



# НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС: ІСТОРІЯ ТА СУЧАСНІСТЬ

УДК 615.849

**А. В. КИПЕНСКИЙ**

## РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ

Кратко изложена история открытия немецким физиком В.К. Рентгеном электромагнитного излучения, получившего впоследствии название X-лучи или рентгеновское излучение, приведены основные его свойства. Рассмотрены и проанализированы основные методы медицинской рентгеновской диагностики, описаны области их применения, указаны основные достоинства и недостатки. Показано, что на современном этапе развитие медицинской диагностической аппаратуры осуществляется, в основном, за счет использования информационных (цифровых) технологий. Рассмотрены основные концепции применения рентгеновского излучения в лечебных целях и этапы развития рентгеновских терапевтических методов.

**Ключевые слова:** рентгеновское излучение, рентгеновская диагностика, рентгеновская терапия, лучевая нагрузка, рентгеновская медицинская аппаратура.

**А. В. КИПЕНСЬКИЙ**

## РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА ЛІКУВАННЯ

Коротко викладено історію відкриття німецьким фізиком В.К. Рентгеном електромагнітного випромінювання, що згодом дістало назву X-промені або рентгенівське випромінювання, наведено основні його властивості. Розглянуто і проаналізовано основні методи медичної рентгенівської діагностики, описано сфери їх застосування, вказано основні переваги і недоліки. Показано, що на сучасному етапі розвитку медичної діагностичної апаратури здійснюється, в основному, за рахунок використання інформаційних (цифрових) технологій. Розглянуто основні концепції застосування рентгенівського випромінювання з лікувальною метою та етапи розвитку рентгенівських терапевтичних методів.

**Ключові слова:** рентгенівське випромінювання, рентгенівська діагностика, рентгенівська терапія, променеве навантаження, рентгенівська медична апаратура.

**A. V. KIPENSKYI**

## X-RAY RADIATION FOR DIAGNOSIS AND TREATMENT

The history of the discovery of electromagnetic radiation, later called X-rays, by German physicist V.K. Röntgenare is stated. The main properties of X-rays are presented. The main methods of medical X-ray diagnostics are analyzed, the areas of their application are described, the main advantages and disadvantages are indicated. The paper shows that the development of medical diagnostic equipment is carried out at the present stage, mainly, by using information (digital) technologies. The main concepts of the application of X-ray radiation for medicinal purposes and the stages of the development of X-ray therapeutic methods are considered.

**Keywords:** X-ray radiation, X-ray diagnostics, X-ray therapy, radiation exposure, X-ray medical equipment.

**Введение.** Рентгеновское излучение (или X-лучи – название, предпочитаемое самим немецким физиком В. К. Рентгеном) представляет собой электромагнитное ионизирующее излучение, которое занимает спектральную область между гамма- и ультрафиолетовым излучением в пределах длин волн от  $10^{-4}$  до  $10^3$  Å. Рентгеновское излучение с длиной волны меньше  $2\text{Å}$  условно называют жестким, а больше  $2\text{Å}$  – мягким [1]. Сегодня рентгеновское излучение применяется в дефектоскопии, рентгеновском структурном анализе, рентгеновской топографии, рентгеновской микроскопии, рентгеновской спектроскопии, рентгеновском спектральном анализе, рентгеновской астрономии и в других областях науки и техники. Однако наиболее широкое распространение рентгеновское излучение получило в медицине для рентгеноди-

агностики и рентгенотерапии [2, 3].

Рентгенодиагностика (рентгенологическая диагностика) – это распознавание заболеваний различных органов и систем на основе данных рентгенологического исследования. Ежегодно в медицинских учреждениях проводятся миллионы таких исследований с еще большим количеством рентгенограмм, которые пока еще являются основным видом рентгеновского изображения. К сожалению, количество рентгенограмм низкого качества почти во всех странах мира настолько велико, что решение этой проблемы уже вошло в компетенцию Всемирной организации здравоохранения [4].

Рентгенотерапия – один из видов лучевой терапии, где в качестве воздействующего фактора используется коротковолновое (жесткое) рентгеновское из-

лучение. Применение метода основано на действии рентгеновского излучения, которое губительно действует на клетки, вызывая мутации, приводящие к их гибели. Однако если применять ионизирующее облучение локально, направляя луч только на очаг поражения, можно добиться определенных успехов. При этом клетки атипичные для человеческого тела погибают. К сожалению, гибнут и нормальные здоровые клетки, поэтому лечение таким методом сопровождается неприятными последствиями и осложнениями, однако в ряде случаев, например, при уничтожении раковых опухолей, целительный эффект заметно превышает тяжесть последствий [5].

**Цель работы** состоит в ретроспективном анализе основных этапов развития методов рентгеновской диагностики и терапии, а также в определении перспективных направлений развития рентгеновской техники.

**Открытие рентгеновских лучей и их основные свойства.** Днем рождения рентгеновской радиологии принято считать 8 ноября 1895 г. Вечером этого дня в баварском городе Вюрцбурге профессор местного университета Вильгельм Конрад Рентген, работая с катодной трубкой, случайно заметил свечение, исходящее от банки с кристаллами платиносинеродистого бария. Тогда он не мог даже предположить, что сделал открытие, которое впишет новую страницу в познание человечеством окружающей природы и найдет широчайшее практическое применение.



Вильгельм Конрад Рентген

Но предчувствие великого, охватило ученого. В тот вечер он не ушел из лаборатории и на ближайшие несколько недель стал ее добровольным узником. В короткий срок с помощью самодельных приборов и остроумных приемов, которые затем нашли применение и в других областях физики, Рентген настолько полно изучил новое излучение, что до 1908 г. к его данным не было добавлено ничего существенного. Большинство свойств рентгеновского излучения было описано самим Рентгеном в его первых трех работах в 1895–1898 гг. Им же были указаны те непосредственные практические приложения, которые это излучение

может иметь [6]. Вот основные из них.

**Сильная проникающая способность.** Все тела оказались прозрачными для рентгеновского излучения. Прозрачность различных тел различна и для одного и того же тела зависит от его толщины. Ни одно тело не является для рентгеновского излучения вполне прозрачным: часть энергии рентгеновского излучения при прохождении слоя тела любой толщины поглощается им, и поток излучения, прошедший через такой слой, будет обладать меньшей интенсивностью, чем падающий на этот слой. Благодаря этому свойству рентгеновское излучение нашло широкое применение в медицине при просвечивании пациентов для определения состояния их внутренних органов, излома костей, присутствия инородных тел, а также в промышленности при исследовании металлических отливок на наличие раковин и трещин, при исследовании сварных швов и т.д.

**Способность вызывать свечение некоторых тел.** Например, картон, покрытый цианистой солью бария и платины, светится под действием рентгеновского излучения желтовато-зеленым светом. Если между рентгеновской трубкой и таким экраном поместить какое-либо неоднородное тело, например руку, то кости руки задержат излучение сильнее, а мышцы – слабее. При этом на экране получится тень скелета кисти руки, поскольку в тех местах экрана, куда попадет излучение меньшей интенсивности, свечение будет слабее.

**Действие на фотографическую пластину.** Рентгеновское излучение подобно лучам видимого света вызывает ее почернение. Это свойство позволяет фотографировать ту теневую картину, которая получается при просвечивании исследуемых тел.

**Способность ионизировать газы.** Это свойство позволяет не только обнаруживать излучение, но и судить о его интенсивности, измеряя, например, ионизационный ток в газах.

**Физиологическое действие на живой организм.** Такое свойство нашло широкое применение в медицине при лечении кожных заболеваний и заболеваний внутренних органов. Это обстоятельство следует учитывать при работе с рентгеновским излучением, поскольку его продолжительное действие на организм чрезвычайно вредно.

Кроме того было установлено, что проникающая способность рентгеновского излучения зависит от длины его волны. Чем меньше длина волны, тем выше проникающая способность.

Легенда о случайном открытии рентгеновского излучения весьма живуча. Однако правильнее будет прислушаться к словам Луи Пастера, который сказал: «Случай выбирает подготовленный ум». До Рентгена многие работали с катодными лучами, замечали свечение некоторых веществ и другие его проявления. Но историческая заслуга Рентгена состояла в том, что он не прошел мимо случайно замеченного факта, как многие его коллеги, а подверг его всестороннему анализу и доискался до его причины. Поэтому и открытие рентгеновского излучения принадлежит именно ему. Кстати сказать, что «рентгеновским» излучение стали

называть в России по инициативе ученика В. К. Рентгена – Абрама Фёдоровича Иоффе выдающегося российского, а затем и советского физика.

**Методы рентгеновской диагностики.** Рентгеновский метод основан на качественном и/или количественном анализе пучка рентгеновского излучения, прошедшего через тело человека или некоторую его часть. Рентгеновское исследование позволяет без нарушения кожных покровов и без существенного вмешательства в функционирование организма изучать положение, форму, размеры, состояние поверхности и строение всех органов и систем человека и следить за их функцией в условиях, близких к физиологическим. При этом удается улавливать даже небольшие нарушения в морфологии и функции органов. Типичная рентгеновская диагностическая система состоит из рентгеновского излучателя, объекта исследования и приемника-преобразователя изображения.

Обычно принято выделять пять типов приемников, позволяющих получить рентгеновское изображение: рентгеновская пленка, полупроводниковая фотоувеличивающая пластина, флуоресцирующий экран, рентгеновский электронно-оптический преобразователь и дозиметрический счетчик. В зависимости от типа используемого приемника различают следующие методы рентгенологического исследования [2, 7].

**Рентгенография** – метод исследования, при котором изображение объекта получают на рентгеновской пленке путем ее непосредственного облучения рентгеновским излучением.

Первый рентгеновский снимок в России был сделан в 1896 г., а уже в 1918 г. начала функционировать первая рентгенологическая клиника. Рентгенографию стали использовать для диагностики большего числа заболеваний. Активно начала развиваться рентгенография легких. В 1921 году в Петрограде был открыт первый рентген стоматологический кабинет. Начались исследования, направленные на создание и совершенствование рентгеновских аппаратов. Правительством были выделены средства на развертывание производства рентгеновского оборудования в России. Все это способствовало выходу рентгенологии и производства оборудования на мировой уровень.

В настоящее время рентгенография остается основным методом диагностики поражений костно-суставной системы. Важную роль играет при обследовании легких, особенно в качестве скринингового метода.

На рентгенограммах можно получить изображение любой части тела. Некоторые органы хорошо различимы на снимках благодаря условиям естественной контрастности (кости, сердце, легкие). Для получения четкого изображения бронхов, сосудов, желчных протоков, желудка, кишечника и некоторых других органов применяют искусственное контрастирование. Суть искусственного контрастирования состоит во введении в организм пациента рентгеноконтрастных препаратов. Контрастирование может быть инвазивным, когда контрастное вещество вводится в полость организма (внутримышечно, внутривенно, внутриартериально) с повреждением кожного покрова, слизи-

стых оболочек, или неинвазивным, когда контрастное вещество глотается или нетравматично вводится по другим естественным путям. В любом случае рентгенологическое изображение формируется из светлых и темных участков.

Метод рентгенографии получил широкое распространение во всех лечебных учреждениях, он прост и необременителен для пациента. При правильном выборе технических условий на снимке отображаются мелкие анатомические детали. Рентгенограмма является документом, который может храниться продолжительное время, использоваться для сопоставления с другими рентгенограммами и предъявляться для обсуждения неограниченному числу специалистов.

Показания к рентгенографии очень широки, но в каждом конкретном случае ее применение должно быть обосновано, поскольку применение рентгеновского исследования сопряжено с лучевой нагрузкой. Относительными противопоказаниями являются крайне тяжелое или сильно возбужденное состояние пациента, а также его острые состояния, требующие экстренной хирургической помощи.

**Электрорентгенография** это метод получения рентгеновского изображения на полупроводниковых пластинах с последующим их переносом на бумагу. В общем случае в электрорентгенографическом методе можно выделить несколько основных этапов:

- зарядка металлической пластины, покрытой селеновым полупроводниковым слоем;
- экспонирование, в ходе которого под действием рентгеновского излучения сопротивление полупроводникового слоя уменьшается, а на пластине формируется скрытое электростатическое изображение;
- проявление изображения, состоящее в напылении на пластину тонера;
- перенос и фиксация изображения осуществляется с помощью коронного разряда, под действием которого тонер переносится с пластины на писчую бумагу.

Разработанная в СССР технология производства селеновых пластин и электрорентгенографических аппаратов создали условия для широкой апробации этого метода.

Электрорентгенографическое изображение отличается от пленочного двумя главными особенностями. Во-первых, на электрорентгенограмме хорошо отображаются как плотные образования, так и мягкие ткани. Во-вторых, на электрорентгенограмме наблюдается феномен подчеркивания контуров.

Именно поэтому впервые в мировой практике электрорентгенография была применена в диагностике заболеваний сердечно-сосудистой системы, органов дыхания, желудочно-кишечного тракта, почек и мочевыводящих путей и т. д.

Положительными сторонами электрорентгенографии являются:

- экономичность за счет использования обычной бумаги и многократного использования полупроводниковой пластины (1 м<sup>2</sup> селеновых пластин заменяет 3000 м<sup>2</sup> рентгеновской пленки, т.е. около 50 кг чистого серебра и 100 кг фотографической желатины);

- небольшие временные интервалы получения изображений (до 3 мин);
- «сухой» характер получения изображения;
- более простое сохранение электрорентгенограмм.

К недостаткам метода может быть отнесена более низкая чувствительность, что требует увеличения продолжительности экспозиции и, соответственно, приводит к увеличению лучевой нагрузки. Однако последующее совершенствование технологии получения снимков при сниженной лучевой нагрузке позволило с 1968 г. начать применение электрорентгенографии в педиатрии.

**Рентгеноскопия (рентгеновское просвечивание)** является методом рентгенологического исследования, при котором изображение объекта получают на светящемся (флюорисцентном) экране. Обычно такой экран выполняется из пластины картона или лавсана, на которую нанесен равномерный слой, чаще всего, цинк-кадмий-сульфидного рентгенолюминофора, активированного серебром. Под влиянием рентгеновского излучения люминофор начинает светиться. Интенсивность свечения в каждой точке экрана пропорциональна интенсивности рентгеновского излучения. Со стороны врача экран покрыт свинцовым стеклом, снижающим уровень излучения до естественного фона.

У рентгеноскопии много достоинств. Она легко выполняется, общедоступна и экономична. Рентгеноскопия позволяет изучать перемещение органов при изменении положения тела, сокращения и расслабления сердца и пульсацию сосудов, дыхательные движения диафрагмы, перистальтику желудка и кишок. Каждый орган можно исследовать в разных проекциях, со всех сторон. Однако у обычной рентгеноскопии есть и слабые стороны. Она связана с более высокой лучевой нагрузкой, требует затемнения помещения и тщательной темновой адаптации врача. Кроме того, после нее не остается документа (снимка), который мог бы храниться для последующего рассмотрения. Но самый главный недостаток состоит в том, что на экране для просвечивания не удастся различить мелкие детали.

Все отмеченные недостатки обычной рентгеноскопии могут быть в определенной степени устранены, если в рентгенодиагностическую систему ввести усилитель рентгеновского изображения (УРИ). Такой усилитель повышает яркость свечения экрана до 200 раз.

**Рентгентелевизионное просвечивание** – современный вид рентгеноскопии. Здесь УРИ используется с рентгеновским электронно-оптическим преобразователем и замкнутая телевизионная система. При этом яркость изображения удастся повысить в несколько тысяч раз.

Рентгентелевизионное просвечивание не требует темновой адаптации врача. Лучевая нагрузка на обслуживающий персонал и пациента при нем значительно ниже, чем при обычной рентгеноскопии. На экране становятся заметны те детали, которые при обычной рентгеноскопии не заметны. По телеви-

зионному тракту рентгеновское изображение может быть передано на значительные расстояния. Телевизионная техника может обеспечивать запись всех этапов исследования.

С помощью оптических элементов рентгеновское изображение может быть введено в кинокамеру. Такой вид исследования называется **рентгенокинематографией**. Полученные при этом снимки носят названия фоторентгенограмм или УРИ-флюорограмм. Они более экономичны чем обычные рентгенограммы. При их выполнении пациент испытывает меньшую лучевую нагрузку. Возможна скоростная съемка – до 6 кадров в секунду.

**Флюорография** – метод рентгеновского исследования, заключающийся в фотографировании изображения с рентгеновского флюорисцентного экрана (аналогично рентгеноскопии) или экрана электронно-оптического преобразователя на фотопленку небольшого формата. При другом способе флюорографии фотосъемку производят на пленки большого формата прямо с экрана электронно-оптического преобразователя. Этот способ называют **УРИ-флюорографией**. На флюорограммах детали изображения фиксируются лучше, чем при рентгеноскопии или рентгентелевизионном просвечивании.

Первый в мире эксперимент по массовой флюорографии был проведен бразильским врачом Манолом Абреу в 1937 г. Новый метод рентгеновского исследования при минимальных расходах позволил выявить всех больных туберкулезом лёгких в Рио-де-Жанейро и прекратить эпидемию. Опыт Абреу немедленно переняли во всём мире. Однако всемирная слава пришла к Абреу только после окончания второй мировой войны. Он трижды выдвигался на Нобелевскую премию, едва успевал с одной международной конференции на другую. К сожалению, Бразилия так и не освоила выпуск собственного флюорографического оборудования, продолжая импортировать его из США, Германии и Великобритании.

Основное назначение флюорографии – массовые проверочные рентгенологические исследования, главным образом для скрыто протекающих поражений лёгких. Такую флюорографию называют проверочной или профилактической. В нашей стране она является способом отбора из популяции лиц с подозрением на заболевание, а также способом диспансерного наблюдения за людьми с неактивными или остаточными туберкулезными изменениями в лёгких.

Важными достоинствами флюорографии являются:

- возможность обследования большого числа лиц в течение небольшого временного интервала;
- экономичность;
- удобство хранения флюорограмм;
- возможность сопоставления флюорограмм очередного обследования с флюорограммами предыдущих лет, что позволяет выявлять минимальные изменения в органах (**ретроспективный анализ флюорограмм**).

**Рентгеновская диагностическая техника.** Классическая рентгеновская техника развивалась в

основном в направлении улучшения качества излучателей (трубок), а также средств отображения и регистрации информации. В силу того, что рентгеновские и фотопленки не могли существенно менять параметры своей чувствительности, происходило определенное торможение и в развитии новых видов рентгенодиагностики.

Однако последние 30 лет внесли существенные изменения в медицинскую технику и методы рентгенологии. Можно утверждать, что в ее истории не было периодов, сравнимых с настоящим по интенсивности развития. Причиной таких изменений стало использование информационных (цифровых) технологий. Общий принцип получения изображения во всех цифровых системах одинаков. Каждое такое изображение формируется из множества отдельных точек. При этом каждой точке в соответствие ставится двоичный код числа, пропорционального интенсивности ее свечения (ее «серости»).

Существующие системы цифровой рентгенографии и те, что находятся на стадии разработки, делятся по принципу детектирования рентгеновского излучения на несколько основных видов [8].

**Цифровая флюороскопия и рентгенография с экрана электронно-оптических преобразователей.** Самая распространенная технология это цифровая флюороскопия и рентгенография, которая реализуется методом оцифровки электронного изображения. Эта технология начала использоваться раньше других и, по данным изготовителей, в мире насчитывается приблизительно 10000 установок такого типа (из них в Европе порядка 2500). В цифровой системе сигнал, который получают с видеокамеры, аналого-цифровым преобразователем трансформируется в набор цифровых данных и передается в накопительное устройство. Потом компьютер преобразует эти данные в видимое изображение. Различительная способность указанной технологии ограничивается линией пропускания телевизионной системы, применяемой в УРИ. Другим недостатком таких систем является маленький размер рабочего поля УРИ.

**Цифровая люминесцентная рентгенография на запоминающих устройствах.** Принцип действия аппаратуры, реализующей этот метод, основан на фиксации рентгеновского снимка экраном, покрытым специальным веществом. При съемке происходит запоминание информации люминофором в виде скрытого изображения. Оно способно сохраняться до 6 часов. Пластины приемника рентгеновского изображения после облучения последовательно, точка за точкой, сканируются специальным неоновым лазером, который стимулирует люминофор, а световой пучок, возникающий в процессе лазерного сканирования, трансформируется в цифровой сигнал. Интенсивность светового пучка, как и у обычных экранов, пропорциональна числу X-фотонов, поглощенных запоминающим люминофором. Скрытое изображение, которое осталось на экране, стирается интенсивным засвечиванием видимым светом, после чего экран можно многократно использовать далее. Люминесцентные пластины-накопители выпускаются в стандартных

форматах, что позволяет их размещать в обычных рентгенодиагностических аппаратах. Этим способом можно получить достаточно контрастные изображения даже при снижении экспозиционной дозы, нижней границей которой является уровень квантового шума. При этом обеспечивается емкость изображения до 8 бит/пиксель с пространственно различительной способностью от 2,5 пар линий на мм (при размере пикселя 0,2 мм) до 5–6 пар линий на мм (при 0,1 мм).

**Цифровая полупроводимая рентгенография.** Считается, что качество цифрового изображения можно существенно повысить, применяя метод прямой регистрации рентгеновских лучей электронным детектором, который работает вместе с компьютером. Цифровая полупроводниковая рентгенография включает несколько видов:

- цифровую селеновую рентгенографию;
- цифровую рентгенографию на основе полноформатной матрицы;
- цифровую рентгенографию на основе линейки детекторов.

**Селеновая рентгенография.** Основной частью такого прибора служит детектор в виде барабана, покрытого слоем аморфного селена. Под действием рентгеновских лучей на поверхности селенового покрытия возникает электрический заряд, размер которого зависит от энергии облучения. Дальше с помощью специальных преобразователей происходит считывание сигнала и формирование цифровой матрицы изображения. Селеновую рентгенографию пока используют только в системах для рентгенографии грудной клетки.

**Цифровая рентгенография на основе полноформатной матрицы.** Детектор матрицы состоит из специального скинтилляционного экрана, соединённого с фотодиодным полем с помощью оптоволоконка. Регистрация рентгеновского излучения происходит за счёт его конверсии скинтилляционным покрытием в видимый свет. Уникальной особенностью матрицы является быстрое считывание информации – до 30 изображений в секунду, что обеспечивает её применение в рентгенографии и флюороскопии. Из недостатков следует упомянуть низкую радиационную стойкость матрицы, а также сложность обеспечения равномерного порога регистрации квантов на всей ее поверхности.

**Цифровая рентгенография на основе линейки детекторов.** Трудности создания полноформатной матрицы с прямым детектированием рентгеновского излучения, которая бы отвечала всем требованиям в рентгенологии, удалось преодолеть при появлении детекторов, которые работают по принципу сканирования. Такие детекторы размещены в виде линейки и представляют собою счётчики, которые измеряют интенсивность квантов. Сканирование осуществляется с помощью одновременного перемещения рентгеновского излучателя, коллиматора и детектора в вертикальной плоскости. При этом исследуемая область сканируется плоским лучеподобным рентгеновским пучком. В ряде приборов сканирование осуществляется за счёт перемещения излучателя, коллиматора и детектора в задан-

ном секторе. Лучи, которые проходят сквозь тело пациента, попадают на входное окно детектора. После обработки информации со всех рядов и кадров формируется цифровое изображение, которое отображает интенсивность рентгеновского излучения после прохождения сквозь ткани пациента. Недостатком можно считать большую продолжительность сканирования, которая составляет 5–10 секунд.

**Цифровая рентгенография на основе многопроводной пропорциональной камеры.** Данная сканирующая система отличается от описанных выше детектором, который является многопроводной пропорциональной камерой, заполненной смесью газов (ксенон и углекислый газ). Между многоэлектродным анодом и катодом прикладывается высокое напряжение. Под действием рентгеновского излучения происходит ионизация газа в камере. Образовавшиеся ионы сообщают каждому проводнику анода дополнительный заряд, значение которого дальше оценивается в режиме прямого подсчета квантов. Камера улавливает сигналы, которые минимально превышает порог чувствительности усилителя-дискриминатора, благодаря чему фоновое облучение не фиксируется, а полезный сигнал увеличивается в тысячи раз пропорционально степени ионизации. Эти особенности выгодно отличают пропорциональную камеру от других детекторов, позволяет максимально уменьшить дозу радиации, необходимую для получения рентгеновского изображения, и обеспечить его наибольшим динамическим диапазоном.

**Цифровая рентгенография на основе ПЗС-матриц.** Основными требованиями, которые предъявляются сегодня к цифровым скрининговым рентгенографическим системам, являются высокая диагностическая ценность получаемых изображений и минимальная дозовая нагрузка на пациента. Для обеспечения этих требований в современных системах используют фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ПЗС) [9]. Принцип действия таких диагностических систем состоит в следующем. При выполнении снимка рентгеновское излучение, пройдя через исследуемый объект, поступает на рентгенолюминесцентный экран, где преобразуется в видимое изображение. С помощью объектива оптическое излучение теневого изображения объекта фокусируется на фоточувствительную поверхность ПЗС-матрицы, в элементах которой свет преобразуется в зарядовые пакеты. Величина накопленного заряда пропорциональна освещенности элемента. Потенциальный рельеф, несущий информацию о теновом рентгеновском изображении объекта исследования, считывается из ПЗС-матрицы, преобразуется в цифровые сигналы, поступает в системный блок персонального компьютера и выводится на экран его монитора. В нашей стране рентгенодиагностическая аппаратура с приемниками рентгеновского изображения на основе ПЗС-матриц выпускается фирмой «Рдмир» (г. Харьков) и Группа компаний «Телеоптик» (г. Киев).

К достоинствам цифровой рентгенографии можно отнести:

- высокое качество рентгеновского изображения,

возможность его цифровой обработки с целью выявления важных деталей;

- возможность снизить лучевую нагрузку;
- простота и скорость получения изображения, которое становится доступно для анализа сразу после окончания экспозиции;

– хранение информации в оцифрованном виде дает возможность создавать легкодоступные и мобильные рентгеновские архивы, передавать информацию на любые расстояния по компьютерной сети;

- более низкая стоимость цифровой рентгенографии, а так же ее экологическая безопасность по сравнению с традиционной: исключается необходимость в дорогостоящей пленке и реактивах, в оснащении фотолаборатории и «ядовитом» процессе проявки пленок;

– более быстрое получение результатов дает возможность повысить пропускную способность рентгенкабинетов,

- высокое качество снимков с возможностью их резервного копирования исключает необходимость в повторных процедурах с дополнительным облучением пациента.

**Рентгеновская терапия.** Известный популяризатор медицины, австрийский врач, публицист и общественный деятель Гуго Глязер (1881–1976) писал: «Медицина слагается из науки и искусства, а над ними простирается покров героизма». Это определение в полной мере соответствует *лучевой терапии*. Эта клиническая дисциплина прошла славный исторический путь от первых попыток лечения кожных болезней рентгеновским излучением в 1896 г., до всемирно признанного метода лечения больных, страдающих злокачественными опухолями и некоторыми неопухлеватыми заболеваниями [2].

На первом этапе развития лучевой терапии применение рентгеновского излучения основывалось на эмпирических данных. Метод использовался в основном для лечения кожных заболеваний и грибковых поражений. Ради справедливости следует отметить, что для решения задач лучевой терапии использовалось не только рентгеновское излучение, но и препараты радия – радиоактивного химического элемента.

В 1906 г. приват-доцент Клиники кожных болезней Московского университета Д.Ф. Решетилло выпустил одно из первых в мире руководств по лучевой терапии «Лечение лучами Рентгена с предварительным изложением рентгенологии и рентгенодиагностики». Первый этап развития лучевой терапии был ограничен отсутствием возможности оказывать воздействие на глубоко расположенные органы и ткани, поскольку кожа поглощала значительную часть излучения низкой энергии. Вскоре технический прогресс в области рентгенотехники позволил справиться с этой задачей.

Второй этап развития лучевой терапии начался после того, когда концепцией лечения стала идея массивного однократного облучения опухоли. Эта идея получила особое признание в Германии и США. Лечение больных занимались в основном хирурги и гинекологи, которые свою задачу видели главным

образом в уничтожении опухоли путем однократного подведения к ней большой дозы ионизирующего излучения. Имевшее при этом место радикальное изменение структуры ткани опухоли напоминало скорее лучевую хирургию, чем терапию.

Многочисленные клинические исследования показали, что под влиянием рентгеновского излучения опухоль уменьшается в результате некроза ее чувствительных элементов. Поэтому в те годы стремились с помощью технических средств получить как можно большую дозу облучения в течение минимального временного интервала. Однако сильное повреждение соседних с опухолью тканей, тяжелая интоксикация организма и расстройство кровообращения в облученной части приводили к тяжелым осложнениям, а иногда и к смерти пациентов. Все это ограничивало верхние пределы дозы облучения.

Начало третьего этапа развития лучевой терапии принято относить к появлению концепции французского радиолога Клода Рего. Он и его сотрудники в своих исследованиях пытались добиться избирательного разрушения опухоли с минимальным повреждением окружающих тканей. В экспериментах, начатых в 1919 г., было показано, что повторные облучения при сравнительно небольших дозах оказываются значительно эффективнее высокоэнергетических однократных воздействий. В 1922 г. на Международном конгрессе оториноларингологов К. Рено представил результаты лечения 6 пациентов с раком горла, у которых были получены отличные результаты при лучевой терапии. После этого стало ясно, что лучевая терапия это самостоятельное направление в медицине, которым должны заниматься специалисты с соответствующим уровнем знаний, в том числе, и в области техники, и в области радиобиологии.

На смену третьему этапу, для которого было характерно проведение лечения в условиях тщательного клинического наблюдения, но без твердого заранее составленного плана, закономерно пришел четвертый этап развития лучевой терапии. В основу этого этапа группа английских физиков и радиологов положила четкий дозиметрический контроль и предельно возможную точность в наведении излучения на пораженную область. Были разработаны методики определения распределения излучений разной энергии в тканях человеческого тела. При этом возникла необходимость в точном определении размеров и положения опухоли и скрупулезный расчет дозы облучения. Можно сказать, что на этом этапе эмпирическим знаниям и опыту пришел на смену точный расчет и более совершенные технические средства, которые были разработаны в тесном сотрудничестве лучевых терапевтов и физиков.

В настоящее время лучевая терапия переживает пятый этап своего развития. Этот этап характеризуется кооперацией специалистов разных профилей, сочетанием физико-диагностических, технических, клинических и радиобиологических подходов к лечению каждого пациента.

Для проведения процедур лучевой терапии применяют специальные аппараты с рентгеновскими из-

лучателями. По взаимному расположению с пациентом различают аппараты дальнедистанционные – для дистанционного облучения внутренних органов, ближнедистанционные – для облучения кожных покровов и расположенных в непосредственной близости от них тканей, внутрисполостные – для контактного облучения внутренних органов посредством введения излучателя в полость организма [7].

**Выводы.** Рентгеновское излучение, в силу своих ионизирующих свойств, как и многие другие физические факторы, применяемые в медицине, может быть опасно для человека. Однако при правильном подходе эффект от полученной диагностической информации или результаты терапевтического вмешательства могут в значительной степени превышать тяжесть последствий облучения.

Усилия современных разработчиков рентгенодиагностической аппаратуры направлены на повышение диагностической значимости получаемых изображений при максимально возможном снижении дозы облучения, которая определяется с учетом интенсивности излучения и продолжительности облучения.

Лечебная деятельность, связанная с источниками ионизирующего излучения, требует от медицинского персонала сочетания высокого профессионализма и ответственного отношения к своей работе.

Обращение с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений должно соответствовать понятию «культура безопасности». Суть культуры безопасности состоит в гарантированном обеспечении безопасности пациентов и окружающей среды.

#### Список литературы

1. *Физический энциклопедический словарь* / Гл. ред. А. М. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1983. 928 с.
2. Линденбратен Л. Д., Королук И. П. Медицинская радиология и рентгенология (Основы лучевой диагностики и терапии): Учебник. М.: Медицина, 1993. 560 с.
3. Огурцов А. П., Бойко В. И., Смоляк В. А. *Медицинская техника рентгенологии и радиологии*: Учеб. пособие. Киев: НМЦ МОН, 2003. 613 с.
4. Яковец В.В. *Руководство для рентгенолаборантов*. СПб: Гиппократ, 1993. 352 с.
5. *Рентгенотерапия: механизм воздействия, назначение и результативность*. URL: <http://gidmed.com/dermatologiya/lechenie-derm/sposoby/rentgenoterapiya.html> (дата обращения 28.02.2018).
6. Хараджа Ф.Н. *Общий курс рентгентехники*. Москва: Гос. изд. оборонпрома, 1940. 416 с.
7. Чикирдин Э.Г., Мишкинис А.Б. *Техническая энциклопедия рентгенолога*. Москва: МНПИ, 1996. 437 с.
8. Цифровая рентгенология. Методы получения изображения и преимущества перед традиционными технологиями. URL: <http://www.kvant.ua/ru/articles/13.html> (дата обращения 28.02.2018).
9. Кипенский А.В., Хоменко Е.В., Литвиненко С.В. и др. Структура и математическая модель канала распространения и регистрации рентгеновского излучения. *Сб. науч. тр. Международной конф. «Проблемы биомедицинской инженерии. Наука и технологии»*. Харьков: АН ППЭ, ХНУРЭ, 2017. С. 61–66.

#### References (transliterated)

1. *Fizicheskij jenciklopedicheskij slovar'* [Physical encyclopedic dictionary] / Ed. A. M. Prokhorov. Moscow, Soviet Encyclopedia, 1983. 928 p.
2. Lindenbraten L.D., Korolyuk I.P. *Medicinskaja radiologija i rentgenologija (Osnovy luchevoj diagnostiki i terapii)* [Medical Radiology

- and Radiology (Fundamentals of Radiation Diagnosis and Therapy): A Textbook. Moscow, Medicine, 1993. 560 p.
3. Ogurtsov A.P., Boyko V.I., Smolyak V.A. *Medicinskaja tehnika rentgenologii i radiologii* [Medical technology of roentgenology and radiology]: A Textbook. Kyiv, NMC MOH, 2003. 613 p.
  4. Yakovets V.V. *Rukovodstvo dlja rentgenolaborantov* [Manual for X-ray labs]. St. Petersburg, Hippocrates, 1993. 352 p.
  5. *Rentgenoterapija: mekhanizm vozdeystviya, naznachenie i rezul'tativnost'* [X-ray therapy: mechanism of influence, purpose and effectiveness]. Available at: <http://gidmed.com/dermatologiya/lechenie-derm/sposoby/rentgenoterapiya.html> (accessed 28.02.2018).
  6. Kharadzha F.N. *Obshchij kurs rentgenotekhniki* [The general course of X-ray engineering]. Moscow, Gos. Oboronprom Publ., 1940. 416 p.
  7. Chikirdin E.G., Mishkinis A.B. *Tekhnicheskaya entsiklopediya rentgenologa* [Technical encyclopaedia of radiologist]. Moscow, MNPI, 1996. 437 p.
  8. *Tsifrovaya rentgenologiya. Metody polucheniya izobrazheniya i preimushchestva pered traditsionnymi tekhnologiyami* [Digital radiology. Methods for obtaining images and advantages over traditional technologies]. Available at: <http://www.kvant.ua/ru/articles/13.html> (accessed 28.02.2018).
  9. Kipenskiy A.V., Khomenko E.V., Litvinenko S.V. i et al. *Struktura i matematicheskaya model' kanala rasprostraneniya i registratsii rentgenovskogo izlucheniya* [The structure and mathematical model of the distribution and record channel of the X-ray radiation]. *Sb. nauch. tr. Mezhdunarodnoy konf. "Problemy biomedizhenerii. Nauka i tekhnologii"* [Proc. of the Int. Conf. "Problems of biomedics, science and technology"]. Kharkiv, AN PRE, NURE, 2017, pp. 61–66.

Поступила (received) 07.03.2018

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Кіпенський Андрій Володимирович (Кипенский Андрей Владимирович, Kipenskiy Andrii Volodymyrovych)** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», декан факультету соціально-гуманітарних технологій та професор кафедри промислової і біомедичної електроніки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4589-092X>; e-mail: kavkpi@ukr.net