

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1	
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	7
1.1. Методы медицинской визуализации.....	7
1.2. Основные характеристики изображений.....	11
1.3. Краткие сведения из истории медицинской визуализации...	13
Глава 2	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РЕНТГЕНОВСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	17
2.1. Физические основы рентгеновской визуализации.....	17
2.2. Методы получения рентгеновских изображений.....	23
2.3. Рентгеновские трубы.....	26
2.4. Характеристики рентгеновских трубок.....	29
2.5. Источники электропитания рентгеновских трубок.....	34
2.6. Рентгеновские излучатели.....	38
2.7. Устройства формирования пучка рентгеновского излучения.....	40
2.8. Рентгеновские отсеивающие решетки.....	43
2.9. Приемники-регистраторы рентгеновских изображений....	45
2.10. Детекторы рентгеновского излучения.....	57
2.11. Аналоговые приемники-преобразователи рентгеновских изображений.....	64
2.12. Аналого-цифровые приемники-преобразователи и технологии преобразования рентгеновских изображений...	71
2.13. Цифровые приемники-преобразователи рентгеновских изображений.....	78
2.14. Рентгеновские диагностические аппараты.....	91
2.15. Технические средства получения объемных рентгеновских изображений...	92
2.16. Рентгеновская томография.....	102
2.17. Рентгеновская компьютерная томография.....	106
Глава 3	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАДИОНУКЛИДНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....	135
3.1. Физические основы радионуклидной визуализации.....	135
3.2. Гамма-топография.....	138
3.3. Однофотонные эмиссионные компьютерные томографы	146
3.4. Позитронная эмиссионная томография.....	150
3.5. Комбинированные томографические системы.....	156
Глава 4	
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЯДЕРНО-МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ.....	158

4.1. Физические основы ядерно-магнитно-резонансной томографии.....	158
4.2. Технические средства магнитно-резонансной томографии..	183
4.3. Получение магнитно-резонансных изображений.....	196
4.4. Методики выполнения измерений, используемые для получения изображений в магнитно-резонансной томографии.....	205
<b>Глава 5</b>	
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....</b>	<b>217</b>
5.1. Физические основы ультразвуковой визуализации.....	217
5.2. Ультразвуковые преобразователи и датчики.....	228
5.3. Формирование эхограмм. Импульсный ультразвуковой сигнал и эхограмма .....	239
5.4. Ультразвуковые сканеры.....	257
5.5. Ультразвуковая допплеровская эхография. Методы ультразвуковой допплеровской эхографии.....	260
5.6. Ультразвуковые диагностические аппараты.....	275
<b>Глава 6</b>	
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТЕПЛОВОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ.....</b>	<b>279</b>
6.1. Физические основы тепловой визуализации.....	279
6.2. Общие сведения о тепловизорах.....	283
6.3. Многодетекторные приёмники ИК-излучения.....	285
6.4. Оптическая система и охлаждающие устройства тепловизоров.....	292
6.5. Структурная схема и технические характеристики матричных тепловизоров.....	297
<b>Глава 7</b>	
<b>ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МЕДИЦИНСКОЙ ЭНДОСКОПИИ.....</b>	<b>301</b>
7.1. Общие сведения о медицинской эндоскопии.....	301
7.2. Жёсткие эндоскопы.....	302
7.3. Гибкие эндоскопы.....	306
7.4. Видеоэндоскопы.....	311
7.5. Источники света эндоскопов.....	312
7.6. Капсульные эндоскопы.....	314
<b>Заключение.....</b>	<b>317</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>318</b>
<b>ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>321</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время средства медицинской визуализации (*лат. visualis* – зрительный), наряду со средствами биомедицинской аналитической техники и функциональной диагностики, являются основой получения объективной информации о состоянии и функционировании самой сложной из известных современному естествознанию систем, какой является организм человека.

Нормальная работа организма человека во многом определяется формой, взаимным расположением и структурой внутренних органов, в которых протекают важнейшие физиологические процессы. Вплоть до конца XIX в. врачи использовали косвенные проявления для формирования заключения о патологических состояниях внутренних органов. После открытия в 1895 г. (первая публикация об открытии появилась 05.01.1896 г.) рентгеновских лучей (см. ниже) впервые появилась возможность получения изображений внутренних органов. Тем самым было положено начало важнейшему направлению диагностики – **медицинской визуализации**.

В настоящее время диагноз множества заболеваний базируется на результатах, получаемых с помощью многочисленных современных средств медицинской визуализации, в работе которых используются новейшие достижения науки и техники.

Современные тенденции развития медицинской визуализации характеризуются постоянным совершенствованием существующих средств, разработкой новых методов и средств визуализации, а также широким использованием микропроцессоров и компьютеров.

В медицинских учреждениях нашей страны в эксплуатации находится большое число сложных средств медицинской визуализации. Причем сложность этих средств непрерывно возрастает. Это требует совершенствования подготовки инженерных кадров, специализирующихся в области эксплуатации и ремонта медицинской техники, в том числе и техники медицинской визуализации. При этом необходимо отметить, что выпуск учебной литературы по медицинской технике центральными издательствами страны сейчас весьма ограничен.

Предлагаемое читателю учебное пособие охватывает один из важнейших разделов медицинской техники – медицинскую визуализацию. В нем излагаются физические основы работы и описываются схемы, отдельные важные узлы и элементы современных средств медицинской визуализации, приводятся их технические характеристики и рассматриваются информационные возможности.

В основу учебного пособия положен курс лекций, читаемых автором в Тверском государственном техническом университете студентам, обучающимся по направлению «Биомедицинские системы и технологии».

Учебное пособие охватывает разделы дисциплин: «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий», «Биотехнические системы медицинского назначения», «Узлы и элементы биотехнических систем», «Средства съема диагностической информации и подведение лечебных воздействий», связанные с медицинской визуализацией.

Материал пособия изложен с учетом физико-математической подготовки студентов, а также предварительного изучения курсов метрологии, электроники и микропроцессорной техники.

Автор считает своим долгом выразить благодарность рецензентам за труд по рецензированию рукописи книги и сделанные при этом полезные замечания, аспирантам и студентам факультета информационных технологий за помощь в подготовке рукописи к изданию.

## Глава 1

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕДИЦИНСКОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

#### 1.1. Методы медицинской визуализации

*Визуализация* – представление физических явлений, процессов, полей и тому подобного в форме, удобной для зрительного восприятия.

В науке понятие «визуализация» используется уже с XIX в. для получения информации о форме полей (достаточно вспомнить школьные опыты по наблюдению магнитных силовых линий), потоков жидкостей и газов, для обнаружения оптических неоднородностей в прозрачных средах, дефектов поверхностей, распределений температуры и т.п.

*Медицинская визуализация* – создание изображения внутренних структур (органов и тканей) тела человека, доступного для зрительного восприятия. Медицинская визуализация является в настоящее время одним из важнейших разделов медицинской диагностики. Часто вместо понятия «медицинская визуализация» используются понятия «лучевая диагностика» и «интроскопия» (*лат. intro* – внутри + *греч. скроец* – смотрю). Эти термины, как это станет понятно из последующего изложения, являются более узкими и не охватывают всего многообразия современных методов медицинской визуализации.

*Метод медицинской визуализации* – совокупность приемов использования некоторого физического явления и соответствующих технических средств, обеспечивающая получение изображения внутренних структур тела человека.

Термин «изображение» имеет несколько различных понятий. Для медицинской визуализации полезными являются следующие:

1) *изображение* – объект, образ, явление, в той или иной степени подобное (но не идентичное) изображаемому;

2) *изображение* – это отображение пространственной структуры одного объекта (оригинала) в пространственной структуре другого объекта (носителя, регистрирующей среды).

Используемые в медицинской визуализации изображения в большинстве случаев являются двумерными. С математической точки зрения *двумерное изображение* – это видимое поле, представляющее собой некоторую *функцию распределения яркости* или *цвета* на двумерной плоскости  $f(x,y)$ , где  $x$  и  $y$  – декартовы координаты плоскости изображения.

Двумерные изображения могут быть подвижными и сформированными в различном спектральном диапазоне видимого излучения. Такие изображения формально описываются

соответствующими функциями  $f(x,y,t)$  и  $f(x,y,\Delta\lambda)$  или  $f(x,y,\Delta\lambda,t)$ , где  $t$  – время,  $\Delta\lambda$  – диапазон длин волн. В настоящее время получают все большее распространение трехмерные изображения (статические, подвижные, сформированные в различных спектральных диапазонах видимого излучения), описываемые функцией  $f(x,y,z,t,\Delta\lambda)$ , где  $z$  – третья координата. Трехмерное изображение, как правило, формируется из двумерных при рассмотрении последних с помощью специальных технических средств.

Современная медицинская визуализация основывается на использовании электромагнитных излучений практически всех известных длин волн (рис. 1.1), а также ультразвука.

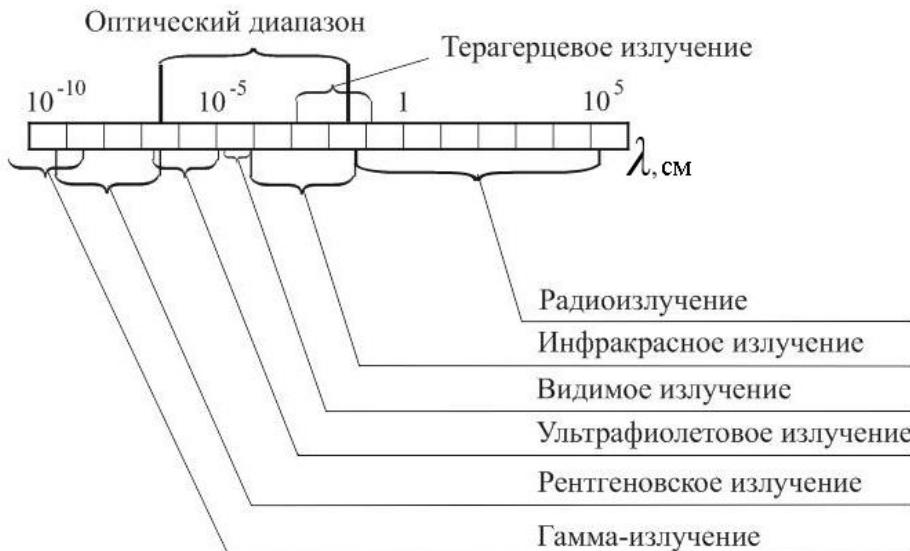


Рис. 1.1. Спектр электромагнитных излучений

Наиболее распространенными являются рентгеновские, ультразвуковые, ядерно-магнитно-резонансные и радионуклидные методы и средства медицинской визуализации. Сведения об использовании названных средств медицинской визуализации в нашей стране, опубликованные в журнале «Медицинская техника» в 2006 г., приведены в табл. 1.1.

Визуализация осуществляется по схемам, приведенным на рис. 1.2. **Рентгеновская визуализация** основывается на эффекте поглощения рентгеновского излучения структурами тела человека при облучении его потоком рентгеновских лучей (рис. 1.2а). Прошедшее через объект исследования излучение, представляющее собой тень этого объекта в рентгеновских лучах, преобразуется системой визуализации в видимое

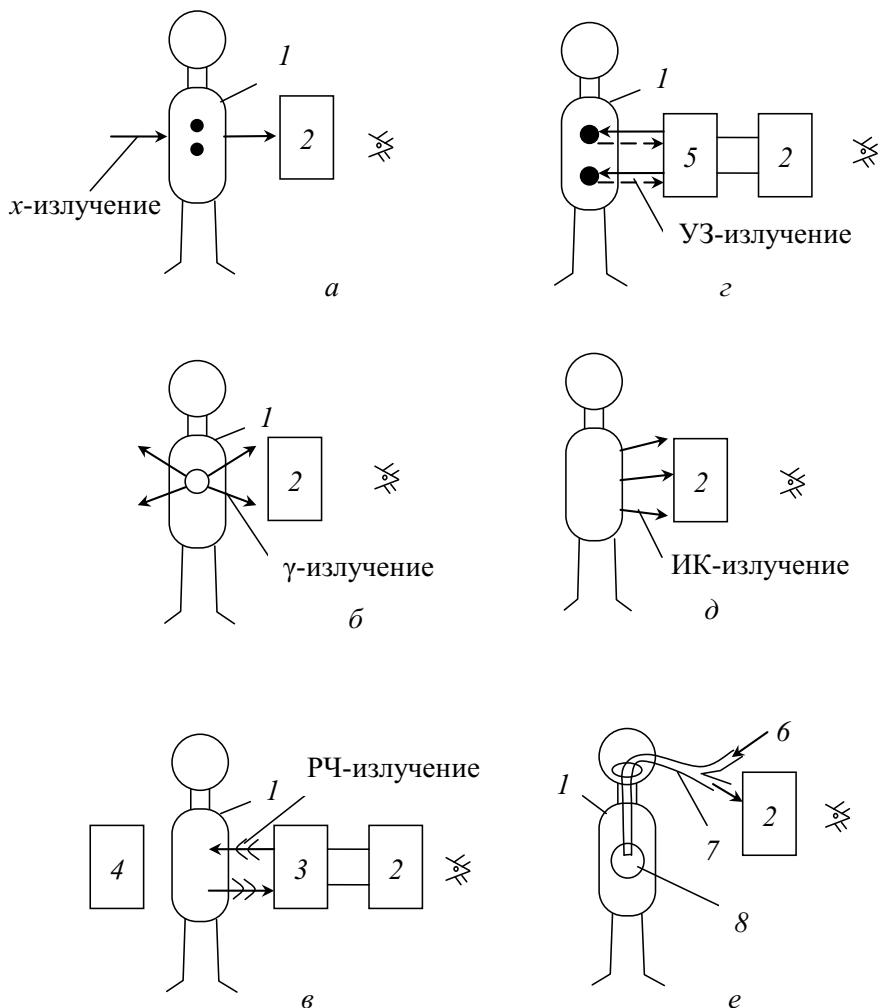


Рис. 1.2. Схемы медицинской визуализации:

1 – объект исследования; 2 – система визуализации; 3 – источник-приемник радиочастотного излучения; 4 – постоянный магнит; 5 – источник-приемник ультразвукового излучения; 6 – поток света; 7 – поток света, несущий информацию об изображении; 8 – исследуемый внутренний орган;  $x$ -излучение (рентгеновское); ИК – инфракрасное, РЧ – радиочастотное, УЗ – ультразвуковое излучение

Таблица 1.1

Сведения об использовании средств медицинской визуализации

№	Средства медицинской визуализации	Доля, %
1	Рентгенографические	70
2	Рентгеноскопические	3
3	Рентгеновские компьютерные томографические ( <i>греч. tomos – слой + grahō – пишу</i> )	8
4	Радионуклидные	2
5	Ядерно-магнитно-резонансные томографические	6
6	Ультразвуковые	11

изображение на рентгеночувствительном материале (регистрирующая среда) или экране монитора.

Получаемое при этом изображение несет информацию о распределении плотности вещества в исследуемом фрагменте организма.

Эффект поглощения излучений видимого диапазона с использованием схемы, показанной на рис. 1.2а, применяется при решении ряда частных задач медицинских исследований.

**Радионуклидная (радиоизотопная, эмиссионная) визуализация** основана на использовании радиоактивных веществ – радионуклидов, которые предварительно вводятся в исследуемый орган человека (рис. 1.2б), а возникающее при распаде радионуклидов  $\gamma$ -излучение воспринимается системой визуализации и преобразуется в видимое изображение, которое несет информацию о распределении радионуклида в исследуемом органе.

**Ядерно-магнитно-резонансная (магнитно-резонансная) визуализация (радиовидение)** основана на резонансе ядер атомов водорода, содержащихся в организме человека, который наблюдается в сильном постоянном магнитном поле при облучении этих атомов радиочастотным электромагнитным излучением. После прекращения этого облучения (рис. 1.2в) ядра водорода создают «ответный» радиочастотный сигнал, несущий информацию об их количестве и других характеристиках биологических тканей. Явление ядерного магнитного резонанса используется в основном для получения томограмм.

**Ультразвуковая визуализация (звуковидение)** основана на эхолокации, т.е. на отражении (см. рис. 1.2г) упругих колебаний ультразвуковой частоты, посыпаемых к исследуемому органу человека с помощью генератора этих колебаний, отражении от его внутренних структур и преобразовании отраженных ультразвуковых колебаний с помощью системы визуализации в видимое изображение, которое несет информацию о конфигурации внутренней структуры исследуемой части организма.

Кроме приведенных в табл. 1.1 средств медицинской визуализации, находят применение средства визуализации, использующие инфракрасное

излучение (ИК-излучение) и оптические средства визуализации, обеспечивающие осмотр исследуемых органов, недоступных прямому наблюдению, к которым относят: приборы для визуальных исследований полостных органов человека – эндоскопы (*греч. endo* – внутри + *skopeō* – смотрю), приборы для исследования глазного дна и др.

Визуализация, основанная на использовании собственного ИК-излучения тела человека, которую называют **тепловидением**, реализуется путем измерений интенсивности ИК-излучений с помощью специальных преобразователей (см. рис. 1.2д), по совокупности сигналов которых система визуализации формирует видимое изображение, несущее информацию о распределении температуры по поверхности исследуемой части тела.

**Оптическая визуализация** полостных органов, осуществляемая эндоскопами (см. рис. 1.2е), реализуется путем введения в исследуемую полость специального зонда, содержащего два оптоволоконных световода, по одному из которых, служащему для освещения, посыпается поток видимого излучения в исследуемую полость, а через другой наблюдается непосредственно через систему визуализации видимое изображение с помощью окуляра или на экране монитора.

## 1.2. Основные характеристики изображений

В медицинской визуализации используются аналоговые и цифровые двумерные изображения.

**Аналоговое изображение** – информация об объекте исследований, сформированная на пленке, бумаге, флюоресцентном экране и тому подобном (регистрирующая среда) совокупностью точек, степень плотности которых зависит от свойств этой среды.

**Цифровое изображение** – двумерная матрица, состоящая из строк и столбцов элементов – пикселей (pixel, picture element – элемент картины), сформированная на экране монитора или представленная в печатном виде на пленке или бумаге. В медицинской визуализации в большинстве случаев используются черно-белые изображения.

Для определения качества двумерных изображений принято использовать ряд характеристик, наиболее важные из которых приведены ниже.

**Размер** определяется геометрическими параметрами (шириной и высотой) изображения, выраженным в единицах длины или пикселях (для цифровых изображений).

**Яркость** ( $L$ ) – отношение силы света  $I$  элемента поверхности к площади его проекции, перпендикулярной рассматриваемому направлению (сила света характеризуется свечением источника видимого излучения в некотором направлении). Сила света измеряется в канделях [кд], яркость – в канделях на квадратный метр [ $\text{кд}/\text{м}^2$ ].

**Контраст** (фр. – *contraste*), или **контрастность**, – отношение яркостей самой светлой  $L_{\max}$  и самой темной  $L_{\min}$  точек регистрирующей среды или экранного устройства отображения информации:

$$K = \frac{L_{\max}}{L_{\min}}.$$

**Контрастная чувствительность** – минимальное различие (разность) яркостей двух соседних областей изображения. Обычно выражается в процентах от яркости одной из этих областей.

**Динамический диапазон** – диапазон яркостей, которые могут быть одновременно зафиксированы без искажений на носителе (фотопленке, фотопластинке, фотобумаге) или отражены на экране монитора. Часто определяется как отношение максимальной яркости к минимальной, принимаемой равной уровню шума (уровень шума определяет содержание паразитных шумов в сигнале устройства или изображении на носителе).

**Пространственное разрешение (пространственная разрешающая способность)** – максимальное количество черных полос, разделенных равными по ширине промежутками, на единице длины, которые еще различимы на изображении. Разрешающая способность измеряется числом линий на 1 мм – [лин/мм], при этом под линией подразумевается сумма ширины черной полосы и ширины промежутка – [пл/мм] (пара линий обозначается как пл.).

Часто используется понятие **пространственная частота**, т.е. частота, заданная не как функция времени, а как функция длины. Пространственная частота имеет размерность [1/мм].

Пространственное разрешение определяет точность воспроизведения размеров и формы мелких деталей, которые являются важнейшими признаками распознавания тонких структур исследуемого объекта.

**Яркостное разрешение** – количество уровней яркости, которое может принимать отдельный элемент изображения.

**Резкость** – ширина полосы переходной области при яркостном переходе от черного к белому. Чем эта полоса шире, тем резкость хуже. Резкостью определяется воспроизведение острых краев исследуемого объекта. Вместо понятия «резкость» также используется понятие «**нерезкость**».

**Отношение сигнал / шум (ОСШ)** – безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума. Обычно ОСШ определяется в логарифмических единицах – децибелах (дБ). Чем больше ОСШ, тем меньше шум влияет на характеристику изображения или устройства.

**Инерционность** (для изображений, формируемых на экранных устройствах) – способность отображать детали изображения, изменяющиеся во времени. Инерционностью определяются искажения изображения, которые проявляются в виде размытости движущихся

деталей изображения, а именно за этими деталями возникает след, контраст мелких деталей уменьшается, а границы крупных деталей становятся нерезкими.

Приведенными выше характеристиками оценивается качество как аналоговых, так и цифровых изображений. Кроме этого, для цифровых изображений используется ряд других характеристик. В частности, размер изображения часто оценивается числом пикселей по горизонтали и по вертикали, а предельная разрешающая способность определяется одной парой линий на пиксель. Характеристики, приведенные выше, используются для оценки качества изображений, получаемых практически всеми методами визуализации. Кроме этого, в некоторых методах визуализации качество изображения определяется еще дополнительными характеристиками.

### **1.3. Краткие сведения из истории медицинской визуализации**

Развитие медицинской визуализации неразрывно связано с развитием физики. Подробный обзор этого развития приводится в многочисленных литературных источниках. Достаточно полные сведения о развитии методов и средств медицинской визуализации изложены в первом томе фундаментальной монографии «Физика визуализации изображений в медицине» (под ред. С. Уэбба. М.: Мир, 1991. 408 с.).

Ниже приводятся только наиболее важные этапы этого развития.

Начало медицинской визуализации было положено открытием неизвестного ранее вида электромагнитного излучения (х-лучей), впоследствии названного рентгеновским. Это открытие было сделано немецким физиком В.К. Рентгеном в ноябре 1895 г. Им была получена и первая рентгенограмма – изображение руки своей жены на фотопленке, образовавшееся после просвечивания рентгеновскими лучами и проявления. Это продемонстрировало возможность использования невидимого излучения для создания видимых изображений. Приоритет открытия был установлен по дате подачи материалов в печать (28 декабря 1895 г.) и дате публикации (5 января 1896 г.). В.К. Рентген считал, что это открытие принадлежит всему человечеству и отказался от подписания каких-либо коммерческих контрактов. В 1901 г. открытие Рентгена было отмечено первой Нобелевской премией по физике.

На протяжении более 70 лет рентгеновская визуализация (рентгенография и рентгеноскопия) являлась основой получения информации о внутреннем строении тела человека. Такой она практически остается и в настоящее время (см. табл. 1.1). Однако в 1972 г. произошло событие, которое по значимости принято сравнивать с открытием рентгена.

В 1972 г. на ежегодной конференции Британского института радиологии английский ученый Г. Хаунсфилд сделал доклад о новом

методе рентгеновских исследований – рентгеновской компьютерной томографии. После этого Г. Хаунсфилдом с соавторами был опубликован ряд основополагающих работ, подтверждающих значимость сделанного открытия. В 1979 г. Г. Хаунсфилду и А. Кормаку, который еще в 1963 г. выполнил лабораторные эксперименты по компьютерной томографии, была присуждена Нобелевская премия в области физиологии и медицины.

Приоритет создания рентгеновской компьютерной томографии оспаривается еще целым рядом ученых, но здесь следует указать на публикации советских ученых С.И. Тетельбаума, Б.И. Коренблюма и А.А. Тютина, сделанные в 1956–1958 гг., в которых описана экспериментальная томографическая установка, приведены полученные рентгеновские изображения тонких слоев исследуемого объекта и дано математическое описание процедур получения изображения.

Начало эры современной радионуклидной визуализации обычно связывают с началом в 1946 г. производства радиоактивных изотопов, используемых для создания радиофармпрепаратов, вводимых в организм пациента, а также с поточечной регистрацией (1948) изображений щитовидной железы, выполненной с помощью счетчика Гейгера. В последующем для этой цели использовались сцинтилляционные приемники гамма-излучения и созданные на их основе гамма-камеры. Исследования и разработки в данной области визуализации позволили в 1951 г. сформулировать принципы радионуклидной томографии. В настоящее время эти принципы являются основой однофотонной и двуфотонной (позитронной) эмиссионной компьютерной томографии.

Честь открытия явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР) принадлежит американским физикам Ф. Блоху и Э. Пурселлу, которые сделали это открытие независимо друг от друга в 1946 г., хотя этому открытию предшествовали близкие по сущности работы других ученых.

В 1952 г. за открытие явления ЯМР Ф. Блох и Э. Пурселл получили Нобелевскую премию.

Использование явления ЯМР для визуализации началось значительно позднее. Приоритет разработки в этой области оспаривают ученые многих стран.

Хронология разработок по ЯМР-визуализации подробно описана в монографии П.А. Ринк «Магнитный резонанс в медицине» (М.: ГЭОТАР-мед, 2003. 256 с.).

В 1959 г. лейтенант советской армии В.А. Иванов подал заявку на изобретение «Способ исследования внутреннего строения материальных объектов» (приоритет от 21.03.1960), которая была отклонена. Госкомизобретений СССР признал изобретение В.А. Иванова нереализуемым и отказал в выдаче авторского свидетельства. В этой же заявке было приведено описание микротомографа, основанного на явлении

ЯМР. Авторское свидетельство по этой заявке было выдано только в 1984 г. с приоритетом от 21.03.1960 г. В 1960 г. американский ученый Р. Дамадъян обнаружил, что злокачественные ткани отличаются от нормальных по параметрам ЯМР-сигнала. В 1972 г. Р. Дамадъян запатентовал прибор для выявления раковых тканей, который представлял собой прообраз ЯМР-томографа. В этом же году американский ученый П. Лаутербур получил изображение двух капилляров, частично заполненных водой, а в 1973 г. этот результат был опубликован в журнале «Nature». В 1973 г. П. Мэнсфилд (Великобритания) получил ЯМР-изображение твердых тканей. В 1973 г. Р. Эрнест (Швейцария) предложил метод фазочастотного кодирования пространства и использования двумерных преобразований Фурье (основной современный метод ЯМР-томографии) для получения изображений. Он создал импульсный ЯМР-томограф и в 1991 г. был удостоен Нобелевской премии по химии.

В 1977 г. Р. Дамадъян создал первый ЯМР-томограф со сверхпроводящим магнитом.

В 2003 г. П. Лаутербуру и П. Мэнсфилду была присуждена Нобелевская премия за создание ЯМР-томографии. Это решение Нобелевского комитета до сих пор оспаривает Р. Дамадъян.

В основе ультразвуковой визуализации, звуковидения, или сонографии (*лат. sonorus* – звучание + *греч. graphó* – пишу), лежит использование высокочастотных акустических колебаний (частотой более 20 кГц), которые называются ультразвуком. Эти колебания были открыты в конце XVIII в. итальянским натуралистом Ладзарро Спалланциани в наблюдениях за ориентировкой в пространстве летучих мышей.

В 1880 г. Братья Пьер и Жак Кюри при исследовании кристаллов кварца открыли прямой и обратный пьезоэлектрический (*греч. piezo* – давлю) эффекты, которые в настоящее время являются основой современной ультразвуковой визуализации.

Практическое применение ультразвука связано с разработками ряда ученых: П. Ланжевена (Франция), К. Чиловского (Россия), Э. Бэма (Австрия), Л. Ричардсона (Великобритания), Р. Фессенденса (США) и др., которые практически в одно и то же время предложили гидролокаторы, основанные на эхо-импульсном методе исследования, для обнаружения айсбергов и подводных лодок.

Впоследствии эхо-импульсный метод нашел широкое применение в контроле элементов конструкций, трубопроводов, рельсов и сварных швов и получили название «ультразвуковая дефектоскопия».

Первым, кто использовал ультразвук для получения изображений (1929), был советский физик-акустик С.Я. Соколов. Им же был создан первый акустооптический преобразователь, так называемый ультразвуковой видикон.

Пионерами применения ультразвука в медицинской визуализации считаются братья К. и Ф. Дуссики (США), которые в 1937 г. использовали ультразвуковое колебание для сканирования человеческого мозга. Хотя впоследствии было установлено, что полученные при этом изображения отражали лишь разницу толщин костей черепа, однако начало было положено. Интенсивные основополагающие исследования в области ультразвуковой медицинской визуализации были выполнены учеными разных стран мира в 50–70-х гг. прошлого века. Результатом этих исследований являются современные методы и технические средства ультразвуковой визуализации, обеспечивающие получение высококачественных изображений различных структур и органов человека.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)