

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**
**ФЕРГАНСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИНСТИТУТ ОБЩЕСТВЕННОГО
ЗДОРОВЬЯ**

«УТВЕРЖДАЮ»
**Председатель Научно-
технического совета**
Министерства здравоохранения
_____ Ш.К. Атаджанов
« ____ » _____ 2025 г.

Хожирахматов Даврон Камолидинович

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОГИИ

(монография)

Фергана-2025

Хожирахматов Даврон Камолидинович
История развития радиологии
Монография. Фергана: 2025 год. 98 стр.

Монография «История развития радиологии» представляет собой комплексное исследование эволюции одной из ключевых отраслей современной медицины — радиологии. Изложение охватывает более чем столетний период — от открытия рентгеновских лучей Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 году до технологической революции XXI века, включая цифровизацию, гибридные методы визуализации и интеграцию искусственного интеллекта. В работе последовательно раскрываются этапы формирования рентгенологии, радиотерапии, ядерной медицины и ультразвуковой диагностики как самостоятельных направлений. Отдельное внимание уделяется развитию физических и радиобиологических основ, внедрению компьютерной и магнитно-резонансной томографии, а также становлению организационной структуры радиологической службы в Узбекистане.

Монография исследует вклад ведущих учёных, в том числе Марии и Пьера Кюри, А. Кормака, Г. Хаунсфилда, а также отечественных специалистов, принимавших участие в ликвидации радиационных катастроф и формировании научных школ. Рассматриваются вопросы радиационной безопасности, этики, кадровой подготовки и нормативно-правового регулирования. Особое место в работе занимает анализ современной цифровой трансформации радиологии, включая функциональную МРТ, телерадиологию, развитие ИИ-систем, радиомики и персонализированного подхода к диагностике и лечению.

Монография адресована врачам-рентгенологам, медицинским физикам, специалистам в области радиационной медицины, а также научным и педагогическим работникам, интересующимся историей науки и медицины. Представленная работа способствует формированию целостного представления о становлении и развитии радиологической науки как одного из важнейших направлений современной клинической и технологической медицины.

Рецензенты

- | | |
|-----------------|--|
| Мурадимова А.Р. | Заведующий отделением научных исследований, инноваций и подготовки научно-педагогических кадров Ферганского медицинского института общественного здоровья, PhD, доцент |
| Пулатова З.А | Старший научный сотрудник Военно – исследовательского института ВМА ВС РУз, PhD |

Оглавление

Список сокращений	5
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. Зарождение радиологических знаний	10
§1.1. Открытие рентгеновских лучей: работы Вильгельма Конрада Рентгена	10
§1.2. Первое применение рентгеновских лучей в медицине	13
§1.3. Развитие физико-технических основ радиологии в конце XIX — начале XX века	17
§1.4. Вклад Марии и Пьера Кюри в развитие радиационных технологий.....	21
Глава 2. Формирование радиологии как самостоятельной медицинской дисциплины.....	26
§2.1. Создание первых рентгенологических кабинетов.....	26
§2.2. Развитие диагностической радиологии в 1920–1950-х гг.....	30
§2.3. Роль радиологов в военной медицине	34
§2.4. Образование профессиональных сообществ и научных школ	38
Глава 3. Этапы развития радиотерапии	43
§3.1. Радиотерапия в лечении онкологических заболеваний	43
§3.2. Разработка источников ионизирующего излучения.....	46
§3.3. Безопасность, дозиметрия и этические вопросы в радиотерапии.....	51
§3.4. Радиобиология как междисциплинарная база	55
Глава 4. Технологическая революция в радиологии (вторая половина XX — XXI век)	60
§4.1. Появление компьютерной томографии (КТ).....	60
§4.2. Развитие магнитно-резонансной томографии (МРТ).....	64
§4.3. Ультразвуковая диагностика (УЗИ) и эволюция оборудования	69

§4.4. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и гибридные технологии.....	74
§4.5. фМРТ. Цифровизация и искусственный интеллект в современной радиологии.....	78
Глава 5. Развитие радиологии в Узбекистане	84
§5.1. Организация рентгенологической службы в Узбекистане.....	84
§5.2 Вклад узбекских учёных в развитие теории и практики, радиационные катастрофы (чернобыль) и радиология.....	86
§5.3 Радиологическая служба в Узбекистане.....	88
ВЫВОДЫ	90
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	94

Список сокращений

АН РУз — Академия наук Республики Узбекистан

BOLD — Blood Oxygenation Level Dependent (зависимый от уровня оксигенации крови сигнал)

Bq — беккерель (единица радиоактивности в системе СИ)

CEUS — Contrast-Enhanced Ultrasound (контрастное ультразвуковое исследование)

CNN — Convolutional Neural Network (свёрточная нейронная сеть)

СТ (КТ) — Computed Tomography (компьютерная томография)

DICOM — Digital Imaging and Communications in Medicine (стандарт хранения и передачи медицинских изображений)

DL — Deep Learning (глубокое обучение)

DWI — Diffusion-Weighted Imaging (диффузионно-взвешенная визуализация)

DTI — Diffusion Tensor Imaging (диффузионно-тензорная визуализация)

EFSUMB — European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology

EMR — Electronic Medical Record (электронная медицинская карта)

fMRI (фМРТ) — Functional Magnetic Resonance Imaging (функциональная магнитно-резонансная томография)

HU — Hounsfield Unit (единица Хаунсфилда, плотностная шкала КТ)

IAEA — International Atomic Energy Agency (Международное агентство по атомной энергии)

ICRP — International Commission on Radiological Protection (Международная комиссия по радиологической защите)

IMRT — Intensity-Modulated Radiation Therapy (интенсивно модулированная лучевая терапия)

LINAC — Linear Accelerator (линейный ускоритель)

MRI (МРТ) — Magnetic Resonance Imaging (магнитно-резонансная томография)

MI — Mechanical Index (механический индекс в УЗ-диагностике)

NLP — Natural Language Processing (обработка естественного языка)

PACS — Picture Archiving and Communication System (система архивации и передачи изображений)

PACS — см. PACS

PET (ПЭТ) — Positron Emission Tomography (позитронно-эмиссионная томография)

РЕТ/СТ (ПЭТ/КТ) — Positron Emission Tomography / Computed Tomography
(гибрид ПЭТ и КТ)

РЕТ/MRI (ПЭТ/МРТ) — Positron Emission Tomography / Magnetic Resonance
Imaging

РВЕ — Relative Biological Effectiveness (относительная биологическая
эффективность)

РФП — Радиофармацевтический препарат

RIS — Radiology Information System (информационная система радиологии)

RSNA — Radiological Society of North America (Радиологическое общество
Северной Америки)

СПЕКТ — Single Photon Emission Computed Tomography (однофотонная
эмиссионная КТ)

Sv — зиверт (единица эквивалентной дозы)

TI — Thermal Index (тепловой индекс в УЗ-диагностике)

УЗИ — ультразвуковое исследование

ЦКП — циклотронно-комплексное производство

ЯМР — ядерный магнитный резонанс

ВВЕДЕНИЕ

История медицины свидетельствует о том, что важнейшие прорывы в диагностике и лечении болезней чаще всего происходили в результате технологических и научных открытий, меняющих не только методы врачебной практики, но и саму парадигму медицинского мышления. Одним из таких революционных открытий стало обнаружение рентгеновского излучения Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 году. Это открытие положило начало новой области медицинского знания — радиологии, которая с конца XIX века превратилась из прикладной диагностической методики в самостоятельную и комплексную область науки и практики, охватывающую диагностику, терапию, профилактику и научные исследования.

Современная радиология является важнейшей составляющей системы здравоохранения. Практически невозможно представить себе ни одну клиническую область — будь то хирургия, онкология, травматология, педиатрия или неврология — без активного применения радиологических методов: рентгенографии, компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ультразвуковых исследований, позитронно-эмиссионной томографии и других. На протяжении более чем столетия радиология прошла путь от примитивных рентгеновских установок до высокотехнологичных цифровых комплексов, интегрированных с искусственным интеллектом и большими данными.

Исследование истории радиологии представляет собой не только академический интерес, но и имеет важное практическое значение. Понимание исторических предпосылок, этапов становления и факторов, повлиявших на развитие радиологической науки, позволяет критически оценить современные достижения, извлечь уроки из прошлых ошибок и наметить перспективы дальнейшего развития. Кроме того, историко-научный анализ формирует у будущих специалистов более глубокое понимание профессиональной идентичности и научного наследия, что особенно важно в условиях стремительно развивающихся медицинских технологий.

Цель и задачи исследования

Цель настоящей монографии — всесторонне проанализировать эволюцию радиологии как научной и клинической дисциплины с момента её возникновения до настоящего времени, выявить ключевые этапы и персоналии, определить закономерности научного прогресса в данной области.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Исследовать научно-исторические предпосылки открытия рентгеновского излучения и его первых медицинских применений;
2. Проанализировать процессы институционализации радиологии в начале XX века и становление её как самостоятельной медицинской дисциплины;
3. Рассмотреть развитие радиотерапии, её технологические и методологические аспекты;
4. Изучить влияние научно-технического прогресса на развитие новых направлений в радиологии (КТ, МРТ, ПЭТ, УЗИ);
5. Оценить вклад отдельных учёных, научных школ и профессиональных сообществ в формирование современной радиологической практики;
6. Проанализировать развитие радиологии в СССР, Российской Федерации и странах СНГ, включая вопросы организации службы, образования, научных исследований;
7. Охарактеризовать современные тенденции и перспективы развития радиологии в контексте цифровизации и персонализированной медицины.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования является медицинская радиология в широком историко-научном контексте. Предмет исследования — закономерности, этапы, технологии и научные школы, сформировавшие развитие радиологии как отрасли медицинского знания.

Методология исследования

Монография опирается на междисциплинарный подход, объединяющий методы историко-научного анализа, историографии, сравнительного анализа медицинских технологий, а также элементы социальной истории науки и техники. Используются принципы системности, хронологической последовательности, причинно-следственного анализа, анализа первоисточников и архивных материалов.

Основу источниковой базы составляют:

- Первичные публикации учёных-первопроходцев (Рентген, Кюри, Роке, Лейбенштейн, Альберти и др.);
- Исторические и методические труды по радиологии (монографии, обзоры, научные статьи);
- Документы международных и национальных медицинских организаций (IAEA, WHO, ESR, POPP и др.);
- Архивные материалы, свидетельства очевидцев, документы медицинских учреждений;

- Современная научная и учебная литература, отражающая развитие радиологических технологий.

Научная новизна

Новизна настоящей работы заключается в комплексном историко-научном анализе радиологии с позиций современной медицинской и технологической парадигмы. В отличие от фрагментарных исследований, данная монография охватывает весь исторический путь становления радиологии, уделяя внимание как фундаментальным научным открытиям, так и организационно-структурным преобразованиям в системе здравоохранения. Особое внимание уделяется отечественной радиологической школе, вкладу советских и постсоветских учёных, а также анализу социально-этических и образовательных аспектов развития отрасли.

Практическая значимость

Результаты монографии могут быть использованы:

- в образовательном процессе медицинских и технических вузов (в рамках курсов по истории медицины, радиологии, медицинской физики);
- при подготовке лекционных и методических материалов;
- в научно-исследовательской и проектной деятельности;
- для популяризации медицинского и научного наследия радиологии среди профессионального сообщества и широкой общественности.

Историко-научный анализ также способствует формированию профессиональной идентичности у специалистов и будущих врачей, а также укрепляет преемственность поколений в науке.

Глава 1. Зарождение радиологических знаний

§1.1. Открытие рентгеновских лучей: работы Вильгельма Конрада Рентгена

Введение. Открытие рентгеновского излучения в 1895 году стало одним из важнейших научных прорывов XIX века, открывших эру визуализации внутренних структур организма без оперативного вмешательства. Это событие оказало революционное воздействие на медицину, физику, инженерию и философию науки в целом. Вильгельм Конрад Рентген, немецкий физик, чья фамилия впоследствии стала синонимом самого явления, не только первым зафиксировал проявление нового типа излучения, но и блестяще доказал его физическую и медицинскую значимость. Исследование обстоятельств открытия рентгеновских лучей позволяет не только воссоздать интеллектуальный контекст конца XIX века, но и выявить фундаментальные основания становления радиологии как науки.



Вильгельм Конрад Рентген 1845-1923

Историко-научный контекст.

На рубеже XIX–XX веков физика находилась в состоянии бурного развития. Исследования в области электромагнетизма, катодных лучей, радиации и фотоэффекта стали основой для грядущей революции в представлениях о материи и энергии. В рамках этих исследований особое место занимали эксперименты с вакуумными трубками, разработанными Генрихом Гейслером и совершенствованными Круксом, Гитторфом, Голдштейном и другими. В лабораториях Европы в 1880–1890-х годах активно изучались катодные

лучи, их поведение в вакууме, а также сопутствующие эффекты свечения и флуоресценции.

Именно в этом научном поле и в условиях конкуренции физиков различных школ Рентген начал свои эксперименты. Он был знаком с работами по катодным лучам, но имел аналитическую осторожность и инженерную точность, что отличало его подход от многочисленных эмпирических попыток, не приведших к фундаментальному открытию. Условия, в которых Рентген пришёл к открытию, иллюстрируют важность как технического оснащения лаборатории, так и философского подхода к эксперименту: наблюдение за феноменами должно быть не только точным, но и теоретически осмысленным.

Биография и научная деятельность Рентгена до 1895 года

Вильгельм Конрад Рентген родился 27 марта 1845 года в Ланне, Верхняя Бавария. Получив инженерное образование в Цюрихском политехническом институте, он быстро переключился на физические исследования, проявив интерес к термодинамике, кристаллографии и свойствам диэлектриков. В 1875 году он получил кафедру физики в Гиссене, затем работал в Вюрцбурге, а позднее — в Мюнхенском университете. Его научные интересы включали исследование электрических явлений в кристаллах, но именно работа с газоразрядными трубками привела его к главному открытию жизни.

К 1895 году Рентген обладал богатым экспериментальным опытом и превосходно оснащённой лабораторией. Его лабораторные журналы, письма и публикации показывают редкое сочетание настойчивости, логической строгости и интуиции. Эти качества и стали залогом научного открытия, которое по праву считается одним из важнейших событий в истории медицины и физики.

Эксперимент и открытие.

8 ноября 1895 года Рентген, работая в своей лаборатории Вюрцбургского университета, проводил опыты с трубкой Крукса, обёрнутой в чёрную бумагу. Он заметил, что находящийся на некотором расстоянии экран, покрытый платиносинеродистым барием ($\text{BaPt}(\text{CN})_4$), начал светиться, несмотря на отсутствие прямого контакта с источником излучения. Это наблюдение показалось ему настолько необычным, что в течение последующих шести недель он вёл интенсивные эксперименты, не публикуя результатов.

Рентген предположил, что имеет дело с ранее неизвестным видом излучения, проникающим сквозь бумагу, дерево и даже части тела, но задерживающимся плотными объектами, такими как металл и кость. Чтобы подтвердить эту гипотезу, он поместил руку своей жены Анны Берты между источником излучения и фотопластинкой. Полученное изображение ясно показало кости кисти и обручальное кольцо на пальце — это была первая в истории рентгенограмма. Анна Берта, увидев снимок, воскликнула: «Я увидела

свою смерть», — таково было потрясение от невиданного ранее способа заглянуть внутрь человеческого тела.



«Рука с кольцами» (*Hand mit Ringen*). Первый рентгеновский снимок человеческого организма — кисть руки жены Рентгена — Анны Берты Людвиг, 22 декабря 1895 года

Первая публикация и реакция научного сообщества 28 декабря 1895 года Рентген направил статью в Вюрцбургское физико-медицинское общество под названием "Über eine neue Art von Strahlen" («О новом виде лучей»), в которой описал свойства излучения, его проникающую способность и фотографические эффекты. Он назвал их «Х-лучами» (впоследствии — рентгеновскими), подчёркивая их неизвестную природу. Статья была опубликована в январе 1896 года и быстро переведена на английский, французский и итальянский языки. Реакция научного сообщества и широкой общественности была мгновенной и восторженной.

По всей Европе и Америке физики начали повторять опыты Рентгена. Менее чем через месяц были опубликованы первые медицинские снимки переломов, инородных тел и патологий внутренних органов. Радиология начала формироваться как прикладная дисциплина буквально в считанные недели. Врач Джон Холл-Эдвардс в Великобритании одним из первых начал использовать рентгеновское излучение для клинической диагностики. В США и Франции появились первые отделения рентгенодиагностики. В 1901 году Рентген был удостоен первой Нобелевской премии по физике «в знак признания выдающихся заслуг, проявленных им при открытии замечательных лучей, названных впоследствии его именем».

Значение открытия для науки и медицины

Открытие Рентгена имело многослойное значение:

1. Физика: рентгеновские лучи стали ключом к развитию квантовой теории, атомной модели и спектроскопии. Исследования их природы стимулировали дальнейшие открытия: радиоактивность (Беккерель, Кюри), фотоэффект (Ленард, Эйнштейн), волновые свойства материи.

2. Медицина: впервые появилась возможность неинвазивного визуального исследования внутренних органов и структур. Хирургия, травматология, стоматология и онкология стали активно использовать рентгенологические методы. Это радикально изменило как диагностику, так и последующее лечение.

3. Военное дело: уже в ходе Первой мировой войны рентгеновские аппараты использовались в полевых условиях. Известна деятельность Марии Кюри по созданию мобильных рентгеновских станций (так называемых «маленьких Кюрил»).

4. Общество и культура: «рентген» стал символом научного прогресса и метафорой прозрения. Он проник в литературу, живопись и кино, породив как восхищение, так и страх перед новой реальностью, в которой «ничто не скрыто».

Научная добросовестность и стиль мышления Рентгена

Отдельного внимания заслуживает научный стиль Вильгельма Рентгена. Его сдержанность в интерпретациях, скрупулёзность экспериментов, отказ от поспешных выводов и коммерциализации изобретения (он отказался патентовать технологию) стали эталоном научной добросовестности. Эти качества способствовали не только принятию его работы научным сообществом, но и выработке культуры точности и ответственности в радиологической науке.

Заключение

Открытие рентгеновских лучей в 1895 году стало поворотной точкой в истории медицины и физики. Это открытие изменило представление человека о собственном теле, открыло эру визуализации и положило начало радиологии как междисциплинарной науки. Работа Вильгельма Конрада Рентгена, основанная на строгом экспериментальном подходе, научной честности и системности мышления, является образцом научного открытия, имеющего колоссальное прикладное и философское значение. Радиология, как и вся современная визуализирующая медицина, обязана своим существованием этой судьбоносной работе.

§1.2. Первое применение рентгеновских лучей в медицине

Открытие рентгеновских лучей Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 году ознаменовало собой начало новой эпохи в медицине — эпохи визуализации, в которой стало возможным исследование внутренних органов и структур организма без хирургического вмешательства. Однако не менее значимым, чем само открытие, было его стремительное внедрение в медицинскую практику. Уже в первые месяцы после публикации Рентгена во всём мире были зафиксированы случаи использования X-лучей в клинике. Этот раздел посвящён исследованию первых примеров клинического применения рентгеновского излучения, организационных предпосылок его внедрения, а также оценки значения этого этапа для дальнейшего формирования радиологии как самостоятельной медицинской дисциплины.

Общая характеристика раннего внедрения рентгеновских исследований

Скорость, с которой рентгеновские лучи были восприняты и внедрены в медицинскую практику, не имеет себе равных в истории медицины. Уже в течение первого года после публикации Рентгена (1896) были произведены сотни экспериментов и клинических процедур по всему миру: в Германии, Франции, Великобритании, США, Италии, России и Австро-Венгрии. Это свидетельствует о высоком спросе со стороны клинической медицины на новые методы диагностики, особенно в области травматологии, хирургии и стоматологии.

Рентгеновские снимки сразу же показали уникальные диагностические преимущества. Впервые врачи получили возможность визуально подтверждать переломы, инородные тела, деформации костей, заболевания лёгких и других органов. Даже при отсутствии полного понимания природы излучения и его биологических эффектов, практическая ценность метода была очевидна. Уже в первые месяцы 1896 года рентгеновские аппараты стали устанавливаться в госпиталях и университетах.

Первые рентгенографические исследования: документальные свидетельства

Одним из первых задокументированных медицинских применений рентгеновского излучения стал случай, произошедший 3 февраля 1896 года в Бирмингеме (Великобритания), когда доктор Джон Холл-Эдвардс (John Hall-Edwards) выполнил рентгенограмму руки пациента с подозрением на перелом. Он использовал катодную трубку и самодельную фотопластинку, поместив её под руку пациента на 10–15 минут. Снимок с чётко выраженной линией перелома позволил подтвердить диагноз и выбрать оптимальную тактику лечения. Это событие считается первым в истории использованием рентгенографии в диагностических целях в Англии.

Аналогичный случай был зафиксирован во Франции, где Антуан Беккерель и врач Жан-Поль Клеманс выполнили рентгенографию руки пациента с металлическим инородным телом. Благодаря рентгену удалось точно локализовать и успешно удалить предмет, не прибегая к обширному хирургическому вмешательству. Уже в марте 1896 года в Париже были проведены первые операции под контролем рентгеновского изображения, что заложило основу интервенционной радиологии.

В Соединённых Штатах Америки одним из первых практиков, применивших рентген в клинике, был врач Эмиль Грубе (Emil Grubbe) в Чикаго. Он использовал рентгеновские лучи не только в диагностике, но и в терапевтических целях при лечении кожных новообразований, полагая, что излучение обладает прижигающим и опухолеугнетающим эффектом. Этот опыт считается первым задокументированным случаем радиотерапии.

Травматология и военная медицина

Сфера травматологии оказалась одной из первых и наиболее продуктивных областей применения рентгеновских лучей. Переломы, вывихи, осколочные и огнестрельные ранения, столь распространённые в условиях военных конфликтов и производственных травм, получили новое диагностическое измерение. До появления рентгена хирурги ориентировались исключительно на внешний осмотр, пальпацию и симптомы — методы, ограниченные субъективностью и низкой точностью.

В 1897 году, во время греко-турецкой войны, рентгеновские установки использовались в полевых госпиталях. Известен случай, когда австрийский врач Леопольд Фройнд применил рентгеновские снимки для диагностики ранения груди, что позволило своевременно удалить пулю из лёгкого. Этот опыт оказался настолько успешным, что рентгеновские аппараты стали стандартной частью госпитального оснащения в армиях Европы уже к 1900 году.

Стоматология и черепно-лицевая хирургия

Одной из первых медицинских дисциплин, принявших рентгеновское изображение в повседневную практику, стала стоматология. Уже в 1896 году профессор Отто Валькгоф в Германии и доктор Edmund Kells в США выполнили первые интраоральные рентгеновские снимки зубов. Это позволило визуализировать скрытые кариозные полости, воспаления корней, а также новообразования в челюсти.

Однако эти исследования сопровождались серьёзными рисками. Например, Келлс получил множественные ожоги, а затем и злокачественную опухоль руки, что впоследствии привело к ампутации. Несмотря на трагический исход, его вклад в развитие стоматологической рентгенологии стал основополагающим.

Вклад Марии Склодовской-Кюри в раннюю медицинскую радиологию

Следует отдельно отметить вклад Марии Склодовской-Кюри в развитие практического применения рентгеновских лучей. После начала Первой мировой войны она организовала передвижные рентгенологические станции, которые получили название «маленькие Кюри». Более 20 таких мобильных установок были размещены на фронтах и использовались для срочной диагностики ранений.

Кюри не только сама управляла техникой, но и подготовила около 150 женщин-операторов. Эти действия не только спасли жизни тысяч солдат, но и популяризировали рентген среди медицинского персонала, ускорив его институционализацию. После войны Кюри добилась учреждения первого в мире института радиологии в Париже.

От технической новинки к клиническому стандарту

К началу XX века рентгеновские установки начали массово устанавливаться в университетских клиниках, армейских госпиталях и частных медицинских учреждениях. К 1905 году рентгенография стала обязательным элементом обучения студентов медицинских факультетов в Германии, Франции и Австро-Венгрии.

Однако, несмотря на огромный энтузиазм, раннее применение рентгеновского излучения было сопряжено с рядом проблем:

1. Отсутствие стандартизации: В первые годы не существовало универсальных методик проведения исследований, экспозиции подбирались эмпирически, что нередко приводило к ожогам и радиационным поражениям.

2. Неосведомлённость о биологических эффектах: Только с 1905–1910 годов началось систематическое изучение воздействия ионизирующего излучения на ткани.

3. Этические вопросы: Применение метода без информирования пациентов и защиты персонала вызывало беспокойство уже в начале XX века.

Тем не менее, уже к 1910–1915 годам были выработаны первые протоколы, начали создаваться общества радиологов (в Германии — в 1905 г., в США — в 1907 г.), появились специализированные журналы и учебники. Это заложило основы для превращения рентгенологии в научно обоснованную дисциплину.

Перспективы и ограничения

Первые десятилетия применения рентгеновских лучей продемонстрировали колоссальный потенциал метода, но также и его ограничения. Несмотря на высокую диагностическую ценность, рентгенография не позволяла полноценно визуализировать мягкие ткани, что ограничивало её применение в гастроэнтерологии, гинекологии, неврологии.

Эти ограничения послужили толчком к развитию контрастных методов (бариевая взвесь, йодсодержащие препараты), а в дальнейшем — к созданию новых технологий визуализации: томографии, флюороскопии, компьютерной томографии. Тем не менее, именно ранняя рентгенография заложила основные принципы медицинской визуализации: неинвазивность, воспроизводимость, возможность документирования патологического процесса.

Заключение

Первое применение рентгеновских лучей в медицине стало поворотным событием в истории клинической практики. В течение нескольких месяцев после открытия Рентгена новая технология была принята врачебным сообществом и начала использоваться в хирургии, травматологии, стоматологии и онкологии. Это подтверждает, что истинные научные прорывы находят немедленное практическое применение, особенно если они удовлетворяют остро ощущаемые потребности общества — в данном случае, в надёжной и быстрой диагностике.

Бурное распространение рентгенографии привело к необходимости создания новых организационных структур, протоколов, образовательных программ. Так начался процесс институционализации радиологии, который будет подробно рассмотрен в следующем разделе.

§1.3. Развитие физико-технических основ радиологии в конце XIX — начале XX века

Открытие рентгеновского излучения Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 году дало мощный импульс не только медицинской диагностике, но и стимулировало активное развитие физико-технических основ радиологии. Первые десятилетия существования рентгенологии характеризуются интенсивными усилиями инженеров, физиков и врачей по созданию, модификации и стандартизации оборудования, необходимого для практического применения нового вида излучения. Этот период стал временем фундаментальных открытий, инженерных решений и формализации новых понятий, без которых невозможно представить современную радиологию.

Газоразрядные трубки и катодные лучи: технологическая база открытия

В основе первых рентгеновских аппаратов лежали эксперименты с катодными лучами и вакуумными трубками, которые в последние десятилетия XIX века были предметом интенсивного изучения. Катодные лучи, открытые Юлиусом Плюккером и Филиппом Ленардом, стали основой для создания трубок, генерирующих X-лучи. Трубка Крукса, одна из самых популярных

моделей, представляла собой стеклянную колбу с двумя электродами, из которой был откачан воздух до давления около 10^{-2} мм рт. ст. При пропускании тока через электроды в такой трубке образовывалось свечение, а также испускались лучи, обладающие свойствами, отличными от видимого света.

Именно такая трубка была использована Рентгеном при открытии нового вида излучения. Впоследствии трубки подверглись значительным модификациям. Так, были разработаны трубки типа Гитторфа, а затем — трубки Румкорфа и Кулиджа, которые обеспечивали более устойчивое и управляемое излучение. Именно с созданием трубки Кулиджа (1913) началась новая эпоха в радиотехнике.

Трубка Кулиджа и переход к термоэмиссионному катоду

Разработка Уильямом Дэвидом Кулиджем (General Electric, США) вакуумной трубки с накаливаемым катодом стала важнейшим технологическим прорывом. В отличие от трубки Крукса, в которой ток возникал благодаря остаточному газу и был нестабилен, трубка Кулиджа использовала термоэлектронную эмиссию: накалённый вольфрамовый катод испускал электроны, которые ускорялись в электрическом поле и ударялись о металлический анод, в результате чего испускались рентгеновские лучи.

Это позволило:

- контролировать силу тока и напряжение, а следовательно — мощность излучения;
- получать стабильное излучение, пригодное для медицинской диагностики;
- увеличить срок службы трубок и обеспечить их промышленное производство.

Таким образом, трубка Кулиджа стала первым элементом, позволившим превратить рентгеновские исследования в регулярную клиническую процедуру, а не лабораторный эксперимент. Она использовалась в медицинской практике вплоть до середины XX века, а её принципиальная конструкция легла в основу современных рентгеновских генераторов.

Источники высокого напряжения

Для работы рентгеновских труб требовалось напряжение в десятки тысяч вольт. Первоначально использовались индукционные катушки Румкорфа, которые давали переменное высоковольтное напряжение. Однако они были нестабильны и плохо контролировались. В начале XX века стали использовать трансформаторы, работающие от переменного тока, а затем появились выпрямители и ртутные вентильные приборы, позволявшие получать постоянное напряжение.

Это позволило разработать:

- стабильные генераторы высокой мощности;
- импульсные схемы включения, что уменьшило дозу облучения;
- аппараты с регулируемыми параметрами, адаптируемые под конкретные медицинские задачи.

Становление электроники и радиотехники как самостоятельных дисциплин во многом было связано с необходимостью решения задач рентгенологии.

Развитие анодов и фокусировки

Одним из главных технических вызовов было обеспечение точной фокусировки луча и равномерности излучения. Для этого разрабатывались аноды из различных материалов (медь, платина, вольфрам), обладающих высокой температурной устойчивостью и атомным номером (чем выше Z , тем эффективнее тормозное излучение).

Также были внедрены следующие технические усовершенствования:

- вращающиеся аноды, которые распределяли тепловую нагрузку по окружности;
- фокусирующие катоды, формирующие пучок с заданными параметрами;
- диафрагмы и коллиматоры, уменьшающие рассеяние излучения и повышающие контраст изображения.

К началу 1920-х годов появились рентгеновские аппараты, позволявшие регулировать фокусное расстояние, угол облучения, экспозицию — всё это сделало возможным стандартизацию снимков и повышение их диагностической ценности.

Развитие флюороскопии и усилительных экранов

Помимо рентгенографии, то есть записи изображения на фотопластинку, параллельно развивалась флюороскопия — методика получения изображения в реальном времени. Уже в 1896 году Томас Эдисон изобрёл флюоресцентный экран, покрытый вольфратом кальция, позволяющий врачу наблюдать изображение объекта вживую.

Флюороскопия позволила:

- наблюдать движение органов (перистальтику, сердечную деятельность);
- выполнять манипуляции под контролем изображения (предвестие интервенционной радиологии);
- изучать функции организма, а не только анатомические структуры.

Однако флюороскопия несла большую лучевую нагрузку как для пациента, так и для врача. Отсутствие защитных экранов и дозиметрии привело к многочисленным случаям профессиональных заболеваний. Это способствовало

появлению первых нормативов радиационной безопасности (1920-е годы), а также технических средств защиты — свинцовых фартуков, экранов и стекла.

Введение рентгеноконтрастных веществ

Ограниченная контрастность мягких тканей побудила к разработке методов искусственного усиления видимости структур. Уже в начале XX века начались эксперименты с введением в организм контрастных веществ на основе бария и йода. Одним из первых был Франц Фогт, предложивший использовать взвесь сульфата бария для исследования пищеварительного тракта (1904).

С начала 1910-х годов в клиниках Европы и США начали применять:

- бариевую взвесь для исследования пищевода, желудка и кишечника;
- йодсодержащие препараты для урографии, холецистографии, ангиографии;
- воздух (пневмоэнцефалография) и газовые среды (пневмоперитонеум) в нейро- и абдоминальной диагностике.

Контрастирование открыло путь к функциональной рентгенологии — врач смог оценивать не только форму, но и работу органов.

Появление первых серийных рентгеновских аппаратов

Быстрое развитие физико-технических аспектов привело к появлению на рынке первых промышленных рентгеновских установок. Уже в 1896–1898 годах немецкие фирмы «Siemens & Halske» и «AEG», американская «General Electric», французская «Gaiffe» выпускали рентгеновские аппараты различной мощности.

В начале XX века появились:

- стационарные установки для больничных условий;
- переносные аппараты, используемые в военных условиях;
- комбинированные устройства, объединяющие флюороскопию и рентгенографию.

Серийное производство аппаратов позволило начать формирование служб рентгенодиагностики в больницах, а также стандартов оснащения лечебных учреждений.

Формирование радиационной защиты и дозиметрии

Одной из важнейших проблем, возникших в начале XX века, стали лучевые поражения. Уже в 1902 году было зафиксировано множество случаев лучевых ожогов, выпадения волос, дерматитов и раковых заболеваний у врачей, техников и пациентов. Это вынудило научное сообщество искать решения:

- были введены первые дозиметры (например, пластинки Блейера, цветные индикаторы);
- появились первые нормы дозовой нагрузки (1925–1928 гг.);
- началось изучение радиобиологических эффектов — апоптоза, канцерогенеза, мутаций.

Таким образом, параллельно с техническим прогрессом формировалась и культура безопасности, что является неотъемлемой частью современной радиологии.

Заключение

Физико-технические основы радиологии в период с 1895 по 1925 год прошли стремительный путь от экспериментальной стеклянной трубки до серийного высокоточного оборудования, пригодного для клинического применения. Этот этап характеризуется активной интеграцией знаний из физики, электротехники, материаловедения и биологии. Создание трубки Кулиджа, развитие анодов, источников напряжения, экранов и контрастных веществ не только обеспечило техническую реализацию метода, но и заложило фундамент для появления новых направлений: ангиографии, флюороскопии, рентгенотерапии.

Таким образом, именно на рубеже XIX–XX веков формируется материальная и теоретическая база радиологии, без которой невозможно было бы последующее развитие КТ, МРТ, ПЭТ и других технологий визуализации.

§1.4. Вклад Марии и Пьера Кюри в развитие радиационных технологий

Развитие радиологии как науки и медицинской дисциплины невозможно представить без фундаментальных открытий в области радиоактивности, сделанных во второй половине XIX — начале XX века. Центральное место в этом процессе принадлежит супругам Марии Склодовской-Кюри и Пьеру Кюри — выдающимся учёным, открывшим новые радиоактивные элементы и заложившим основы радиационной физики и радиохимии. Их исследования не только расширили понимание природы материи и излучения, но и открыли путь к созданию технологий, лежащих в основе диагностической и терапевтической радиологии. Их вклад стал мостом между фундаментальной наукой и медицинской практикой, а их открытия — краеугольным камнем ядерной медицины и радиотерапии.

Радиоактивность как новое физическое явление

Понятие радиоактивности вошло в научный оборот после случайного открытия Антуаном Анри Беккерелем в 1896 году. Он обнаружил, что соли урана излучают невидимые лучи, способные засвечивать фотопластинку, аналогично рентгеновским лучам. Это открытие показало, что определённые химические

элементы обладают способностью самопроизвольно испускать энергию. Однако природа и механизмы этой энергии оставались неясными.

Мария Склодовская-Кюри — польская физик и химик, в то время аспирантка Парижского университета, — заинтересовалась явлением радиоактивности и предложила изучать его системно. В 1897 году она начала серию измерений излучения различных соединений урана, применяя электрометр, сконструированный Пьером Кюри и его братом Жаком. В ходе исследований она обнаружила, что активность некоторых урановых руд (питчбленды) превышает активность чистого урана. Это позволило предположить наличие в них новых, более радиоактивных элементов.



Мария Склодовская-Кюри 1867 - 1934

Открытие полония и радия

В 1898 году супруги Кюри опубликовали две знаковые работы: в июле они сообщили об открытии полония — нового элемента, названного в честь родины Марии, а в декабре — об открытии радия. Оба элемента были выделены в результате многомесячной переработки урановой руды, сопровождаемой ручным дроблением, экстракцией, кристаллизацией и спектральным анализом. Свыше 10 тонн шлихов питчбленды было переработано в небольшой лаборатории Школы физики и химии в Париже.

Полоний (Po) проявлял высокую радиоактивность, но был химически неустойчив. Радий (Ra), напротив, оказался стабильнее и обладал мощным радиоактивным

излучением. Его соли светились в темноте, нагревались без внешнего источника энергии и вызывали ожоги при контакте с кожей. Эти свойства сделали радий ключевым объектом научных и медицинских исследований.

Физика и биология радиоактивного излучения

Супруги Кюри не только открыли новые элементы, но и положили начало исследованию физических и биологических свойств радиоактивного излучения:

- Было установлено, что радиоактивность — это внутреннее свойство атома, а не химическая реакция.
- Впервые была высказана гипотеза о распаде атомного ядра как источнике излучения.
- Пьер Кюри изучал тепловой эффект радиоактивности, показав, что радий выделяет тепло непрерывно и без участия внешних факторов.
- Совместно с биологами супруги Кюри исследовали влияние радия на ткани животных, что дало первые представления о возможности его терапевтического использования.

Их открытия разрушили классическое представление о неделимости атома, предвосхитили квантовую теорию и стали основой для атомной физики. В 1903 году Мария и Пьер Кюри вместе с Беккерелем были удостоены Нобелевской премии по физике «за выдающиеся заслуги в исследовании радиоактивных явлений».

Первое применение радия в медицине

Уже в первые годы после открытия радия начались попытки его применения в терапии. В 1901 году врач из Вены Леопольд Фройнд впервые использовал радий в лечении кожной опухоли у ребёнка, продемонстрировав выраженный терапевтический эффект. В 1903–1904 годах Пьер Кюри вместе с доктором Дебье (Debierne) начали систематические исследования дозировки и воздействия радия на опухоли и кожу.

Создание капсул с радийсодержащими веществами, обёрнутыми в герметичные оболочки, позволило направленно воздействовать на патологические очаги. Этот принцип лёг в основу контактной радиотерапии — метода, при котором радиоактивный источник помещается вблизи или внутри новообразования. Уже к 1910 году радий активно использовался в Европе и США для лечения рака кожи, языка, молочной железы, а также гинекологических заболеваний.

Мария Кюри и развитие радиомедицины во Франции

После трагической гибели Пьера Кюри в 1906 году Мария продолжила научную деятельность. Она стала первой женщиной — профессором Сорбонны и руководителем лаборатории. В 1911 году она была удостоена второй Нобелевской премии — на этот раз по химии — за открытие и исследование полония и радия. Она активно участвовала в подготовке специалистов, написала учебники, организовала поставки радия для медицинских учреждений.

Во время Первой мировой войны Кюри сыграла важную роль в организации радиологической помощи раненым. Она создала более 20 мобильных рентгенологических станций («petites Curies») и обучила более сотни женщин-медиков работе на них. Эта деятельность заложила основу военной

радиологии, а также показала социальное значение радиологических технологий.

В 1921 году Мария Кюри основала Институт радия в Париже (ныне Институт Кюри), ставший ведущим центром исследований в области радиобиологии, радиохимии и медицинской радиологии. Там под её руководством трудились выдающиеся учёные, включая её дочь Ирен Жолио-Кюри и Жана Перрена.

Радиобиология и дозиметрия

Исследования супругов Кюри стали основой для формирования новой науки — радиобиологии, изучающей влияние ионизирующего излучения на живые организмы. Эксперименты показали, что радий вызывает:

- некроз и отмирание тканей при длительном воздействии;
- подавление роста опухолевых клеток;
- мутации и структурные повреждения ДНК.

На основе этих данных были выработаны принципы дозирования и расчёта лечебной активности. Впоследствии они стали базой для становления радиационной гигиены и лучевой терапии.

Появились первые стандарты активности: так, один грамм радия определялся как единица (позднее — кюри, в честь Пьера и Марии). Это позволило создавать таблицы эквивалентных доз, оценивать эффективность источников, разрабатывать протоколы лечения.

Этика и личная жертва

Следует подчеркнуть, что супруги Кюри работали с радиоактивными веществами без средств защиты. Их лаборатория не имела вентиляции, они контактировали с растворами голыми руками, носили ампулы с радийсодержащими соединениями в карманах. В результате оба учёных подвергались постоянному облучению. Пьер скончался в 1906 году в результате несчастного случая, но его здоровье уже было подорвано. Мария Кюри умерла в 1934 году от апластической анемии — вероятно, вследствие многолетнего радиационного воздействия.

Тем не менее их самоотверженность, научная честность и преданность гуманистическим идеалам стали эталоном научного подвига.

Международное признание и наследие

Кюри стали символами науки и мира. Их имя носят:

- единица радиоактивности (кюри — Ci);
- элемент таблицы Менделеева (курий — Cm);
- крупнейшие научные центры — Институт Кюри (Париж), Институт радиоэлементов (Бельгия);
- медицинские учреждения, факультеты, лаборатории по всему миру.

Методы, основанные на их открытиях, применяются и сегодня: брахитерапия, радионуклидная диагностика, лучевая терапия, ПЕТ/СТ-сканирование — всё это напрямую восходит к работам Кюри.

Заключение

Вклад Марии и Пьера Кюри в развитие радиационных технологий невозможно переоценить. Их открытия в области радиоактивности не только изменили представления о строении материи, но и стали основой для создания целого направления в медицине — радиотерапии. Благодаря их исследованиям стало возможно лечение опухолей, развитие радиодиагностики и становление ядерной медицины.

Супруги Кюри сочетали фундаментальную науку с практическим гуманизмом, посвятив свою жизнь борьбе с болезнью и страданием. Их научное наследие стало прочным основанием для всего здания современной радиологии, и до сих пор их имена символизируют единство научного поиска и служения человечеству.

Глава 2. Формирование радиологии как самостоятельной медицинской дисциплины

§2.1. Создание первых рентгенологических кабинетов

Открытие рентгеновского излучения в 1895 году и его стремительное внедрение в медицинскую практику в последующие годы вызвали необходимость организационного оформления новой области медицинского знания. Сперва рентгенография применялась эпизодически — как техническая новинка, доступная лишь в исследовательских лабораториях и редких энтузиастах среди врачей. Однако уже в течение первого десятилетия XX века начали формироваться специализированные пространства — рентгенологические кабинеты, оснащённые необходимым оборудованием и обслуживаемые специально подготовленным персоналом. Этот процесс знаменует переход от спорадического использования рентгеновских лучей к формированию структурированной, институционализированной дисциплины — медицинской радиологии.

Рассмотрение истории создания первых рентгенологических кабинетов позволяет выявить закономерности становления организационно-функциональной модели радиологии, оценить роль государственных и частных инициатив, а также проанализировать вклад ведущих медицинских центров в развитии нового направления.

Исторические предпосылки и первая волна интереса

Сразу после публикации Вильгельма Конрада Рентгена в декабре 1895 года, интерес к его открытию был огромен. Уже к марту 1896 года в ведущих университетах Европы — Париже, Лондоне, Берлине, Вене — были проведены публичные демонстрации работы рентгеновской установки, на которых показывались снимки человеческой кисти, черепа, предметов в тканях и других структур. Эти демонстрации носили вначале характер сенсации, но очень быстро стали приобретать практическое значение.

Первоначально рентгенографией занимались физики и инженеры, тесно сотрудничавшие с врачами. Такое междисциплинарное взаимодействие стало нормой в первых рентгенологических кабинетах. Однако отсутствие стандартизации оборудования, методов съёмки и оценки снимков обусловило потребность в создании специализированных подразделений, объединяющих технические и клинические функции.

Первые учреждения и инициаторы

Одними из первых организованных рентгенологических подразделений стали:

- Рентгеновский кабинет в больнице Святого Бартоломея (Лондон, 1896) — инициатором стал хирург Джон Холл-Эдвардс. Вскоре в этой больнице был оборудован стационарный рентгеновский кабинет с постоянным штатом, включая физика и техника.

- Парижский госпиталь Шаритэ (Charité) и Госпиталь Кошен (Hôpital Cochin) — во Франции активно работали физики и медики, поддержанные лабораториями Марии Кюри. Радиологические кабинеты начали функционировать при университетах, а также при военных госпиталях.

- Вена и Берлин (1897–1898) — австрийский врач Леопольд Фройнд организовал первый рентгенотерапевтический кабинет, где проводились как диагностические, так и лечебные процедуры. В Германии рентгеновские лаборатории появлялись при хирургических клиниках, особенно активно — при берлинской клинике Шарите и мюнхенской университетской клинике.

- США: Массачусетская больница общего профиля (Massachusetts General Hospital) и Чикагская клиника при Северо-Западном университете — в 1896–1898 гг. здесь появились первые оборудованные кабинеты. Одним из пионеров американской рентгенологии стал Эмиль Грубе, использовавший рентген не только в диагностике, но и в терапии опухолей.

- Россия: Первый рентгеновский кабинет был организован в Военно-медицинской академии в Санкт-Петербурге в 1896 году. Затем — в московских больницах имени Боткина и Склифосовского.



Получение рентгеновского изображения, XIX век

Таким образом, на рубеже веков складывается модель кабинета как самостоятельной медицинской единицы при крупных многопрофильных учреждениях. Именно эти кабинеты стали основой для будущих отделений рентгенодиагностики.

Структура и оборудование кабинетов

Первые рентгенологические кабинеты имели, как правило, следующую структуру:

- Помещение для установки — специально экранированное, с возможностью затемнения, изолированное от других медицинских помещений.
- Рентгеновская установка — трубка Крукса, позже Кулиджа; источник высокого напряжения (индукционная катушка, трансформатор); деревянные или металлические стойки.
- Фотолаборатория — проявочные баки, тёмная комната, оборудование для сушки плёнок.
- Экранная флюороскопия — в некоторых кабинетах (в первую очередь во Франции и США) использовались флюоресцентные экраны для наблюдения в реальном времени.
- Зона хранения и учёта снимков — картотеки, альбомы снимков, журналы учёта исследований.

Кабинеты обслуживались врачом (чаще всего хирург или терапевт с интересом к физике), техником (ответственным за работу установки), а также

санитарным персоналом. Позже появились радиологические сёстры, обученные технике укладки пациента и проявке плёнок.

Персонализация и специализация

Со временем стало ясно, что работа в рентгенологическом кабинете требует специфических знаний. Врачи, проявлявшие интерес к рентгенографии, начали специализироваться. Это дало начало профессии рентгенолога, а позднее — радиолога. Уже в 1901–1905 гг. в Германии и Австрии появились первые курсы повышения квалификации для врачей, изучающих рентгеновскую диагностику.

Формируется иерархия:

- Врач-рентгенолог — осуществляет съёмку, интерпретирует результаты.
- Рентгентехник — готовит оборудование и пациентов.
- Лаборант — проявляет снимки, обеспечивает архивирование.

Эта модель со временем была институционализована в форме отделений радиологии.

Финансирование и статус

Создание рентгенологических кабинетов вначале финансировалось за счёт:

- частных пожертвований (многие кабинеты в США и Европе были открыты на средства филантропов);
- университетских фондов;
- военных ведомств (в связи с очевидной пользой рентгенов для диагностики ранений и инородных тел).

Позже, с 1910-х годов, государственные системы здравоохранения начали официально включать рентгенографию в перечень медицинских услуг. Во Франции и Германии рентгенография стала частью обязательной диагностики при поступлении пациента в стационар. В России с 1913 года началась централизованная подготовка врачей-рентгенологов на базе Военно-медицинской академии.

Документация и стандарты

Одним из важнейших факторов развития радиологии стало ведение документации и стремление к стандартизации. Уже в 1905–1910 гг. появляются:

- протоколы исследований (описание анатомических структур, патологий, проекций);
- стандарты укладки пациента;
- нормы экспозиции;
- учёт и архивирование снимков — первые «радиологические паспорта» пациентов.

Такая документация стала необходимой для научной работы, медицинской статистики, обучения студентов. Именно на базе рентгенологических кабинетов началась систематизация знаний, что сделало возможным написание первых учебников.

Проблемы и вызовы

Несмотря на успехи, первые рентгенологические кабинеты сталкивались с рядом проблем:

1. Отсутствие защиты от излучения: врачи и техники работали без экранов, свинцовой одежды, дозиметров.
2. Механическое оборудование: нестабильные источники напряжения, трудности при позиционировании пациента.
3. Слабая разрешающая способность: ограниченное качество снимков, особенно мягких тканей.
4. Скептицизм клиницистов: не все врачи сразу приняли рентген как надёжный диагностический инструмент.

Однако по мере роста числа исследований, накопления клинического опыта и появления первых специализированных журналов доверие к методу возрастало.

Заключение. Создание первых рентгенологических кабинетов стало важнейшим этапом в становлении радиологии как медицинской дисциплины. Эти кабинеты стали точками кристаллизации научного знания, клинической практики и инженерной мысли. Они сыграли ключевую роль в формировании профессии радиолога, развитии учебных программ и внедрении радиологических методов в структуру здравоохранения.

Уже к 1910–1920 гг. рентгенология из технической новинки превратилась в неотъемлемую часть медицинского процесса, заложив основы будущих направлений: флюороскопии, ангиографии, радиотерапии и, позднее, компьютерной томографии.

§2.2. Развитие диагностической радиологии в 1920–1950-х гг.

Период 1920–1950-х годов стал ключевым этапом в превращении радиологии из экспериментальной и вспомогательной методики в полноценную, институционализированную и научно обоснованную диагностическую дисциплину. Именно в это время были сформированы основные принципы рентгенодиагностики, выработаны стандарты исследования, определены

границы методологических возможностей, а также заложены основы клинико-рентгенологических школ. Развитие диагностической радиологии в указанный период происходило на фоне интенсивного прогресса в смежных науках — анатомии, физиологии, инженерии и радиационной физике, а также в условиях растущего запроса со стороны клинической медицины.

Период охватывает как межвоенные годы, ознаменованные консолидацией рентгенологической службы в системах здравоохранения развитых стран, так и военное и послевоенное время, когда радиология приобрела значение не только в медицинской практике, но и в национальной обороне и реабилитации населения. Данный раздел направлен на выявление ключевых направлений развития диагностической радиологии в 1920–1950-х годах, анализ достижений, проблем и перспектив того времени.

Технические усовершенствования рентгеновского оборудования

С 1920-х годов наблюдается стремительное усовершенствование аппаратной части рентгенологического оборудования. На смену трубкам с воздушным охлаждением пришли установки с жидкостным и масляным охлаждением, что позволило увеличить мощность генераторов и продолжительность исследований. Были внедрены:

- Трубки с вращающимся анодом, равномерно распределяющим тепловую нагрузку;
- Селективные диафрагмы, позволяющие улучшить пространственное разрешение изображения;
- Регулируемые столы и стойки, облегчающие позиционирование пациента;
- Переход на киноплёнку и рентгенокиносъёмку, особенно в исследовании желудочно-кишечного тракта.

Появление рентгенотелевизионных установок в 1930–1940-х годах, основанных на преобразовании изображения с флюоресцентного экрана в электронный сигнал, стало прорывом, предвосхитившим цифровые технологии визуализации. Хотя они оставались громоздкими и дорогими, такие установки уже позволяли демонстрировать изображение на экране в реальном времени и даже фиксировать его на фотоленту.

Систематизация методов исследования

На этом этапе происходила стандартизация и методологическая систематизация рентгенологических процедур. Были разработаны регламентированные проекции (прямые, боковые, косые) для исследования различных органов и систем. В ведущих рентгенологических школах (Германия, Франция, США) появляются первые национальные руководства, описывающие

методику выполнения снимков, клинико-рентгенологическую интерпретацию, допустимые параметры излучения и принципы дозирования.

Особое внимание уделялось разработке методик исследования желудочно-кишечного тракта. Использование бариевой взвеси позволило визуализировать контуры и перистальтику пищевода, желудка, кишечника, а также выявлять язвы, опухоли, стенозы. Методы двойного контрастирования (газ + барий) усиливали рельефность изображения.

В области урологии были разработаны ретроградная и экскреторная урография с использованием йодсодержащих препаратов. В пульмонологии получила распространение рентгенография грудной клетки в двух проекциях, что стало стандартом при диагностике туберкулёза, пневмоний, опухолей.

Образование и формирование рентгенологических школ

К 1920-м годам радиология окончательно оформилась как специальность.

Были учреждены:

- Кафедры и курсы рентгенологии в медицинских университетах;
- Научные общества (например, Американское общество радиологов, основанное в 1923 году; Французское общество медицинской радиологии);
- Специализированные журналы: *American Journal of Roentgenology* (с 1906), *La Radiologie Médicale* (с 1910), *Röntgen-Blätter* (Германия, с 1904).

Сформировались национальные школы рентгенологической диагностики:

- Немецкая школа (Берлин, Мюнхен) — развивала патоморфологический подход и стандарты снимков;
- Французская школа (Париж) — делала акцент на динамической флюороскопии и визуальной интерпретации;
- Американская школа — ориентировалась на технико-аппаратные решения, организацию массовых скринингов (например, по туберкулёзу);
- Советская школа — развивалась с упором на единство клинической и рентгенологической диагностики, широкую клиническую интерпретацию и профилактическую направленность.

Социально-гигиеническая роль радиологии в межвоенный период

Рентгенология постепенно стала использоваться не только для диагностики отдельных заболеваний, но и как инструмент общественного здравоохранения. Особенно ярко это проявилось в программах противотуберкулёзного скрининга. С 1920-х годов в Германии, Швейцарии, СССР и США начали использовать передвижные флюорографические установки, позволяющие обследовать большие группы населения.

В СССР в 1930–1940-х годах рентгенодиагностика стала частью диспансерной системы. Были организованы рентгенологические кабинеты при промышленных предприятиях, фабзавучах, домах санпросвета. В крупных

городах — рентгенофлюорографические станции. Такие подходы сформировали представление о рентгенологии как важном инструменте профилактики и ранней диагностики.

Развитие военной радиологии во время Второй мировой войны

Период Второй мировой войны стал испытанием для всей системы здравоохранения, в том числе и радиологии. Огромный поток раненых, необходимость быстрой диагностики огнестрельных и осколочных ранений, локализации инородных тел, черепно-мозговых и позвоночных травм требовали мобильной, надёжной и функциональной рентгенологической службы.

В условиях фронта активно использовались:

- Передвижные рентгеновские установки — автомобили с генераторами, экранами, средствами проявки;
- Полевые госпитали с флюороскопией — особенно в армиях СССР и Великобритании;
- Массовая подготовка военных рентгенологов — краткосрочные курсы, мобильные бригады.

Послевоенный анализ показал, что рентгенология сыграла важную роль не только в хирургии, но и в сортировке пострадавших, прогнозировании восстановления и медицинской экспертизе.

Радиология в СССР: организационная модель и научные подходы

В Советском Союзе развитие диагностической радиологии в 1920–1950-х годах шло по линии централизации и интеграции с общей системой охраны здоровья. Особенности включали:

- Создание обязательных рентгенкабинетов в каждой крупной больнице и поликлинике;
- Принятие нормативов оснащения и штатного расписания (приказ Наркомздрава от 1939 года);
- Введение курсов повышения квалификации врачей (при институтах усовершенствования);
- Подготовку сестринского персонала со специальными навыками;
- Активную публикацию отечественных учебников и монографий (Б. И. Бавкин, П. Г. Дьяков, А. Ф. Тур).

Советская школа рентгенодиагностики акцентировала внимание на комплексной клинко-рентгенологической интерпретации, уделяя особое внимание диспансеризации, скринингу и эпиднадзору.

Проблемы и ограничения

Несмотря на прогресс, развитие диагностической радиологии в 1920–1950-х гг. сопровождалось и рядом ограничений:

1. Ограниченное разрешение изображений, особенно при визуализации мягких тканей;
2. Отсутствие трёхмерной визуализации, что ограничивало точность в нейрохирургии и кардиологии;
3. Лучевая нагрузка на пациента и персонал — нормы дозирования были ещё несовершенными;
4. Зависимость качества снимков от субъективных факторов — укладки пациента, времени экспозиции, интерпретации;
5. Медленный процесс проявки и фиксации плёнок — задержки в получении результата.

Тем не менее, эти проблемы способствовали поиску новых решений, подготовивших почву для последующего технологического скачка в 1950–1970-х годах — периода компьютерной визуализации.

Заключение

Период 1920–1950-х годов стал временем становления диагностической радиологии как самостоятельной клинической дисциплины с чётко очерченными методами, школами, стандартами и инфраструктурой. Этот этап ознаменовался переходом от энтузиазма отдельных специалистов к системной подготовке кадров, стандартизации процедур и внедрению радиологических методов в массовую клиническую практику.

Закрепление радиологии в структуре здравоохранения, её участие в решении социальных, эпидемиологических и военных задач, а также развитие научной базы стали фундаментом для дальнейшего прогресса — в том числе перехода к томографическим методам исследования и цифровым технологиям в визуализации.

§2.3. Роль радиологов в военной медицине

Военные конфликты в истории человечества неоднократно становились не только катастрофами, но и мощными катализаторами медицинских инноваций. Особенно это касается рентгенологии, которая уже в первые десятилетия своего существования проявила значимость в условиях боевых действий. Первая мировая война стала первой массовой проверкой радиологических методов в полевых условиях, однако именно во время Второй мировой войны диагностическая радиология окончательно утвердилась как неотъемлемая часть военной медицины. В этот период были выработаны модели применения рентгеновских исследований на всех уровнях оказания помощи, включая

сортировку, диагностику, эвакуацию и контроль за лечением. Развитие передвижной рентгенологии, стандартизация процедур, подготовка кадров и организация радиологических подразделений в армиях сделали возможным эффективное применение радиологов в условиях войны.

Данный раздел анализирует ключевые направления деятельности радиологов в военной медицине, включая как фронтową, так и тыловую организацию помощи, а также долгосрочные последствия их работы для развития мирной радиологической практики.

Истоки и опыт Первой мировой войны

Уже в годы Первой мировой войны (1914–1918) рентгенография показала свою исключительную ценность. Наиболее ярким примером стала деятельность Марии Склодовской-Кюри, которая организовала сеть из более 20 передвижных рентгеновских станций, укомплектованных автомобилями, генераторами, трубками и экранами. Эти «маленькие Кюри» обслуживали госпитали вблизи линии фронта. В результате тысячи солдат получили точную и своевременную диагностику ранений, что способствовало снижению смертности и инвалидизации. По оценкам современников, от 70 до 80 % ранений, требовавших хирургического вмешательства, сначала подвергались рентгенологическому исследованию. Это позволило впервые внедрить принципы рациональной сортировки раненых на основе объективных критериев.

Однако радиология того времени оставалась ограниченной — нехватка оборудования, дефицит обученного персонала, слабая мобильность аппаратов и высокая лучевая нагрузка препятствовали её более широкому применению. Тем не менее, именно военная практика заложила основы будущих организационно-штатных структур радиологической службы.

Радиология в период Второй мировой войны: организационная модель

Во время Второй мировой войны (1939–1945) роль радиологов приобрела системный и масштабный характер. В странах-участницах конфликта были созданы военные радиологические службы, интегрированные в структуру армейской медицины. Основными компонентами такой службы стали:

1. Полевые рентгеновские подразделения — мобильные группы, оснащённые рентгеновскими установками, генераторами, проявочными средствами и часто работающие в составе санитарных батальонов;

2. Стационарные военные госпитали — оборудованные полноценными рентгенкабинетами, проводившие более сложные исследования (в т.ч. флюорографию и урографию);

3. Специализированные учебные центры по подготовке врачей и техников-рентгенологов;

4. Научно-методические отделы при центральных военных госпиталях, где обобщался накопленный опыт и вырабатывались рекомендации.

В СССР, Германии, Великобритании, США, Франции были разработаны методические документы по организации радиологических исследований на фронте, включая нормы оснащения, порядок эвакуации, маршруты обследования и принципы радиационной безопасности.

Основные направления применения радиологов

1. Диагностика боевых травм

Рентгенография стала ключевым методом визуализации при:

- переломах и вывихах;
- черепно-мозговых травмах;
- инородных телах (пули, осколки);
- проникающих ранениях грудной и брюшной полостей;
- травмах позвоночника.

Особенно важным было применение флюороскопии при оценке расположения осколков и диагностике внутреннего кровотечения. Снимки служили основанием для выбора тактики — необходимость операции, её объём, срочность.

2. Оценка динамики лечения

Повторные исследования позволяли оценить эффективность репозиций, фиксации, остеосинтеза. В хирургических отделениях рентгенолог был фактически членом операционной бригады, определяя послеоперационные риски и контроль за регенерацией тканей.

3. Сортировка и медико-санитарная экспертиза

На основе данных рентгенографии принимались решения о:

- способности к эвакуации;
- нуждаемости в неотложной помощи;
- возможности возвращения бойца в строй или его комиссации.

4. Инфекционные заболевания и эпидемиология

Флюорография активно применялась для выявления туберкулёза среди новобранцев и в тыловых частях. Программа массовой рентгенодиагностики позволила снизить риск распространения инфекции в армейской среде.

Мобильная рентгенодиагностика

Ключевым новшеством периода войны стало широкое применение мобильных рентгеновских установок. В различных странах они имели свои модификации:

- В СССР — установки на базе автомобилей ГАЗ и ЗИС, включавшие генератор, трубку, стол, проявочные ванны. Их обслуживали 2–3 человека. Использовались на передовой, иногда в укрытиях или блиндажах.

- В Германии — так называемые «Röntgenwagen», оборудованные по принципу контейнеров, могли работать автономно несколько суток.

- В США и Великобритании — передвижные установки снабжались дизель-генераторами, более мощными трубками, улучшенной системой затемнения.

Такие мобильные системы стали прообразом рентген-станций гражданской обороны и диагностических комплексов МЧС в послевоенный период.

Кадровая подготовка и профессионализация

В условиях тотальной мобилизации резко возросла потребность в специально обученных радиологах. Были организованы:

- Краткосрочные интенсивные курсы для врачей (в СССР — при институтах усовершенствования, в США — при армейских госпиталях, в Германии — в военных медшколах);

- Специализация сестёр милосердия и техников, обладающих навыками укладки, проявки и работы с оборудованием;

- Полевые инструкции по защите от излучения, включая импровизированные экраны и ограничения по времени работы.

В СССР с 1942 года подготовка военных рентгенологов включалась в программу санитарных батальонов. В 1944 году были изданы первые руководства по фронтовой радиологии.

Лучевая безопасность и профессиональные риски

Несмотря на начавшееся формирование представлений о радиационных рисках, условия фронта не позволяли в полной мере соблюдать меры защиты. Рентгенологи работали в полевых условиях, зачастую без экранировки и дозиметрии. Это привело к высокому уровню профессиональных заболеваний:

- лучевые дерматиты;
- катаракта;
- аплазия костного мозга;
- онкологические заболевания.

Тем не менее, военные рентгенологи осознавали риски, и их профессиональный подвиг стал частью общей жертвенности военного медицинского персонала. В послевоенные годы именно эти случаи стали основанием для разработки нормативов доз, введения персональных дозиметров и строгой регламентации радиологических процедур.

Послевоенное значение и влияние на гражданскую радиологию

Опыт военной радиологии был не только обобщён, но и стал основой для дальнейшего развития гражданской системы здравоохранения:

1. Создание систем массового скрининга — флюорография в СССР с конца 1940-х годов стала обязательной для населения;
2. Институализация радиологии — в ряде стран появились государственные центры, ведущие происхождение от военных госпиталей;
3. Подготовка кадров — врачи, прошедшие войну, стали основателями кафедр и научных школ;
4. Методологические наработки — протоколы сортировки, контроль динамики, стандарты укладки были перенесены в клиническую практику;
5. Развитие медико-технической промышленности — заказ военных способствовал появлению отечественного оборудования (например, завод «Рентгенаппарат» в СССР).

Заключение

Роль радиологов в военной медицине в годы Второй мировой войны была поистине ключевой. Они не только обеспечивали точную и своевременную диагностику боевых травм, но и участвовали в организации эвакуации, сортировке раненых, профилактике инфекций и подготовке медицинских кадров. Их деятельность заложила фундамент для современной экстренной и мобилизационной радиологии, показала возможности визуализации как основного клинико-диагностического метода даже в самых тяжёлых условиях.

Военный опыт стал мощным импульсом к развитию аппаратной базы, стандартизации методов, осознанию важности защиты и подготовке профессионалов. Значение труда радиологов на фронте выходит за рамки узкопрофессиональной истории — это часть общего вклада медицины в спасение жизней и победу над разрушением.

§2.4. Образование профессиональных сообществ и научных школ

Ключевым условием становления любой медицинской дисциплины как научно и организационно автономной области знания является формирование профессионального сообщества, объединённого общими целями, методами, образовательными стандартами и исследовательской повесткой. Радиология — не исключение. С момента своего появления как прикладного направления на стыке физики и медицины, она быстро эволюционировала в самостоятельную область, требующую координации усилий специалистов, системной подготовки кадров, обмена научной информацией и институционального представительства на национальном и международном уровнях.

Период 1920–1950-х годов стал временем, когда во многих странах мира происходила консолидация радиологов в профессиональные организации, создание специализированных кафедр, институтов и научных школ. Эти процессы сыграли решающую роль в становлении радиологии как клинической и академической дисциплины, обеспечили стандартизацию, развитие методологии и технологическую модернизацию отрасли.

Возникновение международного радиологического сообщества

Первым шагом к формированию профессионального радиологического сообщества стало проведение в 1900 году первого Международного конгресса по рентгеновским лучам в Париже. Уже тогда были затронуты вопросы безопасности, квалификации специалистов, обмена методиками. Однако именно межвоенный период ознаменовался институционализацией этих инициатив. В 1925 году был создан Международный радиологический конгресс (ICR) как регулярно действующий форум специалистов.

Ключевые международные события:

- 1925, Лондон — I ICR: утверждение общего термина "radiology" и начало систематической классификации методов;
- 1931, Стокгольм — III ICR: одобрение первых рекомендаций по защите от ионизирующего излучения;
- 1950, Лондон — VI ICR (после перерыва в годы Второй мировой войны): фокус на послевоенной реконструкции и стандартах подготовки кадров.

Эти форумы стали платформой для объединения национальных сообществ, утверждения единых принципов, обмена опытом между клиницистами и физиками, а также формирования единой научной лексики.

Создание национальных профессиональных обществ

Параллельно с международными инициативами происходило формирование национальных профессиональных организаций.

1. США. В 1923 году было основано Американское общество рентгенологов (American Roentgen Ray Society, ARRS) — старейшая радиологическая организация в Северной Америке. В 1924 году появился American Journal of Roentgenology, один из первых профильных журналов.

Позднее, в 1934 году, было учреждено Общество радиологических техников (ASRT), а в 1953 — Американский колледж радиологии (ACR), объединивший не только диагностов, но и специалистов по радиационной онкологии, медицине катастроф и ядерной медицине.

2.

Германия

В 1905 году учреждено Немецкое рентгенологическое общество (Deutsche Röntengesellschaft, DRG), сыгравшее важную роль в стандартизации рентгенографии. В межвоенные годы общество активно работало над вопросами

безопасности и физико-технической подготовки. Журнал Röntgen-Blätter стал органом научной дискуссии.

3. Франция. Во Франции ключевую роль сыграло Французское общество медицинской радиологии (Société Française de Radiologie, SFR), организованное в 1921 году. Оно инициировало регулярные съезды, активно участвовало в международных форумах и создало систему специализации для врачей.

4. СССР. Советская система, ориентированная на централизованное управление, выработала иную модель. В 1937 году при Наркомздраве СССР был создан Союз рентгенологов и радиологов, позже трансформированный в Всесоюзное научное общество рентгенологов и радиологов (ВНОРР). Оно координировало всю отрасль, издавало журналы («Медицинская радиология» с 1936 года), организовывало съезды (I Всесоюзный съезд — 1937 г., Москва).

Образование кафедр и научных школ

Формирование кафедр радиологии в медицинских вузах стало следующим этапом институционализации. Эти кафедры готовили специалистов, проводили исследования, участвовали в разработке новых методик и технологии визуализации.

1. Германия. Кафедры были открыты при университетах Берлина, Мюнхена, Франкфурта. Школа профессора Макса Холлера и его учеников (1920–30-е гг.) занималась диагностикой опухолей, патологией лёгких, разработкой флюорографических методов.

2. США. Гарвардский университет, Университет Пенсильвании, Джон Хопкинс организовали кафедры, где преподавали такие авторитеты, как Говард Ричардс и Вальтер Диксон. Они сочетали клиническую и физико-техническую подготовку, ориентировались на инновации в визуализации.

3. Франция. Научная школа, связанная с Институтом Кюри, активно развивала диагностическую и терапевтическую радиологию. Особую роль сыграли Альбер Лакассен и его ученики.

4. СССР. Первой кафедрой рентгенологии стала кафедра Военно-медицинской академии (Санкт-Петербург, 1922). Позже кафедры появились в 1-м ММИ, в Харькове, Ташкенте, Казани. Здесь формировались научные школы: московская (Б. И. Бавкин, А. Ф. Тур), ленинградская (С. П. Гельштейн), харьковская (Г. Г. Труфанов), каждый из которых оставил заметный след в отечественной радиологии.

Научные школы: принципы и направления

Научная школа в радиологии определяется не только территориальной принадлежностью, но и особенностями методологического подхода, научной программы и преемственности поколений.

1. Клиническо-морфологическая школа
Характерна для Германии и СССР. Её представители исходили из тесной связи между анатомо-физиологическими изменениями и радиологическими признаками. Особое внимание уделялось сравнению рентгенологических данных с данными аутопсий и биопсий. Это направление дало толчок развитию онкологической и туберкулёзной рентгенодиагностики.

2. Функционально-физиологическая школа
Сформировалась во Франции. Акцент делался на динамических методах — флюороскопии, контрастных исследованиях, оценке функции органов. Представители этой школы разрабатывали методы рентгенокимографии, гастрографии, динамической уретерографии.

3. Инженерно-физическая школа
Доминировала в США и Великобритании. Отличалась ориентацией на развитие аппаратных решений, внедрение новых источников излучения, автоматизацию и стандартизацию. Примеры — разработка рентгенотелевидения, ангиографии, томографических методик.

Публикации и научные журналы

Создание специализированных журналов стало важным элементом консолидации профессионального сообщества:

- American Journal of Roentgenology (США, с 1906)
- La Radiologie (Франция, с 1910)
- Röntgen-Blätter (Германия, с 1904)
- British Journal of Radiology (Великобритания, с 1928)
- Медицинская радиология (СССР, с 1936)

Эти издания способствовали распространению новых знаний, обсуждению стандартов и методик, обеспечивали взаимодействие между странами. Журналы стали площадкой для публикации оригинальных исследований, обзоров, протоколов съездов и дискуссий.

Международное сотрудничество и унификация

Уже в 1930-х годах встал вопрос о необходимости унификации терминологии, систем классификации заболеваний по радиологическим признакам, методик дозиметрии и защиты. Этому способствовали:

- Международные соглашения (например, единицы измерения активности и дозы);
- Рекомендации ICRP (Международной комиссии по радиологической защите);
- Международные симпозиумы и публикации на английском и французском языках.

Именно в этот период появляются первые предложения по созданию международной классификации по лучевой диагностике (что позднее войдёт в систему МКБ и РАДИЛОГ).

Заключение. Формирование профессиональных сообществ и научных школ в радиологии в 1920–1950-х годах стало фундаментальным этапом в превращении этой дисциплины в полноправную область клинической медицины и науки. Создание национальных и международных обществ, кафедр, специализированных изданий и научных школ позволило систематизировать знания, обеспечить подготовку кадров, ускорить внедрение технических новшеств и добиться высокого уровня стандартизации.

Именно в этот период радиология утвердилась как дисциплина, имеющая свою научную методологию, профессиональную этику, образовательные и организационные основы. Это создало условия для перехода к следующему этапу — технологической революции, связанной с компьютерной визуализацией, которая началась во второй половине XX века.

Глава 3. Этапы развития радиотерапии

§3.1. Радиотерапия в лечении онкологических заболеваний

Введение. Радиотерапия, как клиническая область, выросшая из фундаментальных открытий в области радиоактивности и физики излучений, заняла одно из центральных мест в онкологической медицине XX века. Её эволюция от эмпирического применения радия к высокотехнологичной системе точной деструкции злокачественных клеток представляет собой не только историю технологического прогресса, но и историю научного поиска, этических размышлений, формирования новых моделей взаимодействия между физиками, врачами и пациентами.

Именно лечение онкологических заболеваний стало основной и приоритетной сферой применения ионизирующего излучения в медицине, начиная с начала XX века. Природа раковых опухолей — их склонность к бесконтрольному делению, устойчивость к традиционным медикаментозным средствам и способность инфильтративного роста — сделала их первоочередной мишенью для терапевтической энергии, способной разрушать клеточные структуры.

Цель данного раздела — проследить становление радиотерапии в онкологии как самостоятельного клинического направления, выявить её этапы, ключевые открытия и персоналии, проанализировать эволюцию методик и их научную обоснованность.

Радиоактивность и начало радиотерапии

Фундаментом радиотерапии стало открытие радиоактивных элементов — урана, полония и радия, а также осознание их способности испускать проникающее излучение. Уже в первые годы после открытия радия супругами Кюри (1898) врачи начали экспериментировать с применением его соединений для лечения кожных заболеваний, в том числе и злокачественного характера.

Первым официально задокументированным случаем успешного применения радия в онкологии считается лечение капиллярной ангиомы у ребёнка, проведённое в 1901 году венским дерматологом Леопольдом Фройндом. Эффект местного облучения оказался настолько выраженным, что вызвал интерес у хирургов, дерматологов, гинекологов и физиотерапевтов. Уже в 1903 году радий начал использоваться в гинекологической практике — для лечения рака шейки матки. Именно в этой области радиотерапия получила своё первое клиническое признание.

Формирование первых радиотерапевтических учреждений

В течение 1910-х — 1930-х годов в ряде стран были организованы специализированные кабинеты и отделения радиотерапии. Они стали базой для накопления опыта, клинических наблюдений и создания первых протоколов лечения. Особенно активным было развитие в следующих странах:

- Франция: Институт радия в Париже, основанный Марией Кюри, стал пионером в систематическом применении радия и радиационного лечения онкологических заболеваний. Под руководством Альбера Лакассена велись первые контролируемые исследования.
- Германия: В клиниках Берлина, Мюнхена, Гамбурга были разработаны методы интерстициальной брахитерапии.
- Великобритания: С 1921 года функционировал Манчестерский радиотерапевтический центр, где были внедрены первые методики фракционированного облучения.
- СССР: В 1922 году открыт первый кабинет радиевой терапии в Петрограде. В 1934 году — отделение радиотерапии в Институте онкологии имени Петрова в Ленинграде.

Методологическая эволюция: от радия к искусственным источникам

На ранних этапах радиотерапия использовала в основном естественные радиоактивные источники — радий-226, мезоторий, актиний. Изотопы помещались в капсулы или иглы и вводились в опухолевую ткань или рядом с ней. Этот метод получил название брахитерапия (от греч. "brachys" — близкий). Он отличался высокой эффективностью при лечении локализованных опухолей, но имел серьёзные недостатки:

- отсутствие точного дозирования;
- радиационная опасность для персонала;
- ограниченность в повторном применении.

С появлением искусственно полученных радиоизотопов (в 1930-х — 1950-х гг.) началась новая эра. Радиоизотопы, такие как ^{60}Co (кобальт-60), ^{137}Cs (цезий-137), ^{198}Au (золото-198), стали основой дистанционной радиотерапии. Использование кобальтовой бомбы ($\text{Co-60 teletherapy units}$) с 1951 года стало поворотной точкой: увеличилась глубина проникновения, появилась возможность более точной фокусировки и дозировки, а аппараты могли размещаться на безопасном расстоянии от пациента.

Появление концепции дозирования и фракционирования

Ключевым научным достижением середины XX века стало понимание радиобиологических принципов, лежащих в основе эффекта облучения. Исследования Хермана Мюллера, Джорджа Лионса, Роберта Силера и других

показали, что биологический эффект зависит не только от общей дозы, но и от режима её введения.

Это привело к разработке концепции фракционирования дозы — деления общего облучения на несколько сеансов, проводимых с интервалами. Основные принципы фракционирования включали:

- восстановление нормальных тканей между облучениями;
- активация пролиферации опухолевых клеток между фракциями (повышение радиочувствительности);
- снижение поздних лучевых осложнений.

Фракционирование стало стандартом в клинической практике и сохраняется до сих пор в различных вариациях (гипофракционирование, гиперфракционирование и др.).

Разработка новых методов и аппаратов

С развитием технологии и физики облучения появились новые направления:

1. Глубокая рентгенотерапия (orthovoltage, 200–400 кВ) — использовалась для лечения опухолей, расположенных на глубине до 5–7 см.

2. Мегавольтная терапия — внедрение линейных ускорителей (Linear Accelerators, LINAC) с начала 1950-х годов позволило преодолеть ограничения глубины проникновения и повысить селективность.

3. Изотопная терапия — внутривенное или внутрисполостное введение радионуклидов (например, иод-131 при раке щитовидной железы).

4. Контактная и поверхностная терапия — для лечения рака кожи, слизистых, глаз.

К началу 1960-х годов в большинстве онкологических центров существовали специализированные кабинеты лучевой терапии, оснащённые кобальтовыми пушками, рентгенотерапевтическими установками, ускорителями.

Вклад советской радиотерапии

В Советском Союзе радиотерапия получила значительное развитие как одно из приоритетных направлений онкологии. Уже в 1920–1930-х годах были организованы:

- специализированные кабинеты и отделения в онкологических диспансерах;
- радиофизические лаборатории;
- радиохимические производства по изготовлению радиевых капсул.

Важнейшие центры:

- НИИ онкологии им. Н. Н. Блохина (Москва),
- НИИ радиологии и онкологии в Обнинске,

- Институт имени Петрова (Ленинград),
- Ташкентский онкоцентр — ведущий в Средней Азии.

Советские учёные (А. Ф. Тур, А. А. Бодянский, А. Е. Баранов и др.) внесли вклад в разработку методик дозирования, выбор радиомодификаторов (лекарств, усиливающих эффект излучения), а также в создание отечественного оборудования.

Этика и последствия радиотерапии. Уже в первые десятилетия широкого клинического применения ионизирующего излучения стали очевидны его побочные эффекты:

- радиационные дерматиты;
- некрозы тканей;
- вторичные опухоли;
- поражения костного мозга, пищеварительной системы, кожи.

Возникла необходимость разработки протоколов безопасности, норм радиационной нагрузки, учёта индивидуальных особенностей пациента. Это дало толчок к развитию:

- радиобиологии — как теоретической базы для оптимизации терапии;
- медицинской физики — как отдельной профессии и дисциплины;
- этической регламентации — особенно в случаях паллиативной терапии и детской онкологии.

Заключение

Радиотерапия в лечении онкологических заболеваний прошла путь от эмпирических попыток использования природного радия к высокоточной дисциплине, основанной на строгих физических, биологических и клинических принципах. Она стала неотъемлемой частью комплексного онкологического лечения, наряду с хирургией и химиотерапией. Становление дозиметрии, фракционирования, стандартизация оборудования, обучение специалистов, создание национальных школ радиотерапии — всё это обеспечило устойчивое развитие отрасли.

На рубеже 1950–1960-х годов радиотерапия уже представляла собой зрелую медицинскую технологию с высоким потенциалом для дальнейшей интеграции с цифровыми и компьютерными методами визуализации и планирования лечения.

§3.2. Разработка источников ионизирующего излучения

Фундаментальной предпосылкой становления и прогресса радиотерапии как клинической дисциплины стало создание и совершенствование источников ионизирующего излучения, используемых в лечебных целях. Эффективность радиотерапевтического воздействия напрямую зависит от физических характеристик облучения — его энергии, проникающей способности, спектра, пространственного распределения дозы и управляемости. В этом контексте развитие источников облучения представляет собой не только научно-техническую эволюцию, но и одну из ключевых составляющих клинического прогресса в онкологии.

Данный раздел посвящён историческим этапам разработки источников ионизирующего излучения — от использования природных радиоактивных материалов к созданию мощных электронных ускорителей, от радиевых капсул к высокоэнергетическим фотонным и протонным пучкам, — с акцентом на их физико-технические, биологические и клинические аспекты.

Естественные радиоактивные источники

На раннем этапе (первая треть XX века) основными источниками ионизирующего излучения в медицине служили естественные радиоактивные элементы, прежде всего радий-226 (Ra-226), а также мезоторий, торий, актиний. Эти вещества использовались в виде:

- интерстициальных капсул (внутритканевое введение);
- внутрисполостных источников (например, в гинекологии — рак шейки матки);
- поверхностных аппликаторов.

Физические характеристики радия:

- период полураспада — 1600 лет,
- испускаемое излучение — альфа-, бета- и гамма-лучи,
- высокая удельная активность.

Однако природные источники имели ряд существенных недостатков:

1. Ограниченность запасов — радий был чрезвычайно дорог и требовал сложной добычи;
2. Опасность для персонала — отсутствие достаточных экранов и дозиметрии приводило к профессиональным заболеваниям;
3. Сложность калибровки дозы — невозможность точного планирования облучения;
4. Невозможность отключения — непрерывное излучение источника независимо от терапевтической необходимости.

Эти проблемы стали толчком к разработке искусственных, управляемых источников.

Развитие искусственных радиоизотопов

После открытия ядерных реакций и нейтронного облучения в 1930-х годах стало возможным искусственное получение радиоизотопов. Это открыло принципиально новые возможности в радиотерапии. Первым значимым достижением стал изотоп кобальт-60 ($Co-60$), получаемый облучением стабильного кобальта-59 в ядерных реакторах.

Ключевые преимущества $Co-60$:

- период полураспада 5,26 лет;
- гамма-излучение с энергией $\sim 1,17$ и $1,33$ МэВ;
- высокая проникающая способность;
- возможность промышленной стандартизации.

С начала 1950-х годов телетерапевтические аппараты на $Co-60$ (так называемые «кобальтовые пушки») начали массово внедряться в онкологические клиники. Они стали первым шагом к дистанционной мегавольтной терапии, вытеснив рентгенотерапевтические установки с энергиями до 300–400 кВ.

Другие искусственные изотопы, применяемые в терапии:

- цезий-137 (γ -излучение, $T_{1/2} = 30$ лет) — используется в брахитерапии;
- иридий-192 — активная форма для высокодозной внутритканевой терапии;
- золото-198, йод-131, фосфор-32 — для системной и внутритканевой радионуклидной терапии.

Таким образом, радиоизотопы позволили выйти за пределы локальной терапии и сформировали предпосылки для радионуклидной медицины.

Электронные ускорители: революция в физике и практике

Наиболее значимым достижением середины XX века стало внедрение электронных ускорителей — линейных (ЛУЭ), бета-тронов, циклотронов. Их принцип основан на ускорении заряженных частиц (электронов, протонов) и последующем получении фотонного или корпускулярного излучения высокой энергии.

Основные типы ускорителей:

1. Линейные ускорители электронов (ЛУЭ / LINAC) — формируют рентгеновское излучение с энергиями от 4 до 25 МэВ.
2. Кобальтовые телегамма-установки ($Co-60$) — полустатичны, но уступают LINAC в гибкости.
3. Бета-троны — применялись в 1950–60-х годах, постепенно заменены ЛУЭ.

4. Циклотроны и синхротроны — для создания протонных пучков в терапии глубоких опухолей.

Внедрение ЛУЭ позволило:

- формировать точные поля облучения (коллиматоры, МЛК — многолепестковые коллиматоры);
- использовать моделирование распределения дозы;
- применять энергии выше 10 МэВ, обеспечивающие равномерное проникновение в ткани;
- снизить дозу на коже при глубинной терапии;
- интегрировать аппараты с компьютерным планированием и томографической навигацией.

С ЛУЭ началась эпоха конформной лучевой терапии, при которой излучение точно совпадает с формой опухоли, снижая повреждение здоровых тканей.

Брахитерапия: от радия к высокодозной технологии

Развитие брахитерапии как метода локальной терапии продолжилось с переходом от природных к искусственным источникам и от ручной установки к автоматическим системам. Ключевые вехи:

- 1950-е: внедрение цезия-137, более безопасного и управляемого по сравнению с радием;
- 1960-е: использование иридия-192 — миниатюрные проволоки и микрокапсулы;
- 1970–80-е: автоматизированные системы высокодозной брахитерапии с возможностью программирования режима облучения (HDR — High Dose Rate);
- 1990-е: интеграция брахитерапии с визуализацией (УЗИ, КТ, МРТ) и планированием лечения.

Брахитерапия получила особенное значение при лечении:

- рака шейки матки;
- опухолей простаты;
- рака пищевода и бронхов;
- кожных новообразований.

Преимущества: высокая локальная доза, короткий курс лечения, минимальные системные побочные эффекты.

Протонная и ионная терапия: прецизионные технологии XXI века

С конца XX века началось внедрение тяжелочастичной терапии — использование протонов и ионов углерода в лечении опухолей. Протонная терапия основана на физическом эффекте пика Брэгга, при котором

максимальная доза высвобождается на заданной глубине, практически не повреждая ткани по пути.

Характеристики протонной терапии:

- энергия 70–250 МэВ;
- высокоточная модуляция глубины проникновения;
- показана при опухолях ЦНС, глаз, основания черепа, у детей.

Ионная терапия (углеродные ионы) обеспечивает не только дозовую точность, но и повышенную биологическую эффективность (RBE), что делает её особенно ценной при радиорезистентных опухолях.

Ограничения: высокая стоимость, потребность в специальных центрах, необходимость индивидуального планирования.

Безопасность и радиационная защита

Разработка новых источников ионизирующего излучения сопровождалась параллельным развитием систем радиационной защиты, в том числе:

- экранирования рабочих зон;
- дозиметрии персонала и пациентов;
- систем контроля утечек и аварийных ситуаций;
- медико-санитарного регламента использования источников.

Создание международных стандартов (ICRP, IAEA) стало основой для лицензирования и контроля источников во всех странах.

Техническая и организационная интеграция

Современные источники излучения в радиотерапии функционируют не автономно, а в составе интегрированных комплексов, включающих:

- системы трёхмерного моделирования;
- планирующее программное обеспечение;
- позиционирование и верификацию пациента;
- визуальный контроль в реальном времени.

Таким образом, источник излучения стал лишь частью сложной цепочки, в которой техническая точность, биологическая целенаправленность и клиническая эффективность соединяются в единую терапевтическую стратегию.

Заключение. Разработка источников ионизирующего излучения представляет собой эволюцию от простых радиоактивных соединений к высокоэнергетическим ускорителям, управляемым и смоделированным до мельчайших дозовых характеристик. Эта эволюция сопровождалась не только технологическим прогрессом, но и формированием новой культуры точности, безопасности и ответственности в медицинской практике.

Источники излучения стали не просто инструментом разрушения опухоли — они превратились в элемент стратегического лечения, учитывающего биологические особенности опухоли, анатомические структуры, сопутствующие

заболевания и индивидуальные характеристики пациента. Будущее развитие радиотерапии тесно связано с новыми источниками — от лазерных ускорителей до нанорадиоизотопов, что открывает перспективы персонализированной и молекулярной онкотерапии.

§3.3. Безопасность, дозиметрия и этические вопросы в радиотерапии

Безопасность применения ионизирующего излучения в медицинских целях, особенно в радиотерапии, где дозы воздействия значительно превышают диагностические уровни, представляет собой одну из ключевых проблем современной онкологической медицины. Исторический путь радиотерапии сопровождался не только клиническими успехами, но и множественными случаями лучевых поражений — как у пациентов, так и у медицинского персонала. Отсутствие изначального понимания биологических последствий облучения, нехватка методов контроля дозы и недостаточная регламентация использования источников излучения в начале XX века создали серьёзные предпосылки для формирования целого направления — радиационной гигиены и медицинской дозиметрии.

Параллельно с техническим развитием радиотерапии происходила кристаллизация её этических основ: необходимость добровольного информированного согласия, принцип «превышающей пользы», гуманистический подход к выбору метода и объёма терапии. В данном разделе рассматриваются исторические этапы развития систем безопасности и дозиметрии в радиотерапии, а также эволюция этических подходов в свете прогресса медицинских технологий и философии лечения.

Первые лучевые поражения и осознание опасности

Уже в первые годы после открытия рентгеновских лучей (1895) и радия (1898) начали фиксироваться случаи лучевых дерматитов, выпадения волос, ожогов, позднее — онкологических заболеваний у исследователей и медицинских работников. Такие случаи документированы у:

- Вильгельма Рентгена — наблюдал кожные поражения рук;
- Кларенса Далли (США) — ассистент Томаса Эдисона, умер от лучевой саркомы (1904);
- Эдмунда Келлса — стоматолога, ампутировавшего обе руки из-за лучевого некроза.

Накапливаемая клиническая практика показала, что длительное или высокодозное облучение может вызывать не только местные поражения, но и системные эффекты: аплазию костного мозга, мутагенные изменения, катаракту, фиброзы и канцерогенез.

Эти наблюдения стали побудительным фактором для выработки первых рекомендаций по ограничению времени экспозиции, использованию защитных экранов и нормативов предельно допустимых доз (ПДД).

Развитие дозиметрии: от эмпирики к стандартизации

Дозиметрия как наука и прикладная дисциплина начала формироваться в 1920–30-х годах. До этого времени дозы облучения в основном определялись эмпирически — по времени экспозиции или по субъективным признакам (покраснение кожи). Основные этапы становления дозиметрии:

1. Фотографическая дозиметрия
Использование фотоплёнки или фотобумаги, затемнение которой зависело от количества поглощённого излучения. Метод был прост, но неточен и субъективен.

2. Ионизационные камеры (1913–1928). Измеряли количество ионизаций воздуха, вызванных прохождением лучей. Позволили впервые количественно оценивать дозу.

3. Калибровка доз. В 1937 году Международный комитет по радиологической защите (ICRP) предложил первую систему единиц: рентген (R), грей (Gy), рад (rad), бер (rem), зиверт (Sv) — позднее стандартизированные.

4. Фантомы и моделирование
В 1950-х годах начали использовать фантомы (модели тела человека), имитирующие поглощение излучения. Это позволило рассчитать распределение доз в органах и тканях.

5. Компьютерные дозиметрические системы (с 1970-х)
Позволили моделировать дозовое распределение в трёхмерной анатомии пациента, учитывая плотность тканей и тип опухоли.

Принципы радиационной защиты в радиотерапии

Сформированные к середине XX века принципы защиты базируются на трёх основных положениях:

1. Обоснованность (justification) — применение радиотерапии должно быть клинически оправдано, когда её ожидаемая польза превышает возможный вред;

2. Оптимизация (optimization) — доза должна быть минимально возможной при сохранении эффективности (принцип ALARA — As Low As Reasonably Achievable);

3. Ограничение доз (dose limitation) — соблюдение нормативов индивидуальной и коллективной дозовой нагрузки.

К этим базовым принципам добавляются специфические меры:

- экранирование помещений (бетон, свинец);
- дистанционное управление источниками;
- регулярный контроль рабочих доз (персональные дозиметры);
- автоматическая регистрация параметров облучения;
- аварийные протоколы.

Международные рекомендации (IAEA, ICRP, WHO) стали основой для законодательства большинства стран, включая ГОСТ, СНиП, СанПиН в Узбекистане

Клинические аспекты дозиметрии

Клинико-дозиметрическое планирование стало важнейшей частью подготовки радиотерапевтического курса. Оно включает:

- выбор энергии излучения;
- определение объёма мишени (GTV, CTV, PTV);
- расчёт однородности и изодозных распределений;
- моделирование нагрузки на критические органы (мозг, сердце, спинной мозг, кишечник);
- адаптацию плана с учётом особенностей пациента (возраст, сопутствующие заболевания).

Развитие 3D-конформной терапии, IMRT (интенсивно модулированная лучевая терапия), VMAT и IGRT (визуально-направленная терапия) стало возможным только благодаря высокоточной дозиметрии, позволяющей индивидуализировать и адаптировать каждый курс облучения.

Этика и гуманизм в радиотерапии

Нарастающее понимание биологической активности и потенциальной опасности ионизирующего излучения потребовало выработки этических рамок применения радиотерапии. В их основе:

1. Информированное согласие — пациент должен знать о целях, методах, рисках и альтернативных вариантах терапии. Это особенно важно при лечении детей, пожилых, паллиативных больных.

2. Принцип справедливости — недопустимо ограничение доступа к радиотерапии по социальным, финансовым, территориальным причинам.

3. Принцип ненанесения вреда — выбор метода должен учитывать не только эффективность, но и потенциальную токсичность.

4. Паллиативная этика — при терминальных формах рака важно избегать агрессивных схем, ухудшающих качество жизни.

Особый этический контекст имеет детская радиотерапия — более высокий риск отдалённых последствий (вторичные опухоли, нарушения роста, гормональные дисфункции) требует тщательного баланса между лечением и защитой.

Юридические и регуляторные механизмы

В ряде стран в XX веке были приняты законодательные акты, регулирующие использование ионизирующего излучения в медицине. К ним относятся:

- лицензирование аппаратов и изотопов;
- сертификация специалистов;
- обязательное ведение документации по каждому курсу облучения;
- отчётность перед национальными агентствами по радиационной безопасности.

Созданы национальные центры контроля (например, в США — NRC, в ЕС — EURATOM, в России — Ростехнадзор, Роспотребнадзор). Сотрудничество с международными организациями (IAEA, WHO) позволяет унифицировать подходы и снижать риски.

Будущие вызовы и направления развития

В XXI веке вопросы безопасности и этики в радиотерапии приобретают новые измерения:

- применение искусственного интеллекта в дозиметрии требует прозрачности алгоритмов и контроля за автоматическими решениями;
- доступ к высокотехнологичной терапии (протонная, ионная) ограничен экономически, что порождает дискуссии о справедливом распределении ресурсов;
- цифровизация и персональные данные требуют защиты информации о дозовой нагрузке и результатах лечения;
- разработка радиомодификаторов и сенсibilизаторов ставит вопрос о необходимости многоступенчатых клинических испытаний и соблюдения этических норм при их тестировании.

Заключение. Безопасность, дозиметрия и этика радиотерапии представляют собой единое концептуальное и практическое поле, в котором технический прогресс должен сопровождаться гуманистической ответственностью и научной обоснованностью. Опыт XX века — от трагических ошибок к международной регламентации — показывает, что высокоэнергетические технологии требуют не только инженерной точности, но и этической зрелости.

Современная радиотерапия, достигшая высот точности и эффективности, стоит на фундаменте не только физики и биологии, но и профессионального

самоконтроля, международной кооперации и клинической этики. Без этого развитие радиологии как дисциплины было бы не только невозможным, но и опасным.

§3.4. Радиобиология как междисциплинарная база

Радиотерапия как клиническая технология немислима без глубокой и разносторонней теоретической базы, которая объясняет механизмы действия ионизирующего излучения на биологические ткани, прогнозирует эффекты, позволяет оптимизировать дозировку и обосновывает терапевтические стратегии. Эту роль выполняет радиобиология — междисциплинарная область, возникшая на стыке физики, биологии, медицины и химии. С момента её становления в начале XX века и по настоящее время радиобиология служит научным фундаментом для развития всех направлений радиотерапии, включая дозиметрию, фракционирование, оценку радиочувствительности и защиту тканей.

Рассмотрение эволюции радиобиологии позволяет проследить путь от эмпирических наблюдений к строго выверенным молекулярно-клеточным концепциям, а также понять, как теория стала влиять на медицинскую практику и политику здравоохранения. В данном разделе анализируется формирование радиобиологии как науки, её ключевые понятия, экспериментальные модели, биомедицинские и клинические применения.

Возникновение радиобиологии: историко-научный контекст

Первые наблюдения биологических эффектов излучения были сделаны вскоре после открытия рентгеновских лучей и радиоактивности. Уже в 1896 году французский физиолог Анри Беккерель сообщил о кожном ожоге, вызванном носимыми в кармане радиевыми солями. Позднее, в 1904 году, были опубликованы первые описания гибели микроорганизмов под действием рентгеновского облучения.

Формально как самостоятельное направление радиобиология начинает оформляться в 1920–1930-х годах. Основу её становления составили:

- накопленные эмпирические данные о радиочувствительности тканей;
- развитие клеточной биологии и генетики;
- разработка физико-химических моделей взаимодействия излучения с веществом.

Один из первых системных трудов в этой области — «Radiation Biology» Говарда Кертиса (1927), в котором была предпринята попытка классифицировать биологические эффекты в зависимости от типа и дозы облучения.

Ключевые понятия радиобиологии

В течение XX века радиобиология выработала систему понятий и моделей, лежащих в основе планирования и оценки эффективности радиотерапии. Среди них — следующие:

1. Радиационная чувствительность (radiosensitivity)

Способность клеток или тканей повреждаться под действием определённой дозы. Чувствительными считаются клетки, активно пролиферирующие и обладающие низкой дифференцировкой (закон Бергонье–Трибондо, 1906).

2. Клеточные эффекты излучения

Различают:

- летальные повреждения (некроз, апоптоз);
- сублетальные и реparableные повреждения (разрывы ДНК, мутации);
- генетические эффекты (индуцированные мутации в герминативных клетках).

3. Молекулярные механизмы. Ионизирующее излучение вызывает:

- прямой разрыв ДНК-цепей;
- образование свободных радикалов;
- окислительный стресс;
- активацию апоптозных путей (p53, каспазы);
- ингибирование клеточного деления (фаза G2/M).

4. Острая и поздняя радиотоксичность

- Острая: эритема, мукозит, дерматит, диарея;
- Поздняя: фиброз, некроз, стеноз, вторичные опухоли.

5. Критическая доза

Минимальная доза, вызывающая выраженный эффект в определённой ткани или системе.

Радиобиологические модели: от классических к современным

На протяжении XX века радиобиология выработала ряд моделей, позволяющих математически описывать и прогнозировать эффекты облучения. Наиболее значимые из них:

1. Линейно-квадратичная модель (LQ-модель) Описание зависимости выживаемости клеток от дозы: $S = e^{-(\alpha D + \beta D^2)}$ где S — выживаемость, D — доза, α и β — параметры, зависящие от ткани. Эта модель стала основой для

расчёта эквивалентных биологических доз (BED), применяемых в планировании терапии.

2. Модель фракционирования. Показывает, что деление дозы на фракции позволяет сохранять здоровые ткани за счёт репарации ДНК и восстановления гемопоэза.

3. Концепция RBE (relative biological effectiveness) Отражает эффективность различных видов излучения (гамма, рентген, протоны, α -частицы) по отношению к стандарту (обычно 250 кВ рентгеновского излучения).

4. Модель «четырёх R» радиобиологии (Withers, 1975):

- Repair — репарация повреждений;
- Repopulation — репопуляция клеток;
- Redistribution — перераспределение клеток по фазам цикла;
- Reoxygenation — повышение кислородного насыщения после

частичного облучения.

Применение радиобиологии в радиотерапевтической практике

На основании радиобиологических принципов были сформированы следующие клинические подходы:

- Фракционирование — базируется на способности тканей к репарации и реоксигенации опухоли;
- Интерстициальная и контактная брахитерапия — с учётом высокой дозы и градиента в тканях;
- Радиомодификаторы — препараты, повышающие радиочувствительность опухоли или защищающие нормальные ткани (амифостин, никотинамид);
- Оценка отдалённых эффектов — прогноз риска вторичных опухолей, генетических мутаций, стволовых клеточных повреждений.

Вклад молекулярной радиобиологии

С 1980-х годов в радиобиологии на первый план выходит молекулярно-генетическое направление:

- исследование сигналинга апоптоза — роль p53, Вах, Bcl-2;
- репарация ДНК — гомологичная рекомбинация (BRCA1/2), негомологичное соединение концов (NHEJ);
- радиогенетика — чувствительность клеток с мутациями в генах-репараторах;
- радиомика — корреляция радиочувствительности с молекулярными профилями опухоли;

- иммунорадиобиология — участие иммунной системы в ответе на облучение (эффект абскопального ответа, активация PD-L1 и других иммунных путей).

Эти достижения легли в основу персонализированной радиотерапии, при которой выбор дозы, схемы и сочетания с химио- или иммунотерапией зависит от молекулярного портрета опухоли.

Образование и институционализация радиобиологии

С середины XX века радиобиология приобрела статус самостоятельной академической дисциплины:

- основаны специализированные кафедры (в Германии, США, СССР, Франции);
- введены программы подготовки медицинских физиков и радиобиологов;
- созданы профессиональные общества:
 - Radiation Research Society (США, 1952),
 - European Society for Radiation Biology,
 - Российское общество радиационной биологии (1988).

Научные журналы, такие как Radiation Research, International Journal of Radiation Biology, Радиобиология (Россия), стали основными площадками публикации и дискуссий.

Радиобиология в СССР и постсоветском пространстве

Советская радиобиологическая школа сформировалась в рамках государственных программ по ядерной энергетике и радиационной безопасности. Ведущими центрами были:

- Медицинский радиологический научный центр (Обнинск);
- Институт биофизики МЗ СССР;
- Институт радиационной гигиены (Санкт-Петербург);
- НИИ радиологии АМН СССР.

Отечественные учёные (С. А. Александров, А. А. Летавет, И. Р. Петров, Н. В. Тимофеев-Ресовский) внесли вклад в изучение радиационного канцерогенеза, генной мутабельности, радиозащитных веществ и биологических эффектов низких доз.

Этические аспекты радиобиологических исследований

Радиобиология, как наука, связанная с воздействием потенциально опасных факторов, неизбежно сталкивается с этическими дилеммами:

- использование животных и моделей с трансплантированными опухолями требует соблюдения стандартов биоэтики;
- клинические испытания новых схем радиотерапии — строгое информированное согласие, независимый мониторинг;

- исследования на населении, подвергшемся облучению (Чернобыль, Семипалатинск) — этические рамки работы с уязвимыми группами.

Международные нормы (Хельсинкская декларация, ICRP) регулируют эти аспекты и требуют постоянной ревизии в условиях научного прогресса.

Заключение. Радиобиология, возникшая как ответ на практические вызовы ранней радиотерапии, к середине XX века оформилась как полноценная фундаментальная дисциплина, определяющая границы, возможности и перспективы клинического использования ионизирующего излучения. Она объединяет в себе физику, клеточную и молекулярную биологию, иммунологию, генетику, клиническую медицину и этику. Без радиобиологии невозможно представить современные методы визуализации, планирования и проведения лучевой терапии, оценку её безопасности, эффективности и долгосрочных последствий. Её эволюция свидетельствует о зрелости и интегративности радиологической науки в целом, и именно на её основе базируется движение к новой эпохе — эпохе биологически направленной, персонализированной и адаптивной онкотерапии.

Глава 4. Технологическая революция в радиологии (вторая половина XX — XXI век)

§4.1. Появление компьютерной томографии (КТ)

Появление компьютерной томографии (КТ) во второй половине XX века стало одной из наиболее значимых вех в истории радиологии. Эта технология позволила преодолеть ограничения классической рентгенографии, обеспечив получение изображений внутренних структур организма в сечении и объеме, с высокой контрастностью и пространственным разрешением. Компьютерная томография стала первой по-настоящему цифровой методикой визуализации, соединившей достижения физики, вычислительной техники, математики и медицины. Благодаря своей универсальности, высокой диагностической информативности и скорости исследования КТ в короткие сроки заняла центральное место в диагностике заболеваний центральной нервной системы, лёгких, органов брюшной полости, костно-суставной системы и сосудов.

Раздел посвящён истокам разработки КТ, ключевым научным и техническим прорывам, этапам совершенствования технологии, а также её клиническому значению и влиянию на дальнейшее развитие радиологической диагностики.

Исторические предпосылки

Классическая рентгенография, несмотря на свою революционность в конце XIX века, обладала рядом существенных ограничений: проекционность изображения, наложение анатомических структур, невозможность изолированного изучения тканей одинаковой плотности. Потребность в методе, обеспечивающем послойную визуализацию, стала очевидной уже в 1920–1930-х годах. Ранние попытки реализации томографического принципа реализовались в виде линейной томографии, основанной на синхронном движении трубки и приёмника в противоположных направлениях. Однако изображения оставались нечёткими, и метод не обеспечивал достоверной визуализации мягкотканевых структур.

Настоящий прорыв стал возможен только с развитием вычислительной техники, математических алгоритмов реконструкции изображения и новых высокочувствительных детекторов. Осознание того, что можно воссоздать срез объекта путём математической обработки данных, полученных при его просвечивании с разных углов, стало основой появления КТ.

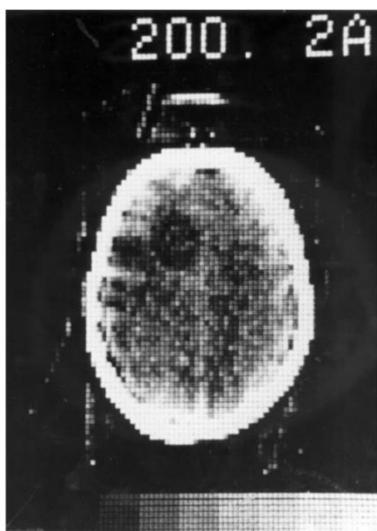
Разработка метода: от идеи к реализации

Теоретические основы КТ были заложены в трудах советского математика И. Н. Тыртышникова, французского инженера Жака Титчмаша и американского физика Алана Кормака. Именно Алан Кормак (1963) показал, что можно математически реконструировать распределение коэффициентов ослабления рентгеновских лучей внутри объекта, используя данные многократных проекций.

Однако практическое воплощение КТ стало возможным благодаря британскому инженеру Годфри Ньюболду Хаунсфилду, который в 1967–1972 гг. разработал первый в мире компьютерный томограф на базе лабораторий EMI (Electric and Musical Industries Ltd.). Томограф был предназначен для исследования головы и использовал:

- рентгеновскую трубку, вращающуюся вокруг объекта;
- детекторный ряд, принимающий излучение;
- компьютер, производящий реконструкцию изображений на основе алгоритма обратной проекции.

Первый КТ-скан был получен в 1971 году, и уже в 1972 году метод был представлен широкой медицинской общественности. В 1979 году Алан Кормак и Годфри Хаунсфилд были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине за разработку КТ.



Первая в истории КТ пациента, сделанная в 1971 году

Принцип работы компьютерной томографии

Компьютерная томография основывается на следующем алгоритме:

1. Рентгеновская трубка вращается вокруг пациента, направляя излучение под разными углами.

2. Детекторы измеряют степень ослабления рентгеновских лучей, прошедших через тело.

3. Полученные сигналы поступают в вычислительный блок, где обрабатываются с использованием математических моделей (чаще всего — алгоритма обратной проекции с

фильтрацией или метода Фурье).

4. Итогом является цифровое изображение поперечного среза тела, представляющее карту линейных коэффициентов ослабления тканей.

Каждому уровню ослабления соответствует определённая плотность Хаунсфилда (HU — Hounsfield Unit), где вода принята за 0, воздух — около -1000, кость — до +1000 и выше.

Этапы развития технологии

1. Первое поколение КТ (1972–1974)

- Один детектор, пошаговое вращение трубки и приёмника
- Только исследования головы
- Время сканирования одного среза — до 5 минут

2. Второе поколение (1975–1980)

- Множество детекторов, движение по дуге
- Повышение скорости, возможность сканирования тела

3. Третье поколение (с 1980-х)

- Непрерывное вращение трубки, дугообразный детекторный массив
- Улучшение качества изображения и снижение времени

сканирования до 30 секунд

4. Четвёртое поколение

- Стационарный круговой детектор, вращающаяся трубка
- Высокая стабильность, но высокая стоимость

5. Спиральная (спирально-томографическая) КТ (с 1990-х)

- Сканирование при непрерывном движении стола пациента
- Трёхмерная реконструкция, высокое разрешение, быстрая

визуализация сосудов, органов, опухолей

6. Мультиспиральная КТ (MSCT)

- Несколько рядов детекторов (4, 16, 64, 128, 256 и более)
- Объёмное сканирование, возможность ангиографии, кардиологии,

виртуальной эндоскопии

7. Современные технологии

- Dual-energy CT — использование двух источников энергии
- Spectral CT — спектральный анализ тканей
- Low-dose CT — снижение дозовой нагрузки при сохранении

качества

- Искусственный интеллект — автоматизация обработки, повышение контрастности, снижение артефактов

Клиническое значение КТ

Компьютерная томография стала универсальным методом диагностики и применяется в следующих областях:

- Неврология — диагностика инсульта, внутричерепных кровоизлияний, опухолей мозга;

- Пульмонология — выявление пневмоний, туберкулёза, онкопатологии, ТЭЛА;

- Кардиология — КТ-коронарография, оценка кальцинатов, аневризм;

- Абдоминальная диагностика — опухоли печени, поджелудочной железы, надпочечников, желчных путей;
- Травматология — выявление переломов, гематом, кровотечений;
- Онкология — стадирование опухолей, планирование лечения, контроль эффективности.

КТ незаменима при экстренной диагностике и в условиях травматологических центров и отделений неотложной помощи, так как позволяет получить полное изображение за считанные минуты.

Безопасность и дозиметрия

КТ сопровождается значительно более высокой лучевой нагрузкой по сравнению с обычной рентгенографией:

- Обычная КТ головы — ~2 мЗв
- КТ грудной клетки — ~7 мЗв
- КТ брюшной полости — до 15 мЗв

Это требует строгой обоснованности и дозового контроля. Введены международные нормы (ICRP, FDA, EURATOM), основанные на принципе ALARA.

Современные сканеры оснащаются:

- автоматическим регулированием дозы (tube current modulation);
- алгоритмами понижения шума при низкой дозе;
- функциями защиты чувствительных зон (щитовидная железа, грудные железы, гонады).

Роль КТ в развитии гибридной визуализации

Появление КТ стало основой для гибридных методов визуализации:

- ПЭТ/КТ (позитронно-эмиссионная томография + КТ) — совмещение функциональной и анатомической информации;
- Сцинтиграфия с КТ — уточнение локализации очагов;
- SPECT/КТ — для кардиологии, остеонкологии, эндокринологии.

Таким образом, КТ стала универсальной платформой, на базе которой создаются многофункциональные диагностические комплексы.

КТ и искусственный интеллект

Современный этап развития КТ характеризуется активным внедрением искусственного интеллекта (AI):

- автоматическая сегментация и маркировка анатомических структур;
- классификация патологических изменений;
- прогнозирование исходов;
- контроль за дозой и качеством изображения.

AI повышает точность, сокращает нагрузку на врача, позволяет выявлять патологии на ранних стадиях.

Заключение

Появление компьютерной томографии стало одним из важнейших достижений медицинской технологии второй половины XX века, оказавшим колоссальное влияние на развитие всей радиологической науки и практики. Этот метод не только обеспечил принципиально новый уровень визуализации, но и стал основой для формирования цифровой парадигмы в диагностике, планировании лечения и мониторинге заболеваний.

Совершенствование КТ — от однослойных сканеров до мультиспиральных систем, от статических изображений до трёхмерных реконструкций в реальном времени — представляет собой пример технологической эволюции, поддерживаемой научной базой и клинической потребностью. Благодаря КТ произошло слияние диагностической точности, скорости и воспроизводимости, сделавшее метод одним из краеугольных камней современной медицины.

§4.2. Развитие магнитно-резонансной томографии (МРТ)

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является одним из наиболее значительных достижений медицинской визуализации второй половины XX века. В отличие от компьютерной томографии, основанной на использовании ионизирующего излучения, МРТ предлагает неинвазивный, безопасный и чрезвычайно информативный метод получения изображений внутренних органов и тканей с высоким пространственным и тканевым разрешением. Этот метод открыл новую эру в диагностике заболеваний центральной нервной системы, мягких тканей, суставов, сосудов и онкологических процессов, став незаменимым в повседневной клинической практике. Развитие МРТ как технологии было бы невозможно без тесной связи с ядерной физикой, радиоспектроскопией, инженерией и вычислительной техникой.

Цель данного раздела — проследить научные, технологические и клинические этапы становления МРТ, начиная с фундаментальных физико-химических открытий и заканчивая современными мультипараметрическими и функциональными методиками, определяющими сегодняшний облик радиологической диагностики.

Научные основы метода

Физической основой МРТ является явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР) — способность ядер атомов с ненулевым спином (чаще всего водорода, ^1H) поглощать и переизлучать радиочастотную энергию при

помещении в постоянное магнитное поле и воздействию на них радиоволной заданной частоты.

Принцип действия включает следующие этапы:

1. Магнитное выравнивание: во внешнем магнитном поле протоны ориентируются вдоль направления поля.

2. Возбуждение: радиочастотный импульс переводит часть протонов в высокоэнергетическое состояние.

3. Релаксация: при возвращении в исходное состояние протоны испускают сигналы, фиксируемые катушками.

4. Реконструкция: данные о релаксации и интенсивности сигнала обрабатываются компьютером и формируют изображение.

Ключевые параметры:

- T1-релаксация — продольная (специфична для жира);
- T2-релаксация — поперечная (специфична для жидкости);
- Плотность протонов — число водородных ядер в единице объема.

Таким образом, тканевые контрасты в МРТ формируются не только за счёт плотности вещества, но и за счёт его молекулярной среды.

История развития и открытие метода

Явление ядерного магнитного резонанса было открыто в 1946 году независимо двумя научными группами:

- Феликс Блох (Стенфордский университет, США);
- Эдвард Перселл (Гарвард, США).

За это открытие они были удостоены Нобелевской премии по физике в 1952 году. Однако в первые десятилетия ЯМР применялся преимущественно в физике и химии — для спектроскопии веществ.

Первым, кто предложил использовать ЯМР для визуализации внутренних структур человека, был американский ученый Рэймонд Дамадьян. В 1971 году он опубликовал статью о различии T1 и T2-релаксации в нормальных и опухолевых тканях, а в 1977 году с коллегами создал первый ЯМР-сканер.

Параллельно шли работы Пола Лотербура, разработавшего метод градиентной локализации сигнала (1973), и Питера Мэнсфилда, предложившего принципы быстрого сканирования. В 2003 году Лотербур и Мэнсфилд были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине за вклад в развитие МРТ.

Технологическая эволюция МРТ-установок



*Первая МРТ человека: 3 июля 1977 года
Дамадьян и Минкофф*

Первые клинические сканеры появились в 1980-х годах. Они были громоздкими, требовали жидкостного охлаждения и обеспечивали относительно низкое разрешение. Постепенно технология прошла несколько этапов:

1. МРТ низкого поля (0,1–0,5 Тл)

- Применялись в начальных установках;

- Имели ограниченное разрешение и высокий шумовой уровень.
- Использовались в основном для сканирования конечностей.

2. МРТ среднего поля (1,0–1,5 Тл)

- Стали «золотым стандартом» с 1990-х годов;
- Обеспечивают высокое качество изображений ЦНС, мягких тканей,

суставов;

- Подходят для большинства диагностических задач.

3. МРТ высокого поля (3,0 Тл и выше)

- Применяются для нейровизуализации, сосудистой диагностики,

онкологии;

- Улучшают сигнал/шум, позволяют сократить время исследования;
- Повышают разрешающую способность при малом контрасте.

4. Ультравысокопольная МРТ (7 Тл и более)

- Используется в научных целях и отдельных клиниках;
- Обеспечивает микроструктурную визуализацию коры головного

мозга, сосудистых сплетений, хрящей.

Современные сканеры могут выполнять мультипланарную реконструкцию, объёмную аксиальную съёмку, воксельное моделирование, а также встраиваться в гибридные комплексы (например, ПЭТ/МРТ).

Функциональные и специализированные методики

Развитие программного обеспечения и улучшение аппаратных характеристик позволили внедрить ряд функциональных и количественных методов:

1. fMRI (функциональная МРТ)

- Основана на измерении изменения уровня оксигенации гемоглобина (BOLD-сигнал);

- Позволяет оценивать активность головного мозга при выполнении когнитивных задач;

- Применяется в нейропсихологии, нейрохирургии, исследовании эпилепсии, инсульта.

2. Дифузионно-взвешенная МРТ (DWI)

- Измеряет движение молекул воды;
- Высокочувствительна при ранней диагностике ишемического инсульта, опухолей, воспалений.

3. Дифузионно-тензорная визуализация (DTI)

- Позволяет визуализировать белое вещество мозга, трактографию;
- Важна при планировании нейрохирургических операций.

4. Перфузионная МРТ

- Оценивает кровоснабжение тканей;
- Используется в онкологии, неврологии, сосудистой диагностике.

5. МР-спектроскопия

- Позволяет оценить метаболиты (NAA, холин, лактат и др.);
- Дифференцирует опухоли, некроз, воспаление.

6. МРТ всего тела (WB-MRI)

- Применяется для оценки распространённости онкопроцесса, множественной миеломы, системных заболеваний.

7. МР-ангиография (MRA)

- Позволяет исследовать сосуды без контрастного вещества (TOF) или с его применением (CE-MRA).

Преимущества и ограничения МРТ

Преимущества:

- Отсутствие ионизирующего излучения;
- Высокая тканевая контрастность;
- Мультипланарность;
- Возможность функциональной оценки;
- Безопасность при многократных исследованиях.

Ограничения:

- Высокая стоимость и длительность процедуры;
- Ограничения для пациентов с кардиостимуляторами, имплантатами, клаустрофобией;

- Чувствительность к движениям;

- Низкая информативность в отношении костной ткани и лёгких.

Клинико-диагностическая значимость

МРТ прочно заняла своё место в диагностике широкого круга заболеваний:

- Неврология — опухоли, рассеянный склероз, инсульт, эпилепсия;

- Онкология — мягкотканевые саркомы, опухоли малого таза, предстательной железы, головного мозга;
- Кардиология — МРТ сердца, миокардиты, кардиомиопатии;
- Ортопедия — патология суставов, межпозвоночных дисков, связок;
- Гепатология — МРТ печени с контрастом, диагностика ГЦК;
- Педиатрия и акушерство — оценка развития плода, врождённых аномалий.

Безопасность и биосовместимость

МРТ признана относительно безопасной, но требует соблюдения ряда условий:

- Металлофиксация и импланты — необходимо проводить скрининг на наличие ферромагнитных объектов;
- Контрастные вещества — гадолинийсодержащие препараты требуют осторожности при хронической почечной недостаточности (риски нефрогенного системного фиброза);
- Длительное пребывание в сканере — риск перегрева, дискомфорта, необходимости анестезии у детей.

+Соблюдение протоколов безопасности и наличие сертифицированного персонала являются обязательными стандартами.

МРТ в эпоху цифровизации и искусственного интеллекта

Современные технологии позволяют интегрировать МРТ в цифровые диагностические платформы. Используются:

- автоматические алгоритмы сегментации органов;
- анализ паттернов сигналов;
- искусственный интеллект для оценки изменений (например, при болезни Альцгеймера);
- предиктивные модели на основе многопараметрических карт (радиомика).

Это позволяет не только интерпретировать изображения, но и выносить вероятностные клинические прогнозы.

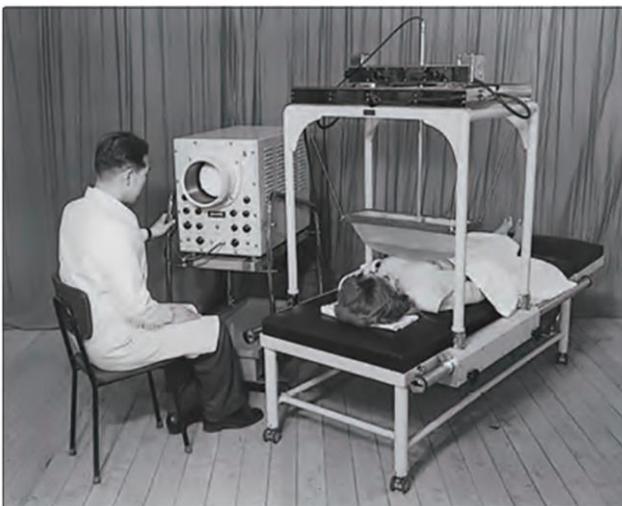
Заключение

Магнитно-резонансная томография, основанная на принципах ядерного магнитного резонанса, стала важнейшим достижением современной медицины, объединив в себе фундаментальные физические открытия, инженерные разработки и клиническую потребность в безопасной и точной визуализации. С момента её появления в 1970-х годах МРТ прошла путь от экспериментального метода до высокоинформативного и повседневно используемого диагностического инструмента.

Развитие МРТ не только дополнило арсенал радиологических средств, но и кардинально изменило представления о диагностике заболеваний, особенно в области центральной нервной системы, онкологии и функциональной медицины. Продолжая совершенствоваться, МРТ остаётся символом интеграции науки и гуманизма в служении здоровью человека.

§4.3. Ультразвуковая диагностика (УЗИ) и эволюция оборудования

Ультразвуковая диагностика (УЗИ) занимает особое место в системе современных методов визуализации, отличаясь универсальностью, неинвазивностью, безопасностью и доступностью. С момента своего клинического внедрения в середине XX века ультразвук прочно вошел в повседневную практику, став незаменимым в акушерстве, кардиологии, абдоминальной, сосудистой и педиатрической диагностике. УЗИ развивалась параллельно с другими направлениями медицинской визуализации, но, в отличие от рентгенологических и ядерных методов, не использует ионизирующее излучение, что обусловило её широкое распространение в скрининговых программах и первичном звене здравоохранения.



Настоящий раздел посвящён историко-технологической эволюции ультразвуковой диагностики — от первых экспериментальных приборов до современных цифровых систем, описанию физических принципов метода, характеристике ключевых этапов развития аппаратуры, внедрению инновационных режимов исследования и роли УЗИ в трансформации медицинской диагностики в XXI веке.

Физические основы ультразвуковой визуализации

Принцип работы УЗИ основан на способности звуковых волн высокой частоты (от 1 до 20 МГц) распространяться в тканях организма и отражаться от границ сред с различной акустической плотностью. Ультразвуковые датчики (транзюсеры) излучают импульсы и принимают отражённые сигналы (эхо), преобразуемые в электрические сигналы и формирующие изображение.

Ключевые физические параметры:

- Импеданс тканей (Z) — произведение плотности и скорости звука;
- Коэффициент отражения — определяется разностью импедансов на границе двух сред;
- Поглощение и рассеяние — влияют на глубину проникновения и качество сигнала;
- Доплеровский эффект — изменение частоты волн при движении отражающих объектов (например, эритроцитов), используемый для оценки кровотока.

Техническая реализация основывается на принципах эхолокации, временной и амплитудной обработки сигнала, пространственного сканирования и построения двумерного или трёхмерного изображения.

Историческое становление метода

Первые попытки использования ультразвука в медицине связаны с технологиями военного времени: гидролокацией (сонаром) и промышленной дефектоскопией. После Второй мировой войны физики и инженеры начали адаптировать ультразвуковые установки для биологических объектов.

Основные этапы:

- 1942–1949 — работы Карла Т. Дусика (Австрия) по ультразвуковой энцефалографии;
- 1952 — Инге Эдлер и Карл Хелльмут Герц (Швеция) применяют УЗИ для исследования сердца (основа эхокардиографии);
- 1958 — разработка первого контактного сканера (Й. Уайлд, США);
- 1960-е — первые диагностические ультразвуковые приборы с А- и В-режимами;
- 1970–80-е — широкое внедрение серошкальной визуализации (В-mode), развитие реального времени;
- 1990-е — цифровизация сигнала, появление доплеровских и трёхмерных режимов.

Эволюция ультразвукового оборудования

1. А-режим (амплитудный)
 - На экране отображается амплитуда сигнала в зависимости от глубины;
 - Использовался для офтальмологических, нейросонографических и костных измерений.
2. В-режим (brightness mode)
 - Сформировал основу двумерной визуализации;
 - Представляет собой серошкальное изображение анатомических структур.

3. М-режим (motion)
 - Оценка подвижности структур во времени (особенно в эхокардиографии);
 - Популярен в кардиологических исследованиях с 1970-х гг.
4. Доплеровские режимы
 - Спектральный доплер — количественная оценка скорости кровотока;
 - Цветовой доплер — визуализация направления и интенсивности потока;
 - Энергетический доплер — для оценки малых сосудов.
5. Трёхмерная и четырёхмерная УЗИ (3D/4D)
 - Позволяют получать объёмные изображения (особенно в акушерстве);
 - Используются также в урологии, ангиологии, маммологии.
6. Эластография
 - Исследование механических свойств тканей (жѐсткость, эластичность);
 - Применяется в онкологии, гепатологии, эндокринологии.
7. Контрастное УЗИ (CEUS)
 - Использование микропузырьковых контрастных препаратов (на основе газов);
 - Дифференциальная диагностика опухолей, сосудистых мальформаций.
8. Портативные и карманные ультразвуковые устройства
 - Широко применяются в экстренной медицине, поликлиниках, у постели больного;
 - Оснащаются беспроводной передачей данных, искусственным интеллектом.

Цифровая революция и интеграция в ИТ-инфраструктуру

С начала 2000-х годов ультразвуковая техника стала частью цифрового медицинского пространства:

- DICOM-протокол — стандартизация изображений и их передача в ПАКС-системы;
- Автоматические измерения — ИИ-алгоритмы для оценки объѐмов, фракций выброса, толщины стенок;
- Портативные УЗИ-сканеры на планшетах и смартфонах — мобильные решения для телемедицины и первичной диагностики.

Современные УЗИ-аппараты представляют собой многофункциональные платформы, объединяющие визуализацию, доплерографию, анализ и документооборот.

Клинико-диагностические возможности ультразвука

УЗИ успешно применяется в различных медицинских отраслях:

1. Акушерство и гинекология

- Скрининг аномалий развития плода;
- Оценка состояния плаценты, околоплодных вод, матки, яичников;
- 3D/4D-визуализация — демонстрация плода в реальном времени.

2. Кардиология

- Эхокардиография: анатомия, фракция выброса, клапанная функция;
- Доплер-режим — выявление стенозов, регургитаций, аневризм;
- Контрастная эхокардиография — диагностика дефектов

межпредсердной перегородки.

3. Гастроэнтерология

- Оценка печени, поджелудочной железы, желчного пузыря;
- Эластография при фиброзе, циррозе;
- Контрастное УЗИ при ГЦК.

4. Урология и нефрология

- Диагностика мочекаменной болезни, гидронефроза, опухолей;
- Оценка остаточной мочи, проходимости уретры.

5. Сосудистая диагностика

- УЗДС артерий и вен конечностей, шеи, брюшной аорты;
- Выявление тромбозов, стенозов, аневризм;
- Микрососудистые исследования.

6. Педиатрия и неонатология

- Транскраниальная УЗИ у новорождённых;
- Диагностика тазобедренных дисплазий, гидроцефалии,

некротизирующего энтероколита.

7. Анестезиология и реаниматология

- Контроль постановки катетеров, оценка плевральных выпотов,

гидроторакса;

- FAST-протокол (Focused Assessment with Sonography for Trauma) —

в неотложной диагностике.

Безопасность и биофизические аспекты

В отличие от рентгенологических методов, УЗИ не использует ионизирующее излучение, что делает его предпочтительным для скрининга, беременных женщин и детей. Однако определённые физические риски существуют:

- Термические эффекты — нагрев тканей (особенно при доплерографии);
- Кавитационные эффекты — риск разрушения клеток при высоких интенсивностях;
- Механическое давление — при исследованиях глаза, сердца, плода. Соблюдение международных стандартов (AIUM, EFSUMB, FDA) и контроль за параметрами излучения (индексы TI, MI) гарантируют безопасность процедуры.

Этика, доступность и роль в системе здравоохранения

УЗИ — один из немногих методов визуализации, обеспечивающий:

- доступность (низкая себестоимость, портативность);
- этическую допустимость (отсутствие вреда, безопасность);
- гибкость и универсальность (возможность выполнения у постели больного).

Это делает УЗИ важным элементом первичной диагностики, диспансерного наблюдения, медико-социальной помощи, а также одним из ключевых инструментов врачей общей практики и фельдшерских служб.

Перспективы развития

Современные тенденции в УЗИ включают:

- внедрение искусственного интеллекта (автоматическая интерпретация, биометрия, паттерн-анализ);
- развитие ультразвуковой молекулярной визуализации (микро- и наноконтрастные вещества);
- использование высокочастотного ультразвука (>20 МГц) — для дерматологии, офтальмологии;
- встраивание в гибридные платформы — УЗИ в операционных, УЗИ-навигация при интервенционных процедурах.

Заключение

Ультразвуковая диагностика прошла путь от громоздких, монофункциональных сканеров к высокоточным, портативным и многофункциональным платформам, интегрированным в цифровую экосистему здравоохранения. Её успех основан на уникальном сочетании доступности, безопасности, многофункциональности и диагностической точности.

Эволюция УЗИ от механических прототипов к интеллектуальным системам XXI века демонстрирует важность инженерных инноваций, клинической адаптации и технологического синтеза в развитии современной радиологии. УЗИ остаётся одной из опорных технологий визуализации, обеспечивающей своевременную, точную и этически обоснованную диагностику во всех отраслях медицины.

§4.4. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и гибридные технологии

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) является одним из наиболее значительных достижений ядерной медицины и молекулярной визуализации конца XX — начала XXI века. Этот метод позволил впервые в истории медицины не только визуализировать морфологические изменения органов и тканей, но и оценивать их метаболическую и функциональную активность в реальном времени. В отличие от традиционных методов радиологии, ПЭТ предоставляет уникальную информацию о биохимических процессах в организме, таких как глюкозный обмен, перфузия, рецепторное связывание, клеточная пролиферация и апоптоз.

Особое место в современной диагностике занимает интеграция ПЭТ с другими методами визуализации — в первую очередь с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) и магнитно-резонансной томографией (ПЭТ/МРТ). Эти гибридные технологии стали неотъемлемой частью онкологии, кардиологии, неврологии и трансляционной медицины.

Цель настоящего раздела — проследить историю и научные основы ПЭТ, описать этапы технической и клинической эволюции метода, проанализировать значение гибридных технологий и определить перспективы их дальнейшего развития.

Научные и физические основы ПЭТ

Принцип ПЭТ основан на регистрации пар гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитрона и электрона. После введения в организм радиофармацевтического препарата, меченого позитрон-излучающим изотопом (например, ^{18}F , ^{11}C , ^{15}O), происходит:

1. Накопление радиофармпрепарата в органах и тканях;
2. Эмиссия позитрона, который сталкивается с электроном;
3. Анигиляция — образование двух гамма-квантов по 511 кэВ, разлетающихся на 180° ;
4. Регистрация этой пары детекторами кольцевого сканера;
5. Реконструкция распределения радиофармпрепарата в организме.

Таким образом, ПЭТ является методом томографического картирования биологических процессов, а не анатомических структур.

История становления метода

- 1950-е — первые теоретические концепции позитронной визуализации (Гленн Сиборг, Гордон Браунелл);
- 1960-е — экспериментальные установки для визуализации радиофармпрепаратов у животных;
- 1970-е — создание первых клинических ПЭТ-сканеров;
- 1976 — первый полностью функционирующий ПЭТ-томограф в Массачусетской больнице;
- 1980-е — расширение применения в нейровизуализации, исследование метаболизма мозга, диагностика болезни Альцгеймера;
- 1990-е — развитие коммерческих ПЭТ-установок, появление циклотронов для синтеза радиофармпрепаратов;
- 2000-е — широкое внедрение ПЭТ/КТ и появление ПЭТ/МРТ, начало эпохи гибридной визуализации.

Радиофармпрепараты и их биологические мишени

Клиническая эффективность ПЭТ обусловлена многообразием радиофармпрепаратов (РФП), каждый из которых позволяет исследовать определённые метаболические или клеточные процессы. Основные РФП:

- ^{18}F -фтордезоксиглюкоза (^{18}F -ФДГ)
— аналог глюкозы, позволяет оценить уровень клеточного метаболизма;
— используется в онкологии, неврологии, инфекционной диагностике.
- ^{13}N -аммиак, ^{15}O -вода
— оценка перфузии, особенно в кардиологии и инсультологии.
- ^{11}C -метионин, ^{11}C -ацетат
— аминокислотный и липидный обмен, применяется в нейроонкологии и урологии.
- ^{68}Ga -ДОТА-пептиды
— визуализация нейроэндокринных опухолей, оценка рецепторов соматостатина.
- ^{18}F -холин, ^{18}F -флуцитозин, ^{18}F -флуоромизидин
— молекулы, накапливающиеся в опухолевых клетках с высокой пролиферацией.

Выбор РФП определяется клинической задачей, предполагаемой мишенью и фармакокинетикой препарата.

Гибридные технологии: ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ

Появление гибридных томографов стало революционным этапом, позволившим объединить морфологическую точность анатомической визуализации (КТ или МРТ) с метаболическим картированием ПЭТ. Это решает

важную клиническую проблему — локализацию метаболически активного очага в контексте анатомических структур.

ПЭТ/КТ (с начала 2000-х)

- Стал стандартом в онкологии;
- Позволяет одновременно оценивать структуру опухоли и её метаболическую активность;
- Существенно улучшает чувствительность и специфичность диагностики;
- Позволяет контролировать эффективность терапии и выявлять рецидивы.

ПЭТ/МРТ (с 2010-х годов)

- Используется преимущественно в нейроонкологии, кардиологии, педиатрии;
- Обеспечивает высокую контрастность мягких тканей;
- Исключает ионизирующее излучение от КТ, что особенно важно в детской практике;
- Трудоёмкая интеграция магнитных и детекторных систем требует сложного технического обеспечения.

Обе технологии обеспечивают синхронную регистрацию данных, возможность коррекции артефактов и совместного планирования интервенций и терапии.

Клинико-диагностическое значение ПЭТ

ПЭТ и гибридные технологии играют ведущую роль в следующих клинических областях:

1. Онкология

- Диагностика и стадирование злокачественных опухолей;
- Выявление метастазов, в том числе в труднодоступных зонах;
- Планирование лучевой терапии;
- Оценка ответа на лечение (метаболический ответ);
- Раннее выявление рецидивов.

Особенно эффективно при:

- лимфомах (система Deauville);
- раке лёгкого (выявление медиастинальных метастазов);
- опухолях головы и шеи;
- колоректальном раке (планирование резекций).

2. Неврология

- Диагностика болезни Альцгеймера и других деменций (ПЭТ с амилоид-связывающими РФП);

- Локализация очагов эпилепсии перед хирургическим вмешательством;

- Оценка опухолей мозга (разграничение между некрозом и рецидивом);

- Исследование нейротрансмиттерных систем.

3. Кардиология

- Оценка жизнеспособности миокарда (перфузия и метаболизм);

- Диагностика воспалительных и инфильтративных заболеваний (саркоидоз, васкулиты);

- ПЭТ при подозрении на инфекционный эндокардит, особенно протезных клапанов.

4. Инфекционные и воспалительные заболевания

- Диагностика сепсиса неясной локализации;

- ПЭТ при остеомиелите, васкулитах, гранулематозах;

- Иммунологические ПЭТ-протоколы в изучении COVID-19, ВИЧ и аутоиммунных состояний.

Дозиметрия и безопасность

Несмотря на использование радионуклидов, дозовая нагрузка при ПЭТ/КТ составляет в среднем от 5 до 25 мЗв, что сравнимо с диагностическими КТ-исследованиями. Применяются следующие меры безопасности:

- минимизация активности вводимых РФП;
- строгие временные протоколы и экранирование;
- использование радиозащитных помещений;
- контроль за персоналом с помощью дозиметров.

Контраст между безопасностью и высокой информативностью делает ПЭТ допустимой и обоснованной даже при необходимости повторных исследований.

Производство и распространение

ПЭТ тесно связан с радиохимией и ядерной физикой, что требует наличия:

- циклотрона — для производства короткоживущих радионуклидов;
- радиохимической лаборатории — для синтеза РФП;
- сертифицированной логистики — для доставки препаратов с коротким периодом полураспада (^{18}F -ФДГ — 110 мин).

Создание ПЭТ-центров требует значительных инвестиций, но развитие региональных радиофармацевтических хабов и сетевой доставки позволяет расширять географию применения.

Этика и регуляторные аспекты

Особое значение имеют:

- информированное согласие — пациенты должны быть проинформированы о радиационной нагрузке и диагностических возможностях;

- регистрация и контроль РФП — каждый препарат требует клинической апробации и лицензирования;
- показания и ограничения — ограниченное применение у беременных, при тяжёлой почечной недостаточности и т. д.

Международные рекомендации (IAEA, ICRP, FDA, EMA) формируют нормативную базу и стандарты безопасности.

Будущие направления

Современные векторы развития ПЭТ и гибридных технологий:

- Разработка новых РФП — амилоидные, онкотерапевтические, рецепторные радиофармацевтики;
- Тераностика — объединение диагностики и терапии (например, ^{177}Lu -DOTA-TATE);
- ПЭТ/МРТ-нейроимиджинг — синхронная оценка структуры, функции и биохимии мозга;
- Молекулярная онкология — радиогеномика, радиомика, ИИ-аналитика;
- Портативные ПЭТ-установки — разработки в области мобильной и персонализированной визуализации.

Заключение

Позитронно-эмиссионная томография и гибридные методы стали важнейшими достижениями технологической революции в радиологии, изменившими парадигму диагностики — от анатомо-морфологического подхода к метаболическому, функциональному и молекулярному анализу.

ПЭТ представляет собой уникальный инструмент, способный выявлять заболевания на доклинической стадии, оценивать эффективность лечения, прогнозировать исходы. Совмещение ПЭТ с КТ и МРТ открыло новые горизонты в персонализированной медицине, обеспечив высочайший уровень информативности при разумной безопасности.

Развитие ПЭТ и гибридных технологий продолжает формировать лицо радиологии XXI века, соединяя точность, биологическую глубину и клиническую применимость.

§4.5. фМРТ. Цифровизация и искусственный интеллект в современной радиологии

В последние десятилетия радиология претерпела глубокую трансформацию под воздействием цифровых технологий, методов обработки

данных и развития нейровизуализации. Особенно ярко это проявилось в становлении функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ), а также во внедрении цифровизации процессов, искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и больших данных в структуру радиологической практики. Если фМРТ представляет собой качественно новый этап в исследовании головного мозга — его активности, сетевых взаимодействий и когнитивной архитектуры, — то цифровизация и ИИ охватывают все уровни радиологической деятельности: от получения и реконструкции изображений до интерпретации, анализа, принятия клинических решений и администрирования.

Настоящий раздел посвящён двум ключевым направлениям технологической революции в радиологии конца XX — начала XXI века: функциональной МРТ как методу высокоточной нейровизуализации и системной цифровой трансформации радиологической отрасли на основе ИИ и автоматизации.

I. Функциональная МРТ (фМРТ): становление метода и клиническое значение

Физико-биологические основы

Функциональная магнитно-резонансная томография основана на регистрации BOLD-сигнала (Blood Oxygenation Level Dependent) — различий в магнитных свойствах оксигемоглобина и дезоксигемоглобина, возникающих при нейрональной активности. Активность мозга вызывает локальное увеличение потребления кислорода и приток артериальной крови, что сопровождается изменением отношения оксигенированных и дезоксигенированных форм гемоглобина, отражающимся на T2*-взвешенном сигнале МРТ.

Таким образом, фМРТ позволяет неинвазивно картировать функциональную активность мозга в ответ на различные когнитивные, сенсорные, моторные стимулы.

История развития

- 1990 — первый BOLD-сигнал зарегистрирован группой Сеиджиро Огава в Bell Labs;
- 1992–1995 — появление первых публикаций о когнитивной фМРТ у человека;
- 1990–2000-е — бурное развитие протоколов визуализации: зрительные, двигательные, слуховые стимулы, речевая активация, память и внимание;
- 2000-е — внедрение resting-state fMRI — визуализация активности мозга в состоянии покоя и открытие функциональных сетей (default mode network);

- 2010-е — объединение фМРТ с ДТИ (диффузионно-тензорной визуализацией), ПЭТ и ЭЭГ;
- 2020-е — развитие высокопольной фМРТ (7Тл и выше), применение в психиатрии, нейроэкономике, нейропсихологии.

Методология

ФМРТ предполагает выполнение нескольких этапов:

1. Построение стимула (визуального, моторного, речевого и др.);
2. Проведение сериального сканирования с временным разрешением (обычно 2–3 с);
3. Сравнение сигналов «в покое» и «в активации»;
4. Выделение зон статистически значимого изменения BOLD-сигнала;
5. Картирование активности на анатомическое изображение мозга.

Современные алгоритмы обеспечивают точность до 1–2 мм и возможность анализа функциональных связей между зонами (connectivity analysis).

Применение фМРТ

1. Клиническая нейровизуализация
 - Преоперационное картирование речевых и моторных центров;
 - Определение эпилептогенных зон;
 - Дифференциальная диагностика опухолей и невоспалительных процессов.
2. Психиатрия и нейропсихология
 - Изучение нейрональных паттернов при шизофрении, депрессии, аутизме;
 - Исследование расстройств внимания, памяти, тревожности.
3. Нейромаркетинг и поведенческие науки
 - Анализ нейрональных реакций на стимулы;
 - Оценка принятия решений и эмоционального реагирования.
4. Нейроэтика и сознание
 - Исследование «внутренней активности» мозга в вегетативных и коматозных состояниях;
 - Пограничные исследования сознания и субъективного восприятия.

Ограничения и вызовы

- Высокая стоимость и длительность процедуры;
- Чувствительность к движениям;
- Необходимость стандартизации протоколов;
- Этические аспекты при интерпретации результатов в психиатрии и юридической практике.

II. Цифровизация и искусственный интеллект в радиологии

Переход к цифровому изображению

С конца 1990-х годов радиология перешла от аналоговых носителей (плёнок) к цифровым форматам изображений. Это позволило:

- использовать формат DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine);
- внедрить PACS-системы (Picture Archiving and Communication Systems) — централизованное хранение и передача данных;
- обеспечить интеграцию с электронными медицинскими картами (EMR);
- ускорить обмен информацией между учреждениями.

Цифровизация также открыла путь к автоматизации, телерадиологии, удалённой интерпретации и анализу больших массивов данных.

ИИ и машинное обучение в радиологии

ИИ в радиологии базируется на алгоритмах, способных:

1. Распознавать паттерны изображений (компьютерное зрение);
2. Классифицировать патологические изменения (например, очаги в лёгких, опухоли, инсульты);
3. Сегментировать органы и структуры;
4. Измерять объёмы, плотности, интенсивности сигналов;
5. Прогнозировать исходы и оценивать риски.

Ключевые технологии:

- Convolutional Neural Networks (CNN) — основа для анализа изображений;
- Natural Language Processing (NLP) — анализ и генерация радиологических заключений;
- Deep Learning (DL) — комплексные модели для выявления закономерностей.

Применение ИИ в различных зонах радиологии

1. Рентгенография
 - ИИ-системы выявляют пневмонию, туберкулёз, переломы, сердечную недостаточность;
 - Автоматическое измерение сердечно-грудного индекса, плотности костей.
2. КТ
 - ИИ-алгоритмы в легочной диагностике (в том числе COVID-19);
 - Выявление и классификация опухолей, аневризм, кальцинатов.
3. МРТ
 - Сегментация опухолей головного мозга;
 - Автоматическая классификация деменции, рассеянного склероза.

4. УЗИ

- Помощь в оценке толщины стенок, объёмов органов, локализации узлов;

- Интерпретация доплеровских кривых.

5. ПЭТ и гибридные методы

- Автоматический анализ распределения РФП;

- Выявление метаболически активных очагов.

Административное и операционное применение

ИИ применяется также в управлении и организации радиологической службы:

- Тriage — приоритезация исследований по срочности и предполагаемой патологии;

- Контроль качества — оценка полноты и корректности заключений;

- Оптимизация потоков пациентов — управление загрузкой оборудования;

- Стандартизация отчётности — унификация терминологии и структуры заключений.

Этика и регуляторные вопросы

Внедрение ИИ и цифровых систем в радиологии требует учёта этических и юридических аспектов:

- прозрачность алгоритмов («чёрный ящик» в DL);

- проверка достоверности и обоснованности решений ИИ;

- сохранность персональных данных пациентов;

- юридическая ответственность при ошибке алгоритма.

Международные ассоциации (RSNA, ESR, WHO) активно разрабатывают руководства и стандарты этического внедрения ИИ в клиническую практику.

Перспективы развития

1. Радиомика и радиогеномика — извлечение количественных характеристик изображений, коррелируемых с молекулярными и генетическими профилями опухолей.

2. Интеграция с биомаркерами — ИИ-платформы, объединяющие визуальные, лабораторные и клинические данные.

3. Самообучающиеся системы — ИИ-модели, совершенствующиеся на локальных данных без постоянной переобучаемости.

4. Обратная связь ИИ – врач — создание интерактивных интерфейсов, где алгоритм объясняет логику своей оценки.

Заключение

Функциональная МРТ и цифровизация радиологии с интеграцией искусственного интеллекта представляют собой два ключевых вектора

технологической революции в диагностической медицине. Они не только расширили возможности анализа и интерпретации данных, но и радикально изменили организационные, этические и профессиональные основы работы в радиологической практике.

ФМРТ открыло путь к пониманию нейродинамики, функциональной архитектуры мозга и патогенеза психоневрологических состояний. Цифровизация и ИИ трансформируют саму суть радиологии — от субъективной оценки изображений к количественному, стандартизированному и прогностическому подходу.

Современная радиология вступает в эпоху когнитивной визуализации, основанной на синтезе технологических, биомедицинских и интеллектуальных решений, определяя лицо медицины будущего.

Глава 5. Развитие радиологии в Узбекистане

§5.1. Организация рентгенологической службы в Узбекистане

Организация рентгенологической службы в Узбекистане представляет собой комплексную систему, охватывающую нормативно-правовое регулирование, инфраструктурное развитие, кадровое обеспечение и внедрение современных технологий. Эта система направлена на обеспечение доступности и качества рентгенологических услуг для населения страны.

1. Нормативно-правовая база.

Деятельность рентгенологических подразделений в Узбекистане регулируется рядом нормативных документов, устанавливающих требования к размещению, оборудованию и эксплуатации рентгеновских кабинетов. Согласно санитарным нормам, рентгеновские отделения не допускается размещать в жилых зданиях и детских учреждениях, за исключением рентгеностоматологических кабинетов, размещение которых регламентируется отдельными положениями. Также определены требования к размещению рентгеновских кабинетов в медицинских учреждениях, включая необходимость отдельных входов для пациентов стационара и поликлиники, а также запрет на размещение кабинетов под помещениями с возможным протеканием воды, такими как бассейны или душевые. (LEX.UZ)

2. Инфраструктура и специализированные учреждения

Ключевую роль в организации рентгенологической службы играет Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр онкологии и радиологии (РСНПМЦОиР), являющийся головным учреждением онкологической службы страны. Центр координирует деятельность 16 крупных онкологических учреждений, а также 232 онкологических кабинетов в районных и городских поликлиниках. В общей сложности в республике функционирует 2265 онкологических коек, из которых 145 предназначены для лечения детей. (КанцерЦентр)

РСНПМЦОиР предоставляет высокоспециализированную диагностическую, лечебную и консультативную помощь онкологическим пациентам, проводит фундаментальные и прикладные исследования в области онкологии, а также оказывает научно-методическую поддержку областным онкологическим диспансерам. Кроме того, центр занимается скринингом и профилактикой злокачественных опухолей и служит учебной базой для подготовки специалистов в области онкологии и клинической радиологии. (КанцерЦентр)

3. Оптимизация и развитие медицинской инфраструктуры

В целях повышения эффективности и доступности медицинского обслуживания, а также оптимизации структуры медицинских организаций, в Узбекистане реализуются меры по реорганизации и модернизации медицинской инфраструктуры. Согласно постановлению Кабинета Министров, предусматривается присоединение отдельных медицинских организаций к районным и региональным медицинским объединениям, сокращение коечного фонда противотуберкулезных учреждений и поэтапное увеличение доли коечного фонда, содержащегося за счет внебюджетных поступлений от оказания медицинских услуг на платной основе. ([LEX.UZ](#))

Также планируется доукомплектование сельских врачебных пунктов и семейных поликлиник патронажными медсестрами, а высвобождаемые в результате оптимизации средства направляются на оснащение медицинских учреждений современным оборудованием и укрепление кадрового потенциала. ([LEX.UZ](#))

4. Кадровое обеспечение и обучение специалистов

Обеспечение рентгенологических подразделений квалифицированными кадрами является приоритетной задачей системы здравоохранения Узбекистана. Министерство здравоохранения совместно с Министерством высшего образования, науки и инноваций предпринимает меры по подготовке и повышению квалификации медицинских специалистов, включая организацию обучения и стажировок в престижных зарубежных медицинских центрах. Кроме того, разрабатываются положения о порядке обеспечения медицинского персонала, работающего в сельских семейных поликлиниках и врачебных пунктах, служебным жильем, что способствует привлечению и удержанию квалифицированных специалистов в отдаленных регионах. ([Uza.uz](#), [LEX.UZ](#))

5. Современные технологии и цифровизация

Внедрение современных технологий и цифровизация процессов играют важную роль в развитии рентгенологической службы. Государственные учреждения, такие как Центр закупок при Министерстве здравоохранения, проводят маркетинговые исследования и закупки современного оборудования, включая рентгеновские трубки для компьютерных томографов, с целью обновления технической базы медицинских учреждений. Также осуществляется калибровка и настройка программного обеспечения, профилактика электрических и механических частей аппаратов, что обеспечивает высокое качество диагностики и лечения пациентов. ([Государственный сайт Узбекистана](#))

Заключение. Организация рентгенологической службы в Узбекистане представляет собой динамично развивающуюся систему, направленную на

обеспечение качественной и доступной медицинской помощи населению. Путем совершенствования нормативно-правовой базы, модернизации инфраструктуры, укрепления кадрового потенциала и внедрения современных технологий, страна стремится к созданию эффективной и устойчивой системы рентгенологической диагностики, соответствующей международным стандартам и требованиям.

§5.2 Вклад узбекских учёных в развитие теории и практики, радиационные катастрофы (Чернобыль) и радиология.

Узбекистан внес значительный вклад в развитие теории и практики радиологии, особенно в контексте радиационных катастроф, таких как авария на Чернобыльской АЭС. Участие узбекских учёных и специалистов охватывает широкий спектр направлений — от ликвидации последствий до научных исследований и подготовки кадров в области радиационной безопасности.(IAEA)

Участие в ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году тысячи граждан Узбекистана были мобилизованы для участия в ликвидации последствий. Среди них был Гайбулло Мадатов из Ферганы, который работал кузнецом и был направлен в зону отчуждения для выполнения восстановительных работ. Он вспоминает:(Kun.uz)

«Мы уехали в Чернобыль в сентябре 1986 года, а вернулись в декабре того же года. Нам заранее не говорили, куда нас везут. Не было сказано: ты поедешь в Чернобыль. Мы попали туда в качестве „партизан“. В Чернобыле нас разместили в школе на территории гарнизона. Мы занимались кузнечным делом в местечке под названием Капати. Нам привозили металлолом, который мы выправляли и отправляли к месту бедствия.» (Kun.uz)

Многие ликвидаторы из Узбекистана столкнулись с серьёзными последствиями для здоровья, включая выпадение зубов, головные боли и боли в суставах, что свидетельствует о высоком уровне радиационного воздействия.

Научные исследования и развитие радиологии

Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан (ИЯФ АН РУз) играет ключевую роль в развитии радиологических исследований в стране. Основанный в 1956 году, институт занимается фундаментальными и прикладными исследованиями в области ядерной физики, радиационной физики твёрдого тела, активационного анализа и радиохимии. В 1962 году на ИЯФ АН

РУз была возложена обязанность координирующей организации по активационному анализу и дозиметрии больших доз в стране. ([Википедия](#))

Институт также занимается производством радиоизотопов и радиофармацевтических препаратов через дочерние предприятия, такие как «Радиопрепарат» и «Тезлатгич». Эти предприятия обеспечивают внутренний рынок и экспортируют продукцию в страны СНГ, Европу и США, что способствует развитию медицинской диагностики и терапии, особенно в области онкологии. ([Википедия](#))

Международное сотрудничество и подготовка кадров

Узбекистан активно сотрудничает с международными организациями в области ядерных исследований и радиационной безопасности. В апреле 2025 года делегация Объединённого института ядерных исследований (ОИЯИ) посетила Узбекистан для обсуждения вопросов членства страны в организации, программ двойных дипломов и стажировок для узбекских студентов. В настоящее время в ОИЯИ работает 19 научных сотрудников из Узбекистана, а около 200 студентов и учёных из республики были вовлечены в совместные проекты. ([Атомная энергия](#))

Это сотрудничество способствует подготовке специалистов в области ядерной физики, радиологии, радиохимии и других смежных наук, что укрепляет научный потенциал страны и способствует развитию безопасного использования ядерных технологий. ([Атомная энергия](#))

Развитие атомной энергетики и радиационной безопасности

Узбекистан учитывает уроки прошлых радиационных катастроф, таких как Чернобыль и Фукусима, при развитии собственной атомной энергетики. Страна активно работает над созданием нормативно-правовой базы, обеспечивающей безопасность использования ядерной энергии. В частности, разрабатываются законы и регуляции, направленные на обеспечение ядерной и радиационной безопасности, лицензирование и контроль за использованием ядерных материалов. ([Review.uz](#))

Кроме того, Узбекистан внедряет современные технологии и международные стандарты в области радиационной безопасности, что способствует минимизации рисков и повышению доверия к атомной энергетике среди населения.

Заключение. Вклад узбекских учёных и специалистов в развитие теории и практики радиологии, а также в ликвидацию последствий радиационных катастроф, является значительным. От участия в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС до развития научных исследований и международного сотрудничества — Узбекистан демонстрирует приверженность

обеспечению радиационной безопасности и развитию ядерных технологий в мирных целях.

§5.3 Радиологическая служба в Узбекистане

Нормативно-правовое регулирование. В Узбекистане действует Закон «О радиационной безопасности», принятый в 2000 году и дополненный в 2011 году. Он устанавливает основные принципы обеспечения радиационной безопасности, включая нормирование, обоснование и оптимизацию использования источников ионизирующего излучения. Закон также определяет полномочия государственных органов и предусматривает участие общественных организаций в контроле за радиационной безопасностью. (Среда)

Инфраструктура и контроль. В стране функционирует Единая государственная система прогнозирования, раннего выявления и реагирования на радиационные аварии, а также мониторинга радиационной обстановки. Эта система включает в себя республиканские, территориальные и объектовые уровни, обеспечивая координацию действий различных ведомств и организаций. Система направлена на защиту населения и окружающей среды от радиационных угроз. (LEX.UZ)

Институт ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан осуществляет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с использованием источников ионизирующего излучения, а также занимается мониторингом радиационной обстановки и обучением персонала. (Межгосударственная атомная энергия)

Медицинские учреждения и безопасность. В сфере медицины функционирует Республиканский центр метрологии оборудования лучевой терапии, который обеспечивает контроль за качеством и безопасностью использования ионизирующих излучений в лечебно-диагностических целях. Центр проводит аттестацию оборудования, дозиметрический контроль и консультирует медицинские учреждения по вопросам радиационной безопасности. (КанцерЦентр)

Проблемы и вызовы. Несмотря на предпринимаемые меры, в Узбекистане сохраняются проблемы, связанные с безопасностью хвостохранилищ и других объектов, содержащих радиоактивные отходы. Некоторые из них не имеют надлежащей охраны и могут представлять угрозу для здоровья населения и окружающей среды. Также отмечается недостаточная информированность населения о радиационных рисках. (blackswan.law)

Радиологическая служба в странах СНГ

Международное сотрудничество. Страны СНГ активно сотрудничают в области радиационной безопасности. Соглашение о взаимодействии государств-участников СНГ предусматривает обмен данными мониторинга радиационной обстановки и координацию действий при радиационных авариях. (Мид)

Также действует Объединённая система радиационной, химической и биологической защиты вооружённых сил стран СНГ, обеспечивающая контроль за опасными объектами и оперативное информирование о возможных угрозах. (cis.minsk.by)

Управление радиоактивными отходами. В рамках СНГ функционирует Базовая организация по вопросам обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами, которая оказывает помощь государствам-участникам в решении задач по безопасному управлению такими материалами. (decommissioning.tvel.ru)

Кроме того, проводятся совещания и обмен опытом между странами СНГ по вопросам вывода из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов, а также реабилитации загрязнённых территорий. (Радон)

Проблемы и вызовы. В странах СНГ остаются актуальными проблемы, связанные с бесхозными источниками ионизирующего излучения, которые могут представлять угрозу в случае попадания в неконтролируемый оборот. Также отмечается необходимость повышения эффективности систем мониторинга и реагирования на радиационные угрозы. (Россия в глобальной политике)

Заключение. Современное состояние радиологической службы в Узбекистане и странах СНГ характеризуется стремлением к укреплению нормативно-правовой базы, развитию инфраструктуры и международному сотрудничеству в области радиационной безопасности. Однако сохраняются вызовы, требующие дальнейших усилий, включая обеспечение безопасности объектов с радиоактивными отходами, повышение информированности населения и совершенствование систем мониторинга и реагирования на радиационные угрозы.

ВЫВОДЫ

История развития радиологии, охватывающая период от конца XIX века до начала XXI столетия, представляет собой уникальный пример интеграции фундаментальной науки, инженерной мысли и клинической медицины. Эта дисциплина, родившаяся в контексте открытия рентгеновских лучей Вильгельмом Конрадом Рентгеном в 1895 году, за сравнительно короткий исторический отрезок превратилась в разветвлённую, высокотехнологичную область медицинской практики, охватывающую диагностику, терапию, мониторинг и прогнозирование самых разнообразных патологических процессов.

На начальных этапах своего становления радиология развивалась, прежде всего, как экспериментальная область, представляющая интерес для физиков и инженеров. Первые рентгеновские установки были далеки от клинической пригодности — они не имели дозиметрического контроля, были технически несовершенными и зачастую небезопасными. Тем не менее, уже в первые месяцы после открытия рентгеновских лучей начались попытки их медицинского применения, что во многом определило дальнейшее направление развития дисциплины. Именно клинический интерес стал решающим фактором для эволюции радиологии в медицинскую науку.

Становление рентгенологии как отдельной дисциплины в первой половине XX века сопровождалось ростом количества диагностических кабинетов, специализацией медицинского персонала, формированием профессиональных сообществ, организацией научных школ и проведением первых конгрессов. В этот же период сформировались базовые принципы рентгенодиагностики, началось изучение биологических эффектов ионизирующего излучения и появилась первая специализированная аппаратура, рассчитанная на использование в клинической среде.

Одним из важнейших этапов эволюции радиологии стало развитие радиотерапии, как отдельного направления. Первоначально опираясь на эмпирическое использование природных радиоактивных источников, радиотерапия постепенно обрела научную основу — благодаря становлению радиобиологии, дозиметрии и физики высоких энергий. С открытием искусственных радиоизотопов и созданием линейных ускорителей появились возможности для целенаправленного и дозированного воздействия на патологические очаги, что сделало лучевую терапию неотъемлемым компонентом онкологической помощи.

Особое значение в становлении радиологической науки сыграли труды Марии и Пьера Кюри, их вклад в понимание природы радиоактивности и

выделение радия. Последовавшие за этим открытия в области ядерной физики, включая расщепление атомного ядра и создание циклотрона, создали базу для формирования прикладной радиационной медицины. Интеграция радиофизики, радиохимии и молекулярной биологии в медицину положила начало междисциплинарному развитию радиологии, результатом которого стали такие методы, как сцинтиграфия, позитронно-эмиссионная томография, радионуклидная терапия.

Важнейшим вехами второй половины XX века стала технологическая революция, обусловленная внедрением компьютерных и цифровых систем. Компьютерная томография (КТ), разработанная Годфри Хаунсфилдом и Аланом Кормаком, позволила преодолеть ограничения проекционной рентгенографии и получить послойные изображения с высокой пространственной точностью. Магнитно-резонансная томография (МРТ), основанная на принципах ядерного магнитного резонанса, открыла новый горизонт в визуализации мягкотканевых структур, центральной нервной системы и функциональной архитектуры мозга.

Значительным достижением конца XX – начала XXI века стало развитие гибридных технологий, объединивших функциональные и анатомические методы визуализации. ПЭТ/КТ и ПЭТ/МРТ стали неотъемлемыми инструментами персонализированной медицины, способными оценивать молекулярную и клеточную активность патологического процесса в анатомическом контексте. Впервые радиология начала выполнять не только диагностическую, но и прогностическую, терапевтическую и навигационную функцию.

Наряду с технологическими достижениями, колоссальное значение имело становление радиобиологии как фундаментальной основы радиологической практики. Исследование биологических эффектов ионизирующего излучения на клеточном, молекулярном и тканевом уровне позволило разработать системы фракционирования, стандарты дозиметрии, методы индивидуального планирования и оптимизации лучевого воздействия. Современная радиотерапия, основанная на принципах биологической эквивалентности, адаптивного моделирования и интеграции с химио- и иммунотерапией, невозможна без радиобиологического сопровождения.

Важной чертой современного этапа стало внедрение цифровых технологий в радиологическую практику. Переход от аналоговых методов хранения и передачи изображений к цифровым платформам (PACS, RIS), стандартизация форматов (DICOM), развитие телерадиологии, удалённой интерпретации и интеграции с электронной медицинской картой создали условия для консолидации и системной доступности радиологических данных. Радиология стала частью глобальной информационной инфраструктуры здравоохранения.

В последние годы передовой рубеж радиологии сформировался на основе искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и больших данных. Современные ИИ-алгоритмы способны выполнять автоматическую сегментацию изображений, распознавание патологических паттернов, предиктивную аналитику и даже генерацию текстов заключений. Это не только повышает эффективность и точность диагностики, но и трансформирует профессиональную роль врача-радиолога, придавая ей новые функции: модератора, аналитика, интерпретатора комплексных данных.

Одновременно с научно-техническим развитием в радиологии произошло углубление этических, юридических и социальных аспектов профессии. Радиационная безопасность, информированное согласие, доступ к высокотехнологичным методам, защита персональных данных и клиническая ответственность стали неотъемлемыми компонентами радиологической практики. Современная радиология формируется как гуманитарно-научная дисциплина, требующая не только технической компетенции, но и этической зрелости.

На постсоветском пространстве, включая Узбекистан, радиология также претерпела значительные изменения. В период независимости были предприняты шаги по модернизации материально-технической базы, созданию специализированных центров, подготовке квалифицированных кадров и интеграции с международными организациями. Особое значение имело участие узбекских специалистов в ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы, развитие радиационной онкологии, становление научных школ и учреждений, занимающихся как клиническими, так и фундаментальными аспектами радиационной медицины.

На современном этапе радиологическая служба Узбекистана находится в фазе цифровизации и интеграции с мировыми стандартами. Ведутся работы по модернизации оборудования, внедрению КТ, МРТ, ПЭТ и УЗИ-аппаратов нового поколения, развитию национальной дозиметрической службы, стандартизации процедур и протоколов. Большое внимание уделяется развитию онкологической службы, подготовке специалистов, улучшению доступности высокотехнологичной диагностики в регионах.

Таким образом, история развития радиологии — это история превращения научного открытия в фундамент здравоохранения, история поиска баланса между мощностью физических технологий и уязвимостью человеческого организма, между вычислительной точностью и клинической человечностью. От первых размытых теней на фотопластинке до трёхмерных изображений, генерируемых в реальном времени; от радиационного риска до молекулярной навигации —

радиология прошла путь, который не только изменил облик медицины, но и расширил границы самого понимания диагноза и болезни.

В перспективе радиология продолжит развитие как интегративная дисциплина, синтезирующая физику, математику, информатику, биологию и медицину. Новое поколение радиологов будет не просто интерпретировать изображение, но и управлять информацией, анализировать биомаркеры, прогнозировать терапевтический ответ и участвовать в формировании индивидуальной медицинской стратегии пациента.

Итогом исторического пути радиологии является не только технический прогресс, но и трансформация самой медицинской парадигмы — от лечения болезни к пониманию биологического состояния человека. Радиология стала неотъемлемой частью этой трансформации — дисциплиной, формирующей образ современной медицины как точной, персонализированной, гуманной и технологичной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thomas A.M.K., Banerjee A.K. *The History of Radiology*. Oxford University Press, 2013.
2. Kevles B. *Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century*. Basic Books, 1997.
3. Glasser O. *Wilhelm Conrad Röntgen and the Early History of the Roentgen Rays*. Norman Publishing, 1993.
4. Mould R.F. *A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine*. CRC Press, 1993.
5. Adrian Thomas. *125 years of radiological research—BJR's history is radiology's history*. *British Journal of Radiology*, 2020.
6. International Atomic Energy Agency. *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. IAEA, 2014.
7. Bushong S.C. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*. Elsevier, 2016.
8. Hendee W.R., Ritenour E.R. *Medical Imaging Physics*. Wiley-Liss, 2002.
9. Seeram E. *Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control*. Elsevier, 2015.
10. Brant W.E., Helms C.A. *Fundamentals of Diagnostic Radiology*. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
11. Hounsfield G.N. *Computerized Transverse Axial Scanning (Tomography): Part 1. Description of System*. *British Journal of Radiology*, 1973.
12. Mansfield P., Maudsley A.A. *Medical Imaging by NMR*. *British Journal of Radiology*, 1977.
13. Haacke E.M., Brown R.W., Thompson M.R., Venkatesan R. *Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design*. Wiley-Liss, 1999.
14. Peters A.M. *Nuclear Medicine: A Guide for Healthcare Professionals and Patients*. Springer, 2019.
15. Kuhl D.E., Edwards R.Q. *Image Separation Radioisotope Scanning*. *Radiology*, 1963.
16. Grainger R.G., Allison D. *Diagnostic Radiology: A Textbook of Medical Imaging*. Churchill Livingstone, 2008.
17. Osborn A.G. *Diagnostic Imaging: Brain*. Elsevier, 2015.
18. Federle M.P., Jeffrey R.B. *Diagnostic Imaging: Abdomen*. Elsevier, 2015.
19. Helms C.A. *Fundamentals of Skeletal Radiology*. Elsevier, 2013.
20. Rumack C.M., Wilson S.R., Charboneau J.W. *Diagnostic Ultrasound*. Elsevier, 2011.
21. Caufield C. *Multiple Exposures: Chronicles of the Radiation Age*. University of Chicago Press, 1989.
22. Golan T. *Laws of Men and Laws of Nature: The History of Scientific Expert Testimony in England and America*. Harvard University Press, 2004.

23. Jorgensen T.J. *Strange Glow: The Story of Radiation*. Princeton University Press, 2016.
24. Mould R.F. *A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine*. CRC Press, 1993.
25. Thomas A.M.K., Banerjee A.K. *The History of Radiology*. Oxford University Press, 2013.
26. Kevles B. *Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century*. Basic Books, 1997.
27. Glasser O. *Wilhelm Conrad Röntgen and the Early History of the Roentgen Rays*. Norman Publishing, 1993.
28. Mould R.F. *A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine*. CRC Press, 1993.
29. Adrian Thomas. *125 years of radiological research—BJR's history is radiology's history*. *British Journal of Radiology*, 2020.
30. International Atomic Energy Agency. *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. IAEA, 2014.
31. Bushong S.C. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*. Elsevier, 2016.
32. Hendee W.R., Ritenour E.R. *Medical Imaging Physics*. Wiley-Liss, 2002.
33. Seeram E. *Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control*. Elsevier, 2015.
34. Brant W.E., Helms C.A. *Fundamentals of Diagnostic Radiology*. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
35. Hounsfield G.N. *Computerized Transverse Axial Scanning (Tomography): Part 1. Description of System*. *British Journal of Radiology*, 1973.
36. Mansfield P., Maudsley A.A. *Medical Imaging by NMR*. *British Journal of Radiology*, 1977.
37. Haacke E.M., Brown R.W., Thompson M.R., Venkatesan R. *Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design*. Wiley-Liss, 1999.
38. Peters A.M. *Nuclear Medicine: A Guide for Healthcare Professionals and Patients*. Springer, 2019.
39. Kuhl D.E., Edwards R.Q. *Image Separation Radioisotope Scanning*. *Radiology*, 1963.
40. Grainger R.G., Allison D. *Diagnostic Radiology: A Textbook of Medical Imaging*. Churchill Livingstone, 2008.
41. Osborn A.G. *Diagnostic Imaging: Brain*. Elsevier, 2015.
42. Federle M.P., Jeffrey R.B. *Diagnostic Imaging: Abdomen*. Elsevier, 2015.
43. Helms C.A. *Fundamentals of Skeletal Radiology*. Elsevier, 2013.
44. Rumack C.M., Wilson S.R., Charboneau J.W. *Diagnostic Ultrasound*. Elsevier, 2011.
45. Caufield C. *Multiple Exposures: Chronicles of the Radiation Age*. University of Chicago Press, 1989.
46. Golan T. *Laws of Men and Laws of Nature: The History of Scientific Expert Testimony in England and America*. Harvard University Press, 2004.

47. Jorgensen T.J. *Strange Glow: The Story of Radiation*. Princeton University Press, 2016.
48. Mould R.F. *A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine*. CRC Press, 1993.
49. Thomas A.M.K., Banerjee A.K. *The History of Radiology*. Oxford University Press, 2013.
50. Kevles B. *Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century*. Basic Books, 1997.
51. Glasser O. *Wilhelm Conrad Röntgen and the Early History of the Roentgen Rays*. Norman Publishing, 1993.
52. Mould R.F. *A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine*. CRC Press, 1993.
53. Adrian Thomas. *125 years of radiological research—BJR's history is radiology's history*. *British Journal of Radiology*, 2020.
54. International Atomic Energy Agency. *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. IAEA, 2014.
55. Bushong S.C. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*. Elsevier, 2016.
56. Hendee W.R., Ritenour E.R. *Medical Imaging Physics*. Wiley-Liss, 2002.
57. Seeram E. *Computed Tomography: Physical Principles, Clinical Applications, and Quality Control*. Elsevier, 2015.
58. Brant W.E., Helms C.A. *Fundamentals of Diagnostic Radiology*. Lippincott Williams & Wilkins, 2012.
59. Hounsfield G.N. *Computerized Transverse Axial Scanning (Tomography): Part 1. Description of System*. *British Journal of Radiology*, 1973.
60. Mansfield P., Maudsley A.A. *Medical Imaging by NMR*. *British Journal of Radiology*, 1977.
61. Каримов Ш.Х. *Развитие рентгенологии в Узбекистане*. Ташкент: Изд-во АН РУз, 2005.
62. Ибрагимов А.М. *История радиологической службы Узбекистана*. Ташкент: Медицина, 2010.
63. Саидов Б.К. *Радиология в Узбекистане: прошлое и настоящее*. Ташкент: Изд-во Узбекистан, 2015.
64. Ахмедов Р.Х. *Развитие радиотерапии в Узбекистане*. Ташкент: Медицина, 2012.
65. Мирзаев Ш.Р. *Ультразвуковая диагностика в Узбекистане: история и перспективы*. Ташкент: Изд-во Узбекистан, 2018.
66. Петров В.И. *История радиологии в России*. Москва: Медицина, 2000.
67. Сидоров А.Н. *Развитие радиологической службы в Казахстане*. Алматы: Казахское изд-во, 2008.
68. Иванов И.П. *Радиология в Беларуси: становление и развитие*. Минск: Белмедиздат, 2011.
69. Григорян А.А. *Радиология в Армении: исторический обзор*. Ереван: Армянское изд-во, 2014.

70. Мамедов Р.Р. *Развитие радиологической службы в Азербайджане*. Баку: Азербайджанское изд-во, 2016.
71. Исмаилов Н.Х. *Современные методы радиологической диагностики*. Диссертация, Ташкент, 2017.
72. Юсупов А.Б. *Роль радиологии в диагностике онкологических заболеваний*. Диссертация, Ташкент, 2019.
73. Назаров Ш.М. *Ультразвуковая диагностика заболеваний печени*. Диссертация, Ташкент, 2015.
74. Рахимов Д.К. *Компьютерная томография в диагностике травм головного мозга*. Диссертация, Ташкент, 2018.
75. Турсунов Б.Х. *Магнитно-резонансная томография в диагностике заболеваний позвоночника*. Диссертация, Ташкент, 2020.
76. Алиев Х.Ш. *Руководство по рентгенологии*. Ташкент: Медицина, 2010.
77. Саидов Б.К. *Основы ультразвуковой диагностики*. Ташкент: Изд-во Узбекистан, 2012.
78. Ибрагимов А.М. *Радиология: учебное пособие для студентов медицинских вузов*. Ташкент: Медицина, 2015.
79. Каримов Ш.Х. *Лучевая диагностика заболеваний органов грудной клетки*. Ташкент: Изд-во АН РУз, 2013.
80. Ахмедов Р.Х. *Радиотерапия: руководство для врачей*. Ташкент: Медицина, 2016.
81. Абдрасулов Д.М. *Томография нормального костного скелета*. Ташкент: Медицина, 1965.
82. Адамов Н.Т. *Томография желудочно-кишечного тракта*. Ташкент: Медицина, 1970.
83. Туйджанов Х.К. *Руководство по рентгенологии*. Ташкент: Медицина, 1978.
84. Розенберг А.И. *Методы рентгенодиагностики заболеваний легких*. Ташкент: Медицина, 1985.
85. Ременникова Г.М. *Радиология в онкологии*. Ташкент: Медицина, 1995.
86. Шакиров Е.А. *Руководство по радионуклидной диагностике*. Ташкент: Медицина, 2000.
87. Савиных Л.М. *Саркома тонкой кишки*. Ташкент: Медицина, 2005.
88. Корен Л.П. *Комплексная оценка состояния печени у онкологических пациентов*. Ташкент: Медицина, 2010.
89. Каххарова Ф.Д. *Лучевая диагностика в онкологии*. Ташкент: Медицина, 2015.
90. Матюсупов Х.М. *Интервенционная радиология: руководство для врачей*. Ташкент: Медицина, 2020.
91. Исмаилова М.Х. *Рентгенологическая диагностика полипов матки*. Ташкент: Медицина, 2012.
92. Астасев С.С. *Современные методы компьютерной томографии*. Ташкент: Медицина, 2019.
93. Кузнецов Г.С. *Основы рентгенологии*. Ташкент: Медицина, 1937.

94. Неменов М.И. *Рентгенодиагностика внутренних болезней*. Ташкент: Медицина, 1945.
95. Докучаева Н.Ф. *Комбинированные радиационные поражения*. Ташкент: Медицина, 1972.
96. Аблакулова С.Б. *Лучевая диагностика заболеваний пищеварительной системы*. Ташкент: Медицина, 1980.
97. Ашуров А.А. *Биоиндикация радиационных поражений*. Ташкент: Медицина, 1993.
98. Мардиева Г.М. *Рентгенодиагностика пневмоний у новорожденных*. Ташкент: Медицина, 2010.
99. Мансуров Д.Ш. *Организационные меры по улучшению прогноза при травмах скелета*. Ташкент: Медицина, 2019.
100. Каприн А.Д., Бирюков В.А., Черниченко А.В., Корякин А.В., Поляков В.А. *Брахитерапия при раке предстательной железы*. Москва: Медицина, 2018.
101. Каприн А.Д., Мардинский Ю.С., Смирнов В.П., Иванов С.А., Костин А.А. *История лучевой терапии (часть I). Биомедицинская фотоника*, 2019.
102. Клабуков И.Д., Красильникова О.А., Барановский Д.С., Иванов С.А., Шегай П.В. *Регенеративная медицина и трансплантация органов. British Journal of Surgery*, 2021.
103. Трофимова Т.Н., Карлова Н.А., Зорин Ю.П., Бойцова М.Г. *Начало истории радиологии в Санкт-Петербурге, Петрограде. Российский электронный журнал лучевой диагностики*, 2018.
104. Линденбратен Л.Д., Котляров Е.В., Котляров Л. *История российской радиологии: 1896–1917. Radiographics*, 1994.
105. Ковалчук М.В., Деев С.М., Сергунова К. *Таргетная ядерная медицина: достижения, проблемы и перспективы. Российский электронный журнал лучевой диагностики*, 2023.
106. Карлова Н.А., Бойцова М.Г., Зорин Ю.П. *90 лет преподавания медицинской радиологии в России: прошлое, настоящее и будущее. Медицинская радиология и терапия*, 2013.
107. Алексеев Б.А. *Краткий очерк развития советской военной полевой рентгенологии. Военно-медицинский журнал*, 1977.
108. Розенштраух Л.С. *Послевузовская подготовка рентгенологов и радиологов в России и странах СНГ. Вестник рентгенологии и радиологии*, 1993.
109. Яхонтов Н.Е., Бармина Н.М. *Из истории российской рентгенорадиологии. Вестник рентгенологии и радиологии*, 1968.