированы лучшие научные и инженерные кадры отечественной МФ. АМФР является членом ЕГОМР и ИОМР и активно участвует в их деятельности.

Наиболее активны сегодня команды медицинских физиков в некоторых ведущих университетах и научных ядерных центрах: МИФИ, МГУ, ИТЭФ, Саровский физико-технический институт, Обнинский ГТУ атомной энергетики, ВНИИЭФ (Саров).

В последнее время наметилась тенденция развития и укрепления МФ в российских региональных клиниках, что связано как с активной работой АМФР, так и с созданием там мощных современных радиологических корпусов, оснащением сверхсложной аппаратурой и, наконец, с деятельностью наиболее прогрессивных и активных руководителей региональных онкологических и радиологических учреждений: А.Е. Клипфеля, А.В. Важенина (Челябинск), А.Н. Махсона (Москва), Р.Ш. Хасанова (Казань), К.С. Курилова (Кемерово), В.М. Киндялова (Хабаровск), А.Ф. Цыба (Обнинск), А.М. Гранова (Санкт-Петербург), В.В. Дворниченко (Иркутск), А.Ф. Лазарева (Барнаул), В.С. Криштопина (Ставрополь) и других.

### **Перспективы развития радиационной медицинской физики**

Несмотря на сравнительно короткую историю развития, современная МФ уже стала полноценным разделом как прикладной физики, так и клинической медицины. Она превратилась в мощное и эффективное средство решения целого ряда сложнейших медицинских задач, в том числе и таких, которые принципиально не могут быть решены иными средствами и методами других разделов знаний. Можно смело утверждать, что благодаря МФ уже спасены и продлены сотни тысяч жизней, улучшено качество жизни многих миллионов больных, особенно в онкологии.

Высокая актуальность решаемых МФ задач обуславливает её сегодняшнее бурное развитие. Появляются сложные диагностические и лечебные установки, аппараты и оборудование, а также высокие радиационно-медицинские технологии. Анализ современного состояния и тенденций развития лучевой терапии, ядерной медицины, рентгенодиагностики и других разделов физической медицины показывает, что в ближайшей перспективе следует ожидать ряда качественно новых достижений в области МФ.

Дистанционное облучение пучками фотонов и электронов получит дальнейшее развитие благодаря разработке и внедрению в клиническую практику нового поколения линейных ускорителей электронов и гамма-терапевтических аппаратов с широкими функциональными возможностями. Все они будут снабжены оборудованием для регулирования формы дозового поля с помощью электронных систем управления, пространственно-временной модуляции интенсивности пучков излучения, точного позиционирования пациента и портальной визуализации дозового поля на выходе пучка из тела больного.

Наблюдается отчётливая тенденция расширения и применимости специальных методов лучевой терапии. К ним относятся: дистанционное облучение всего тела и кожных покровов всего тела пучками протонов и электронов; стереотаксическая лучевая терапия и стереотаксическая радиохирургия, в том числе на аппаратах с большим числом радионуклидных источников (установки типа "Gamma-Knife", которые правильнее называть "гамма-скальпель"); интраоперационная лучевая терапия пучками электронов; технология управления формой дозового поля с учётом смещений органов и тканей пациента в ходе облучения, например в результате дыхательных экскурсов и (или) кардиального цикла и т.д.

Однако наиболее быстро развивающимся направлением стала конформная лучевая терапия, особенно с использованием программируемых многолепестковых коллиматоров. Уже сейчас известны многочисленные технологии конформного облучения, среди которых наиболее перспективно выглядит облучение пучком фотонов от миниатюризованного ускорителя, закреплённого на подвижной руке роботизированного промышленного манипулятора (установки типа "CyberKnife"). Перемещение радиационной головки манипулятора при этом выполняется под управлением в режиме реального времени по рентгеновским, КТ- или ультразвуковым изображениям облучаемого участка тела.

Очевидно, семейство подобных радиационных скальпелей будет интенсивно развиваться и далее. Если такие установки пока используются для облучения малоразмерных мишеней в головном мозге, то в перспективе следует ожидать расширения их применимости и на другие локализации аналогично тому, как это происходило с рентгеновской КТ, МРТ, протонной терапией и т.д. Помимо фотонных и электронных облучателей появятся протонные, нейтронные, ионные, мезонные скальпели. Они будут компьютеризированы, роботизированы, прецизионны и надежны настолько, что позволят врачам-хирургам во многих случаях отказаться от инвазивной, травматичной, связанной с большим риском, осложнениями и кровопотерями традиционной хирургии. Это позволит хирургам, лучевым терапевтам и медицинским физикам совместно реализовать такие лечебные вмешательства, которые сегодня считаются неосуществимыми.

Получат дальнейшее развитие высокотехнологические разновидности терапии пучками быстрых и тепловых нейтронов от ядерных реакторов, ускорителей и генераторов. Очевидно, нейтронно-сосударная и нейтронно-захватная терапия будут использоваться совместно для усиления лечебного эффекта, возможно и в сочетании с фотонными пучками излучения.

Будут расширять и модернизировать существующие и интенсивно строить новые клинические центры протонной терапии, где всё шире будут применять самые различные технологии пространственно-энергетической модуляции пучков протонов с целью обеспечения наилучшей конформности облучения, в том числе и технологии статического многопольного и динамического подвижного облучения. Уже начато и будет развиваться далее применение пучков тяжёлых заряженных частиц (ионов и мезонов) для прицельного и стереотаксического облучения малоразмерных опухолевых очагов.

Применение радионуклидных источников для контактного облучения, в том числе для внутритканевого, внутриполостного и внутрисосудистого, пойдёт по пути автоматизированного управления облучением, когда в режиме реального времени по заданной программе будут менять количество и расположение источников, а также продолжительность экспозиции для каждого источника в определённой позиции относительно обучаемой мишени при минимальной инвазивности всей лечебной процедуры. Получит дальнейшее развитие технология использования для внутриполостного облучения, особенно для эндоректального, свехминиатюризованных источников низкоэнергетических

рентгеновских фотонов, в том числе с оптоволоконными системами.

Как для дистанционного, так и для контактного облучения вполне перспективно использование статических и динамических магнитных полей для закручивания траекторий вторичных электронов в облучаемой мишен в целях повышения энерговыделения в ней. Придание подобных возможностей даже уже имеющимся аппаратам позволит реально повысить эффективность лучевого лечения.

В предлучевой подготовке больных, особенно для получения трёхмерной топометрической информации, уже в недалёком будущем следует ожидать появления систем мультимодальной томографии. В них для сверхточного определения трёхмерной конфигурации, локализации и структуры патологического очага будут использоваться объединённые компьютерные системы со средствами не только структурно-анатомической (рентген, УЗИ, КТ, МРТ), но и функциональной (ОФЭКТ, ПЭТ, МР-ангиография) визуализации. Эти же системы будут активно использоваться для уточнённой диагностики, контроля эффективности лечения, обеспечения обратной связи и, тем самым, для оперативного управления процессом лечения. Расширится применение рентгеновских симуляторов-томографов для гарантии качества лучевой терапии.

Качественно изменится процесс дозиметрического планирования облучения. Уже теперь алгоритмы расчёта дозовых полей основаны на автоматическом вводе топометрических данных в компьютерные системы планирования и позволяют индивидуализировать вырабатываемый план облучения. Дальнейшее развитие системы индивидуального планирования облучения получат на основе использования эффективного алгоритма тонкого луча и, особенно, метода Монте-Карло. Последнее вскоре станет возможным благодаря бурному развитию компьютерной техники, автоматизации процессов реализации и контроля облучения, а также повышению точности и компьютеризации новых средств клинической дозиметрии.

Облучение станет оптимальным в строгом смысле этого слова для каждого больного благодаря не только индивидуальному дозиметрическому планированию, но и выбору индивидуального режима фракционирования облучения на основе радиобиологического моделирования. При этом параметры модели будут определять на основе результатов динамического наблюдения за состоянием опухоли и организма больного в ходе курса лучевой терапии с использованием различных диагностических технологий, среди которых наиболее информативной становится радионуклидная диагнос-

тика. Дальнейшее развитие подобного моделирования позволит учесть влияние и впоследствии оптимизировать режимы применения таких радиомодификаторов, как гипертермия, лазерное воздействие, магнитотерапия, электронно-акцепторные соединения, гипоксия и т.д.

Несмотря на то, что радионуклидная диагностика уступает большинству других методов лучевой диагностики по пространственному разрешению и наглядности изображений, она является и будет оставаться для ряда патологий единственным средством получения необходимой диагностической информации с высокой степенью достоверности. Такая ситуация обусловлена тем, что все остальные методы медицинской визуализации позволяют выявлять лишь структурно-анатомические изменения в тканях и органах. В то же время радионуклидная диагностика обладает уникальной возможностью неинвазивного выявления клинически бессимптомных нарушений структурно-функционального статуса тех же тканей, органов и физиологических систем, которые всегда предшествуют структурно-анатомическим изменениям. Поэтому получаемые при радионуклидных исследованиях изображения являются, по сути, физиологическими, а не морфологическими. Это позволяет осуществлять своевременную диагностику самых различных, в том числе и опаснейших, заболеваний на самых ранних этапах их развития, благодаря чему радионуклидную диагностику можно охарактеризовать как особый вид ранней лучевой диагностики.

Перспективы ее дальнейшего развития связаны, прежде всего, с все более расширяющейся разработкой новых радиофармпрепаратов с повышенной тканеспецифичностью, особенно с повышенной туморотропностью. Будут прогрессировать также направления, связанные с аппаратурным, технологическим и программно-алгоритмическим обеспечением ядерной медицины. Без сомнения, будет неуклонно возрастать удельный вес ПЭТ-исследований, особенно в онкологии, кардиологии и неврологии. Начата разработка эмиссионно-томографических сканеров для одновременного проведения ОФЭКТ и ПЭТ, обладающих высокой чувствительностью благодаря использованию новых сцинтилляторов и усовершенствованных систем коллимации фотонного излучения и позволяющих одновременно регистрировать эмиссионно-трансмиссионные данные с высоким пространственным и временным разрешением в списочном режиме их накопления и с перемещением детекторных головок по траекториям, адаптированным к конкретной поверхности объекта исследований. Будет обеспечена возможность регистрации кван-

тов не менее чем трех различных энергий, в том числе и аннигиляционного излучения, а все процедуры компенсации влияния ослабления и рассеяния излучения, потери разрешения и введения других поправок будут включены непосредственно в быстро сходящиеся итерационные алгоритмы реконструкции изображений, причем реконструкция четырехмерных изображений будет выполняться в реальном масштабе времени. Путём повышения чувствительности и пространственного разрешения будут развиваться спектрометрические средства и технологии измерений пространственного распределения РФП.

Существенно расширится стандартизованное программное обеспечение таких мультиэмиссионных сканеров. Помимо эффективных программ реконструкции изображений и программ для поддержки различных радиодиагностических технологий, оно будет содержать программы для четырехмерной реконструкции в терминах не только локальной концентрации радиофармпрепарата, но и ряда физиологически содержательных параметров. В него будут входить также программы для обработки результатов динамических исследований на основе математических моделей транспорта радиофармпрепаратов, для автоматической классификации изображений методами непараметрического (искусственные нейронные сети) и параметрического распознавания образов, для контроля качества радиофармпрепаратов и аппаратуры, технологий и собственно программного обеспечения, для мультимодальной визуализации и для передачи радиодиагностической информации по компьютерным сетям, в том числе и отдаленным пользователям. Компьютерные системы будут обеспечивать сверхбыстрое накопление данных и реконструкцию изображений в режиме реального времени, в том числе и при сканировании всего тела, мультипроцессорную параллельную обработку данных, быстродействующие системы архивирования и передачи изображений, средства и программы для высококачественной визуализации трёх- и четырехмерных изображений и получения их жестких копий.

В радионуклидной терапии уверенно прогнозируется интенсивный рост как ассортимента и общей активности выпускаемых терапевтических радиофармпрепаратов, так и круга их клинического применения. Наиболее актуальной задачей МФ в радионуклидной терапии остаётся дозиметрическое планирование облучения, где необходимо следовать той же самой тенденции, которая характерна для современной лучевой терапии закрытыми источниками облучения, а именно – индивидуализации

планирования облучения. Здесь необходимо также проведение комплексных исследований по оптимальной организации лечебного процесса как в госпитальном, так и в амбулаторном режиме радионуклидной терапии с целью обеспечения радиационной безопасности пациентов, персонала, населения и окружающей среды.

Рентгенологические исследования вот уже свыше 100 лет остаются лидером среди всех методов диагностики. Лидирующее положение рентгенологии еще более укрепилось с появлением компьютерной томографии, с бурным развитием различных интервенционных процедур под рентгенологическим контролем и благодаря расширяющемуся применению технологий телерадиологии (передачи медицинских изображений через компьютерные сети). Уникальное клиническое значение рентгенодиагностики обусловлено тем, что при подавляющем большинстве заболеваний план лечения вырабатывается на основе, прежде всего, рентгенологических данных. По-видимому, такая ситуация сохранится на протяжении ещё многих лет.

Перспективы дальнейшего развития рентгенологии связаны со следующими направлениями МФ и медицинского аппаратостроения:

Будут разработаны рентгеновские генераторы с трубками, обладающими более высокими рабочими характеристиками, в том числе с повышенными значениями радиационного выхода, срока службы и с оптимальными геометрическими параметрами пучка излучения. Одновременно будет расширяться разработка высокочувствительных позиционно-чувствительных детекторов рентгеновского излучения, особенно на основе полупроводниковых материалов с прямым или опосредованным (фотодиодные панели) преобразованием рентгеновского излучения в электрические сигналы. Это позволит создать новые конструкции рентгенодиагностических аппаратов с высокими функциональными возможностями и эксплуатационными характеристиками. Особенно это относится к средствам и технологиям рентгеновской компьютерной томографии, которая из уникального метода медицинской визуализации постепенно превращается в рутинное средство структурно-анатомической, а иногда даже первичной диагностики.

Широким фронтом ведутся разработки принципиально нового программно-алгоритмического обеспечения для цифровой рентгенографии и компьютерной томографии, позволяющего в режиме реального времени реконструировать трёхмерные рентгеновские изображения повышенной разрешающей способности, выполнять автоматическую классификацию изображений с использованием

искусственных нейронных сетей с самоадаптирующейся структурой, рассчитывать эффективную дозу облучения пациента с учетом конкретной геометрии и режимов облучения на основе индивидуального Монте-Карло-моделирования и т.д.

Разрабатываются новые технологии и стандартизованные протоколы рентгенодиагностических и рентгеноинтервенционных процедур, особенно для планирования и проведения стереотаксических хирургических операций под так называемым навигационным рентгенологическим контролем, в том числе и с использованием роботехники и методик виртуальной эндоскопии. Сюда же тесно примыкает разработка технологий мультимодальной визуализации, основанной на компьютерном совмещении рентгеновских изображений с изображениями, полученными с помощью других методов медицинской визуализации.

Более отдалённой перспективой рентгенодиагностики является развитие технологий визуализации с использованием монохроматизированных пучков синхротронного излучения высокоэнергетических ускорителей электронов, а также средств и методов фазоконтрастной рентгенографии.

Рассматривая перспективы дальнейшего развития медицинской физики и техники, следует сделать вывод, что их реализация и внедрение в клиническую практику приведёт к качественному скачку не только в медицинской радиологии, но и в связанных с ней других важнейших разделах клинической медицины, особенно в онкологии, кардиологии, неврологии и т.д. МФ сделает медицину наукой точной и значительно расширит её возможности.

Очевидно, что развитие и внедрение в клиническую практику новых всё более сложных и эф-

фективных медико-физических средств и технологий предъявляет всё более высокие требования к квалификации медицинских физиков, технических инженеров, радиационных онкологов, рентгенологов и других специалистов, занимающихся созданием и использованием этих технологий и аппаратов.

Претворение в жизнь всех этих перспектив зависит не только от общего научно-технического прогресса, но и от осуществления системы серьезных организационно-экономических мероприятий, особенно у нас в стране. Должны финансироваться и организовываться: научные разработки, производство и внедрение, создание специальных учебных, сервисных и клинических структур, подготовка и повышение квалификации кадров, создание и поддержание целой системы эффективного использования сложных медико-физических технологий и оборудования.

Если будут приняты и реализованы адекватные меры по развитию МФ, то уже в обозримом будущем можно ожидать ощутимый положительный эффект:

- Будут разработаны и внедрены в практику принципиально новые средства и методы диагностики и лечения, обладающие существенно более высокой медицинской и экономической эффективностью.
- Повысится научно-технический уровень медицинских учреждений, качество медико-физических технологий, их точность и надежность, существенно улучшатся результаты лечения больных.
- Новые высокоэффективные технологии и аппараты принесут огромный социальный, политический и экономический эффект.