

Учебная литература  
для студентов медицинских вузов

*Л. Д. Линденбратен, И. П. Королук*

# МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ

(основы лучевой диагностики  
и лучевой терапии)

**Издание второе, переработанное и дополненное**

Рекомендовано Управлением научных и образовательных  
медицинских учреждений Министерства здравоохранения  
Российской Федерации в качестве учебника для студентов  
медицинских вузов



Москва  
"Медицина"  
2000

*by Shtrumpel*

УДК 615.849.1+616-073.75] (075.8)

ББК 53.6

Л59

**Линденбратен Л.Д., Королук И.П.**

**Л59** Медицинская радиология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии): Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Медицина, 2000.— 672 с: ил. (Учеб. лит. Для студентов мед. вузов).

**ISBN 5-225-04403-4**

Во втором издании учебника (первое вышло в 1993 г.) изложены основы лучевой диагностики и лучевой терапии повреждений и заболеваний органов и систем человека, а также информатики и вычислительной техники применительно к задачам медицинской радиологии. Представлены материалы по рентгенологической, ультразвуковой, радионуклидной и термографической диагностике в области кардиологии, пульмонологии, гастроэнтерологии, неврологии, нефрологии, остеопатологии, стоматологии, акушерства и гинекологии, а также сведения о компьютерной и магнитно-резонансной интроскопии и эндоваскулярной рентгенологической хирургии.

ББК 53.6

© Издательство «Медицина», 1993

© Л.Д. Линденбратен,

И.П.Королук, 2000

**ISBN 5-225-04403-4**

*Все права авторов защищены. Ни одна часть этого издания не может быть занесена в память компьютера либо воспроизведена любым способом без предварительного письменного разрешения издателя.*

"DO UT DES"

"Даю, чтобы ты дал"

*"Ах, если бы можно было сделать тело человека прозрачным, как хрусталь!"*

**'Медицинские сказки' (1885 г. - за 10 лет до открытия В.Рентгена)**



## ОТ АВТОРОВ

### *Уважаемый читатель!*

Признаемся сразу, что трудно найти главные слова в разговоре с новым поколением медиков. Ведь у каждого поколения — свое. Когда Н.И. Пиров, будущий знаменитый хирург, поступал на медицинский факультет Московского университета, при входе в клинику в стену был вделан крест с надписью по-латыни: «Per crucem ad lucem» («Через религию — к просвещению»). У одного из авторов этой книги в 1940 г. была казарма военного-морского медицинского училища и песня: «Если завтра война...», а у вас — глубокие социально-экономические преобразования общества, телевизионные сериалы, Интернет. Однако есть что-то **главное**, объединяющее различные поколения врачей!

Борис Васильев в повести о своей жизни создал трогательный образ доктора Янсена, который всю жизнь шагал по бедным домам окраинного района Смоленска. Когда он умер, у открытого фоба стоял инвалид-красноармеец Родион Петров, размахивал единственной рукой и прощался «от народа» с доктором Янсеном, а под серым небом на мокрой глинистой почве по всему кладбищу стояли на коленях дети, женщины и мужчины, молясь за доктора Янсена. Может быть, главное — **гуманность и доброта?** «Я не знаю иных признаков превосходства, кроме доброты!» — писал раздираемый своим талантом и своими недугами Бетховен.

...На поле Ватерлоо разгоралась битва между армией Наполеона и войсками союзников. Командующий этими войсками фельдмаршал Веллингтон с холма Сен-Жан наблюдал за боем. Сквозь постепенно расходящийся туман он увидел, что среди разрывов ядер по полю медленно движется пожилой человек с повязкой и оказывает помощь раненым. «Кто этот смельчак?» — воскликнул главнокомандующий. «Это главный хирург Бонапарта Ларей», — ответили ему. Веллингтон приказал отвести в сторону огонь орудий, снял шляпу и поклонился. Стоявший рядом герцог Кембриджский спросил его, кому он кланяется. «Я преклоняюсь перед честью и мужеством!» — ответил Веллингтон. Так, может быть, главное — **честь и мужество?** Недаром гласит народная пословица: «Береги честь смолоду».

Одним из героев, о которых предполагал написать Л.Н. Толстой, был московский врач Илларион Иванович Дуброво, который высосал у больного дифтерийный яд и умер. Другой молодой врач, будущий академик С.И. Спасокукоцкий, отсасывая дифтерийную пленку из горла ребенка, заразился сам и заразил своего единственного сына, который вследствие осложнения потерял слух. 6 мая 1961 г. А.А. Шаткин заразил себя лабораторной культурой возбудителя трахомы, доказав тем самым, что она патогенна для человека. В 1929 г. немецкий врач Вернер Форсман вопреки запрету начальства ввел себе а локтевую вену мочеточниковый катетер и под контролем рентгеновского просвечивания продвинул его по венам в сердце и впрыснул через этот катетер контрастное вещество — он мечтал разработать рентгенологический метод исследования полостей сердца. И добился успеха! Может быть, главное — **ежедневный подвиг, чувство долга, обнаженная совесть?**

Почему мы вспоминаем эти примеры? Ведь мы представляем самую вооруженную медицинскую дисциплину — радиологию. У нас великолепные

рентгеновские установки - с телевизионными экранами и видеоманитофонами со скоростной съемкой и компьютерными устройствами. Гамма-камеры и эмиссионные томографы позволяют следить за судьбой отдельных молекул различных препаратов и веществ, странствующих по организму. Похоже на сказку, не правда ли? В распоряжении радиологов мощные источники излучения вплоть до аппаратов, тонкий луч которых превосходит луч гиперболоида инженера Гарина и способен уничтожить маленькую опухоль в глубине мозга, не повреждая окружающие ткани.

Да потому вспоминаем, что за всем удивительным техническим оснащением современной медицины должно быть главное, о котором великий врач средневековья Парацельс сказал: «**Сила врача - в его сердце**». Именно это делает человека врачом. Именно поэтому А.М. Горький называл врачей «маленькими великими людьми». Именно поэтому Поль де Крюи, написавший прекрасную книгу «Охотники за микробами», утверждал: «Медицина — это любовь, иначе она ничего не стоит».

И пусть вас не удивляет наше вступление. Этот учебник — не для терапевтов, не для радиологов, не для хирургов, не для стоматологов, а для будущего **врача**. Значит, он должен быть шире и глубже одной специальности, должен касаться врача любого профиля.

И вот эта книга — учебник нового типа — перед вами. Авторы поставили перед собой честолюбивую и почти неосуществимую задачу: добиться, чтобы каждый читатель (подумайте только: каждый!) полюбил эту книгу (подумайте только: учебник!), сделал ее на какое-то время своим помощником, а затем сохранил о ней добрую память. И не потому, что книга легка для восприятия. Нет! Перед Вами трудный учебник. Он труден для авторов, так как он первый в своем роде. Такого учебника для студентов еще никто не создавал. Он труден для преподавателей, которым придется отказаться от многих привычных понятий и представлений и стать на путь перестройки учебного процесса по радиологии. И, наконец, он труден для читателя, поскольку требует вдумчивости, настойчивости, сообразительности. А впрочем, стоит ли учиться иначе?

В чем же особенности учебника? Прежде всего — в новизне содержания. Оно отражает величественные и стремительные достижения научно-технического прогресса. В книге немало сведений, которые сегодня неизвестны даже квалифицированным врачам, но завтра станут буднями медицинской практики. Впервые в учебнике с позиций системного подхода описаны все методы лучевой диагностики и кратко изложены основы лучевой терапии, т.е. клиническая радиология представлена в едином комплексе. Впервые в учебник по радиологии введены сведения по медицинской информатике, без которых невозможно использовать новые технические средства и анализировать выдаваемую ими диагностическую информацию.

В распоряжении современного врача имеется большой набор лучевых, инструментальных и лабораторных методов обследования больного. Их рациональное использование во многих типовых клинических ситуациях обеспечивает быстрое и точное распознавание болезни. Однако непременным условием является продуманный выбор необходимых методов и рациональная последовательность их применения, поэтому в учебнике широко представлены ветвящиеся диагностические программы, т.е. рекомендации относительно **тактики** комплексного лучевого обследования больных с наи-

более часто встречающимися и опасными заболеваниями и клиническими синдромами.

Другой особенностью учебника является его гуманитарная и эмоциональная направленность. Мы не можем одобрить обучение любой медицинской профессии вне связи с высокими нравственными идеалами, вне атмосферы новых идей и, пожалуй, доброго юмора. «К большинству серьезных своих достижений человечество пришло под спасительным прикрытием шутки», — писал Герберт Уэллс. Читатель, конечно, почувствует и то, что авторы неравнодушны к истории. «История, в том числе древнейшая, — не давно прошедшее вчера, но важнейшее звено живой связи времен...» (А.С. Пушкин). Отголоском этих вещей слов кажется нам стихотворение В. Шефнера:

*Распадаясь на микрочастицы,  
Жизнь минувшая не умерла.  
И когда-то умершие птицы  
Пролетают сквозь наши тела.  
Мир пронизан минувшим. Он вечен.  
С каждым днем он богаче стократ.  
В нем живут наши давние встречи  
И погасшие звезды горят.*

Однако, может быть, еще более примечательна другая особенность книги. В нее включены учебные материалы двух типов. Во-первых, рассмотрены выходящие за пределы программы типового курса проблемы лучевой диагностики. Эти сведения нужны при изучении клинических дисциплин на старших курсах, в интернатуре и клинической ординатуре. Во-вторых, выделен текст, отражающий самые важные положения курса, без знания которых первичный этап обучения основам радиологии нельзя считать завершенным.

Уважаемый читатель! Вам, таким образом, предоставлено право выбора. «В сущности, почти чудо, что современные методы обучения еще не совсем удушили святую любознательность, ибо это нежное растение требует наряду с поощрением прежде всего свободы — без нее оно неизбежно погибает» (А. Эйнштейн). Так вот — Вы свободны в выборе пути! Забирайте из учебника то, что подходит Вам лично. Ведь учебник — это средство индивидуальной работы, это — самоучитель. Однако помните: «В 20 лет можно колебаться перед каким-либо решением, но не отступать, когда решение принято» (А. Мюссе). Мы убеждены, что удача поджидает не на легком, а на верном пути.

*Твой ум уклончивый ведет тебя в обход.  
Ища проторенных тропинок.  
Но ты вступи с ним в поединок:  
Дать радость может только взлет!*

**Эмиль Верхарн**

В учебнике имеется большое количество иллюстраций. За помощь в их подборе мы благодарим преподавателей и сотрудников кафедр лучевой диагностики Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова, Самарского государственного медицинского университета и Самарского диагностического центра.

С любезного разрешения руководителей фирм «Дженерел Электрик», «Сименс» «Филипс» в книге использованы отдельные иллюстрации из их изданий, за что авторы приносят этим фирмам искреннюю благодарность.

Сейчас Вы все рядом, на старте изучения новой для Вас дисциплины — медицинской радиологии. На финиш Вы придете уже по отдельности — ведь некоторые глубоко изучат книгу, и наши взгляды, быть может, станут частью их собственной системы мышления, а другие лишь мельком просмотрят учебник перед занятиями. Составьте же себе сами «модель потребного будущего». Сегодня нам не нравится многое из того, что было сделано вчера; не стоит распространять подобный опыт на будущее. Нужно наблюдать за меняющимся миром и предвидеть его изменения, чтобы знать, как меняться самим.

Остается добавить, что учебник написан в соответствии с учебной программой по медицинской радиологии, утвержденной Министерством здравоохранения Российской Федерации. Объем и содержание учебника соответствуют современным требованиям к **врачу общей практики**. Учебник предназначен не только для изучающих основы медицинской радиологии, но и для студентов всех курсов, начиная от тех, кто проходит рентгеноанатомию, и кончая обучающимися в интернатуре и клинической субординатуре по радиологии и основным клиническим дисциплинам. Два раздела — глава 12 в части III и глава 7 в части IV — рассчитаны в основном на студентов стоматологического факультета и изложены с учетом специфики этого курса. Они написаны зав. кафедрой рентгенологии и радиологии ММСИ им. Н.А. Семашко проф. Ю.И. Воробьевым.

## Общие вопросы медицинской радиологии

*Живые борются! И живы только те,  
Чье сердце предано возвышенной мечте,  
Кто, цель прекрасную поставив пред собою,  
К вершинам доблести идут крутой тропой.  
И, только факел евой, в грядущее несут  
Великую любовь лили священный труд.*

Виктор Гюго



«Открытие Америки Христофором Колумбом». Сальвадор Дали, 1958



# 1. ЧТО ТАКОЕ «МЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЛОГИЯ»

*Определите значение слов, и Вы избавите свет от полотины его заблуждений.*

Рене Декарт

Мы — жители планеты Земля. Все живое на ней существует и развивается в постоянном взаимодействии с излучениями и упругими колебаниями. Излучения и жизнь неразрывны!

*Медицинская радиология* — область медицины, разрабатывающая теорию и практику применения излучения в медицинских целях. Медицинская радиология включает в себя две основные медицинские дисциплины: *лучевую диагностику (диагностическую радиологию)* и *лучевую терапию (радиационную терапию)*.

Лучевая диагностика — наука о применении излучений для исследования строения и функций нормальных и патологически измененных органов и систем человека с целью профилактики и распознавания заболеваний.

В состав лучевой диагностики входят *рентгенодиагностика, радионуклидная диагностика, ультразвуковая диагностика* и *магнитно-резонансная визуализация*. К ней также относят такие нечасто применяемые методы исследования, как термография, СВЧ-термометрия, магнитно-резонансная спектрометрия. Еще одно очень важное направление лучевой диагностики — *интервенционная радиология*: выполнение лечебных вмешательств под контролем лучевых исследований.

Роль лучевой диагностики в подготовке врача и медицинской практике непрерывно возрастает. Это связано с созданием в стране диагностических центров, вводом в строй крупных городских, областных и республиканских больниц, оснащенных новейшей аппаратурой, а также быстрым развитием компьютерных технологий, которые создают предпосылки для получения высококачественных изображений внутренних органов, включая объемные (так называемые трехмерные) изображения. Указанные обстоятельства способствуют созданию новой системы медицинской диагностики, объединяющей все существующие способы получения изображения органов человека.

*Лучевая терапия* — это наука о применении ионизирующих излучений для лечения болезней. Лучевая терапия располагает большим набором источников квантового и корпускулярного излучений, обеспечивающих облучение нужного объема тканей в оптимальной лечебной дозе. В связи с этим лучевая терапия стала важнейшей составной частью комплексного лечения злокачественных заболеваний, а лучевые терапии работают в тесном контакте с онкологами, хирургами, химиотерапевтами.

Без радиологии сегодня не могут обойтись никакие медицинские дисциплины. Лучевые методы широко используют в анатомии (*лучевая нормальная и патологическая анатомия*), физиологии (*лучевая физиология* и *патофизиология*), биохимии (*радиационная биохимия*). Изучением действия

ионизирующих излучений на живые объекты занимается *радиационная биология* – важное направление биологической науки. В связи с развитием ядерных технологий и широким применением излучений в медицинской практике, народном хозяйстве и научных исследованиях все большее значение приобретает *радиационная гигиена*. К смежным специальностям радиологии можно отнести также все основные клинические дисциплины: кардиологию, пульмонологию, остеопатологию, гастроэнтерологию, эндокринологию и т.д. Это и понятно: уже давно не найти области изолированного использования законов и методов патологической анатомии и физиологии, терапии и хирургии, стоматологии и радиологии, есть лишь сфера их взаимного действия.

В этом содружестве дисциплин медицинская радиология занимает обширную территорию. В учебнике мы постарались очертить ее контуры, изложить главные теоретические построения, описать наиболее распространенные методики и тем самым дать Вам, читатель, в руки путеводитель для клинической практики. А уж обходить эту страну — «•Медицинскую радиологию» — Вам придется самостоятельно. Некоторые захотят стать специалистами и заглянут во все углы. Другие будут врачами общей практики, для них главное — сведения по радиологии, необходимые в повседневной деятельности врача. Одним словом, «судьба твоих грядущих дней, мой сын, в твоей отныне воле» (А.С. Пушкин).

## 2. «МИНУВШЕЕ ПРОХОДИТ ПРЕДО МНОЮ...»

*Взобравшись на плечи своих предшественников, мы увидим оттуда, как со сторожевых башен, дальше и яснее.*

Амбруаз Паре

Неторопливо, по нынешним меркам, сменялись столетия и неторопливо развивалась медицина. И во все времена, в продолжение многих веков основой врачевания оставался осмотр больного. «Глаз — тот орган чувств, который приносит нам более всего удовлетворения, ибо позволяет постичь суть природы...» (Аристотель). Великий Гете в старости уже не мог совершать экскурсии на гору Брокен, описанную им в «Фаусте», но зато часами созерцал свою коллекцию минералов. Он писал Шиллеру: «Возникает... мир глаза, который исчерпывается формой и цветом... Если внимательно последить за собой, я мало пользуюсь помощью других органов чувств». Теперь мы знаем, что на зрительный анализатор работают едва ли не три четверти головного мозга.

### 2.1. Открытие странного мира

*Мгновенье длился этот миг,  
Но он и вечность бы затмил.*

Б. Пастернак

Поразительно, но факт: день рождения медицинской радиологии точно обозначен в истории – 8 ноября 1895 г. Вечером этого дня в баварском городе **Вюрцбурге**, в **физической** лаборатории местного университета профессор **И**

Вильгельм Конрад Рентген, работая с катодной трубкой, случайно заметил свечение, исходящее от банки с кристаллами платиносинеродистого бария. Он не мог тогда знать, что начинал прорыв научного фронта, прорыв из нашего зримого мира в невидимый мир фантастических скоростей и энергий, исчезающе малых длительностей и необычных превращений, но предчувствие великого, очевидно, охватило ученого. Он не ушел в тот вечер из лаборатории и на ближайшие недели стал ее добровольным узником. В короткий срок с помощью самодельных приборов и остроумных приемов, которые затем были использованы в других областях физики, Рентген настолько полно изучил новое излучение, что до 1908 г. к установленным им данным не было добавлено ничего существенного.

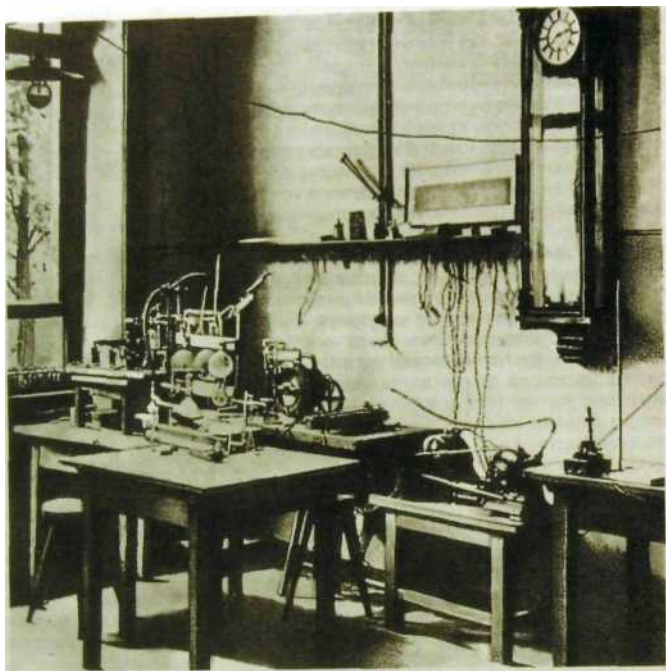


В.К. Рентген (1845-1923)

Остановитесь, читатель, и задумайтесь над происшедшим! Случайны ли крупные открытия? Датский физик Эрстед «случайно» установил взаимосвязь электричества и магнетизма, когда работавший с ним студент заметил отклонение намагниченной стрелки при пропускании тока по проводнику. Майкл Фарадей «случайно» заметил отклонение стрелки прибора и сформулировал закон электромагнитной индукции. Серебряная ложка французского художника Дагерра «случайно» оказалась на полированной металлической поверхности, и полученное изображение назвали дагерротипом (прообраз нынешней фотографии).

И все же прав Луи Пастер: «Случай выбирает подготовленный ум». Многие ученые до Рентгена работали с катодными лучами, замечали свечение экранов и непонятные темные полосы на фотопластинках (например, преподаватель физики Бакинского реального училища Е.С. Каменский, профессор из Праги И.П. Пулюй). Однако открытие совершил Рентген. Объяснение можно найти в воспоминаниях его ученика, в будущем известного российского физика А.Ф. Иоффе. Рентген вышел из блестящей классической школы Кундта в Страсбурге (вот она — роль Учителя!). Воспитанниками этой школы были крупные физики, в том числе замечательный русский ученый П.Н. Лебедев, открывший давление света. В школе Кундта развил свой талант экспериментатора Рентген, здесь он научился тщательному анализу возможных ошибок и строго продуманной постановке опыта, стал лучшим экспериментатором своего времени (рис. 1.1).

Историческая заслуга Рентгена состоит в том, что он не прошел мимо случайно замеченного факта, как многие его коллеги, а подверг его всестороннему анализу и доискался до его причины. Как сказал известный русский физиолог А.А. Ухтомский, «...бесценные вещи и бесценные области реально-го бытия проходят мимо наших ушей и мимо наших глаз, если не подготовлены уши, чтобы слышать, и не подготовлены глаза, чтобы видеть...».



**Рис. 1.1.** Лаборатория В.К. Рентгена в университете г. Вюрцбурга.

Легенда о «случайном» открытии рентгеновского излучения весьма живуча. Однако ее нетрудно поколебать. В июле 1896 г. Рентген объяснил своему коллеге, почему он использовал экран, покрытый платиносинеродистым барием: «В Германии мы пользуемся этим экраном, чтобы найти невидимые лучи спектра, и я полагал, что платиносинеродистый барий окажется подходящей субстанцией, чтобы открыть невидимые лучи, которые могли бы исходить от трубки».

Любопытно, что общественность узнала об открытии Рентгена из газетной статьи. Рентген представил научному обществу первое сообщение о новых лучах, но доклад ученого был отложен в связи с рождественскими каникулами. Однако он не удержался и вместе с рождественским поздравлением разослал сослуживцам открытки с рентгеновским изображением кошелька с монетами, связки ключей в деревянном ящике и кисти руки. Снимок кисти своей жены Рентген сделал 22 декабря 1895 г. Сохранилось письмо одного из профессоров, получивших поздравление. Он писал:

«Какой фантазер Рентген, мы давно знаем, но теперь он, по-видимому, совсем с ума сошел. Он утверждает, что видел скелет собственной руки». Один предприимчивый молодой человек выпросил эти фотофафии и отвез их в Вену, где его отец был редактором газеты «Die Presse», и 5 января 1896 г. на первой полосе этой газеты появилась большая статья «Сенсационное открытие».

23 января 1896 г. Рентген выступил с докладом на заседании местного научного общества. Он сообщил о своем открытии и тут же сделал рентгеновский снимок кисти председателя заседания — известного анатома А.Р. фон Кёлликера. Подумайте, как символично! Делая этот снимок, Рентген как бы передавал открытие в руки медика. И старик Кёлликер, потрясенный, встал и заявил, что за 48 лет пребывания в научном обществе он впервые присутствует при столь великом открытии. Он провозгласил троекратное «ура» в честь ученого и предложил назвать новые лучи его именем. Небезынтересно, что на этом историческом заседании присутствовал русский студент — народоволец В.И. Яковенко, который впоследствии стал известным земским врачом, а позже — крупным деятелем отечественной медицины.

После сообщения Рентгена разразилась подлинная научная буря. Свыше 1200 публикаций появилось только в 1896 г. История науки еще не знала подобного бума. Имя Рентгена сразу стало известно всему миру, но он не изменил ни своим занятиям, ни своему относительно замкнутому образу жизни. Он отказался от места президента научного общества, звания академика Прусской академии наук, дворянства и различных орденов, а сами лучи до последних лет жизни называл Х-лучами. Он не согласился получить патент, предложенный Берлинским всеобщим электрическим обществом, заявив, что его открытие принадлежит всему миру и не может быть закреплено за одним предприятием.

Уместно отметить благородные качества Рентгена, характеризующие его как выдающегося ученого и человека: глубокий ум, тонкую наблюдательность, скромность, отсутствие корыстолюбивых замыслов. В 1901 г. Рентгену была присуждена первая Нобелевская премия по физике. Ее денежную часть — 50 000 крон — Рентген передал Вюрцбургскому университету. Мы можем гордиться тем, что правительство нашей страны первым увековечило имя ученого. 29 января 1920 г. в Петрофаде на маленькой улочке, которая называлась Лицейской, а затем получила имя Рентгена, был открыт первый памятник ученому.

1895 год был весьма примечательным. Вначале А.С. Попов изобрел радио, летом на улицах европейских городов появились первые автомобили, а в декабре в Париже загорелся экран первого кинематофафа братьев Люмьер. Не правда ли, целая серия открытий! Объяснялось это тем, что вторая половина XIX столетия ознаменовалась бурным развитием естественных наук. Открытие Рентгена было одним из звеньев революционной цепи и в свою очередь сыграло революционизирующую роль, показав человечеству путь в атомную эру.

Однако остановимся, читатель. Подобно тому, как Шехерезада при восходе солнца прерывала свой рассказ на самом интересном месте, мы на время отвлечемся от прошлого, чтобы рассмотреть предмет открытия Рентгена — рентгеновское излучение — и напомнить о его свойствах.

## 2.2. Лучи имени Рентгена

*Открытие рентгеновских лучей было первым великим прорывом в область, куда ни один человеческий ум не дерзал проникнуть.*

Артур Кларк

*Рентгеновское излучение занимает область электромагнитного спектра между гамма- и ультрафиолетовым излучением и представляет собой поток квантов (фотонов), распространяющихся со скоростью света (300 000 км/с). Эти кванты не имеют электрического заряда. Масса кванта составляет ничтожно малую часть атомной единицы массы. Энергию квантов измеряют в джоулях (Дж), но на практике часто используют внесистемную единицу электрон-вольт (эВ).*

*Один электрон-вольт — это энергия, которую приобретает один электрон, пройдя в электрическом поле разность потенциалов в 1 вольт. 1 эВ = 1,6 · 10<sup>-19</sup> Дж. Производными являются киэлектрон-вольт (кэВ), равный 1 тыс. эВ, и мегаэлектрон-вольт (МэВ), равный 1 млн эВ.*

Рентгеновское излучение возникает при торможении быстрых электронов в электрическом поле атомов вещества (*тормозное излучение*) или при перестройке внутренних оболочек атомов (*характеристическое излучение*). Тормозное излучение имеет непрерывный спектр, зависящий от анодного напряжения на рентгеновской трубке. Средняя эффективная энергия квантов составляет приблизительно 1/3 от максимального напряжения, приложенного к трубке. Например, при максимальном напряжении 50 киловольт (кВ) средняя энергия рентгеновских квантов около 30 кэВ, при 100 кВ — 65 кэВ, при 150 кВ — 100 кэВ. Рентгеновское излучение именно в данном диапазоне энергий используют в рентгенодиагностике.

Рентгеновское излучение обладает рядом свойств, обуславливающих его значительные отличия от видимого света. Оно проникает через тела и предметы, не пропускающие свет; вызывает свечение ряда химических соединений (на этом, кстати, основана методика рентгеновского просвечивания); разлагает галоидные соединения серебра, в том числе находящиеся в фотоэмульсиях, что позволяет получать рентгеновские снимки. Важнейшим свойством рентгеновского излучения является способность вызывать распад нейтральных атомов на положительно и отрицательно заряженные частицы (ионизирующее действие). В связи с этим понятно, что это излучение не безразлично для живых организмов, поскольку обуславливает определенные изменения в биосубстрате.

Рентгеновское излучение широко используют в науке, технике и промышленности, но наибольшее значение приобрело это излучение в медицине, где оно легло в основу одного из ведущих методов клинического обследования. Однако это «уже совсем другая история», как любил повторять датский сказочник Х.Андерсен, и мы вернемся к ней позже.

### 2.3. Звездный час Беккереля

*Как бы ни было разнообразно воображение человека, природа еще в тысячу раз богаче.*

А.Пуанкаре

Стокгольм, 10 декабря 1903 г. В зале Шведской академии наук, на том месте, где 2 года назад стоял Рентген, находился невысокий человек, тоже физик, но из Франции — Анри Беккерель. Король Швеции вручал ему диплом лауреата Нобелевской премии. О чем думал Анри Беккерель в эти минуты душевного волнения, когда перед человеком порой проходит вся его жизнь?

Может быть, в памяти Анри Беккереля возник на мгновение образ деда — члена парижской Академии наук Антуана Беккереля. Красота светящегося ночного моря в Венеции заставила его еще в молодости задуматься над удивительным явлением люминесценции — способности некоторых веществ светиться в темноте после воздействия на них видимого света. С тех пор эта проблема стала чуть ли не фамильным достоянием семьи Беккерелей. Или мысль Анри Беккереля обратилась к тем уже далеким дням, когда вместе с отцом — профессором физики Александром Беккерелем он ставил первые опыты по изучению люминесценции солей урана. Уже тогда он знал, что эти соли светятся в темноте, если их предварительно подвергнуть действию солнечных лучей. А может быть, ему вспомнился период научного поиска и вдохновения, охватившего физиков всего мира после открытия Рентгена и побудившего многих ученых возвратиться к загадочному явлению люминесценции. Научный мир тогда был словно заражен лихорадкой открытий — поиском таинственных излучений. Именно Анри Беккерель вместе с другим французским ученым — физиком, математиком и философом Анри Пуанкаре — предположил, что «Х-лучи» могут испускаться фосфоресцирующими веществами.

Для своих опытов Беккерель выбрал кристаллы калийуранилсульфата — одного из наиболее сильных фосфоресцирующих веществ. Беккерель был страстный, но строгий искатель, и даже сильное волнение не могло нарушить педантичность экспериментатора. Проследите за чистотой его опытов! Он ставит исходный эксперимент: в полной темноте берет фотопластинку, заворачивает ее в два слоя черной бумаги, не пропускающей видимый свет, и выставляет в окно: пусть весеннее солнце заливают ее лучами. Затем он проявляет пластинку и убеждается, что она не экспонирована. На следующий день Беккерель повторяет опыт, но сверху на пластинку помещает металлический крест, покрытый солью урана. Под действием солнечных лучей соль должна сильно светиться. Если она, кроме видимого света (фосфоресценции), испускает невидимое излучение, то через несколько часов... Скорее проявим пластинку... Успех! На пластинке получено изображение креста, следовательно, урановая соль дает излучение, проходящее через черную бумагу и разлагающее соли серебра в фотоземльсии, подобно рентгеновскому излучению. Значит, фосфоресцирующие вещества испускают не только видимый свет, но и невидимое излучение?

24 февраля 1896 г. Анри Беккерель доложил результаты своих опытов на заседании Парижской академии наук. Это было предварительное сообще-

шение казалось бы, подтверждающее предположение А. Беккереля и А. Пуанкаре. Однако дальше события приняли иной оборот. 2 марта должен был состояться основной доклад Беккереля. Готовясь к нему, ученый наметил провести новую серию опытов, но 26 и 27 февраля в Париже было пасмурно и пластинки, подготовленные для эксперимента, пролежали два дня на полке вместе с кристаллами калийуранилсульфата. 1 марта, наконец выглянуло солнце и, хотя это был воскресный день, Беккерель пришел в лабораторию, чтобы закончить опыт. Однако основымся на мгновение, ибо здесь кульминация драмы и торжество мастера! — он не выставляет пластинки в окно, а проявляет их. Ведь они пролежали долгое время вместе с солями урана, а это не соответствует условиям прежних опытов. Вот оно — господство над случаем! Впрочем, Беккерель скажет позднее: «Я сделал новый опыт, который все равно провел бы рано или поздно, когда я систематически изучил бы формы действия и их продолжительность для фосфоресцирующих веществ через непрозрачные тела на фотографическую пластинку». Значит, и случай может быть пойман в ловушку искусного последовательного экспериментатора.

Начал Беккерель с того, что проявил пластинки, полагая, что увидит на них лишь легкую вуаль. Каково же было его удивление, когда оказалось, что пластинки засвечены, причем очень сильно. Что это могло означать? Только то, что соли урана способны самостоятельно, без возбуждения извне засвечивать фотопластинки. Благодаря чему? Очевидно, вследствие того, что они испускают невидимые лучи особого рода, проникающие через черную бумагу. Бесконечной вереницей тянутся новые и новые опыты. Беккерель устанавливает, что источником излучения является сам уран. 23 ноября 1896 г. на заседании Парижской академии наук Беккерель окончательно прощается с мыслью о связи фосфоресценции и открытого им излучения и называет последнее урановыми лучами. Так теоретическая догадка, пусть и не до конца правильная, послужила толчком к познанию неведомого естественного явления природы. «Гипотезы,— писал В. Гете,— это леса, которые возводят перед зданием и сносят, когда здание готово,— они необходимы для работника: он не должен только принимать леса за здание».

Гипотеза о специфических «урановых лучах» была вскоре развенчана. Оказалось, что способностью испускать проникающее излучение обладает также торий. Об этом сообщили 4 февраля 1898 г. Берлинскому научному обществу Г. Шмидт и 12 апреля того же года Парижской академии наук Мария Склодовская-Кюри. А Резерфорд установил, что так называемые урановые лучи — это на самом деле смесь излучений. Стало известно, что в их состав входят  $\alpha$ -,  $\beta$ -частицы и  $\gamma$ -излучение.

Итак, Беккерель открыл явление *естественной радиоактивности*. Открытие рентгеновского излучения и естественной радиоактивности — звенья одной цепи, первые камни фундамента, на котором были построены и современная ядерная физика, и современная медицинская радиология.

В следующем разделе мы познакомимся со свойствами  $\gamma$ -излучения,  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц.



## 2.4. Что скрывалось за «беккерелевыми лучами»?

*Глаза, вы видели так много прекрасных мгновений... Скажите, что краше всего? — Шаг вперед — без сомнений*

Расул Гамзатов

Излучение, открытое Рентгеном, было названо рентгеновским, поэтому излучение, обнаруженное Беккерелем, стали первоначально именовать беккерелевыми лучами. Однако, возможно, к неудовольствию Беккереля, это название скоро было оставлено. Оказалось, что новое излучение неоднородно и представляет собой смесь трех излучений, которым дали новые «имена» — по первым трем буквам греческого алфавита:  $\alpha$ -частица,  $\beta$ -частица и  $\gamma$ -излучение.

**Альфа-частица** ( $^4\text{a}_2$ ) — как бы голое ядро атома гелия, состоящее из двух протонов (р) и двух нейтронов (п). Следовательно, она имеет двойной положительный заряд и относительно большую массу, равную 4 атомным единицам массы. Эта частица возникает при  $\alpha$ -распаде естественных радиоактивных элементов. В тканях человеческого тела  $\alpha$ -частицы пробегает лишь несколько десятков микрон.

**Бета-частица** — это либо электрон ( $e^-$ ), либо позитрон ( $e^+$ ). Каждая  $\beta$ -частица обладает одним элементарным электрическим зарядом: электрон — отрицательным, позитрон — положительным. Масса  $\beta$ -частицы невелика, всего  $1/1840$  массы ядра атома водорода. Позитроны образуются при распаде некоторых искусственных радионуклидов. Происхождение электронов может быть двояким. С одной стороны, они могут возникать при распаде радионуклидов. В этом случае энергетический спектр  $\beta$ -излучения непрерывный с максимумом до 2 МэВ. В мягких тканях человека такие электроны распространяются всего на несколько миллиметров. С другой стороны, электроны могут быть получены в ускорителях заряженных частиц в результате термоэлектронной эмиссии. Такие электроны не принято называть  $\beta$ -частицами. Их энергия может достигать 50—100 МэВ, и они обладают большим пробегом в тканях.

**Гамма-излучение** — электромагнитное излучение, испускаемое при радиоактивном распаде и ядерных реакциях. В отличие от тормозного излучения спектр  $\gamma$ -излучения дискретный, так как переход ядра атома из одного энергетического состояния в другое осуществляется скачкообразно. Свойства  $\gamma$ -излучения, как и других электромагнитных излучений, определяются длиной волны ( $\lambda$ ) и энергией квантов (Е). Энергия  $\gamma$ -квантов находится в пределах от десятков кэВ до десятков МэВ, поэтому они характеризуются высокой проникающей способностью и выраженным биологическим действием.

Излучение, содержащее  $\alpha$ -,  $\beta$ -частицы и  $\gamma$ -лучи, испускают естественные радионуклиды — уран, радий, торий, актиний, радон, поэтому на заре радиологии их использовали в качестве радиоактивных препаратов для лечения больных. Впрочем, их биологическое действие не сразу было оценено. В апреле 1902 г. Беккерель по просьбе Пьера Кюри подготовил пре-

парат радия для демонстрации его свойств на конференции. Он положил стеклянную трубочку с радием в карман жилета, где она находилась почти 6 ч. Спустя 10 дней на коже под карманом появилась эритема, а еще через несколько дней образовалась язва, которая долго не заживала. Встретившись с Пьером и Марией Кюри, Беккерель сказал: «Я очень люблю радий, но я на него в обиде».

Шутка Беккереля не была случайной. Остроумие находится в родстве с научной мыслью. Юмор свойствен ученым, в том числе физикам и медикам-радиологам. «Веселый куплет может опрокинуть трон и низвергнуть богов»,— говорил Анатоль Франс.



#### Ученые шутят

Рентген не был лишен чувства юмора. Однажды он получил письмо, автор которого просил выслать ему «несколько рентгеновских лучей» и инструкцию, как ими пользоваться. В прошлом он был ранен револьверной пулей, но для поездки к Рентгену у него, видите ли, не было времени. Рентген ответил так: «К сожалению, в настоящее время у меня нет X-лучей. К тому же пересылка их — дело очень сложное. Поступим проще: пришлите мне вашу грудную клетку».

## 2.5. Наступление продолжается. Врачи следуют за физиками

*Самое большое достоинство хорошо выполненной работы в том, что оно открывает путь другой, еще лучшей работе... Цель научно-исследовательской работы — продвижение не ученого, а науки.*

А.Лоуэлл

В течение полувека после открытия рентгеновского излучения и естественной радиоактивности стремительно развивалось наступление физиков на тайны микромира. Одно открытие влекло за собой другое. Сообщение А. Беккереля определило научную судьбу Марии Склодовской-Кюри. Она установила странный факт: урановая и ториевая руды оказались более «радиоактивными» (предложенный ею термин), чем чистый уран или торий. М.Склодовская-Кюри предположила, что в урановой руде должны содержаться очень радиоактивные примеси.

В оборудованной на собственные средства примитивной лаборатории М. Склодовская-Кюри и ее муж Пьер Кюри в продолжение 2 лет с поразительным упорством вели работу по выявлению этих примесей. «В этом скверном сарае, — вспоминала М. Склодовская-Кюри, — прошли лучшие, счастливые годы нашей жизни, целиком посвященные работе. Часто я тут же готовила себе и Пьеру что-нибудь поесть, чтобы не прерывать опытов. К вечеру я падала от усталости». Урановая руда была получена супругами Кюри в небольшом чешском городке Якимово. Она имела сложный состав

и содержала большое количество элементов: серебро, висмут, барий, свинец и др. Каково же было изумление ученых, когда выяснилось, что выделенные ими из руды фракции бария и висмута также были радиоактивными, хотя чистый барий и висмут такими свойствами не обладают. Дальнейшую гигантскую работу супругов Кюри историки охарактеризовали как величайший научный подвиг. Переработав около 7 т руды, они получили около 1 г нового элемента, который оказался в 1 млн раз активнее урана. Этот элемент был назван ими «радий», что в переводе на русский язык означает «лучистый». Открытие радия и исследование его излучения явились новым этапом в развитии атомной физики. «Великий революционер — радий», — так называли его ученые в начале XX в. Супруги Кюри были удостоены Нобелевской премии по физике. Затем ими был открыт элемент, испускавший еще более интенсивное излучение, чем уран (в 10 млрд раз). Он был назван полонием в честь Польши — родины М. Склодовской-Кюри. В 1911 г. ей была присуждена вторая Нобелевская премия, на этот раз по химии. В последующие годы были обнаружены все другие элементы, способные к самопроизвольному распаду. Они были названы *естественными радиоактивными веществами*.

А следом за авангардом физиков продвигался фронт врачей, инженеров и конструкторов, пытавшихся использовать новейшие достижения теории для практических медицинских целей. Применение в медицине рентгеновского излучения, как уже указывалось выше, началось в 1896 г. Первоначально рентгеновские снимки производили главным образом для распознавания металлических инородных тел, переломов и болезней костей. В дальнейшем были разработаны способы рентгенологического исследования сердца, легких, желудка и других органов. Одновременно исследователи приступили к глубокому изучению биологического действия рентгеновского излучения и излучения радиоактивных веществ. В 1896—1899 гг. появились первые сообщения об успешном применении рентгеновского излучения для эпиляции (удаления волос) и лечения некоторых дерматозов, а также о попытках провести рентгенотерапию опухолей различных внутренних органов.

Дальнейшие физические и радиобиологические изыскания открыли новые возможности для развития медицинской радиологии. Исключительное значение имели работы Э. Резерфорда. В 1919 г. путем бомбардировки ядер атомов азота  $\alpha$ -частицами он добился превращения их в ядра атомов кислорода, т.е. превращения одного химического элемента в другой. Полусерьезно мы можем назвать Э. Резерфорда алхимиком XX в. Ученик Э. Резерфорда академик П.Капица вспоминал, что его шефа прозвали крокодилом. По-видимому, потому, что он всегда целеустремленно продвигался вперед и не мог, как и крокодил, двигаться назад. В 1920 г. Э. Резерфорд на заседании Британской ассоциации содействия развитию наук высказал предположение, которое, как это нередко случается в науке, не было понято и оценено современниками. Ученый предположил, что в созданной им модели ядра атома существует некая гипотетическая частица, которая по массе равна протону (протон тоже был открыт Э. Резерфордом), но в отличие от него не имеет заряда. Эту частицу Э. Резерфорд предложил назвать нейтроном. В эксперименте нейтрон обнаружил Д. Чедвик — ученик Э. Резерфорда. Открытие нейтрона позволило немецкому ученому В. Гейзенбергу и независимо от него российскому ученому Д.Д. Иваненко

создать теорию строения ядра, которую в течение многих лет использовали в физике и радиологии.

Поворотным пунктом в развитии ядерной физики явилось открытие *искусственной радиоактивности* супругами Ирен и Фредериком Жолио-Кюри. С целью получения нейтронов они облучали  $\alpha$ -частицами различные элементы. При облучении алюминия было установлено, что наряду с нейтронами он испускает еще одну частицу - позитрон. Последующие опыты показали, что при облучении ряда элементов  $\alpha$ -частицами рождаются новые химические элементы, которые обладают радиоактивностью. Впервые появилась возможность получать радиоактивные элементы искусственным путем. В 1934 г. супругам Жолио-Кюри за открытие искусственной радиоактивности была присуждена Нобелевская премия по химии.



Кстати, о роли юмора и случайности в науке. Академик А.С. Боровик-Романов рассказывал: «...Долгое время не удавалось напильить франций на германий. Тогда нидерландский физик Хендрик Казимир предложил в качестве промежуточного слоя использовать рений. Логика его предложения состояла в том, что... между Францией и Германией в качестве «скрепляющего» природного элемента протекает река Рейн. Результат превзошел все ожидания». Добавим, что эта работа способствовала открытию сверхпроводимости при относительно высоких температурах.

Еще один важный шаг на пути становления радиологии сделал американский физик Э.Лоуренс. В 30-е годы он предложил использовать ускорение элементарных частиц для придания им высоких энергий. Вскоре Э. Лоуренс воплотил эту идею в жизнь, построив циклотрон, за что был удостоен в 1939 г. Нобелевской премии<sup>1</sup>. Циклотрон стал одним из основных источников получения искусственных радиоактивных элементов и генерации электромагнитных излучений высоких энергий. Появились даже специальные циклотроны медицинского назначения.

Другой физик - итальянец Э. Ферми предложил эффективный способ получения радиоактивных элементов посредством облучения стабильных элементов нейтронами. Удостоенный за это открытие Нобелевской премии аФерми вынужден был эмигрировать из фашистской Италии в США, где в 1944 г. запустил первый в мире атомный реактор. В настоящее время многие радионуклиды получают в атомных реакторах.

<sup>1</sup> гаавиоп<sup>0</sup>»» ^tm<sup>10</sup> и н т с Р<sup>с с н 0</sup> у з н а т ь, что на золотой Нобелевской медали вы-  
р Т Л н Г о т к ^ и я м и Г ^ Н а с Л а ж д е н и с т м \*''' -словескую жизнь, благо-

## 2.6. Два рождения отечественной радиологии

*Будущее всегда зависит от прошедшего: это следствие уже положенных оснований, жатва того, что было посеяно прежде, воздаяние за дела прошедшие.*

Н. Добролюбов

В первых рядах физиков и врачей, применивших рентгеновское излучение и лучи радия для диагностики и лечения болезней, были русские ученые. Они встретили открытие Рентгена с энтузиазмом. Уже 6 января 1896 г. в Риге и 12 января в Петербургском университете были сделаны первые снимки кисти. 16 января Н.Г. Егоров произвел аналогичный снимок в Медико-хирургической академии, а П.Н. Лебедев — на кафедре физики Московского университета. Одновременно А.С. Попов — изобретатель радио — изготовил первую в России рентгеновскую установку и выполнил исследование раненного дробью.

В первых числах февраля Рентген получил телеграмму из Петербурга: «Петербургская студенческая молодежь, собравшаяся в Физической лаборатории СПб. Ун-та на блестящую демонстрацию рентгеновых лучей проф. Боргманом и его ассистентами Гершуном и Скобельцыным, горячо приветствует проф. Рентгена с его открытием». Рентген ответил студентам благодарственным письмом. В феврале 1896 г. начались систематические рентгенологические исследования больных в Медико-хирургической академии в Петербурге, а несколько позднее — на медицинском факультете Московского университета (рис. 1.2).

Проф. А.И. Лебедев выступил 1 февраля 1896 г. на заседании Петербургского медико-хирургического общества и поставил вопрос о применении рентгенологического метода в акушерстве и гинекологии. Он продемонстрировал рентгенограмму препарата, полученного при выполнении операции по поводу внематочной беременности. 13 февраля того же года в Медико-хирургической академии молодой врач В.Н. Тонков доложил о результатах рентгенологического изучения роста костей. Ему принадлежат вещи слова: «...до открытия Рентгена анатомия была наукой о строении мертвых элементов. В свете рентгеновских лучей она стала анатомией на живом для живого». Большое значение для радиационной биологии и лучевой терапии имели работы И.Р. Тарханова, Е.С. Лондона,



**Рис. 1.2.** Рентгенограмма кисти с изображением иглы в мягких тканях, выполненная в 1897 г. на медицинском факультете Московского университета.

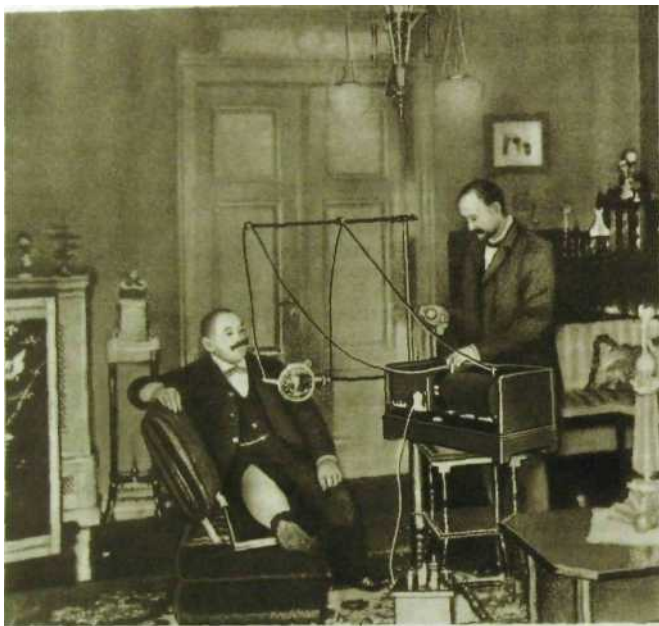


Рис. 1.3. Первые «рентгеновские кабинеты» нередко были составной частью консультативной комнаты врача (фото 1900 г.).

М.Н. Жуковского, С.В. Гольдберга, изучавших биологическое действие ионизирующих излучений.

К сожалению, в те годы в России не было условий для развития медицинской радиологии: электротехнической промышленности практически не существовало. Рентгеновские кабинеты были оснащены примитивным оборудованием, причем меры защиты от излучения не применялись (рис. 1.3). Во всей стране было лишь несколько десятков врачей-рентгенологов. Становление медицинской радиологии как самостоятельной научной и клинической дисциплины произошло только после первой мировой войны. Радиологи рассматривают это как второе ее рождение.

В начале 1918 г. рентгенолог Женского медицинского института в Петрограде М.И. Неменов обратился к народному комиссару просвещения А.В. Луначарскому с предложением об организации научно-исследовательского рентгенологического и радиологического института. «Бурное революционное время,— писал впоследствии М.И. Неменов.— Время от времени где-то потрескивают выстрелы. Кабинет народного комиссара по просве-



М.И. Неменов (1880-1950)



С.А. Рейнберг (1897-1966)

шению на Чернышевском переулке. Я делаю краткий десятиминутный доклад о жалком положении рентгенологии в России и о той роли, которую она должна играть для советской науки, для советской медицины. Я выхожу из кабинета А.В. Луначарского с принципиальным постановлением об организации в Петрограде крупного научно-исследовательского института, посвященного вопросам рентгенологии и радиоактивности, первого научно-исследовательского учреждения, созданного Советской властью». Добавим, что при новом институте была создана первая в мире рентгенологическая клиника. Из темных сырых подвалов, где ютилась рентгенология в русских больницах и клиниках, она перешла, по образному выражению М.И. Неменова, «в свой собственный дворец».

Началась радостная и тревожная юность радиологии, совпавшая с годами гражданской войны и восстановления народного хозяйства. В 1919 г. в Институте усовершенствования врачей в Петрограде была учреждена первая кафедра рентгенологии, которую возглавил А.К. Яновский. С 1920 г. стал выходить журнал «Вестник рентгенологии и радиологии». В последующие годы были организованы институты рентгенологии в Москве, Киеве, Харькове, Одессе, Ереване, Тбилиси и других городах, созданы заводы рентгеноаппаратостроения. Отечественная рентгенология уже в свои молодые годы сумела занять лидирующее положение в остеологии и остеопатологии, рентгеноанатомии, рентгенофизиологии и экспериментальной рентгенологии. Важнейшей особенностью российской рентгенологии явилась ее профилактическая и клиническая направленность. В развитии этих направлений особую роль сыграл выдающийся клиницист-рентгенолог С.А. Рейнберг. Рентгенология внесла живую струю в клиническую медицину и явилась важным фактором технической реконструкции здравоохранения.

Заканчивалась молодость отечественной рентгенологии, она вступала в пору зрелости, но вероломное нападение фашистской Германии прервало ее мирное развитие. Лучшие силы рентгенологии были отданы фронту. Родилась военно-полевая рентгенология как новая организационно-тактическая система. Рентгенологи достойно выполнили свой патриотический долг на фронте и в тылу.

Послевоенные годы ознаменовались быстрым развитием рентгеновской службы, созданием специализированных радиологических отделений, немалыми успехами в совершенствовании лучевых методов диагностики и лечения болезней. В 60-80-е годы эра традиционной рентгенодиагностики стала постепенно сменяться эрой комплексных лучевых технологий. В медицинскую практику начали внедрять новые методы лучевого исследования: ангиографию, радионуклидную и ультразвуковую диагностику, компьютерную рентгеновскую томографию. Наступил новый период в развитии отечественной медицинской радиологии, утверждающий ее роль одного из лидеров диагностической медицины. Открылись удивительные перспективы, о которых мы расскажем в последующих главах. А пока нам предстоит познакомиться с некоторыми сведениями о физических свойствах и биологическом действии излучений.

### **3. ИЗЛУЧЕНИЯ, ИСПОЛЗУЕМЫЕ В МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОЛОГИИ, ИХ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ**

*Современная рентгенорадиология служит связующим звеном между так называемыми точными естественными науками и медико-биологическими дисциплинами... Через рентгенорадиологические каналы в медицину проникают те замечательные новейшие достижения физики и техники, которыми вправе гордиться человеческий гений.*

С.А. Рейнберг

Богат арсенал современной медицинской радиологии. При посредстве разнообразных технических устройств радиолог имеет возможность использовать целый набор излучений различной природы и энергии. С их помощью удастся получить изображение любого органа и изучить его структуру (лучевую морфологию), можно наблюдать и регистрировать функцию любого органа в нормальных и патологических условиях (лучевая физиология и лучевая функциональная патология). Лучевые методы позволяют исследовать элементный состав органов и тканей и содержание в них биологически активных веществ, что следует назвать прижизненной лучевой биохимией. Многие излучения оказывают выраженное биологическое действие, что можно использовать в лечебных целях (лучевая терапия).

#### **3.1. Группировка излучений, применяемых в радиологии**

Все излучения, используемые в медицинской радиологии, делят на две большие группы: *неионизирующие* и *ионизирующие*. Как показывает само наименование, первые в отличие от вторых при взаимодействии со



средой не вызывают ионизации атомов, т.е. их распада на противоположно заряженные частицы — ионы.

К числу *неионизирующих излучений* принадлежат *тепловое (инфракрасное — ИК)* излучение и *резонансное*, возникающее в объекте (теле человека), помещенном в стабильное магнитное поле, под действием высокочастотных электромагнитных импульсов. Кроме того, к неионизирующим излучениям условно относят *ультразвуковые волны*, представляющие собой упругие колебания среды.

*Инфракрасное излучение* испускают все тела, температура которых выше абсолютного нуля. Интенсивным источником такого излучения являются ткани человеческого тела. Как известно, инфракрасные волны относятся к электромагнитным излучениям. По длине они занимают промежуточное положение между видимым светом и радиоволнами. Диапазон ИК-лучей — от 0,76 до 1000 мкм. Интенсивность ИК-излучения пропорциональна 4-й степени температуры тела, т.е. возрастание температуры тела в 2 раза приведет к увеличению интенсивности ИК-излучения в 16 раз. Максимальное излучение тела человека лежит в области длинноволнового ИК-излучения и составляет в среднем 9,6 мкм. Энергия ИК-лучей меньше, чем световых, поэтому они не действуют на фотоматериалы.

*Ультразвук* представляет собой волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц упругой среды. В зависимости от частоты колебаний звуковые волны делят на инфразвук — до 20 колебаний в секунду — 20 герц (Гц), собственно звук — от 20 Гц до 20 килогерц (кГц) и ультразвук — свыше 20 кГц. В медицинской диагностике применяют ультразвук частотой от 0,8 до 15 млн герц (МГц).

Общим свойством ионизирующих излучений является их способность ионизировать атомы окружающей среды, в том числе атомы, входящие в состав тканей человека. Все эти излучения делят на две группы: *квантовые* (т.е. состоящие из фотонов) и *корпускулярные* (состоящие из частиц).

Это деление в значительной мере условно, так как любое излучение имеет двойственную природу и в определенных условиях проявляет то свойства волны, то свойства частицы. Однако в радиологической практике это деление по ряду соображений удобно.

К *квантовым ионизирующим излучениям* относят *тормозное* (в частности, рентгеновское) излучение и *гамма-излучение*. К *корпускулярным излучениям* причисляют пучки электронов, протонов, нейтронов, мезонов и других частиц.

Различают естественные и искусственные источники ионизирующих излучений. Первым естественным источником является космическое излучение, приходящее на Землю из Вселенной. В его состав входят протоны, нейтроны, атомные ядра и другие частицы. Они нередко обладают исключительно высокой энергией, но благодаря наличию атмосферы (кстати, ее

масса составляет около 5 000 000 млрд т) тратят эту энергию главным образом на взаимодействие с атомами воздуха. На поверхности Земли интенсивность космического излучения сравнительно мала. Вторым естественным источником ионизирующих излучений являются радиоактивные элементы, распределенные в земных породах, воздухе, воде, живых организмах, в том числе в тканях человека. Все указанные источники определяют радиоактивность окружающей среды — естественный (природный) радиационный фон.

Искусственными источниками ионизирующих излучений являются различные технические устройства, созданные человеком.

### **3.2. Источники ионизирующих излучений, применяемых в радиологии**

Источниками ионизирующих излучений, используемых для медицинских целей, являются рентгеновские трубки, радиоактивные нуклиды и ускорители заряженных частиц.

*Рентгеновская трубка* представляет собой вакуумный стеклянный сосуд, в концы которого впаяны два электрода — катод и анод. Последний выполнен в виде тонкой вольфрамовой спирали, вокруг которой при ее нагревании образуется облако свободных электронов (термоэлектронная эмиссия). Под действием высокого напряжения, приложенного к полюсам рентгеновской трубки, они разгоняются и фокусируются на аноде. Последний вращается с огромной скоростью — до 10 тыс. оборотов в 1 мин, чтобы поток электронов не попадал в одну точку и не вызвал расплавления анода из-за его перегрева. В результате торможения электронов на аноде часть их кинетической энергии превращается в электромагнитное излучение.

Исторически сложилось так, что это излучение было впервые обнаружено Рентгеном и получило название «рентгеновское». Таким образом, рентгеновское излучение — это разновидность тормозного излучения.

Другим источником ионизирующих излучений, используемых для медицинских целей, являются *радиоактивные нуклиды*. Их получают в атомных реакторах, на ускорителях заряженных частиц или с помощью генераторов радионуклидов.

*Ускорители заряженных частиц* — это установки для получения заряженных частиц высоких энергий с помощью электрического поля. Частицы движутся в вакуумной камере. Управление их движением осуществляется магнитным или, реже, электрическим полем. В зависимости от траекторий движения частиц различают циклические и линейные ускорители, а по характеру ускоряемых частиц — ускорители электронов (бетатрон, микротрон, линейный ускоритель электронов) и тяжелых частиц — протонов и др. (циклотрон, синхрофазотрон). Ускорители являются источником не только заряженных частиц, но и вторичных частиц — нейтронов, мезонов, а также тормозного электромагнитного излучения. Быстрые нейтроны генерируют на циклотроне.

В лучевой терапии ускорители заряженных частиц используют как источники электромагнитного излучения высоких энергий, реже — электронов и исключительно редко — протонов и нейтронов. В радионуклидной диагностике ускорители применяют для получения радионуклидов преимущественно с коротким и ультракоротким периодом полураспада.

### **3.3. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом**

Проходя через любую среду, в том числе через ткани организма человека, все ионизирующие излучения действуют в принципе одинаково — передают свою энергию атомам этих тканей, вызывая их возбуждение и ионизацию. Распределение возникающих ионов по пути следования частиц или фотонов различно, так как оно зависит от их природы и энергии.

Протоны и особенно  $\alpha$ -частицы имеют большую массу, заряд и энергию, поэтому они движутся в тканях прямолинейно, образуя густые скопления ионов, т.е. отмечается большая линейная потеря энергии этих частиц в тканях. Длина же их пробега зависит от исходной энергии частицы и характера вещества, в котором она перемещается. *Линейная потеря энергии (ЛПЭ) =  $E/P$ , где  $E$  — энергия частицы;  $P$  — пробег ее в данной среде.*

Путь электрона в ткани извилист, так как последний имеет небольшую массу и изменяет направление движения под действием электрических полей атомов. Однако электрон способен вырвать орбитальный электрон из системы встречного атома, т.е. производить ионизацию вещества. Только образующиеся пары ионов распределены по пути следования электрона гораздо менее густо, чем при движении протонного пучка или  $\alpha$ -частиц.

Быстрые нейтроны теряют энергию главным образом в результате столкновений с ядрами водорода. Эти ядра вырываются из атомов и сами создают в тканях густые скопления ионов. После замедления движения нейтроны захватываются атомными ядрами, что может сопровождаться выделением гамма-квантов или протонов высокой энергии, которые в свою очередь образуют плотные скопления ионов. Часть ядер, в частности ядра атомов натрия, фосфора и хлора, вследствие взаимодействия с нейтронами становятся радиоактивными, поэтому после облучения человека потоком нейтронов в его теле остаются радионуклиды, являющиеся источником излучения (так называемая наведенная радиоактивность).

Таким образом, в результате взаимодействия заряженных и нейтральных частиц с атомами тканей организма человека происходит ионизация их вещества. При этом для каждого вида излучения характерно определенное микрораспределение ионов (энергии) в тканях.

Поток фотонов уменьшается в любой среде, в том числе в биосубстрате, за счет двух факторов: рассеяния фотонов в пространстве и их взаимодействия с атомами среды. Пространственное рассеивание происходит так же, как ослабление лучей видимого света: чем дальше от источника, тем в большем объеме рассеиваются фотоны и тем меньшее количество их при-

холится на единицу облучаемой поверхности. Интенсивность излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника излучения (закон «обратных квадратов»).

Типы взаимодействия фотонов с атомами среды известны читателю из курса физики. При низких энергиях фотонов (5-50 кэВ) и для веществ с небольшим порядковым номером имеет значение фотоэффект. Фотон вырывает орбитальный электрон из атома и придает ему определенную энергию. Выбитый электрон вызывает ионизацию окружающих атомов. При более высоких энергиях фотонов преобладающее значение получает второй тип взаимодействия — неупругое рассеяние электронов на атомах. В этом случае как сам фотон, так и образуемые им электроны отдачи также вызывают ионизацию вещества. Однако и при фотоэффекте, и при комптоновском неупругом рассеянии все фотоны с энергией до 1 МэВ обуславливают максимум поглощения энергии в самом поверхностном слое тканей (до 0,5 см), так как именно в этом слое образуется наибольшее количество вторичных электронов.

Фотоны с энергией выше 1 МэВ вызывают максимум актов ионизации в глубине тканей — тем глубже, чем больше их энергия. При высоких энергиях фотонов приобретает значение третий тип взаимодействия — образование электронно-позитронных пар. Сам фотон исчезает, давая жизнь паре элементарных частиц — электрону и позитрону. Последний быстро теряет энергию и объединяется с встречным электроном. При этом обе частицы тоже исчезают (так называемая аннигиляция), а взамен возникают два фотона, которые расходятся в противоположные стороны. Энергия каждого из этих фотонов вдвое меньше энергии исходного фотона.

Таким образом, при основных типах взаимодействия тормозного излучения и  $\gamma$ -излучения с веществом часть их энергии превращается в кинетическую энергию электронов, которые осуществляют ионизацию среды. Процесс ионизации обуславливает биологические эффекты излучений.

*Дозиметрия ионизирующих излучений* — специальный раздел радиационной физики и техники. Дозиметрический анализ предполагает: а) измерение активности источника излучения; б) определение качества и количества испускаемых им излучений, т.е. создаваемого им поля излучения (лучевого поля); в) определение величины и распределения энергии, поглощенной в любом объекте, находящемся в сфере действия данного источника (внесенном в лучевое поле). С характеристической источника радиолог знакомится по паспорту установки или радиоактивного препарата.

*Единицей активности радионуклида в системе единиц СИ является беккерель (Бк): 1 Бк равен 1 ядерному превращению за 1 с. На практике еще используют внесистемную единицу кюри (Ки): 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  ядерных превращений за 1 с, кратную единицу мекюри (МКи): 1 МКи =  $10^6$  Ки, и дольные Ки, т.е. миллики (мКи), микроки (мкКи): 1 мКи =  $10^{-3}$  Ки, 1 мкКи =  $10^{-6}$  Ки. Нетрудно подсчитать, что 1 Бк равен 0,027 нКи.*

Характеристику поля излучения получают расчетным путем (по таблицам) или с помощью измерительных приборов. Их приемной частью - де-

текторами — служат ионизационные камеры, газоразрядные и сцинтилляционные счетчики, полупроводниковые кристаллы или химические системы. Однако решающее значение для оценки возможного биологического действия излучения имеет характеристика его поглощения в тканях. *Величина энергии, поглощенной в единице массы облучаемого вещества, называется дозой, а та же величина, отнесенная к единице времени, — мощностью дозы излучения.*

Поглощенная доза (Д) — основная дозиметрическая единица. Она равна отношению средней энергии, переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе вещества в этом объеме. Единицей поглощенной дозы в СИ является грей (Гр):  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ . Поглощенную дозу определяют расчетным путем (используя для этой цели компьютеры и математические программы) или посредством введения миниатюрных датчиков излучения в облучаемые ткани и полости тела.

При рентгенологической и радионуклидной диагностике, а также при терапевтическом облучении больного поглощенная энергия в его теле всегда распределена неравномерно, поэтому для более точной характеристики дозного поля введены дополнительные величины. Это, во-первых, интегральная доза — общее количество энергии, поглощенной в организме человека; во-вторых, — гонадная, костномозговая дозы и доза в «критическом органе». Как показывают эти термины, речь идет о дозах энергии, поглощенной в половых органах, костном мозге и в органе, который подвергается наиболее сильному облучению (при радионуклидной диагностике — это орган, в котором создается наиболее высокая концентрация радионуклида).

— Никак не могу найти себе помощника, — пожаловался однажды Эдисон Эйнштейну. — Каждый день заходят молодые люди, но ни один не подходит.

— А как Вы определяете их пригодность? — поинтересовался Эйнштейн.

Эдисон показал ему листок с вопросами:

— Кто на них ответит, тот и станет моим помощником. «Сколько миль от Нью-Йорка до Чикаго?» — прочел Эйнштейн и ответил: «Нужно заглянуть в железнодорожный справочник». — Из чего делают нержавеющую сталь?» — «Об этом можно узнать в справочнике по металлосвариванию...». Пробежав глазами остальные вопросы, Эйнштейн сказал:

— Не дожидаясь отказа, свою кандидатуру снимаю сам.

(ФИЗИКИ шутят. — М.: Мир, 1966)



«Сказка — ложь, но в ней намек. ». Читатель, надеюсь, сам поймет и не будет увлекаться зазубриванием ряда справочных материалов, приведенных в учебнике.

### 3.4. Биологическое действие излучений

Все излучения, как неионизирующие, так и ионизирующие, способны вызывать изменения в живых организмах, т.е. характеризуются биологическим действием, которое является результатом поглощения энергии излучения элементами биоструктур.

Однако энергия ультразвуковых волн и высокочастотных электромагнитных колебаний, используемых в диагностике, значительно ниже энергии, которая сопровождается механической и химической реакцией тканей. В настоящее время продолжается изучение биологического действия ультразвука, стабильного магнитного поля и высокочастотных радиоволн, но существенных вредных последствий от ультразвуковых и магнитно-резонансных исследований не зарегистрировано.

Совсем иное дело — ионизирующие излучения. Их биологическое действие стало известно вскоре после открытия рентгеновского излучения. В частности, И.Р. Тарханов в 1896 г. на основании результатов экспериментов на лягушках, домашних мухах и бабочках установил влияние рентгеновского облучения на ряд систем организма и прозорливо предсказал, что «...в недалеком будущем лучами этими будут пользоваться с лечебной целью». Родоначальником радиационной биологии считают Е.С. Лондона. Он изучил действие  $\gamma$ -излучения радия на ферменты, токсины и различные ткани животных объектов и показал высокую чувствительность к облучению кроветворной системы и половых желез. Е.С. Лондону принадлежит первая в мире монография по радиобиологии «Радий в биологии и медицине» (1911). В 1925 г. Г.С. Филиппов и Г.А. Надсон впервые в мире установили влияние излучений на наследственность. Эта работа явилась предтечей радиационной генетики.

Первый этап биологического действия ионизирующих излучений представляет собой физический процесс взаимодействия излучения с веществом. Все излучения непосредственно или опосредованно вызывают возбуждение либо ионизацию атомов биосистем. В результате этого в тканях появляются возбужденные и ионизированные атомы и молекулы, обладающие высокой химической активностью. Они вступают во взаимодействие друг с другом и с окружающими атомами, при этом под влиянием облучения возникает большое количество высокоактивных свободных радикалов и перекисей. Поглощение энергии излучения и первичные радиационно-химические реакции совершаются практически мгновенно — и течение миллионных долей секунды.

Затем за тысячные доли секунды радиационно-химический процесс приводит к изменению расположения и структуры молекул и, следовательно, к нарушению биохимии клеток. Морфологические и функциональные изменения клеток проявляются уже в первые минуты и часы после облучения. Последнее воздействует на все компоненты клеток, но в первую очередь, особенно при сублетальных и летальных дозах излучения, поражаются ядерные структуры — ДНК, дезоксирибонуклеопротеиды и ДНК-мембранные комплексы. Прекращаются рост и деление клетки, в ней обнаруживаются дистрофические изменения вплоть до гибели клетки. Изменения в хромосомном аппарате клетки отражаются на ее наследственных свойствах — приводят к радиационным мутациям. Они могут развиваться в соматических

клетках, обуславливая снижение жизнеспособности их потомства или появление клеток с новыми качествами. Полагают, что эти новые популяции клеток могут быть источником рака и лейкоза. Мутации, развившиеся в половых клетках, не отражаются на состоянии облученного организма, но могут проявиться в следующих поколениях, а это может вести к увеличению числа наследственных болезней, которых и без того много в человеческой популяции.

Разумеется, биологические последствия облучения отнюдь не сводятся только к клеточным и тканевым реакциям — они лишь лежат в основе сложных процессов нарушения деятельности нервной, кроветворной, эндокринной, иммунной и других систем организма.

Биологический эффект впервые очередь определяется величиной поглощенной дозы и распределением ее в теле человека. При равной дозе наиболее значительные последствия наблюдаются при облучении всего тела, менее выражена реакция в случае облучения его отдельных частей. При этом не все равно, какие части облучены. Облучение живота, например, дает гораздо более выраженный эффект, чем воздействие той же дозы на конечности. Вместе с тем биологический эффект зависит от радиочувствительности облученных тканей и органов. *Радиочувствительность* — очень важное понятие в медицинской радиологии. Она определяется выраженностью лучевого повреждения клеток и тканей и способностью их к восстановлению после облучения.

Чувствительность клетки к облучению зависит от многих факторов: вида излучения (энергии квантов или частиц), стадии митотического цикла, степени оксигенации, функционального состояния клетки в момент облучения. Особенно значительно поражаются клетки, которые в этот момент находились в состоянии повышенной активности (например, в периоде синтеза ДНК). Большую роль играют внешние условия: температура, содержание воды, кислорода и т.д.

Степень лучевых реакций тесно связана с парциальным напряжением кислорода в биосубстрате. Это явление получило название «кислородный эффект». Чем меньше кислорода в клетке, тем меньше лучевое повреждение.

Лучевые повреждения ярко проявляются в активно пролиферирующих тканях (лимфоидная, кроветворная и т.д.) и гораздо менее выражены и возникают в более отдаленные сроки в мало обновляющихся тканях (костная, хрящевая, мышечная, жировая). Малодифференцированные клетки более чувствительны к облучению. Рассматривая вопрос о тканевой радиочувствительности, нужно учитывать, что гибель части клеток компенсируется деятельностью систем клеточного обновления, а она зависит от общего числа стволовых клеток, интенсивности клеточной пролиферации, состояния кровотока и оксигенации клеток. Подробнее этот вопрос будет рассмотрен в главах, посвященных лучевой терапии опухолей.

Мы лишь кратко описали биологическое действие ионизирующих излучений. Подробнее с этой проблемой читатель может познакомиться в руко-

волстве С П Ярмоненко «Радиобиология человека и животных» (М.: Высш<sup>^</sup> школа, 1985) На данном этапе для нас важно подчеркнуть следующее.

При любом медицинском применении ионизирующих излучений необходимо соблюдать правила радиационной безопасности и противо-лучевой защиты пациентов персонала лучевых отделений.



### 3.5. Осторожно, радиация!

В связи с появлением ядерных технологий и широким использованием ионизирующих излучений в медицинской практике, народном хозяйстве и научных исследованиях увеличилась вероятность облучения человека в дозе, превышающей естественный радиационный фон. При этом наибольшее значение имеет медицинское облучение: оно обуславливает примерно 90 % лучевой нагрузки на население, т.е. 90 % популяционной дозы. Основной вклад в эту нагрузку вносит рентгенология.

Техника безопасности и охрана труда при работе с ионизирующими излучениями регламентированы Федеральным законом *«О радиационной безопасности населения»*, *«Нормами радиационной безопасности (НРБ-96)»* и рядом официальных инструкций, изданных Министерством здравоохранения РФ.

В упомянутом законе указано: «Радиационная безопасность населения — состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного для их здоровья воздействия ионизирующего излучения». «Нормы радиационной безопасности (НРБ-96)» предусматривают обеспечение безопасности человека при всех уровнях воздействия на него искусственного или природного ионизирующего излучения. Контроль за выполнением инструкций осуществляют органы санитарно-эпидемиологического надзора. Однако многие положения должны быть известны каждому врачу, поскольку он устанавливает показания к радиологическим исследованиям, а нередко и участвует в них.



*Первое обязательное требование заключается в том, что всякое лучевое исследование должно быть оправданно, т.е. проводить его следует по строгим показаниям. Главным аргументом должна стать необходимость получения важной диагностической информации. При равной информативности нужно отдавать предпочтение тем исследованиям, которые не связаны с облучением больного или сопровождаются меньшим облучением.*

С особой осторожностью подходят к проверочным (профилактическим) лучевым исследованиям. Проверочные рентгенологические исследования не проводят беременным и детям до 14 лет, а радионуклидные процедуры — детям до 16 лет, беременным и кормящим матерям. Детям до 1 года радионуклидные исследования вообще не выполняют, если нет жизненных показаний. Радионуклидные, а также рентгенологические исследования, связанные с относительно большим облучением гонад (исследования кишечника, почек, поясничного отдела позвоночника, таза и др.), женщинам в детородном возрасте рекомендуется проводить в течение первой недели после менструации.

*Второе обязательное требование — соблюдение правил радиологического обследования больных. Его должны проводить только лица, имеющие специальную подготовку по радиационной безопасности. Терапевты, пульмонологи, кардиологи, хирурги, урологи и врачи других специальностей, не прошедшие такую подготовку, не имеют права самостоятельно выполнять радиологические процедуры. Ответственность за обоснованность, планирование и проведение исследования несет врач-радиолог.*

Все работники радиологических отделений, лица, находящиеся в смежных помещениях, а также больные, подвергающиеся исследованию или лечению, должны быть защищены от действия ионизирующих излучений.

*Защитой называют совокупность устройств и мероприятий, предназначенных для снижения физической дозы излучения, воздействующей на человека, ниже предельно допустимой дозы (ПДД).*

Установлены следующие категории облучаемых лиц: 1) персонал, т.е. лица непосредственно работающие с техногенными источниками (группа А) или в связи с условиями работы находящиеся в сфере их воздействия (группа Б); 2) все остальное население (группа В). Для категорий А и Б установлены основные дозовые пределы (табл. 1.1).

Приведенные в табл. 1.1 дозы указаны в *зивертах*. Эта единица была введена для того, чтобы оценивать радиационную опасность воздействия любого вида ионизирующего излучения.

*Зиверт (Зв) — доза ионизирующего излучения любого вида, производящая такое же биологическое действие, как и доза рентгеновского или  $\gamma$ -излучения в 1 Грей (Гр).*

К данной категории относят также медицинский персонал, в связи с условиями работы периодически находящийся в сфере воздействия ионизирующего излучения, например эндоскописты, травматологи и другие специалисты, производящие манипуляции под рентгенологическим контролем. — *Прим. ред.*

**Таблица 1.1. Основные дозовые пределы излучения**

Нормируемые величины	Дозовые пределы	
	группа А'	группа Б
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике, коже*, кистях и стопах, мЗв	150 500 500	15 50 50

\*Дозы облучения (как и все остальные допустимые производные уровни для персонала группы Б) не должны превышать 1/4 значений для персонала группы А.  
 "Относится к среднему значению в слое толщиной 5 мг/см<sup>2</sup> под покровным слоем толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>. На ладонях толщина покровного слоя 40 мг/см<sup>2</sup>

Противолучевая защита обеспечивается рядом факторов. К ним относятся правильное размещение радиологических кабинетов в медицинских учреждениях и наличие стационарных и нестационарных защитных устройств. Стационарными устройствами являются неподвижные сооружения, изготовленные из соответствующих материалов (кирпич, баритобетон, свинец, свинцовое стекло и др.). Эти сооружения — стены, перекрытия, защитные двери, смотровые окна — обеспечивают защиту от прямого и рассеянного излучения всех лиц, находящихся в помещениях, смежных с тем, в котором находится источник излучения. Нестационарными устройствами называют перемещаемые приспособления, предназначенные для защиты персонала и больных, находящихся в тех же кабинетах, в которых расположены источники излучения. К таковым принадлежат разнообразные защитные ширмы, кожухи, в которые заключены рентгеновские трубки, сейфы для хранения радиоактивных препаратов, контейнеры для размещения и транспортировки радионуклидов, защитные стерилизаторы.

В рентгеновских кабинетах обязательным является использование *средств индивидуальной защиты* — фартуков и перчаток из просвинцованной резины. Участки тела больного, которые не должны подвергаться облучению, также покрывают просвинцованной резиной. В радионуклидных лабораториях все сотрудники тоже обязаны применять средства индивидуальной защиты — спецодежду, фартуки, бахилы, перчатки, а также использовать дистанционный инструментарий. При работе с открытыми источниками излучения используют пневмокостюмы, пластиковые полукombineзоны, фартуки, нарукавники, респираторы, перчатки, обувь, очки, халаты.

Существенным фактором противолучевой защиты является рациональное расположение рабочих мест персонала с максимальным удалением их от источников излучения — так называемая защита расстоянием (вспомните, что интенсивность облучения снижается обратно пропорционально квадрату расстояния от источника до облучаемой поверхности).

Во всех медицинских учреждениях, где имеются источники ионизирующих излучений, организован радиационный контроль. Его осуществляет служба радиационной безопасности учреждения или специально выделенное должностное лицо, а также соответствующие ведомственные службы с применением дозиметрических приборов.

Учитывая существование профессиональной вредности у персонала рентгенологических кабинетов, трудовое законодательство предусматривает ряд льгот: сокращенный рабочий день, удлиненный отпуск, надбавку к заработной плате, более ранний уход на пенсию. К работе в рентгенологическом отделении не допускаются лица моложе 18 лет, а также беременные. Существует, кроме того, перечень заболеваний, при которых не разрешается работа в сфере действия ионизирующего излучения.

## 4. ЭЛЕМЕНТЫ МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАТИКИ

Революция в вычислительной технике оказала огромное влияние на все сферы человеческой деятельности — общественной и профессиональной. Благодаря низкой стоимости, компактности и «дружелюбию» по отношению к потребителю эта техника стала центром рабочего места инженера и техника, физика и математика, бухгалтера, экономиста и многих других специалистов. С помощью ЭВМ осуществляют руководство хозяйством страны, составляют планы развития отраслей экономики. На базе ЭВМ основаны полеты в космос, авиационная навигация, планирование работы наземного и водного транспорта.

В последние годы ЭВМ широко внедряют в гуманитарные области знаний: медицину и биологию, генетику, психологию, науковедение. Применение компьютеров в корне изменило обмен информацией — сделало его быстрым, точным и поистине всеобъемлющим. Исключительно важную роль играет вычислительная техника в медицине и здравоохранении. Возникло новое научное направление — *медицинская информатика*.

Медицинская информатика — это наука, изучающая законы и методы применения вычислительной техники в медицине, а также теорию оценки информативности диагностических методов исследования.

Особое влияние оказала медицинская информатика на развитие медицинской радиологии. За одно-два десятилетия ее активного использования, в частности применения вычислительной техники, возникли принципиально новые методы исследования, изменившие медицинскую науку и врачебную деятельность. На ее базе были созданы такие прогрессивные диагностические технологии, как *компьютерная, магнитно-резонансная и эмиссионная томография, практически вся ультразвуковая и радионуклидная диагностика, высокотехнологические способы получения рентгеновских изображений — цифровая рентгенография, флюорография, ангиография*. С помощью ЭВМ осуществляют планирование лучевой терапии и облучение пациента. Компьютеры значительно изменили образовательный процесс, обусловив доступность, открытость и оперативность получения учебного материала.



В медицинских институтах и университетах основы вычислительной техники изучают на специальном курсе, который включают в блок фундаментально-гуманитарных дисциплин. Здесь же мы остановимся лишь на тех аспектах медицинской информатики, которые затрагивают интересы медицинской радиологии и рентгенологии.

Основными областями применения компьютеров в медицинской радиологии являются следующие.

1. *Получение изображения внутренних органов* с помощью специальных методов исследования, основанных на компьютерной технологии. К ним относятся дигитальные рентгеновские методы — цифровая рентгенография, флюорография, ангиография, радионуклидная скинтиграфия, ультразвуковая визуализация органов — сонография и доплеровское картирование, послойное исследование органов — томография: рентгеновская, магнитно-резонансная, радионуклидная.

- 2 «Дигитализация», т. е. оцифровка уже существующих медицинских изображений, например рентгенограмм, с целью получения более качественной диагностической информации.



Рис. 1.4. Автоматизированное рабочее место врача.

3. Автоматизация сбора, хранения и анализа данных, благодаря чему эти процедуры стали более точными, надежными и высокопроизводительными.

4. Создание компьютерных информационных баз данных с их неограниченной емкостью памяти, быстрым и рациональным доступом к хранящейся в них информации.

5. Создание на базе персонального компьютера индивидуального автоматизированного рабочего места (АРМ) врача, что в значительной степени повышает эффективность его работы (рис. 1.4).

6. Создание автоматизированной системы управления отделениями лучевой диагностики, благодаря которой значительно увеличивается производительность лечебного учреждения в целом.

7. Создание полностью (или в значительной части) компьютеризированных отделений лучевой диагностики, связанных с внутрибольничной компьютерной сетью.

8. Использование компьютеров в обучении и тестировании знаний.

9. Применение компьютера как терминала для выхода в локальные, национальные и международные компьютерные сети (Интернет) для обеспечения оперативного доступа к мировым информационным ресурсам в области медицинской радиологии и общечеловеческих знаний в целом.

#### **4.1. Как устроен компьютер**

При рассмотрении данного раздела учебника следует учитывать два важных обстоятельства, накладывающих отпечаток на все его последующее содержание.

Первое. Прогресс в компьютерных технологиях необычайно стремителен. Производительность компьютеров возрастает в среднем на 10 % ежемесячно<sup>^</sup>). При этом стоимость их снижается ежегодно на 25—30 %(!). Пол-

ное обновление технологической базы компьютера происходит каждые 18 мес(!) Таким образом, сказанное о компьютерах сегодня уже через короткое время в значительной степени устаревает, становясь через 2-3 года вообще анахронизмом. Такова плата человечества за амортизацию компьютерных знаний. Еще в далеком 1982 г. американские ученые Х. Лунг и А. Гупта привели следующее яркое сравнение для иллюстрации прогресса в компьютерных технологиях: «Если бы за последние 25 лет авиационная промышленность развивалась столь же стремительно, как и вычислительная техника, то Боинг-767 можно было бы приобрести за 500 долларов и облететь на нем земной шар за 20 минут, израсходовав при этом всего 19 литров горючего». Естественно полагать, что в наше время этот прогресс еще более стремителен.

Второе. Любой компьютер, где бы он ни был изготовлен, является сто-процентным американским продуктом, и как таковой он несет в себе идеологию, культуру и язык этой страны. За всю историю развития компьютерных технологий никто, ни Европа, включая Россию, ни Азия, включая Японию, не внесли в нее ничего существенного. Как ни печален этот факт, но он таков, и его нельзя не учитывать. Конечно, компьютеры, в том числе медицинского назначения, собирают во многих странах, в частности в России. Однако это в основном «отверточная технология», хотя и достаточно качественная. Важно другое: все программное обеспечение компьютеров, с помощью которого человек общается с ними, в большинстве случаев выполняется на английском языке (точнее — американском, а это не одно и то же).

Правда, существует достаточное число удачных русифицированных программных приложений, но они относятся главным образом к программам общего назначения, например текстовому редактору или элементарным графическим пакетам. Что же касается узкоспециализированных медицинских программ, особенно управляющих высокими медицинскими технологиями, то они русских вариантов, как правило, не имеют. В полной степени это относится и к медицинской радиологии. Из этого факта вытекает важное следствие: *врач, если он хочет быть грамотным специалистом в области медицинской информатики, обязан знать основы английского языка*. Без этого трудно полноценно использовать Интернет, предоставляющий врачу огромный массив информации. Однако успокоим читателя: отечественные программисты в настоящее время все чаще обращают свои взоры к медицине, вследствие чего рождаются отдельные достаточно привлекательные медицинские программные продукты. Из изложенного следует еще один важный вывод: компьютерный лексикон чрезвычайно насыщен английскими терминами, которые на русский язык обычно не переводятся и употребляются в исходной транскрипции.

При рассмотрении компьютерной технологии нужно выделить две составляющие ее части: *аппаратную* и *программную*. Первая (англ. *hardware* — «твердое изделие», иногда на компьютерном сленге ее называют просто «железо») содержит сведения об устройстве компьютера его структуре и характеристике отдельных составляющих его частей. Вторая часть — программная (англ. *software* — «мягкое изделие», или сокращенно «софт»), ее содержанием являются программы общего и специального назначения.

Существует большое число видов компьютеров, различающихся сложностью устройства, функциональными возможностями и областью применения. По производительности и габаритам компьютеры условно можно разделить на *»КР°-ЭВМ, мини-ЭВМ (мейнфрейм), супермини-ЭВМ, большие ЭВМ и супер-ЭОМ*. Однако нужно отметить, что стоимость и производительность вычислительных машин всех перечисленных классов варьируют в широких пределах, а нередко по ряду показателей пересекаются между собою. Наибольшее значение для медицинской радиологии, как и для медицины в целом, имеют микро-ЭВМ. Их в свою очередь подразделяют на *многопользовательские микро-ЭВМ, автоматизированные рабочие места, встроенные ЭВМ и персональные ЭВМ (персональный компьютер, или ПК)*.

У микро-ЭВМ в лучевой диагностике два назначения. *Встроенные в диагностические аппараты микро-ЭВМ (специализированные ЭВМ)* позволяют выполнять компьютеризованный сбор, хранение и обработку диагностической информации. В частности, такими машинами оснащены специальные аппараты для послыоного исследования органов человека, рентгеновские и магнитно-резонансные компьютерные томографы, радионуклидные, ультразвуковые, а также некоторые другие диагностические аппараты. Архитектура этих ЭВМ строго определена заводом — изготовителем диагностического аппарата, их программы имеют узкоспециализированную направленность, и большинство из них прочно «зашито» в память компьютера. Универсальные микро-ЭВМ предназначены для решения общих, текущих задач службы лучевой диагностики и лучевой терапии.

Большое распространение в медицинской радиологии (и не только в ней, но и во всей современной человеческой информационной культуре) получил *персональный компьютер — ПК<sup>1</sup>* (рис. 1.5). Его достоинствами являются децентрализация работы с вычислительной техникой, возможность решения широкого круга информационных, логических, научных и самых разнообразных прикладных задач, простота конструкции и низкая стоимость, возможность работы с обширным периферийным оборудованием.

В противоположность встроенным микро-ЭВМ персональные компьютеры имеют, во-первых, открытую архитектуру, т.е. их можно модифицировать, подбирать на свой вкус в зависимости от решаемых задач; во-вторых, модульный характер, т.е. состоят из отдельных блоков — модулей, которые можно менять и надстраивать («производить апгрейд» — от англ. upgrade — подъем).

Программы для этих компьютеров преимущественно универсальные, т.е. предназначены для решения широкого круга задач, как медицинских, так и немедицинских. Таким образом, обращаясь к ПК, пользователь вправе избрать оптимальный вариант, исходя из стоящих перед ним задач и, естественно, стоимости вычислительной машины.

Среди персональных компьютеров выделяют *серверы, рабочие (графические) станции, настольные и портативные модели — так называемые ноутбуки* (от англ. notebook — записная книжка; рис. 1.6). *Сервер* — это компьютер, встроенный в компьютерную сеть и управляющий ее ресурсами, при этом он предоставляет свои вычислительные ресурсы в коллективное поль-

<sup>1</sup> Подробнее см.: Борзенко А. IBM PC: устройство, ремонт, модернизация - М: Компьютер-пресс, 1997.



Рис. 1.5. Персональный компьютер.



Рис. 1.6. Портативный компьютер.

зование. *Рабочая станция* — компьютер, играющий роль терминала в компьютерной сети. *Графические станции* представляют собой разновидность рабочих станций. Это, как правило, высокопроизводительные компьютеры с мощными вычислительными ресурсами и большим набором сервисных программ, которые позволяют эффективно работать с графикой, в том числе с медицинскими изображениями.

*Настольные модели* в свою очередь можно разделить на машины для корпоративных пользователей (например, одного отделения больницы) и однопользовательские компьютеры для дома и рабочего места врача. Последние иногда метко называют *SOHO-компьютер* (Small Office, Home Office — маленький офис, домашний офис). Небезынтересно отметить, что интенсивная миниатюризация компьютерной техники позволила создать сверхпортативные персональные модели (карманные компьютеры): *пальм-топ* (от англ. palm — ладонь) и *Wallet PC* (от англ. wallet — бумажник). Последний, по мнению его создателей, должен заменить калькулятор, кредитную карту, пейджер и карманный компьютер с модемом.

Персональный компьютер может обеспечить выполнение многих функций в работе врача. Главными из них являются следующие.

1 • *ПК — универсальная база данных*. В процессе своей деятельности врач получает огромное количество информации. В настоящее время медицине известно около 10 тыс. болезней и около 100 тыс. симптомов. Еще есть справочники лекарств, радиофармпрепаратов, большое количество инструкций, приказов и т.д. Держать эту информацию в голове невозможно, пользоваться многочисленными справочниками — трудно и долго. Эту рутинную работу по поиску нужной информации может взять на себя ПК.

Другими вариантами специализированных баз данных являются: 1) «*записная книжка*», в которую удобно вносить и из которой при необходимости можно получить нужные адреса и телефоны, расписание текущих дел, списки больных, которым нужно провести исследование, и др.; 2) «*рабочая тетрадь*» с конспектами прочитанных книг и лекций, черновиками или окончательными вариантами писем, отчетов, статей и др.; 3) « *лабора-*



торный журнал,, в который удобно заносить текущие материалы научных исследований, списки обследованных больных, полученные данные и т.д.

2. *ПК - текстовый процессор*, позволяющий редактировать тексты готовить различные документы: статьи, справки, отчеты и др.

3. *ПК - средство для выполнения различных графических работ*, в том числе для обработки диагностических изображений (рентгеновских ультразвуковых, радионуклидных и др.), а также для решения задач по их архивированию, транспортировке на другие компьютеры и изготовления их твердых копий (обычно на бумаге).

4. *ПК — средство для решения научно-исследовательских задач*: анализа данных, в том числе диагностических изображений, статистической обработки результатов, построения графических изображений и др.

5. *ПК — средство для решения издательских задач*: подготовки, редактирования, макетирования и даже окончательного тиражирования научных публикаций, отчетов, методических рекомендаций, брошюр и даже книг.

6- *ПК — помощник руководителя*. Он позволяет проанализировать большие массивы информации, определить направление развития и возникающие трудности, подготовиться к совещаниям, конференциям, включая производство иллюстративного материала для лекций, докладов и презентаций — слайдов, графиков, рисунков, «проиграть» различные ситуации и варианты. В последние годы появились специальные проекционные системы — микропроцессорные проекторы, позволяющие иллюстрировать доклады перед аудиторией непосредственно из памяти компьютера (без изготовления слайдов), включая анимацию (с показом движущихся изображений — своеобразного «компьютерного кинофильма»).

7. *ПК — обучающее средство*. Он позволяет лучше представить суть изучаемого явления, создать «среду обитания» изучаемого процесса. В настоящее время существует большое количество электронных версий учебников, в том числе по медицинской радиологии, которые рассчитаны на интерактивное обучение с применением ПК. Через Интернет широко распространяются различные учебные материалы, в частности касающиеся медицинской радиологии.

8. *ПК — средство общения врачей между собою*. Подключаясь к общегородской, общегородской, национальной или международной (глобальной) компьютерной сети, ПК помогает врачу оперативно получать от своих коллег точную информацию по всем интересующим его вопросам, связанные ли они с лечебным процессом, научными исследованиями или организационными мероприятиями, через Интернет принимать активное и непосредственное участие в телеконференциях по различным интересующим его проблемам. Имея «электронный почтовый ящик», врач может оперативно получать всю направляемую ему корреспонденцию, как официальную, так и частного порядка, как текстовую, так и изобразительного характера, и одновременно отправлять корреспонденцию в любую точку планеты, где есть телефон и соответствующим образом оборудованный ПК.

9. *ПК - средство для выхода в Интернет* - всемирную компьютерную сеть (Всемирную Паутину). При этом врачу становятся доступны все мировые информационные ресурсы: культурные, профессиональные, научные, просветительские и др.

В зависимости от производительности и цены ПК различают компьютеры начального уровня (low end) и высокопроизводительные модели (High

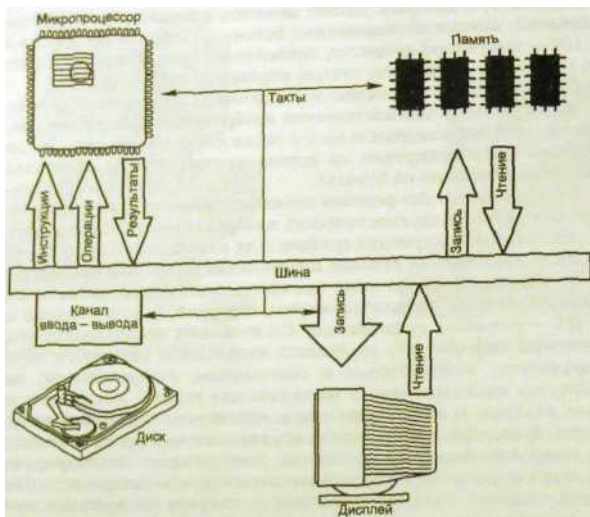


Рис. 1.7. Принципиальная схема устройства компьютера.

end). Все компьютеры, независимо от их назначения и типа, имеют одинаковую архитектуру и включают в себя *микропроцессор, память, шину, каналы ввода-вывода информации, диск и дисплей*. Эти элементы являются обязательными, так как в случае отсутствия хотя бы одного из них компьютер перестает быть самим собою. В компьютере обычно имеются клавиатура, «мышь» и другие вспомогательные аксессуары, которые можно менять или дополнять в зависимости от назначения и области применения компьютера.

Схема действия компьютера представлена на рис. 1.7. *Микропроцессор* получает из памяти информацию в виде инструкций, которые предписывают ему, что нужно делать. Затем из оперативной памяти он извлекает заложенные в них данные, обрабатывает их и отправляет обратно в эту память и далее, если необходимо, — во внешнюю память или на дисплей. Все эти операции выполняются циклами с определенной тактовой частотой, обусловленной особенностью устройства микропроцессора и пропускной способностью шины. Частоту работы микропроцессора определяют в мегагерцах — МГц (обычно от 100 до 300 МГц и даже выше). Тип микропроцессора, тактовая частота его работы и разрядность «прокачки» информации по шинам в основных чертах определяют производительность компьютера и таким образом обуславливают сферу его применения в медицине. Современные компьютеры могут выполнять до нескольких сотен миллионов и даже миллиардов операций в секунду, что позволяет использовать их во всех сферах деятельности человека, в том числе медицинской.

Для врача, особенно специалиста в области лучевой диагностики, важное значение имеет *тип процессора*. Дело в том, что по исторически сложившейся традиции существует два основных стандарта компьютеров, которые имеют различные основные программные средства (так называемые платформы) и вспомогательные, или прикладные, программные средства (приложения). Подавляющее большинство применяемых в мире, особенно в России, компьютеров относится к типу *IBM-совместимых*, называемых так по имени индустриального компьютерного гиганта - International Business Machines, впервые наладившего массовый выпуск высокопроизводительных машин и до сих пор удерживающего лидирующие позиции в этом секторе рынка. Компьютеры этого типа характеризуются исключительно большим диапазоном возможностей (а следовательно, и цен), начиная от наиболее простых и доступных для всех пользователей, к которым можно отнести и врача, и кончая супермощными ЭВМ, например типа «Deer Blue», обыгравшей недавно чемпиона мира по шахматам Г. Каспарова.

IBM-совместимые компьютеры составляют значительную часть — до 80 % — компьютерного парка нашей страны.

Однако есть еще один компьютерный стандарт — фирмы «Apple». Это компьютеры «Макинтош» («Macintosh»), или сокращенно «Мае», которые даже при их серийном изготовлении отличаются большим набором функций, прекрасной графикой, удобным интерфейсом, но они существенно дороже, чем IBM-совместимые компьютеры. На их платформе собирают графические станции, издательские системы, терминалы для обработки изображений, получаемых с помощью средств лучевой диагностики. Примечательно, что именно в медицинской радиологии доля этих компьютеров значительно выше — до 30 %, чем в среднем по России, благодаря их высоким графическим возможностям. В последнее время созданы программы, в равной степени пригодные для работы на обеих названных выше платформах.

Рассмотрим основные составляющие части компьютера, не вдаваясь в сложные технические детали и обращая внимание при этом лишь на те из них, которые непосредственно влияют на потребительские качества машины в целом.

Центральным узлом любого персонального компьютера является *микропроцессор* (или просто *процессор*). Для IBM-совместимых ПК, а именно о них пойдет речь в дальнейшем, такими процессорами являются Pentium, Pentium II, Pentium Pro, К6. Иногда в название процессора включают его тактовую частоту (в МГц), например Pentium-233. Понятно, что чем она выше, тем выше производительность компьютера в целом.

Следующее важное устройство (или, точнее, группа устройств, определяющих потребительские свойства компьютера) — это *память*. Выделяют три вида памяти: *постоянную, оперативную и внешнюю (хранилище)*.

Единицей памяти (как и информации) в компьютере является *1 бит*, т.е. двоичный разряд, который может принимать значение 0 или 1. Во-семь битов составляют *1 байт*, в нем можно закодировать значение одного символа (цифры, буквы) из 256 возможных. 1024 байт составляют *1 килобайт (кбайт)*. Один *мегабайт (Мбайт)* равен 1024 кбайт, *1 гигабайт (Гбайт)* - 1024 Мбайт.

В *постоянной памяти* хранится такая информация, которая не меняется в ходе выполнения программ компьютером. Информация в ней «зашията» навсегда на заводе-изготовителе и сохраняется даже в отключенном компьютере, т.е. является энергонезависимой. Ее иногда называют также *ROM (Read Only Memory — память только «Я считывания»)*, т.е. она работает только в режиме считывания и хранения.

Большой интерес для врача представляет *оперативная память*, или *КАМ (Random Access Memory ~ память со свободным доступом)*. В ней хранится вся информация, с которой работает процессор: операционная система, пользовательские прикладные программы, промежуточные и окончательные результаты работы. В отключенном компьютере она пуста и начинает заполняться одновременно с включением прибора, т.е. является энергозависимой. Необходимую для работы информацию она черпает из внешней памяти. Чем больше оперативная память, тем выше производительность компьютера. Существующие в настоящее время прикладные программы, в том числе медицинские, начинают работать лишь при объеме оперативной памяти не менее 4 Мбайт. Однако оптимальный объем оперативной памяти для медицинских целей составляет 16—32 Мбайт.

На производительность компьютера влияет также наличие дополнительного, но весьма существенного блока памяти, находящегося между процессором и оперативной памятью. Этот блок носит название «*кэш-память*» (от англ. *cache* — тайник). Ее назначение — ускорить обмен данными между быстро работающим процессором и более медленно функционирующей оперативной памятью. Кэш-память старается как бы предвосхитить запросы процессора и забирает из оперативной памяти те данные, которые потребуются процессору в ближайшее время. Объем такого «акселератора» может достигать 512 кбайт. Для того чтобы еще больше ускорить работу компьютера, вводят еще одну дополнительную память — кэш-память второго уровня, которую встраивают между кэш-памятью первого уровня и оперативной памятью.

*Внешняя память* компьютера многообразна. Это прежде всего встроенный в системный блок *жесткий диск*, или *винчестер*, — основная кладезь информации компьютера. На одном диске хранятся все программы, с которыми работает компьютер, — операционная система, вспомогательные системные продукты (драйверы, утилиты и пр.), прикладные программы, все промежуточные и окончательные результаты — тексты, рисунки, медицинские изображения органов, протоколы и т.д. К достоинствам жесткого диска следует отнести большую емкость хранимой в нем информации (современные диски имеют емкость памяти до 10 Гбайт — это около 1 млн страниц печатного текста), возможность сохранения информации при отключенном питании компьютера, невысокую стоимость хранения информации.

Накопители на *магнитных дисках* позволяют переносить информацию с одного компьютера на другой, делать архивные копии информации, содержащейся на жестком диске. Емкость дискеты диаметром 3,5 дюйма составляет 1,44 Мбайт, т.е. около 100–150 страниц печатного текста. Преимущество у дискеты одно — ее портативность.

Потребность в переносе с компьютера на компьютер большого количества информации, например рисунков, профессиональных изображений (в медицине — рентгенограмм, томограмм и др.), каждое из которых обычно

занимает объем памяти от одного до нескольких мегабайт, обусловила необходимость создания новых технологий переносных накопителей на магнитных дисках с повышенным объемом памяти - от 100 Мбайт до 1 Гбайт. Такую технологию хранения информации иногда называют *Iomega Zip* (по названию фирмы, производящей эти накопители). Для специалиста в области лучевой диагностики такие диски очень удобны: на одном диске диаметром всего 3,5 дюйма можно перенести (по существу в кармане) сразу несколько десятков рентгенограмм или книг такого объема, как та, которую вы держите в руках.

В качестве переносных носителей внешней памяти применяют также *оптические компакт-диски (Compact Disk ROM, или сокращенно CD-ROM)*. Благодаря небольшим размерам (их диаметр 5,25 дюйма), большой емкости (640 Мбайт), надежности и долговечности хранимой на этих дисках информации они стали одним из наиболее часто используемых портативных носителей информации. На них записывают все системные и прикладные программы, в том числе медицинские, электронные версии книг и учебников и даже полноформатные документальные и художественные кинофильмы. К недостаткам оптических компакт-дисков можно отнести невозможность повторной записи (или перезаписи) информации (отсюда и его название ROM — Read Only Memory — память только для чтения). Этот недостаток отсутствует у *магнитно-оптических компакт-дисков*, на которых информацию можно перезаписывать многократно, как на магнитную дискету или винчестер. Емкость магнитно-оптических дисков около 2 Гбайт.

Общение человека с компьютером происходит, как известно, с помощью *монитора*, и его характеристика имеет для врача большое значение. Особую роль качество монитора играет в лучевой диагностике, где работа с изображением составляет значительную часть профессиональной деятельности врача.

В компьютерах, за исключением портативных, в которых используют жидкокристаллические дисплеи, как правило, применяют мониторы на базе электронно-лучевых трубок. Их соединяют с компьютером с помощью *видеоадаптера VGA* — наиболее прогрессивного в настоящее время видеостандарта. Из всех характеристик монитора для врача наиболее важны: 1) *диаметр экрана* (не менее 15 дюймов); 2) *частота вертикальной развертки луча* (не менее 75 Гц); 3) *размер между точками люминофора* (не более 0,25 мм); 4) *разрешение* (не менее 1024x768 точек при 256-цветном режиме). В заключение отметим, что в настоящее время используют только LR-мониторы (Low Radiation), которые имеют очень низкий уровень излучения, поэтому дополнительный защитный экран не требуется.

Говоря о мониторе, следует коснуться некоторых санитарных правил, которых нужно придерживаться при работе с компьютером. Дело в том, что даже при исключительно низком радиационном выходе современных мониторов, практически исключая какое-либо вредное электромагнитное облучение, имеется определенная опасность его нежелательного воздействия на орган зрения, в основном из-за мерцания (хотя и неосознаваемого) видеозаэкрана. Напомним, что частота смены кадров в современных мониторах составляет в среднем 75 Гц, поэтому наиболее качественные (но и наиболее дорогие) мониторы имеют более высокую частоту кадров — до 100 Гц. Небезынтересно отметить, что все изложенное относится также к бытовым телевизорам. И все же, невзирая на высокую частоту покадровой

развертки рекомендуется после каждых 50 мин работы за экраном делать перерыв продолжительностью 10 мин. Кстати, это положение, касающееся работы на персональных компьютерах, в некоторых отраслях хозяйства России (например, на Аэрофлоте) закреплено законодательно.

Еще одна опасность при работе с компьютером - утомление кистей рук. Иногда оно даже переходит в повреждение связочного аппарата кистей, вплоть до развития артрозов. Об этом обязательно нужно помнить и давать рукам, так же как и глазам, периодически отдыхать.

*Видеокарта*, или *видеоадаптер*, - это своеобразный буфер, который управляет монитором; он «захватывает» изображение из процессора, обрабатывает его, например редактирует, раскрашивает, а затем подает на монитор. Качество видеокарты измеряют в единицах памяти — мегабайтах. Хорошие карты могут иметь память до 4—8 Мбайт. Напомним, что емкость одной страницы печатного текста составляет около 10—20 кбайт, а одного рисунка или диагностического изображения, например рентгенограммы, — в среднем 1—5 Мбайт. В последнее время в ПК начали применять дополнительные видеокарты — так называемые 3D-акселераторы (трехмерные ускорители). Они позволяют значительно улучшить компьютерную графику, в частности дают возможность работать с трехмерными (объемными) изображениями, которые постепенно входят в компьютерную практику, в том числе в области лучевой диагностики.

В последнее время появилось понятие '*мультимедийный компьютер*', или сокращенно '*мультимедиа*'. Эта технология позволяет объединить в одном компьютере текстовые данные, звук, графические изображения и даже их анимацию. Это обеспечивается либо программно, либо, что гораздо лучше, аппаратно с помощью дополнительно присоединяемой к процессору микросхемы MMX. Для создания звукового сопровождения программ в компьютере дополнительно устанавливают *звуковую карту*. *Основное назначение мультимедийных компьютеров в лучевой диагностике — озвучивание учебных фильмов и обучающих программ.*

К системам ввода информации в компьютер относятся клавиатура, «мышь» и некоторые другие электромеханические средства. Отметим, что в последнее время появились модели компьютеров с речевым вводом информации, т.е. они работают «с голоса» пользователя. Специфическим устройством ввода информации в компьютер являются аналого-цифровые преобразователи, или АЦП. Их задача — превратить аналоговый сигнал, например изображение, получаемое на гамма-камере, или электрокардиографическую кривую, в упорядоченный набор цифр, с тем чтобы их можно было использовать в вычислительной технике.

Теперь попробуем расшифровать информацию о компьютере, который находится, например, на Вашем рабочем столе: Pentium-233 MMX/PCI/ 16 Mb RAM/512 KB cache/8 Gb HDD/FDD 3,5"/12xCD-ROM/2 MB/15" 0,25/SB 16. В этом компьютере установлен процессор Pentium с мультимедийным расширением MMX, работающий на частоте 233 МГц, имеются 32-разрядная шина PCI, оперативная память 16 Мбайт, кэш-память 512 кбайт, жесткий диск емкостью 8 Гбайт, магнитный накопитель для дискет диаметром 3,5 дюйма, 16-скоростной привод для компакт-дисков, видеокарта на 2 Мбайта, а также 16-разрядная звуковая карта Sound Blaster. Компьютер оснащен 15-дюймовым монитором с размером ядер люминофора 0,25 мм. Отметим, что приведенная конфигура-



Рис. 1.8. Лазерный принтер.



Рис. 1.9. Модем.

ция компьютера оптимальна для работы врача — специалиста в области лучевой диагностики.

Для вывода информации на бумагу применяют различные типы печатающих устройств — *принтеров*. Печатающая головка *матричного принтера* оснащена 24 или 48 иглами. Обычная печать — черно-белая. Скорость печати — одна страница за 10–40 с. Недостатком принтера является высокий уровень шума, преимуществами — низкая стоимость, надежность и простота в обслуживании.

*Струйные принтеры* более комфортны в работе, так как работают абсолютно бесшумно. Изображение в них формируется с помощью микрокапельниц, выдающих специальные чернила с помощью сопел, количество которых варьирует от 12 до 64. Печать, которая может быть черно-белой или цветной (достаточно просто сменить картридж принтера), отличается высоким качеством, скорость печати — одна страница за 20–30 с.

*Лазерные принтеры* (рис. 1.8) обеспечивают наиболее высокое качество печати, соизмеримое с качеством типографской печати, но они и самые дорогие. В этих принтерах используется принцип ксерографии: первоначально изображение получается на специальном барабане путем его электризации лазерным лучом по команде с компьютера, откуда оно затем переносится на бумагу. Обычно применяют черно-белые принтеры, однако в лучевой диагностике для выполнения цветных изображений можно использовать цветные принтеры. Стоимость их, однако, чрезвычайно высока.

*Модем* — это устройство, сопрягающее компьютер с линией связи, например телефонной сетью (рис. 1.9), путем преобразования цифровой информации компьютера в аналоговую (электрическая модуляция). В таком виде информация передается по телефонным сетям в любую точку больницы, города, страны или за ее пределы. На другом конце телефонной линии модем работает в обратном режиме — демодуляции: аналоговый сигнал преобразуется в цифровой, после чего подается на принимающий компьютер. Одновременно модем может выполнять сжатие и декомпрессию пересылаемой информации, а также заниматься поиском и исправлением ошибок, которые нередко возникают при преобразовании информации и передаче ее по



Рис. 1.10. Планшетный сканер.

каналам связи. Таким образом, модем — это устройство, обеспечивающее связь врача с внешним миром через компьютер. Важной характеристикой модема является его пропускная способность, которая измеряется в *битах в секунду* (бит/с) или *водах*. Обычно пропускная способность модема на проволочных линиях связи составляет несколько тысяч (10—30) бит/с. При волоконно-оптической связи она значительно выше.

*Сканер* — это устройство, предназначенное для считывания графической или текстовой информации и передачи ее в компьютер. Сканеры бывают настольные (планшетные или барабанные) и ручные. Для врача наиболее приемлем настольный планшетный сканер, желательно цветной (рис. 1.10). Качество сканера определяется его пространственным разрешением, измеряемом количеством точек на 1 дюйм — *dpi (dot per inch)*. Хорошим считается сканер с разрешением не менее 400 dpi. Для того чтобы ввести в компьютер рентгеновское изображение, т.е. рентгенограмму, необходим специальный сканер — *транспарентный*.

## 4.2. Программное обеспечение компьютеров

Для того чтобы компьютер работал, нужны, как известно, *программы (software)*. Их можно условно разделить на две большие группы — *системные* и *прикладные*. Есть еще так называемые *инструментальные*, но они интересны только для специалистов в области программирования.

*Системные программы* сами по себе не решают никаких пользовательских задач. Их назначение — управлять компьютером. К системным программам относятся *операционные системы*, *драйверы* и *утилиты*. Центральное место в системных программах, естественно, отводится операционной системе. Среди них длительное время, вплоть до конца 80-х годов, главной была программа *MS-DOS*. Затем на смену этой операционной системе пришли другие, более развитые и функциональные.

*Драйвер* (от англ. drive — управлять) — это программа, обеспечивающая связь между операционной системой и различными периферийными устройствами (принтером, клавиатурой, «мышью» и др.) и управление ими, а также регулирующая поток данных, проходящий через эти устройства. Если к компьютеру подключают какое-нибудь новое устройство, необходимо одновременно установить и новый, соответствующий этому устройству драйвер. С некоторыми оговорками можно считать драйвер частью операционных систем, тем более что в некоторых из них обязательно имеется большой пакет готовых к употреблению драйверов для наиболее распространенного периферийного оборудования. *Утилита* — это также вспомогательная программа, позволяющая пользователю выполнять манипуляции с различными периферийными устройствами, например форматировать диски, оценивать состояние отдельных частей компьютера и т.д. Как и 52



драйвер, наиболее распространенные утилиты входят в состав многих операционных систем.

В операционной системе MS-DOS врачу работать очень неудобно: для того чтобы выполнить на компьютере какие-либо действия, например напечатать протокол диагностического исследования, необходимо набрать на клавиатуре ряд слов — имена команды, файла, каталога, их путь. Это все нужно помнить, поэтому были созданы специальные *программы-оболочки*, которые позволяют просто с помощью клавиатуры или «мыши» выбрать определенное место на экране, и компьютер начнет выполнять желаемые действия. Одной из наиболее распространенных подобных оболочек стала программа *Norton Commander*, разработанная американским ученым P. Norton.

В 1990 г. американская компания «Microsoft» под руководством ее создателя B. Gates выпустила новый программный продукт — *графический интерфейс Windows* (окна)<sup>1</sup>, который значительно облегчил работу с компьютером, сделал ее доступной для самого широкого круга людей. Операционная среда Windows стала поистине всенародной. За короткий отрезок времени сменилось несколько версий Windows. Последними из них являются Windows-95 и Windows-98; в настоящее время разрабатывается Windows-2000. Под их управлением работает большинство прикладных программ — как общего назначения, так и медицинских. С созданием операционной системы Windows-95 (именно уже *системы*, а не оболочки) осуществилась мечта о полном «дружеском отношении» между человеком и компьютером. При этом значительно упростилась процедура подключения к компьютеру различных периферийных устройств (принтеров, сканеров и др.). Подобная концепция получила меткое название — *«plug and play»* («включай и работай»).

Профессиональным вариантом данной операционной системы является *Windows-NT*, которым оснащаются сложные вычислительные комплексы, серверы, в том числе используемые в медицине. Главными преимуществами Windows стали не только его простота и доступность, но и многозадачность, т.е. возможность работать одновременно с несколькими программными приложениями (рис. 1.11). Каждой выполняемой программе в Windows отводится одно окно. Все компоненты окон стандартизованы, окна могут свободно перемещаться по экрану с помощью «мыши» (технология «drag and drop» — «тащи и бросай»), занимать весь экран, часть его или вообще сворачиваться, освобождая тем самым рабочую поверхность экрана для других приложений. Обычно окно содержит несколько стандартных элементов: заголовок с именем приложения или документа, строку меню, содержащую перечень основных направлений работы с компьютером. Каждый пункт меню определяет подменю, в котором содержится набор раскрывающихся по команде диалоговых окон. Каждое из окон предназначено для выполнения определенного приложения — подготовки документа, таблицы, рисунка и др.

Обычными элементами экрана являются панели, содержащие набор кнопок для выполнения отдельных задач, например печати, копирования, запоминания и др. Таких панелей около десятка, например стандартная па-

<sup>1</sup> Подробнее см.: *Ахметов К. Windows для всех* — М.: Компьютер-пресс, 1996.

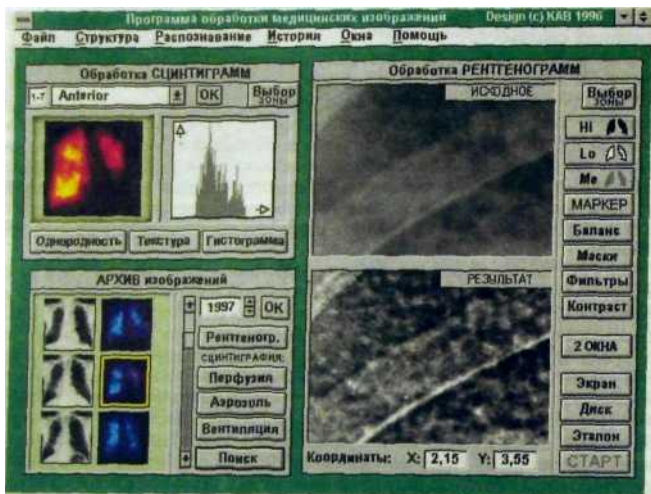


Рис. 1. II. Обработка медицинских изображений на автоматизированном рабочем месте врача.

нель, панель для форматирования текста, рисования, создания базы данных и др. Управлять кнопками очень просто: нужно лишь нажать на них курсором «мыши». Кроме окон и панелей, на «рабочем столе» монитора имеются «мнемонические картинки (или иконки) для управления программами. Нажав на иконку, можно вызвать соответствующее ей *Windows-приложение*. Все изложенное делает работу на компьютере не только простой и удобной, но и весьма приятной.

Существует набор наиболее важных и распространенных Windows-приложений, которые объединены в так называемый офисный пакет Microsoft Office. В него входит прежде всего *текстовый процессор Word*. Эта программа предназначена для работы с текстом; с ее помощью можно создавать все виды документов, например истории болезни, письма, служебные заметки и т.д. Кроме того, в пакет входит *Программа электронных таблиц Excel* для работы с числовыми данными, при этом она дает возможность выполнять математические расчеты любой сложности. Программа *PowerPoint* позволяет превращать текстовые данные в удобные для восприятия визуальные формы - картинки, слайды, оформлять их для показа зрителям.

© 1996: Калкоф Ш. Microsoft Office: Пер. с англ. - М.: Компьютер

База данных Access предназначена для сортировки и организации больших объемов данных, при этом можно оперировать любыми, сколь угодно обширными массивами информации, например результатами обследования больных за год или десятилетие. Наконец, программа электронной почты *Internet-Mail* служит для отправки и приема электронной почты через компьютерную сеть. Дополнительно к офисному пакету может быть приложен один из графических редакторов, например *PhotoShop*, который позволяет работать с рисунками и медицинскими изображениями, подвергая их всевозможной обработке: изменять форму и содержание отдельных их частей, характер контуров и фона, раскрашивать и т.д. Имеется ряд других интересных для врача программ-приложений. Например, программа *распознавания текста FineReader* дает возможность, отсканировав печатный текст (книгу, статью и т.д.), перевести его сразу же в электронный формат для дальнейшего редактирования на компьютере. При этом не нужно пользоваться утомительным набором этого текста посредством клавиатуры.

Кроме названных, существует большое число прикладных программ, предназначенных для других видов работ: *статистической обработки данных, книгоиздания, проектирования* и др. Следует отметить, что наряду с Windows применяют другие операционные системы, в частности OS/2 и Unix. Они отличаются более широким спектром предоставляемых пользователю программных услуг, но одновременно и более сложным характером работы на компьютере под их управлением. Для компьютеров Macintosh создана специальная операционная система MacOS.

В медицине, в частности в лучевой диагностике, применяют *специализированные программы*: для обработки рентгенограмм, радионуклидных изображений, ведения деловой документации и др. Обычно их объединяют по родственному признаку в отдельные пакеты специализированных программ — сокращенно ППП (пакет прикладных программ).

Набор пакетов составляет *библиотеку программ*. От того, насколько богат ассортимент пакетов и насколько рационально их используют, зависят в конечном счете качество диагностического исследования и эффективность работы всей службы компьютеризированной лучевой диагностики.

Наиболее важным информационным прорывом последнего десятилетия стала *Всемирная Сеть (Интернет)<sup>1</sup>* — своего рода обширное сообщество взаимосвязанных сетей и отдельных компьютеров, предоставляющих информацию для общего пользования. При этом каждый компьютер имеет уникальный адрес, позволяющий идентифицировать и находить его в неоглядной Всемирной Сети. Посредством *провайдера* — организации, ведающей распределением информационных ресурсов в отдельно взятом регионе, — компьютер осуществляет связь с Интернетом. Когда говорят об *адресах в Интернете*, обычно имеют в виду *IP-адрес (Internet Protocol адрес)*, состоящий из набора цифр — от 4 до 12. Однако запоминать эти цифры достаточно сложно, поэтому была создана система адресов, состоящая из

<sup>1</sup> Подробнее см.: *Пайк М. Интернет* в подлиннике: Пер. с англ. — СПб.: BHV, 1996; *Синицын ВЕ., Тимонина Е.А. Интернет для врача. WWW: медицинская визуализация и кардиология* — М.: ВИДАР, 1998.

слов имеющих логический смысл (например, имя или фамилия пользователя' местонахождение компьютера в государстве и городе). Эти адреса являются уникальными, т.е. отдельно взятый адрес присваивается только одному компьютеру (как почтовый адрес). Под этим адресом понимается, конечно не географическое месторасположение компьютера, а локализация его в глобальной компьютерной сети. Такие адреса получили названия *URL* (от англ. Universal Resource Locator - универсальный указатель ресурсов).

Пробиться сквозь необозримые лабиринты информационных ресурсов компьютеру позволяют специальные программы.

Для удобства навигации по Интернету, т.е. поиска интересующей информации, служит особая структура большинства находящихся в нем документов. Эта структура получила название формата *гипертекста*. Суть его состоит в том, что отдельные ключевые слова текста или наиболее важные ключевые детали изображений специально выделены (цветом, шрифтом или рамкой). При обращении к этому выделению курсором «мыши» пользователь автоматически попадает в другой документ, который тематически соответствует выделенному слову или части рисунка и полностью раскрывает его содержание.

К основным ресурсам Всемирной Сети относятся:

- *Электронная почта (E-mail)*. Она служит для отправки и получения различных сообщений. Каждый абонент электронной почты имеет свой уникальный адрес, написанный в стандартной форме, общепринятой в Интернете, например `ivanov@med.samara.ru`, где `ivanov` — имя пользователя, `@` — условный разделительный знак, `med.samara.ru` — условное обозначение Самарского медицинского университета.
- *Протокол переноса файлов (FTP)*. Эта услуга Интернета предусматривает перенос информации с одного компьютера на другой. Такой информацией могут быть тексты, компьютерные программы, видеофильмы, различные изображения, в том числе медицинские.
- *Листы рассылки (Discussion lists) и Группы новостей (USENET)*. Листы рассылки предусматривают получение пользователем компьютера материалов по интересующей его и заранее заявленной проблеме (например, по проблеме компьютерной томографии или язвенной болезни желудка). Такая рассылка осуществляется автоматически с помощью почтового робота. Группы новостей обслуживаются отдельными предназначенными для этих целей серверами (новостные серверы). Они распределены по тематике и построены по иерархическому принципу — от общих (корневых) вопросов к более частным, специальным. Например, можно обратиться к серверу «Наука», от него перейти к серверу «Медицина», далее — к серверу «Лучевая диагностика» и в заключение — к серверу «Компьютерная томография». Эта же система позволяет всем пользователям Интернета участвовать в групповых дискуссиях, так называемых *телеконференцию*., на которых обсуждаются различные вопросы.
- *Всемирная паутина (WWW- World Wide Web)* относится к наиболее распространенным ресурсам Интернета. WWW дает возможность работать с документами, содержащими текст, графические иллю-

страции, звуковые фрагменты и даже анимацию. Все это делает такие документы очень выразительными. В них есть гипертекстовые ссылки на другие, близкие по смыслу документы. В необозримых просторах Всемирной Паутины помогают ориентироваться специ-альные программы - *Web-браузеры*. В настоящее время наиболее распространены два браузера - Netscape Navigator (NN) и MS Internet Explorer (IE). С помощью браузеров можно выбрать интере-сующий пользователя сервер и отыскать на нем необходимую ин-формацию по отдельным областям науки, образования, культуры.

Крупные области информационных данных разделены по их назначе-нию. Эти области называют *доменами*. Крупных доменов (первого, или верхнего, уровня) несколько. Это — либо домены общего характера — *com* (коммерческий), *edu* (образовательный), *gov* (правительствен-ный), *mil* (военные учреждения), *net* (сетевые организации), *org* (прочие организации), либо домены, относящиеся к отдельно взятым государствам, — *га* (Россия), *uk* (Великобритания), *са* (Канада) и т.д.

Каждый из доменов первого уровня включает огромную сеть доменов второго уровня, относящихся к различным городам, территориям, областям знаний и др. Домены второго уровня в свою очередь содержат сеть доменов третьего уровня и т.д. Таким образом, Интернет, хотя и не упорядочен полностью, но все же содержит вполне понятную архитектуру, состоящую из нескольких древовидно делящихся стволов. Примером Web-адреса может служить следующая запись: <http://www.rad.washington.edu>, где *http* — протокол передачи данных (*протокол* — совокупность правил, по которым ин-формация передается по компьютерной сети), *www* — символ Всемирной Паутины, *rad.washington.edu* — сервер, принадлежащий радиологическому обществу Вашингтона (США), который относится к образовательным ре-сурсам Интернета (*edu*).

Внутри лечебного учреждения ряд компьютеров может соединяться в *общепольничную локальную компьютерную сеть* — *Эзернет (Ethernet)*. Применительно к больницам ее называют сокращенно *HIS (Hospital Intercommuni-cation System)*, а применительно к отделениям лучевой диагностики и луче-вой терапии — *RfS (Radiology Information System)* (рис. 1.12). Поскольку обмен информацией в этих системах происходит без модуляции, т.е. в циф-ровом виде, скорость передачи данных по ним достаточно высока — до 10 Мбит/с. Недостатком таких сетей является открытость информации, т.е. возможность несанкционированного доступа к ней, что в ряде случаев, на-пример при наличии у больного злокачественного заболевания, требует оп-ределенных ограничений на передачу такой информации либо введения в систему элементов криптографии — специальной программы засекречива-ния данных.

В лучевой диагностике в последние годы начинает распространяться *телерадиология* — обмен изобразительной информацией между отдельными лечебными учреждениями, находящимися в пределах одного региона, от-дельной страны или даже между разными странами. Такой обмен позволяет оперативно и коллективно решать сложные диагностические задачи, про-водить научные совещания, не тратя время и деньги на дорогу (рис. 1.13).



Регистрация



Исследование I



Исследование II



Научная работа



Исследование III



Машинное бюро



Секретариат



Диагноз

Рис. 1.12. Радиологическая информационная система «Симедос».

### 4.3. Оценка эффективности диагностических исследований<sup>1</sup>

Лучевая диагностика, в распоряжении которой широкий ассортимент методов исследования — дешевых и дорогостоящих, инвазивных и необременительных для больного, высокоинформативных и ограниченной информативности, — ставит врача-диагноста перед выбором: как обеспечить наиболее высокую эффективность диагностического процесса, каким методам отдать предпочтение, в какой комбинации и последовательности их применить. Очевидно, что подходы к диагностике будут значительно различаться в зависимости от того, имеет место острое или хроническое заболе-

<sup>1</sup> Подробнее см.: *Власов ВВ. Эффективность диагностических исследований* — М: Медицина, 1988.



Рис. 1.13. Структура телекоммуникационной радиологической сети.

вание, проводят плановое обследование или оказывают неотложную медицинскую помощь, выполняют детальное и углубленное обследование или организуют скрининг, охватывающий значительную часть населения. Во всех этих ситуациях необходимо уметь правильно оценивать эффективность метода диагностики, причем сделать это нужно на объективной, научной основе.

Для оценки эффективности диагностических исследований существует большое число критериев. Многие из них универсальны, т.е. применимы во всех областях клинической медицины, другие, характеризующие медицинские изображения, имеют специфическое для лучевой диагностики значение.

*Под диагностической эффективностью метода исследования следует понимать способность данного метода (теста) выявить заболевание и охарактеризовать состояние организма при экономической доступности метода.*

В лучевой диагностике выделяют качественную, или описательную, и количественную характеристики результатов. Последняя включает в себя различные виды измерений: радиоактивности биологических проб, величины органов, изображенных на экране дисплея, рентгеновской пленке, компьютерной томограмме и др. Все эти измерения, как бы точны они ни были, обязательно имеют некоторую степень погрешности. Это связано как с ограниченной точностью инструментов, с помощью которых проводят

измерения (линейка, электронный прибор или другие технические средства) так и с вариабельностью измеряемого объекта: колебаниями биологических параметров человека во время исследования, флюктуациями радиоактивного распада, неоднородностью потока электромагнитных квантов

Перечисленные выше погрешности имеют случайный характер. Их влияние на точность измерения может быть уменьшено, если увеличить количество измерений объекта исследования или увеличить продолжительность каждого измерения. Погрешности такого рода называют *случайными*, или *рандомизированными, ошибками*.

Погрешности другого типа возникают при неправильной работе аппаратуры, калибровке лабораторного оборудования, технологии приготовления радиофармпрепаратов или химических растворов, вследствие ошибок, допущенных в расчетах. Конечные результаты подобных измерений во всех случаях оказываются либо завышенными, либо заниженными, т.е. всегда однозначно искаженными. Подобные погрешности носят название «систематические ошибки». Единственный способ избежать этих погрешностей — тщательно контролировать качество технических средств лучевой диагностики, следить за правильностью проведения диагностических процедур, корректно выполнять расчеты.

*Для оценки эффективности методов измерения в лучевой диагностике, как и в других разделах медицины и биологии, применяют ряд критериев, главными из которых являются:*

- *точность измерения* — соответствие результатов измерения истинному значению определяемой величины. Высокая точность измерения достигается при минимальных случайных и систематических погрешностях;
- *правильность измерения*. Это качество измерения характеризует величину систематических погрешностей. Чем они меньше, тем более правильным оказывается измерение;
- *сходимость измерений*. Данное качество измерений характеризует величину случайных ошибок. Чем они меньше, тем лучше сходимость измерений. Этот критерий показывает, насколько близки друг к другу измерения, выполненные в одинаковых условиях, т.е. в одной и той же лаборатории и на одном и том же приборе;
- *воспроизводимость измерений*. Этот критерий показывает, насколько близки между собой результаты измерений, выполненных в различных условиях, т.е. в разных лабораториях и на разных аппаратах.

*Для того чтобы оценить диагностическую эффективность лучевого метода исследования, сравнивают его информативность, т.е. способность распознавать заболевание, с так называемым референтным, или эталонным, диагнозом. Этот диагноз устанавливают на основании результатов гистологического исследования или вскрытия либо с учетом точных биохимических или клинических признаков болезни. Патологоанатомические данные иногда называют «золотым стандартом» при верификации диаг-*

Для оценки информативности метода результаты его применения у определенной группы пациентов сводят в таблицу, называемую матрицей **решений** (табл. 1.2). При этом в зависимости от **совпадения результатов** луче-



вого исследования и фактического наличия заболевания, т.е. референтного диагноза, ответ может оказаться правильным или неправильным. Возможны следующие варианты результатов оценки метода:

- интерпретация «положительный» у больных с наличием заболевания — *истинно положительные случаи*;
- интерпретация «отрицательный» у пациентов без заболевания (здоровые лица) — *истинно отрицательные случаи*;
- интерпретация «положительный» у пациентов, не имеющих заболевания, — *ложноположительные случаи* (ошибки первого типа, или ошибки гипердиагностики, или «ложные тревоги»);
- интерпретация «отрицательный» у больных с заболеванием — *ложноотрицательные случаи* (ошибки второго типа, или ошибки гиподиагностики, или «пропуски»).

Ложноположительные и ложноотрицательные ошибки представляют собой потери системы диагностики, они снижают диагностическую эффективность исследования.

**Таблица 12. Матрица решений для вычислений операционных характеристик методов диагностики**

Результаты теста	Заболевание имеется (больные)	Заболевание отсутствует (здоровые)	Всего
Положительные	Истинно положительные (TP)	Ложноположительные (FP)	T+
Отрицательные	Ложноотрицательные (FN)	Истинно отрицательные (TN)	T-
Итого...	D+	D-	N

В медицине информативность диагностических исследований оценивается следующими основными критериями.

*Чувствительность (SJ* — вероятность положительного результата теста у лиц с заболеванием:

$$\text{Чувствительность, \%} = \frac{\text{Число пациентов с данным заболеванием и положительным результатом теста}}{\text{Число всех пациентов с данным заболеванием, подвергшихся тесту}} \times 100.$$

Определив чувствительность метода, можно априори предположить, какова будет доля больных, у которых данное исследование даст положительный результат, т.е. будет выявлен признак болезни. Чем выше чувствительность метода, тем чаще с его помощью выявляют патологические изменения, тем, следовательно, он более эффективен. В то же время если такой высокочувствительный тест отрицателен, то наличие заболевания маловероятно, поэтому высокочувствительные тесты в медицинской диагностике называют идентификаторами, или тестами на исключение заболевания.

Высокочувствительные тесты эффективны на первом этапе диагностики, когда врачу необходимо отбросить массу первоначальных предположений. Эти тесты рекомендуется использовать при массовых проверочных исследованиях, особенно при выявлении социально опасных заболеваний.

Недостатком высокочувствительных методов является то, что при их использовании допускают значительное количество ложноположительных ошибок (ложные тревоги). В связи с этим возникает необходимость выполнять большое число дополнительных исследований, вследствие чего усложняется диагностический процесс и увеличиваются экономические затраты, особенно при массовых исследованиях. Вот почему в медицинской диагностике следует стремиться не к максимальной, а к разумно достижимой чувствительности метода.

*Специфичность* ( $S_p$ ) — вероятность отрицательного результата у лиц без заболевания:

$$\text{Специфичность, \%} = \frac{\text{Число пациентов без данного заболевания с отрицательным результатом теста}}{\text{Число всех пациентов без данного заболевания, подвергшихся тесту}} \times 100$$

Определив специфичность метода, можно априори предположить, какова будет доля здоровых лиц, у которых данное исследование даст отрицательный результат. Чем выше специфичность метода, тем надежнее с его помощью подтверждается заболевание, т.е. он более эффективен. Высоко-специфичные диагностические тесты называют дискриминаторами; они эффективны на втором этапе диагностики, когда круг предполагаемых заболеваний сужен и необходимо с уверенностью доказать наличие болезни.

*Точность* (*epsilon*,  $\epsilon$ ) — пропорция правильных результатов (положительных и отрицательных) среди всех обследованных:

$$\text{Точность} = \frac{\text{Число истинных решений}}{\text{Общее число обследованных}}$$

Иногда этот критерий называют показателем диагностической эффективности.

*Все три критерия — чувствительность, специфичность и точность — отражают априорную вероятность результатов диагностического исследования — положительных и отрицательных. Они носят название «операционные характеристики метода диагностики».* Применяя операционные характеристики метода на практике, врач должен учитывать особенности обследуемых больных. Если метод применяют при обследовании больных с клинически выраженным заболеванием, то операционные характеристики его будут высокими, и наоборот, в начальных и особенно доклинических стадиях болезни чувствительность и специфичность метода окажутся пониженными. Следовательно, для каждой стадии болезни будут свои операционные характеристики метода исследования.

Для правильной оценки диагностической эффективности методов исследования важное значение имеют критерии апостериорной вероятности - *прогностичность положительного (PV+) и отрицательного (PV-) результатов*. Именно эти критерии показывают, какова вероятность заболевания (или его отсутствия) при известном результате исследования. Нетрудно понять, что апостериорные показатели имеют большее практическое значение, чем априорные.

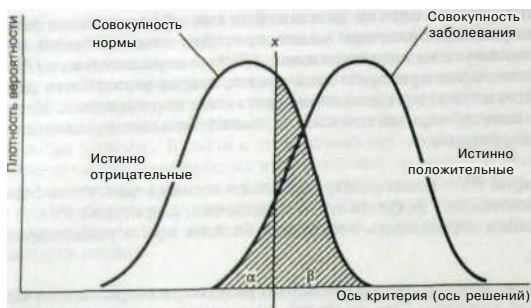
*Критерий PV+ показывает, насколько велика вероятность болезни при положительных результатах исследования, а критерий PV—насколько велика вероятность отсутствия болезни при отрицательных результатах.*

Прогностичность положительного результата возрастает с увеличением частоты заболевания. Это означает, что один и тот же метод лучевого исследования, у которого определены операционные характеристики, будет по-разному «работать» в различных лечебных учреждениях: общего профиля, специализированных (с высокой частотой заболевания) и в условиях скрининга (низкая частота заболевания). Из сказанного следует важнейшее правило диагностики: *эффективность диагностического исследования необходимо оценивать только с учетом частоты выявляемого заболевания, т.е. конкретных условий применения данного метода исследования*. Например, информативность рентгенографии грудной клетки будет различной в зависимости от того, где и с какой целью ее проводят: при массовых проверочных исследованиях, в лечебном учреждении общего профиля или в онкологическом диспансере.

Давая оценку диагностической эффективности метода исследования, обычно указывают на общее количество ошибочных заключений: чем их меньше, тем эффективнее метод. Однако, как уже отмечалось, одновременно уменьшить количество ложноположительных и ложноотрицательных ошибок нереально, поскольку они связаны между собой. Кроме того, принято считать, что ошибки первого типа — ложноположительные — не так опасны, как ошибки второго типа — ложноотрицательные. Это особенно относится к выявлению инфекционных и онкологических заболеваний: пропустить болезнь во много раз опаснее, чем диагностировать ее у здорового человека.

В тех случаях, когда результаты диагностического исследования выражают количественно, их классифицируют на норму и патологию условно (рис. 1.14). Часть значений теста, принимаемых за норму, будет наблюдаться у больных, и, наоборот, в зоне патологии окажутся некоторые изменения у здоровых. Это и понятно: ведь граница между здоровьем и начальной стадией болезни всегда условна. И все же в практической работе, анализируя цифровые показатели диагностического исследования, врач вынужден принимать альтернативные решения: отнести данного пациента к группе здоровых либо больных. При этом он пользуется разделительным значением применяемого теста.

Изменение границы между нормой и патологией всегда сопровождается изменением операционных характеристик метода. Если к методу предъявляются более жесткие требования, т.е. граница между нормой и патологией устанавливается на высоких значениях теста, увеличивается число



**Рис. 1.14.** Распределение вероятностей нормы и патологии.

$\alpha$  - ложноположительные решения;  $\beta$  - ложноотрицательные решения,  $\chi$  - граница между нормой и патологией

ложноотрицательных заключений (пропусков заболеваний), что приводит к повышению специфичности теста, но одновременно к снижению его чувствительности. Если целесообразно смягчить требования к тесту, границу между нормой и патологией сдвигают в сторону нормальных значений, что сопровождается увеличением числа ложноположительных заключений (ложных тревог) и одновременно уменьшением числа ложноотрицательных (пропусков заболеваний). При этом повышается чувствительность метода, но снижается его специфичность.

Таким образом, проводя диагностические исследования и оценивая их результаты количественно, врач всегда находится в условиях выбора: то жертвует чувствительностью, чтобы повысить специфичность, то, наоборот, отдает предпочтение специфичности за счет снижения чувствительности. Как правильно поступать в каждом конкретном случае, зависит от многих факторов: социальной значимости заболевания, его характера, состояния больного.

Из изложенного следует важнейший для современной медицинской диагностики, в том числе лучевой, вывод: *количественный математический метод, каким бы совершенством ни отличались математический аппарат и им используемые технические средства, всегда имеет ограниченное, прикладное значение, подчиняясь логическому мышлению врача и соотносясь с конкретной клинической и социальной ситуацией.*

Для того чтобы оценить диагностическую эффективность метода с учетом последствий ложных решений, используют характеристические кривые, отражающие взаимную зависимость ложноположительных и истинно положительных результатов. Полное название таких кривых — «операционные характеристические кривые наблюдателя» (*Receiver operating characteristic curve, сокращенно ROC-curve*), поэтому часто такие кривые называют ROC-кривыми, а выполняемые для их построения действия — ROC-анализом.

С целью построения характеристических кривых результаты обследования верифицированной группы больных и здоровых распределяют в несколько групп. Если эти результаты имеют количественный характер, то их ранжируют по значению точки разделения на норму и патологию. Качественные же результаты применения изучаемого метода (например, описание рентгенологической или скинтиграфической картины) ранжируют по степени уверенности врача в диагнозе. Полученные таким образом данные сводят в таблицы и по ним строят характеристические кривые — ROC-кривые (рис. 1.15). Чем больше изгиб характеристической кривой, т.е. чем ближе к верхнему левому углу системы координат она расположена, тем выше эффективность диагностического метода. Приближение же ROC-кривой к диагонали, проходящей через начало координат, свидетельствует о низкой эффективности метода исследования.

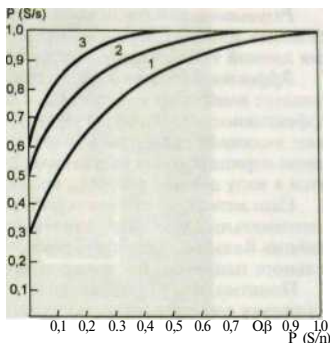


Рис. 1.15. ROC-кривые (1—3) трех серий опытов.

$P(S/s)$  — истинно положительные случаи;  $P(S/n)$  — ложноположительные случаи. Наиболее информативен опыт 3.

Характеристические кривые позволяют наглядно сопоставить диагностическую эффективность различных методов исследования при обнаружении одного и того же поражения. Кроме того, с их помощью можно оценить качество средств визуализации: рентгеновских экранов, дисплеев, твердых копий медицинских изображений (рентгенограмм, скинтиграмм и др.). С этой целью организуют группу экспертов — специалистов в области лучевой диагностики, которым предъявляют для анализа серию верифицированных медицинских изображений. Ответы экспертов кодируют по указанной выше 5-балльной системе и на основании полученных данных строят характеристические кривые каждого изучаемого метода. *Тот метод, у которого ROC-кривая имеет больший изгиб и расположена ближе к верхнему левому углу системы координат, имеет более высокую диагностическую эффективность.*

Интересно, что метод ROC-анализа и построение ROC-кривых дают возможность оценить профессиональные навыки и квалификацию специалистов. С этой целью врачу предъявляют для опознания верифицированный архив медицинских изображений (рентгенограмм, скинтиграмм и др.). Так же как и в предыдущем случае, ответы врача соответствующим образом ранжируют и по полученным данным строят характеристические кривые. У квалифицированного специалиста ROC-кривая имеет крутой изгиб, она вплотную приближена к верхнему левому углу системы координат.

Для того чтобы оценить вклад лучевой диагностики, как и диагностики вообще, в медицинскую практику, используют следующие комплексные критерии.

*Результативность метода* - это вероятность получения у отдельного пациента или популяции в целом положительного результата от применения данной технологии в усредненных условиях.

*Эффективность метода* - оценка мастерства врача, с которым он использует имеющиеся ресурсы для решения данной проблемы. В частности, эффективность процедуры получения диагностического изображения считают высокой если наибольшее число истинно положительных и/или истинно отрицательных результатов получено при наименьших затратах (имеются в виду деньги, ресурсы, время).

*Сила метода* — это способность диагностического теста, примененного в оптимальных условиях, влиять на решение врача, касающееся диагноза и ведения больного (лечение, реабилитацию), т.е. влиять на здоровье как отдельного пациента, так и населения в целом.

Понятно, что результативность метода всегда будет ниже, чем его сила, поскольку она зависит от мастерства специалиста, обеспечивающего получение диагностического изображения, а также потому, что инфраструктура в усредненных условиях отнюдь не соответствует таковой в оптимальных условиях.

#### **4.4. Медицинская информация как объект обработки на компьютере**

При обработке материалов клинического, лабораторного и лучевого исследований на компьютере возникает необходимость решить ряд задач, постановка которых должна корректно отражать исходные данные и, главное, соответствовать требованиям, предъявляемым к их компьютерной обработке с помощью прикладных универсальных или специализированных программ. Все медико-биологические данные, учитываемые при лучевой диагностике, могут быть классифицированы следующим образом.

*Качественные признаки:* однородность изображения органа, форма тени (например, тени сердца на рентгенограмме), ее интенсивность и др., а также такие клинические признаки, как наличие боли, желтушность кожного покрова и пр.

*Количественные признаки:* интенсивность тени на компьютерной томограмме по шкале Хаунсфилда, показатели радиоактивности введенного в организм радиофармпрепарата, рост и масса тела пациента, концентрация биологически активных веществ в крови и т.п.

*Динамическая регистрация физиологических функций:* кривые, записанные при радионуклидном исследовании, доплеровском картировании кровотока, электрокардиографии и др.

*Статические изображения:* рентгенограммы, томограммы, сонограммы, скинтиграммы и т.п.

*Серия изображений в динамике,* динамическая скинтиграфия (рис. 1.16); рентгенокиносъемка, наблюдение при рентгеноскопии и т.д.

Приведенная группировка условна, поскольку одна и та же характеристика зависит от методики обследования разных групп пациентов. Данные скинтиграфии, например, могут иметь вид то статических, то динамических картин. Серия скинтиграмм может быть обработана таким образом,

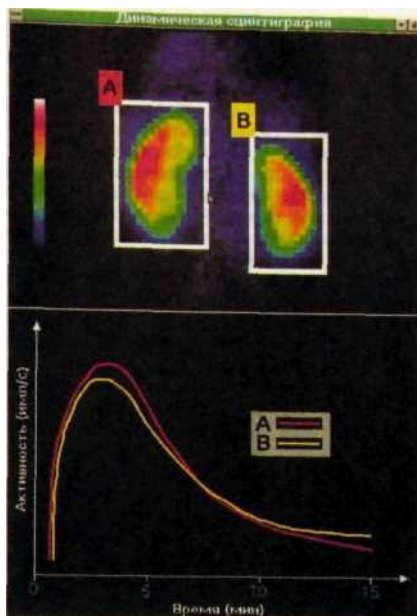


Рис. 1.16. Сцинтиграфия почек. Выделение «зон интереса» и построение кривых функции почек (гистограмм). А — правая почка; В — левая.

чтобы получилась кривая прохождения радиофармпрепарата по органу (см. рис. 1.16). Наконец, та же сцинтиграмма может быть оцифрована и представлена как набор количественных показателей.

При рассмотрении медико-биологических данных следует различать понятия «признак» и «параметр». *Признак* — это характеристика пациента, имеющая только два значения: наличие или отсутствие. Признаком является наличие боли, припухлости, тени очага на рентгенограмме, дефекта накопления радиофармпрепарата на сцинтиграмме и др. *Параметр* — это величина, характеризующая свойство процесса, явления или системы в абсолютных либо относительных величинах. Параметрами являются температура тела, показатели артериального давления, концентрация отдельных веществ в крови.

Деление характеристик пациента на признаки и параметры, конечно, в определенной степени условно. Признак может перейти в разряд параметра, если определять рассматриваемое свойство по условной шкале. Например, выраженность припухлости можно оценить в баллах: 1 балл, 2 балла и

тд Аналогичным образом параметр может стать признаком, если оценка его будет производиться альтернативно: отсутствие или наличие повышения артериального давления.

Информацию вводят в компьютер либо с *периферийного оборудования* — клавиатуры, магнитных накопителей, речевого ввода, либо с *терминала диагностического аппарата* — рентгеновского, ультразвукового, магнитно-резонансного, радионуклидного. Во втором случае для получения единого формата данных предпочитают использовать терминалы в стандарте DICOM. При этом процедура введения информации с терминала в компьютер может иметь двойкий характер. В *автономном режиме (off-line)* диагностическая информация из оперативной памяти компьютера переносится на какой-либо промежуточный магнитный носитель и уже потом, после окончания исследования, ее обрабатывают на процессоре. В *неавтономном (диалоговом) режиме (on-line)* информация, находясь в оперативной памяти, сразу же обрабатывается процессором. В лучевой диагностике по техническим соображениям чаще применяют автономный режим работы с информацией.

Хранение информации (закодированных изображений, результатов работы, списков больных и пр.) в компьютере осуществляется на жестком диске или внешних магнитных носителях — дискетах, лентах.

*Каждая порция (массив, набор) информации, записываемая на магнитный носитель, называется файлом (от англ. file — досье, картотека).* Управление файлами обеспечивает *файловая система*, являющаяся частью *операционной системы* компьютера. Каждый файл имеет свой *идентификатор*: ему присваивают имя, которое регистрируют в каталоге фай-лов; обычно указывают также объем файла и дату его создания. Пере-чень (каталог) файлов носит название «*директорий*». Просматривая ди-ректорий на экране дисплея, можно найти в каталоге интересующий файл и вызвать его из памяти компьютера.

При записи информации на магнитную ленту, что обычно осуществляется в *архивах долговременного хранения*, операционная система располагает файлы последовательно один за другим по мере их поступления. Для того чтобы найти нужный файл, необходимо, как в кассетном магнитофоне, просмотреть последовательно все файлы. Несмотря на автоматизм такого поиска, на него затрачивается определенное время (иногда оно исчисляется минутами). Такие системы записи файлов называют *системами с последовательным доступом*.

В случае записи на диски (магнитные, оптические, магнитно-оптические) операционная система ведет учет свободного места на диске, записывает файл на свободное место по частям (блоками), осуществляет их поиск, считывание и пересылку в оперативную память компьютера. Время доступа к искомому файлу при этом составляет всего несколько миллисекунд. Подобные системы называют *системами с произвольным доступом*. Их используют в диагностических терминалах, на автоматизированных рабочих местах, в архивах недолгосрочного (промежуточного) хра-



## МОЛОДОМУ ИССЛЕДОВАТЕЛЮ

*й науках же и в искусствах... все должно шуметь новыми работами и дальнейшим продвижением вперед.*

Френсис Бэкон

На лекции по лучевой диагностике один из авторов обратился к студентам с просьбой высказать пожелания по поводу нового учебника. Поднялся студент 3-го курса и предложил, чтобы в учебнике были рекомендации по научно-исследовательской работе студентов. Это заставило нас задуматься. Ведь учебник пишут и издают несколько лет. За это время конкретные научные темы стареют. Да и нужны ли всем студентам подобные рекомендации?

Итальянская пословица гласит: «Вторая мысль всегда лучше». Сомнения быстро оставили нас. И в первом издании этого учебника после каждой главы появился раздел «Молодому исследователю». Да, мы убеждены, что все студенты должны заниматься научными исследованиями. Прежде всего потому, что врач должен уметь мыслить. Коэффициент полезного действия нашего мозга, увы, крайне низок. Из 10–14 млрд нейронов, как полагают, мы обычно используем 4 %. Мы можем только догадываться о возможностях мозга по тем высотам, которых временами достигает человеческая мысль (Ломоносов, Гегель, Эйнштейн). Поразительный факт — нас почти не учат мыслить. Нас учат правилам хорошего тона (нередко без особого успеха), учат писать и считать, танцевать и плавать, перкутировать и накладывать швы, делать рентгеновские снимки, но очень мало учат технологии мышления. Так вот: одним из главных способов обучения мышлению является самостоятельная научная работа под руководством серьезного наставника. Наука учит человека мыслить, сопоставлять и взвешивать факты. Она приучает его к непрерывному труду, пытливости и сосредоточенности. Она наполняет жизнь творческим содержанием, своеобразной романтикой — романтикой научного поиска. Врач должен быть умным, потому что перед ним стоят трудные задачи, от решения которых зависят здоровье и жизнь людей.

Жизнь молодого человека должна быть полнокровной. Нелегко соединить учебу, физическую культуру, научную работу, искусство, дружбу, любовь и для всего найти место. Требуются продуманная организация своей жизни и определенные усилия.

*...Усилья, усилья, усилья.  
Спина — будто натертая солью.  
А вдруг это —  
крылья, крылья  
Проклевываются с болью ?!*

В. Шефнер

Привлекаем мы Вас к научной работе не призывами. Мы лишь формулируем некоторые общие проблемы, над которыми стоит задуматься, а некоторые из них, кто знает, сделать затем главным содержанием своей профессиональной деятельности.

**Проблема первая.** XX век был преимущественно веком диагностики болезней. XXI век должен стать веком диагностики и охраны здоровья, веком

превентивной медицины. Ее основой будет определение у каждого члена общества всех необходимых показателей его генетической, биохимической, иммунологической, морфологической организации и распределение их в пространстве признаков. Отклонение любого признака за пределы поля допуска в любой период развития индивидуума — от внутриутробного до старческого — будет сигналом для медицинского воздействия. Анализ всех показателей должен быть основанием для выработки индивидуального плана охраны здоровья индивидуума (индивидуального маршрута здоровья).

Проблема вторая. Развитие превентивной медицины ставит комплекс социальных, экономических, этических и медицинских вопросов и неизбежно приведет к реструктуризации здравоохранения. Понадобятся специальные службы превентивной медицины. Резко увеличится значение санитарного просвещения населения с помощью всех средств массовой информации.

## часть и I Методы и средства лучевой диагностики

*С каждым шагом методики вперед мы как бы поднимаемся ступенью выше, с которой открывается нам более широкий горизонт, с невидимыми раньше предметами.*

И.П.Павлов



•Метаморфоза, атомно-урановая идиллия». Сальвадор Дали, 1945

Медицинская диагностика основана на выявлении патологических изменений в органах и системах человека и установлении связи обнаруженного комплекса симптомов с определенным заболеванием. Эта задача не из легких ввиду очень большого числа болезней и крайней variabilityности их проявлений у отдельных больных. Выдающийся русский терапевт С.П. Боткин с грустью отмечал, что он был бы рад, если бы ему в 30 % случаев удалось добиться полного совпадения клинического и патологоанатомического диагнозов. С тех пор утекло много воды и диагностика сделала поистине гигантский шаг вперед. Это произошло в первую очередь потому, что врач смог дополнить клинический осмотр больного многочисленными исследованиями, из которых наибольшее значение приобрели лучевые. Существующие методы лучевой диагностики можно сгруппировать следующим образом.

- *Рентгенологический метод.*
- *Радионуклидный метод.*
- *Магнитно-резонансный метод.*
- *Ультразвуковой метод.*

## 1. ВЕЛИКИЙ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД

*Вдруг стало видимо далеко во все концы света.*

Н.В. Гоголь

*Рентгенологический метод* — это способ изучения строения и функции различных органов и систем, основанный на качественном и количественном анализе пучка рентгеновского излучения, прошедшего через тело человека.

### 1.1. Получение рентгеновского изображения

Современная рентгеновская установка — сложное техническое устройство. Оно включает элементы телеавтоматики, электроники, компьютерной техники. Многоступенчатая система защиты обеспечивает полную радиационную и электрическую безопасность персонала и обследуемых больных.

Рентгенодиагностические аппараты принято делить на универсальные (*общего назначения*), позволяющие производить рентгеновское просвещение и рентгеновские снимки всех частей тела, и аппараты специального назначения (*специализированные*). Последние предназначены для выполнения рентгенологических исследований в неврологии, стоматологии, урологии, маммологии, ангиологии. Созданы также специализированные аппараты для обследования детей, проведения массовых проверочных исследований (флюорографии), исследований в палатах и операционных.

*В состав типового рентгенодиагностического аппарата входят питающее устройство, излучатель (рентгеновская трубка), устройство для коллимации пучка, рентгеноэкспозитометр и приемники излучения (рис. III). У некоторых аппаратов имеется дополнительный компьютерный терминал.*

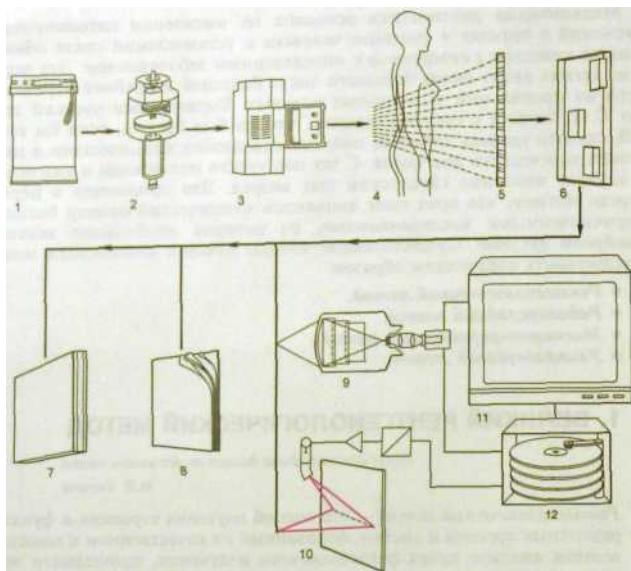


Рис. II.1. Принципиальная схема рентгенодиагностической установки.

1 — питающее устройство; 2 — излучатель (рентгеновская трубка); 3 — устройство для коллимации пучка излучения; 4 — пациент; 5 — отсеивающая решетка; 6 — рентгеноэкспонетр; 7 — рентгеновская кассета; 8 — рентгеновская пленка в комбинации с усиливающими экранами; 9 — электронно-оптический усилитель; 10 — люминесцентная пластина для цифровой рентгенографии; 11 — дисплей; 12 — магнитный накопитель изображений.

Рентгеновский аппарат питается от городской сети переменным током напряжением 220 или 380 В. Питающее устройство преобразует это напряжение в высокое — порядка 40—150 кВ. Пульсацию напряжения доводят до минимальной; в некоторых аппаратах с высокочастотным генератором это напряжение практически постоянное. От величины напряжения зависит качество рентгеновского пучка, в частности его проникающая способность.

Рентгенодиагностический аппарат общего назначения (рис. II.2) включает поворотный стол-штатив, на котором располагается обследуемый. Врач-рентгенолог находится либо поблизости, у экрана монитора, либо в соседнем помещении, если штатив имеет телеметрическое управление. Существуют аппараты, предназначенные только для выполнения рентгенограмм — в рентгеновском кабинете, операционной, палате (рис. II.3). Управлять аппаратом несложно, так как выбор и регулировка технических условий осуществляются, как правило, автоматически с помощью микропроцессорной техники.



Рис. 11.2. Рентгенодиагностический аппарат.

При прохождении через тело человека пучок рентгеновского излучения ослабевает. Тело человека представляет собой неоднородную среду, поэтому в разных органах излучение поглощается в неодинаковой степени ввиду различной толщины и плотности ткани. При равной толщине слоя излучение сильнее всего поглощается костной тканью, почти в 2 раза меньшее количество его задерживается паренхиматозными органами и свободно проходит через газ, находящийся в легких, желудке, кишечнике. Из изложенного нетрудно сделать простой вывод: чем сильнее исследуемый орган поглощает излучение, тем интенсивнее его тень на приемнике излучения, и наоборот, чем больше лучей пройдет через орган, тем прозрачнее будет его изображение.

Поясним это положение на примере. На рис. 11.4 представлено изображение органов грудной полости, каким его видит врач на экране рентгеновского дисплея. На изображении четко выделяются ключицы и ребра, поскольку костная ткань задерживает большое количество рентгеновского излучения. Органы средостения — сердце с находящейся в нем кровью, клетчатка, пищевод, лимфатические узлы — поглощают меньше рентгеновского излучения, однако из-за большой общей массы этих органов их тень на рентгенограмме также кажется интенсивной. По бокам от средостения видны светлые легочные поля. Легочная ткань содержит много воздуха и мало мягких тканей в единице объема, поэтому слабее задерживает рентге-



**Рис. 11.3.** Рентгенография с помощью передвижного рентгеновского аппарата

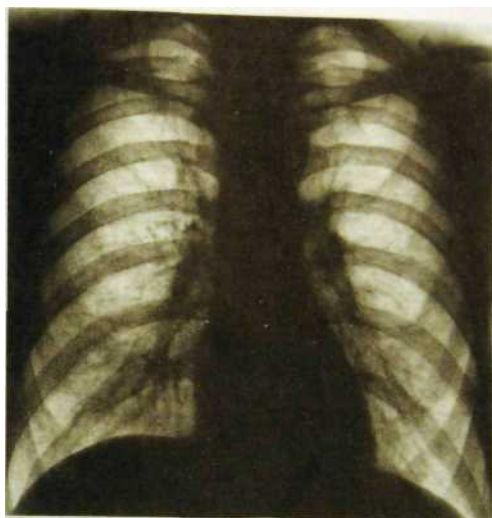


Рис. П.4. Обзорная рентгенограмма органов грудной полости.

новское излучение. Таким образом, полученное изображение объективно отразило степень поглощения рентгеновского излучения в разных тканях и органах грудной полости.

## 1.2. Искусственное контрастирование органов

Обратитесь вновь к рис. И.4. На нем легко различить изображения сердца и легких, так как они в разной степени поглощают излучение. Они обладают, как принято говорить в рентгенодиагностике, *естественной контрастностью*. Однако на снимке не различимы бронхи, поскольку они, как и легочная ткань, содержат воздух. Не видны также полости сердца, потому что они заполнены кровью, которая задерживает излучение в той же степени, что и сердечная мышца.

Для того чтобы получить дифференцированное изображение тканей, примерно одинаково поглощающих излучение, применяют искусственное контрастирование. С этой целью в организм вводят вещества, которые поглощают рентгеновское излучение сильнее или, наоборот, слабее, чем мягкие ткани, и тем самым создают достаточный контраст с исследуемыми органами. Вещества, задерживающие больше излучения,



чем мягкие ткани, называются *реитгенопозитивными*. Они созданы на основе тяжелых элементов - бария или йода.

В качестве же *рентгеноегативных* контрастных веществ используют газы - закись азота, углекислый газ. Основные требования к рентгеноконтрастным веществам очевидны: создание высокой контрастности изображения, безвредность при введении в организм больного, быстрое выведение из организма.

Существуют два принципиально различных способа контрастирования органов. Один из них заключается в прямом механическом введении контрастного вещества в полость органа — в пищевод, желудок, кишечник, слезные или слюнные протоки, желчные пути, полость матки, кровеносные сосуды или полости сердца.

Второй способ контрастирования основан на способности некоторых органов поглощать из крови введенное в нее контрастное вещество, концентрировать и выделять его. Этот принцип — концентрации и выведения — используют при рентгенологическом исследовании мочевыделительной системы и желчных путей.

В рентгенологической практике в настоящее время применяют следующие контрастные средства.

1. *Препараты сульфата бария ( $BaSO_4$ )*. Водная взвесь сульфата бария — основной препарат для исследования пищеварительного канала. Она не растворима в воде и пищеварительных соках, безвредна. Применяют в виде суспензии в концентрации 1:1 или более высокой — до 5:1. Для придания препарату дополнительных свойств (замедление оседания твердых частиц бария, повышение прилипаемости к слизистой оболочке) в водную взвесь добавляют химически активные вещества (танин, цитрат натрия, сорбит и др.), для увеличения вязкости — желатин, пищевую целлюлозу. Существуют готовые официальные препараты сульфата бария, отвечающие всем перечисленным требованиям.

2. *Йодсодержащие растворы органических соединений*. Это большая группа препаратов, представляющих собой главным образом производные некоторых ароматических кислот — бензойной, адипиновой, фенилпропионовой и др. Препараты используют для контрастирования кровеносных сосудов и полостей сердца. К ним относятся, например, урографин, тразограф, триомбрат и др. Эти препараты выделяются мочевыводящей системой, поэтому могут быть использованы для исследования чашечно-лоханочного комплекса почек, мочеточников, мочевого пузыря.

В последнее время появилось новое поколение йодсодержащих органических соединений — *неионные* (сначала *мономеры* — омнипак, ультравист, затем *димеры* — йодиксанол, йотролан). Их осмолярность значительно ниже, чем ионных, и приближается к осмолярности плазмы крови (300 мОсм). Вследствие этого они значительно менее токсичны, чем ионные мономеры.

Ряд йодсодержащих препаратов улавливается из крови печенью и выводится с желчью, поэтому их применяют для контрастирования желчных путей. С целью контрастирования желчного пузыря применяют йодистые препараты, всасывающиеся в кишечнике (холевид).

3. *Йодированные масла*. Эти препараты представляют собой эмульсию йодистых соединений в растительных маслах (персиковом, маковом). Они

завоевали популярность как средства, используемые при исследовании бронхов, лимфатических сосудов, полости матки, свищевых ходов. Особенно хороши ультразвуковые йодированные масла (липоидол), которые характеризуются высокой контрастностью и мало раздражают ткани.

Йодсодержащие препараты, особенно ионной группы, могут вызывать аллергические реакции и оказывать токсическое воздействие на организм. Общие аллергические проявления наблюдаются со стороны кожи и слизистых оболочек (конъюнктивит, ринит, крапивница, отек слизистой оболочки гортани, бронхов, трахеи), сердечно-сосудистой системы (снижение кровяного давления, коллапс), центральной нервной системы (судороги, иногда параличи), почек (нарушение выделительной функции). Указанные реакции обычно преходящи, но могут достигать высокой степени выраженности и даже привести к смертельному исходу. В связи с этим перед введением в кровь йодсодержащих препаратов, особенно высокоосмолярных из ионной группы, необходимо провести биологическую пробу: осторожно вливают внутривенно 1 мл рентгеноконтрастного препарата и выжидают 2—3 мин, внимательно наблюдая за состоянием больного. Лишь в случае отсутствия аллергической реакции вводят основную дозу, которая при разных исследованиях варьирует от 20 до 100 мл.

При малейших признаках реакции на введение пробной дозы исследование прекращают. С большой осторожностью прибегают к рентгеноконтрастным исследованиям у лиц с аллергическими заболеваниями: бронхиальной астмой, сенной лихорадкой, аллергическим назофарингитом и др. В рентгеновском кабинете всегда хранятся средства для предотвращения и устранения аллергических и токсических реакций. Еще раз подчеркнем, что благодаря введению в клиническую практику контрастных препаратов неионной группы значительно уменьшилось количество и выраженность неблагоприятных реакций. Однако их высокая стоимость пока сдерживает повсеместный переход только на эти рентгеноконтрастные вещества.

4. *Газы* (закаси азота, углекислый газ, обычный воздух). Для введения в кровь можно применять только углекислый газ вследствие его высокой растворимости. При введении в полости тела и клетчаточные пространства также во избежание газовой эмболии используют закиси азота. В пищеварительный канал допустимо вводить обычный воздух.

В некоторых случаях рентгенологическое исследование проводят с двумя рентгеноконтрастными веществами — рентгенопозитивным и рентгено-негативным. Это так называемое *двойное контрастирование*. Чаще таким приемом пользуются в гастроэнтерологии, когда при исследовании пищеварительной трубки одновременно вводят сульфат бария и воздух.

### 1.3. Рентгенография

*Рентгенография (рентгеновская съемка) – способ рентгенологического исследования, при котором фиксированное рентгеновское изображение объекта получают на твердом носителе, в подавляющем большинстве случаев на рентгеновской пленке. В цифровых рентгеновских аппаратах это изображение может быть зафиксировано на бумаге, в магнитной или магнитно-оптической памяти, получено на экране дисплея.*



Рис. Н.5. Подготовка к рентгенографии предплечья.

*Пленочную рентгенографию* выполняют либо на универсальном рентгеновском аппарате, либо на специальном штативе, предназначенном только для этого вида исследования. Исследуемая часть тела располагается между рентгеновским излучателем и кассетой (рис. II.5). Внутренние стенки кассеты покрыты усиливающими экранами, между которыми и помещается рентгеновская пленка.

*Усиливающие экраны* содержат люминофор, который под действием рентгеновского излучения светится и, таким образом воздействуя на пленку, усиливает его фотохимическое действие. Основное назначение усиливающих экранов — уменьшить экспозицию, а значит, и радиационное облучение пациента.

В зависимости от назначения усиливающие экраны делят на *стандартные, мелкозернистые* (у них мелкое зерно люминофора, пониженная светотдача, но очень высокое пространственное разрешение), которые применяют в остеологии, и *скоростные* (с крупными зернами люминофора, высокой светотдачей, но пониженным разрешением), которые используют при проведении исследования у детей и быстродвижущихся объектов, например сердца.

Исследуемую часть тела помещают максимально близко к кассете, чтобы уменьшить проекционное искажение (в основном увеличение), которое возникает из-за расходящегося характера пучка рентгеновских лучей.

Кроме того такое расположение обеспечивает необходимую резкость изображения. Излучатель устанавливают так, чтобы центральный пучок прошел через центр снимаемой части тела и был перпендикулярен пленке. В некоторых случаях, например при исследовании височной кости, применяют наклонное положение излучателя.

Рентгенографию можно выполнять в вертикальном, горизонтальном или наклонном положении больного, а также в положении на боку. Съемка в разных положениях позволяет судить о смещаемости органов и выявлять некоторые важные диагностические признаки, например растекание жидкости в плевральной полости или наличие уровней жидкости в петлях кишечника.

Снимок части тела (голова, таз и др.) или целого органа (легкие, желудок) называют обзорным. Снимки с изображением интересующей врача части органа в проекции, оптимальной для исследования той или иной детали, именуют прицельными. Их нередко производит сам врач под контролем протсвечивания. Снимки могут быть одиночными или серийными. Серия может состоять из 2—3 рентгенограмм, на которых зафиксированы разные состояния органа (например, перистальтика желудка). Однако чаще под серийной рентгенографией понимают из-готовление нескольких рентгенограмм в течение одного исследования и обычно за короткий промежуток времени. Например, при артериографии (контрастное исследование сосудов) с помощью спещи-ального устройства — сериографа — производят до 6—8 снимков все-кунду.

Из вариантов рентгенографии заслуживает упоминания съемка с прямым увеличением изображения, которого обычно достигают, отодвигая рентгеновскую кассету от объекта съемки на 20—30 см. В результате этого на рентгенограмме получается изображение мелких деталей, не различимых на обычных снимках. Эту технологию можно использовать только при наличии специальных трубок, в которых фокусное пятно имеет очень небольшие размеры — порядка 0,1—0,3 мм<sup>2</sup>. Для изучения костно-суставной системы оптимальным считается увеличение в 5—7 раз (рис. 11.6).

На рентгенограммах можно получить изображение любой части тела. Некоторые органы хорошо различимы на снимках благодаря естественной контрастности (кости, сердце, легкие). Другие органы достаточно четко отображаются только после их искусственного контрастирования (bronхи, сосуды, желчные протоки, полости сердца, желудок, кишечник). В любом случае рентгенологическая картина формируется из светлых и темных участков. Почернение рентгеновской пленки, как и фотопленки, происходит вследствие восстановления металлического серебра в ее экспонированном эмульсионном слое. Для этого пленку подвергают химической и физической обработке: проявляют, фиксируют, промывают, сушат. В современных рентгеновских кабинетах весь процесс обработки пленки автоматизирован благодаря наличию проявочных машин. Применение микропроцессорной техники, высокой температуры и быстродействующих химических реактивов позволяет уменьшить время получения рентгенограммы до 1—1,5 мин.

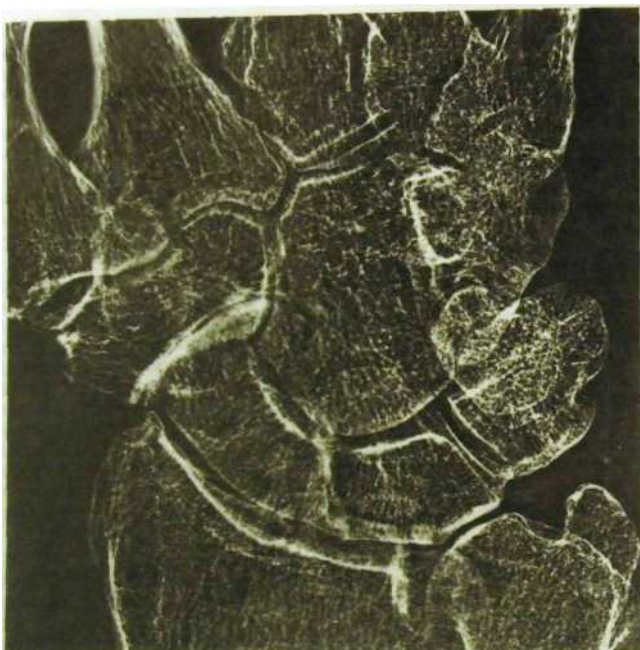


Рис. II.6. Рентгенограмма костей запястья с увеличением изображения.

Следует помнить, что рентгеновский снимок является негативом по отношению к изображению, видимому на флюоресцентном экране при просвечивании, поэтому прозрачные для рентгеновских лучей участки тела на рентгенограммах получаются темными («затемнения»), а более плотные — светлыми («просветления»)!<sup>1</sup> Однако главная особенность рентгенограммы заключается в другом. Каждый луч при прохождении через тело человека пересекает не одну точку, а огромное количество точек, расположенных как на поверхности, так и в глубине тканей. Следовательно, каждой точке на снимке соответствует множество действительных точек объекта, которые проецируются друг на друга, поэтому рентгеновское изображение является суммационным, плоскост-

<sup>1</sup> По существующим правилам все рентгенограммы в учебнике воспроизводятся в позитивном отображении, идентичном изображению на флюоресцентном экране.

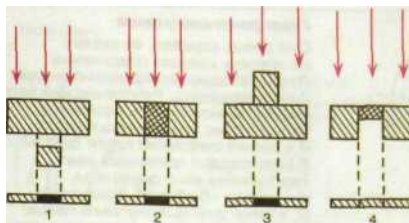


Рис. П.7. Различные виды суммации (1-3) и вычитания (4) теней на рентгено-

ным. На рис. П.7 показано, что это обстоятельство приводит к потере изображения многих элементов объекта, поскольку изображение одних деталей накладывается на тень других. Из этого вытекает основное правило рентгенологического исследования: рентгенограммы любой части тела (органа) должны быть произведены как минимум в двух взаимно перпендикулярных проекциях — прямой и боковой. В дополнение к ним могут понадобиться снимки в косых и аксиальных (осевых) проекциях.

Рентгенограммы изучают в соответствии с общей схемой анализа лучевых изображений<sup>1</sup>.

Рентгенографию применяют повсеместно. Она может быть выполнена во всех лечебных учреждениях, проста и необременительна для пациента. Снимки можно производить в стационарном рентгеновском кабинете, палате, операционной, реанимационном отделении. При правильном выборе технических условий на снимке отображаются мелкие анатомические детали. Рентгенограмма является документом, который можно хранить продолжительное время, использовать для сопоставления с повторными рентгенограммами и предъявлять для обсуждения неограниченному числу специалистов.

Показания к рентгенографии весьма широки, но в каждом конкретном случае должны быть обоснованы, так как рентгенологическое исследование сопряжено с лучевой нагрузкой. Относительными противопоказаниями служат крайне тяжелое состояние или сильное возбуждение больного, а также острые состояния, при которых требуется экстренная хирургическая помощь (например, кровотечение из крупного сосуда, открытый пневмоторакс).

В качестве приемника рентгеновского изображения ранее применяли селеновые пластины, которые перед экспонированием заряжали на специальных аппаратах. Затем изображение переносили на писчую бумагу. Метод получил название *электрорентгенографии*. Однако в дальнейшем этот метод себя не оправдал из-за большого числа артефактов, высокой лучевой нагрузки и искажения рентгеновских изображений.

<sup>1</sup> Подробно см.: *Линденбратен Л.Д.* Методика изучения рентгеновских снимков.— М.: Медицина, 1971.



### **Гимн рентгенограмме**

Она тонка, стройна, ее скелет  
Из хрупких кальция соединений  
Лучей катодных всепроникновением  
Воссоздан здесь. Рентгеновский портрет  
Рисует гармонию позвонков,  
Страхнувших эпидермиса покров.  
И в дымке очертаний плоти слабой  
Я вижу сердца трепетный овал;  
Твою улыбку взор дорисовал,  
И я шепчу: «Любимая, я раб твой.  
О, жемчуг рта! О, полутеней гамма!  
Любовь и страсть моя, рентгенограмма».  
Лоренс Рассел

Прогресс компьютерной техники открыл возможность разработки *цифровых (цифровых) способов получения рентгеновского изображения* (от англ. digit — цифра). Для этих способов характерно представление рентгеновского изображения в цифровом варианте. Такие изображения формируются с помощью различных устройств. Соответственно различают следующие системы цифровой рентгенографии: 1) *электронно-оптическая цифровая рентгенография*; 2) *сканирующая цифровая рентгенография*; 3) *цифровая люминесцентная рентгенография*; 4) *цифровая селеновая или силиконовая рентгенография (прямая цифровая рентгенография)*.

При *электронно-оптической цифровой рентгенографии* рентгеновское изображение, полученное в телевизионной камере, после усиления поступает на аналого-цифровой преобразователь (рис. II.8). Все электрические сигналы, несущие информацию об исследуемом объекте, превращаются в череду цифр. Иными словами, создается цифровой образ объекта. Цифровая информация поступает затем в компьютер, где обрабатывается по заранее составленным программам. Программу выбирает врач, исходя из задач исследования. С помощью компьютера можно улучшить качество изображения, повысить его контрастность, очистить от помех, выделить интересующие врача детали или контуры.

В системах, в которых использована *техника сканирования объекта*, через него пропускают движущийся узкий пучок рентгеновских лучей, т.е. последовательно «просвечивают» все его отделы. Прошедшее через объект излучение регистрируется детектором и преобразуется в электрический сигнал, который после оцифровки в аналого-цифровом преобразователе передается на компьютер для последующей обработки.

Быстро развивается *цифровая люминесцентная рентгенография*, при которой пространственный рентгеновский образ воспринимается «запоминающей» люминесцентной пластиной, способной сохранять скрытое в ней изображение в течение нескольких минут. Затем эта пластина сканируется специальным лазерным устройством, а возникающий при этом световой поток преобразуется в цифровой сигнал.

Особенно привлекает внимание *прямая цифровая рентгенография*, основанная на прямом преобразовании энергии рентгеновских фотонов в свободные электроны. Подобная трансформация происходит при действии рентгеновского пучка, прошедшего через объект, на пластины из аморфного селена или аморфного полукристаллического силикона. По ряду сообра-

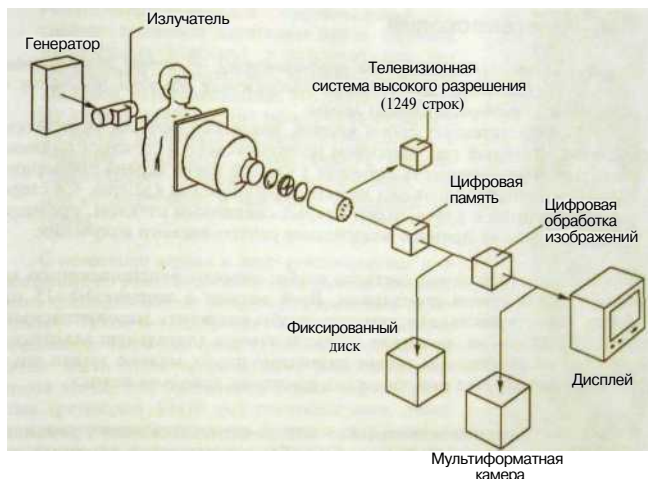


Рис. П.8. Электронно-оптическая цифровая система для рентгенографии и рентгеноскопии.

жений такой метод рентгенографии пока используют только для исследования грудной клетки.

Независимо от вида цифровой рентгенографии окончательное изображение при ней сохраняется на различного рода магнитных носителях (дискеты, жесткие диски, магнитные ленты) либо в виде твердой копии (воспроизводится с помощью мультиформатной камеры на специальной фотопленке), либо с помощью лазерного принтера на писчей бумаге.

К достоинствам цифровой рентгенографии относятся высокое качество изображения, пониженная лучевая нагрузка и возможность сохранять изображения на магнитных носителях со всеми вытекающими из этого последствиями: удобство хранения, возможность создания упорядоченных архивов с оперативным доступом к данным и передачи изображения на расстояния — как внутри больницы, так и за ее пределы.

Знаменитого математика Давида Гильберта (1862—1943) спросили об одном из его бывших учеников. — Ах, этот-то? — вспомнил Гильберт. — Он стал поэтом. Для математики у него было слишком мало воображения.

*(физики шутят. — М.: Мир, 1966)*





## 1.4. Рентгеноскопия

*Рентгеноскопия (рентгеновское просвечивание) — метод рентгенологического исследования, при котором изображение объекта получают на светящемся (флюоресцентном) экране.*

Экран представляет собой картон, покрытый особым химическим составом, который под влиянием рентгеновского излучения начинает светиться. Интенсивность свечения в каждой точке экрана пропорциональна количеству попавших на него рентгеновских квантов. Со стороны, обращенной к врачу, экран покрыт свинцовым стеклом, предохраняющим врача от прямого воздействия рентгеновского излучения.

Флюоресцентный экран светится слабо, поэтому рентгеноскопию выполняют в затемненном помещении. Врач должен в течение Ю—15 мин привыкать (адаптироваться) к темноте, чтобы различить малоинтенсивное изображение. И все же, несмотря на сколь угодно длительную адаптацию, изображение на светящемся экране различимо плохо, мелкие детали его не видны, лучевая нагрузка при таком исследовании довольно велика.

В качестве усовершенствованного метода рентгеноскопии применяют *рентгентелевизионное просвечивание*. Его выполняют с помощью *усилителя рентгеновского изображения (УРИ)*, в состав которого входят рентгеновский электронно-оптический преобразователь (РЭОП) и замкнутая телевизионная система.

РЭОП представляет собой вакуумную трубку, внутри которой с одной стороны расположен рентгеновский флюоресцирующий экран, а с противоположной — катодно-люминесцирующий экран, между ними — электрическое ускоряющее поле с разностью потенциалов около 25 кВ. Световой образ, возникающий при просвечивании на флюоресцентном экране, на фотокатод преобразуется в поток электронов. Под воздействием ускоряющего поля и в результате фокусировки (повышения плотности потока) энергия электронов значительно — в несколько тысяч раз — возрастает. Попадая на катодно-люминесцентный экран, электронный поток создает на нем видимое, аналогичное исходному, но очень яркое изображение, которое через систему зеркал и линз передается на телевизионную трубку — видикон. Возникающие в ней электрические сигналы поступают в блок телевизионного канала, а затем — на экран дисплея. При необходимости изображение можно фиксировать с помощью видеоманитофона.

*Таким образом, в УРИ осуществляется такая цепочка преобразования образа исследуемого объекта: рентгеновский — световой — электронный (на этом этапе происходит усиление сигнала) — вновь световой — электронный (здесь возможно исправление некоторых характеристик образа) — вновь световой.*

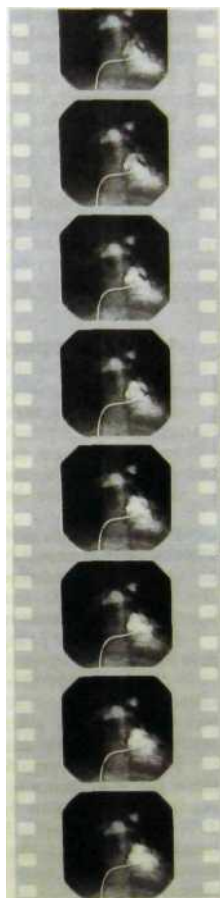
Рентгеновское изображение на дисплее, как и обычное телевизионное изображение, можно рассматривать при обычном видимом свете. Благодаря УРИ рентгенология совершила скачок из царства темноты в царство света. Как остроумно заметил один ученый, «темное прошлое рентгенологии позади».

Рентгентелевизионное просвещение не требует темновой адаптации врача. Лучевая нагрузка на персонал и пациента при его проведении значительно меньше, чем при обычной рентгеноскопии. По телевизионному каналу изображение может быть передано на другие мониторы (в комнату управления, в учебные комнаты). Телевизионная техника обеспечивает возможность записи всех этапов исследования, в том числе движений органов.

С помощью зеркал и линз рентгеновское изображение из рентгеновского электронно-оптического преобразователя может быть введено в кинокамеру. Такое исследование носит название *рентгенокинематографии* (рис. 11.9). Это изображение может быть также направлено на фотокамеру, которая позволяет выполнить серию малоформатных (размером 10х10 см) рентгенограмм. Наконец, рентгентелевизионный тракт дает возможность ввести дополнительный модуль, оцифровывающий изображение (аналого-цифровой преобразователь), и выполнить серийную цифровую рентгенографию, которая уже рассмотрена ранее, а также цифровую рентгеноскопию, при которой еще больше снижается лучевая нагрузка, улучшается качество изображения и, кроме того, имеется возможность ввести изображение в компьютер для последующей обработки.

Следует отметить один принципиально важный момент. В настоящее время рентгеновских аппаратов без **УРИ** уже не выпускают, и применение так называемой обычной рентгеноскопии, т.е. исследование больного с помощью только светящегося в темноте экрана, допустимо лишь в исключительных условиях.

Любому рентгеноскопическому исследованию, как с **УРИ**, так и без него, свойствен ряд недостатков, из-за которых сужается сфера его применения. Во-первых, при этом исследовании, несмотря на ряд рассмотренных ранее усовершенствований, лучевая нагрузка остается достаточно высокой, намного выше, чем при рентгенографии. Во-вторых, пространственное разрешение метода, т.е. возможность выявлять мелкие детали в рентгенологической картине, довольно низкое. Вследствие этого ряд патологических состояний легких может остаться незамеченным, например милиарный туберкулез или карциноматоз легких,



**Рис. 11.9.** Рентгенокинематография контрастированного сердца.

лимфангит некоторые пылевые поражения и др. В связи с изложенным использование рентгеноскопии как проверочного (профилактического) исследования запрещено официальным предписанием Правительства РФ.

В настоящее время круг решаемых в диагностике задач, стоящих перед рентгеноскопией, может быть сведен к следующему:

1) контроль над заполнением органов пациента контрастным веществом, например при исследовании пищеварительного канала;

2) контроль над проведением инструментария (катетеры, иглы и др.) при выполнении инвазивных рентгенологических процедур, например катетеризации сердца и сосудов;

3) исследование функциональной активности органов или выявление функциональных симптомов заболевания (например, ограничения подвижности диафрагмы) у больных, которым по каким-либо причинам ультразвуковое исследование не может быть выполнено.

## 1.5. Флюорография

*Флюорография — метод рентгенологического исследования, заключающийся в фотографировании изображения с флюоресцентного рентгеновского экрана (что применяется чаще), экрана электронно-оптического преобразователя или систем, предназначенных для последующей оцифровки изображений, на фотопленку небольшого формата — обычно 110х110 мм, 100\*100 мм или, что менее желательно, 70 х 70 мм.*

Важнейшим качеством флюорографии, проистекающим из низкой стоимости рентгенограмм малого формата, является возможность проводить с ее помощью массовые проверочные (профилактические) исследования. Это и определило место флюорографии в рентгенодиагностике, а если брать шире — то и во всей медицине.

При наиболее распространенном способе флюорографии уменьшенные рентгеновские снимки получают на специальном рентгеновском аппарате — флюорографе. В этом аппарате имеются флюоресцентный экран и механизм автоматического перемещения рулонной пленки. Фотографирование изображения осуществляется с помощью фотокамеры на рулонную ленту с получением кадров указанных выше размеров (рис. 11.10).

При другом способе флюорографии, уже упомянутом в начале настоящего раздела, фотосъемку производят на пленку того же формата, но с экрана **УРИ** (такой метод регистрации изображения иногда называют *УРИ-флюорографией*). Методика особенно показана при исследовании пищевода, желудка и кишечника, так как обеспечивает быстрый переход от просвечивания к выполнению рентгеновских снимков, причем большими сериями.

Шагом вперед явилась разработка *цифровой флюорографии*. В цифровом флюорографе в отличие от экранно-пленочной техники (с **УРИ** или без него) энергия рентгеновских фотонов, прошедших через объект исследования (тело человека), воспринимается одной из систем для оцифровки изображения (как в цифровой рентгенографии). Затем с помощью лазерного принтера получают изображение на обычной писчей бумаге. Преимущества цифровой флюорографии очевидны: низкая стоимость получения фотокад-

ра, пониженная — в 20 раз — лучевая нагрузка на пациента, в связи с чем такую флюорографию часто называют *низкодозовой*.

В нашей стране флюорография в качестве метода рентгенологического исследования органов грудной полости сложилась как *составная часть комплексной программы раннего выявления туберкулеза легких*. Естественно, что попутно обнаруживали и другие легочные заболевания, в первую очередь онкологические. Однако вследствие невысокой чувствительности и специфичности метода было много противников его использования. Так, за рубежом пошли по другому пути — пути развития альтернативных методов диагностики туберкулеза, в частности цитологического исследования мокроты. К недостаткам флюорографии как массового проверочного исследования следует отнести и определенную лучевую нагрузку на популяцию страны в целом (не путать с радиобиологическим воздействием на отдельного индивидуума: оно невелико и никакой опасности для здоровья обследуемого не представляет!), а также громоздкость и достаточно высокую стоимость флюорографических исследований в масштабах страны в целом.

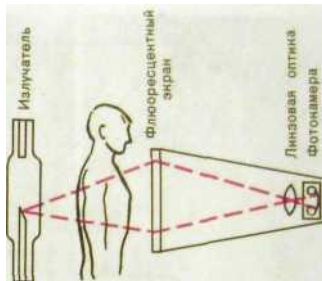


Рис. НЛО. Принцип флюорографии.

И все же, несмотря на ряд присущих флюорографии недостатков, в настоящее время в нашей стране она является *основным методом раннего распознавания туберкулеза (а также рака) легких*. В соответствии с существующими положениями и регламентациями флюорографию проводят не поголовно, как было раньше, а *дифференцированно, у ограниченной группы лиц из группы высокого риска развития легочных заболеваний и с учетом местных условий, в первую очередь эпидемиологической обстановки по туберкулезу, но обязательно у лиц, достигших 15-летнего возраста. У всех лиц, относимых к так называемой декретированной группе (работники лечебных учреждений, детских дошкольных учреждений и школ, общепита и др.), флюорографию проводят обязательно не реже одного раза в год.*

## 1.6. Томография

**Томография** (от греч. *tomos* — слой) — метод послойного рентгенологического исследования.

На обычной рентгенограмме получается суммационное изображение всей толщи исследуемой части тела. Изображение одних анатомических структур частично или полностью накладывается на изображение других. Вследствие этого теряется очень много важных структурных элементов органов. Томография служит для получения изолированного изображения структур, расположенных в одной плоскости, т.е. как бы расчленения суммационного изображения на составляющие его изображения отдельных слоев объекта.

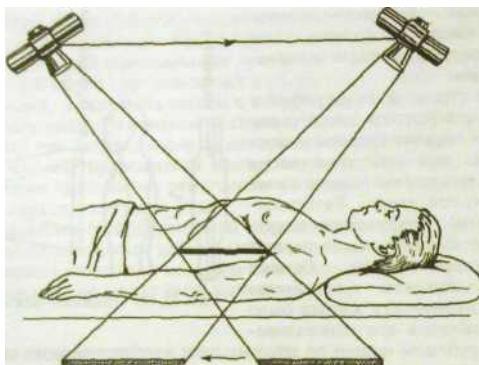


Рис. 11.11. Принцип традиционной (линейной) томографии.

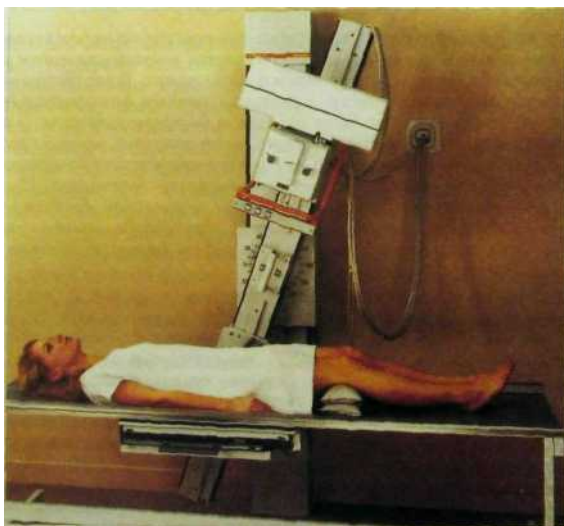


Рис. 11.12. Штатив для линейной томографии.

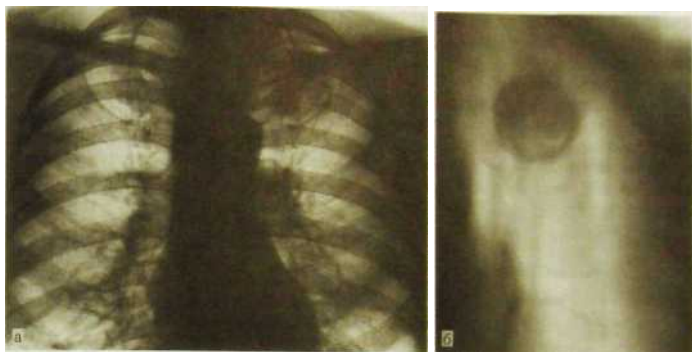


Рис. Н. 13. Большая туберкулема с распадом в верхней доле левого легкого, а — рентгенограмма, б — томограмма.

Эффект томографии достигается благодаря непрерывному движению во время съемки двух из трех компонентов рентгеновской системы излучатель—пациент—пленка. Чаще всего перемещаются излучатель и пленка, в то время как пациент остается неподвижным. При этом излучатель и пленка двигаются по дуге, прямой линии или более сложной траектории, но обязательно в противоположных направлениях (рис. 11.11). При таком перемещении изображение большинства деталей на рентгенограмме оказывается нечетким, размытым, а резким получается изображение только тех образований, которые находятся на уровне центра вращения системы излучатель—пленка.

Конструктивно томографы выполняют в виде дополнительных штативов (рис. 11.12) либо специального приспособления к универсальному поворотному штативу. Если на томографе изменить уровень центра вращения системы излучатель—пленка, то изменится уровень выделяемого слоя. Толщина выбираемого слоя зависит от амплитуды движения упомянутой выше системы: чем она больше, тем тоньше будет томографический слой. Обычная величина этого угла от 20 до 50°. Если же выбирают очень малый угол перемещения, порядка 3—5°, то получают изображение толстого слоя, по существу целой зоны. Этот вариант томографии получил название *зонографии*<sup>1</sup> (не путать с *зонографией* — методом ультразвукового исследования).

Показания к томографии достаточно широки, особенно в учреждениях, в которых нет компьютерного томографа. Наиболее широкое распространение томография получила в пульмонологии. На томограммах получают изображение трахеи и крупных бронхов, не прибегая к их искусственному контрастированию. Томография легких очень ценна для выявления полос-тей распада на участках инфильтрации или в опухолях (рис. 11.13), а также

<sup>1</sup> Подробнее см.: *Королюк ИМ. Зонография легких*- М.: Медицина, 1984.

для обнаружения гиперплазии внутригрудных лимфатических узлов. Она также даст возможность изучить структуру околоносовых пазух, гортани, получить изображение отдельных деталей такого сложного объекта, каким является позвоночник.

Описанное выше послойное рентгенологическое исследование проводится без применения компьютеров. Этот метод называют *линейной*, или *конвенциональной, томографией*. Однако в лучевой диагностике существует ряд методик послойной визуализации органов с помощью компьютерных технологий. Об одном из них, компьютерной томографии, пойдет речь в следующем разделе.

## 1.7. Компьютерная томография

*Мы живем в эпоху, когда расстояние от самых безумных фантазий до совершенно реальной действительности сокращается с невероятной быстротой.*

М. Горький

*Компьютерная томография — это послойное рентгенологическое исследование, основанное на компьютерной реконструкции изображения, получаемого при круговом сканировании объекта (ОТ англ. scan — бегло просматривать) узким пучком рентгеновского излучения.*

Компьютерная томография (КТ) буквально «взорвала» не только лучевую, но и вообще медицинскую диагностику. Впервые за всю историю развития медицины у врача появилась уникальная возможность изучить у живого человека неинвазивным методом анатомические структуры внутренних органов диаметром всего несколько миллиметров.

Идея компьютерной томографии родилась в далекой Южно-Африканской Республике у физика А. Кормака. В Кейптаунской больнице Хроте Схюр его поразило несовершенство технологии исследования головного мозга. Он рассчитал взаимодействие узкого пучка рентгеновского излучения с веществом мозга и в 1963 г. опубликовал статью о возможности компьютерной реконструкции изображения мозга. Спустя 7 лет этим вопросом занялась группа инженеров английской фирмы электромузыкальных инструментов во главе с Г. Хаунсфилдом. Время сканирования первого объекта (мозг, консервированный в формалине) на созданной ими экспериментальной установке составило 9 ч. Как робки были первые шаги КТ и далеки первые результаты исследований от нынешних блестящих успехов! Однако мы не случайно рассказываем об истории создания нового метода. Для молодых исследователей она поучительна и дерзким замыслом первых исследователей, и не меньшей смелостью фирмы, предоставившей средства для создания прибора, весьма далекого от ее основной продукции. Уже в 1972 г. была произведена первая томограмма женщине с опухолевым поражением мозга. 19 апреля 1972 г. на конгрессе Британского радиологического института Г. Хаунсфилд и врач Дж. Амброус выступили с сенсационным сообщением «Рентгенология проникает в мозг». А в 1979 г. А. Кормаку и Г. Хаунсфилду была присуждена Нобелевская премия. В настоящее время в мире функционируют десятки тысяч компьютерных томографов, что соизмеримо с числом классических рентгеновских аппаратов.

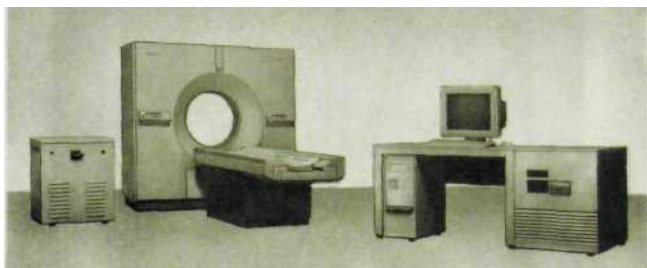


Рис. 11.14. Рентгеновский компьютерный томограф.



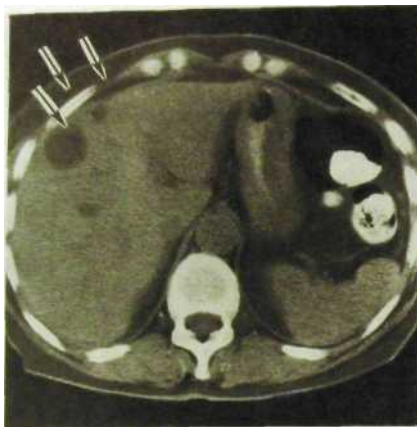
Рис. 11.15. Принцип компьютерной томографии.

*Компьютерный томограф* представляет собой чрезвычайно сложное устройство, при создании которого были использованы наиболее прогрессивные компьютерные, электронные и механические технологии (рис. 11.14).

Схема получения компьютерных томограмм представлена на рис. 11.15. Узкий пучок рентгеновского излучения сканирует человеческое тело по окружности. Проходя через ткани, излучение ослабляется соответственно плотности и атомному составу этих тканей. По другую сторону от пациента установлена круговая система датчиков рентгеновского излучения, каждый из которых (а их количество может достигать нескольких тысяч) преобразует энергию излучения в электрические сигналы. После усиления эти сигналы преобразуются в цифровой код, который поступает в память компьютера. Зафиксированные сигналы отражают степень ослабления пучка рентгеновских лучей (и, следовательно, степень поглощения излучения) в каком-либо одном направлении.

Вращаясь вокруг пациента, рентгеновский излучатель «просматривает» его тело в разных ракурсах, в общей сложности под углом  $360^\circ$ . К концу



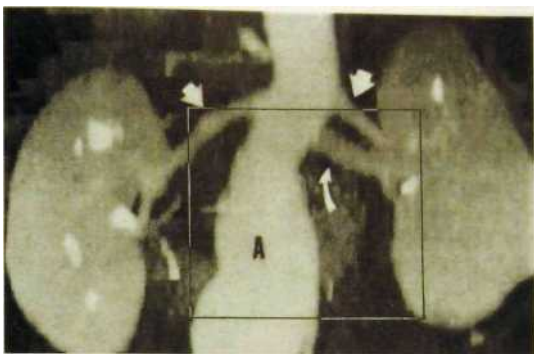


**Рис. 11.16.** Компьютерная томограмма брюшной полости. Метастазы злокачественной опухоли в печени (указаны стрелками).

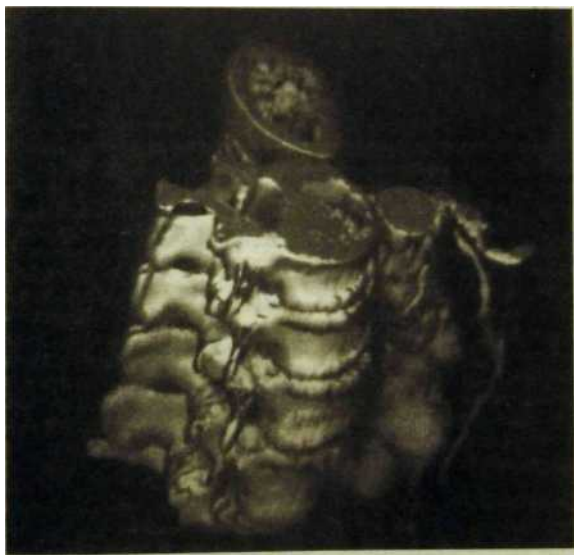
вращения излучателя в памяти компьютера оказываются зафиксированными все сигналы от всех датчиков. Продолжительность вращения излучателя в современных томографах очень небольшая, всего 1–3 с, что позволяет изучать движущиеся объекты.

При использовании стандартных программ компьютер реконструирует внутреннюю структуру объекта. В результате этого получается изображение тонкого слоя изучаемого органа, обычно порядка нескольких миллиметров, которое выводится на дисплей, и врач обрабатывает его применительно к поставленной перед ним задаче: может масштабировать изображение (увеличивать и уменьшать), выделять интересующие его области (зоны интереса), определять размеры органа, число или характер патологических образований (рис. 11.16).

Попутно определяют плотность ткани на отдельных участках, которую измеряют в условных единицах — единицах Хаунсфилда (НУ). За нулевую отметку принята плотность воды. Плотность кости составляет +1000 НУ, плотность воздуха равна -1000 НУ. Все остальные ткани человеческого тела занимают промежуточное положение (обычно от 0 до 200–300 НУ). Естественно, такой диапазон плотностей отобразить ни на дисплее, ни на фотопленке нельзя, поэтому врач выбирает ограниченный диапазон на шкале Хаунсфилда — «окно», размеры которого обычно не превышают нескольких десятков единиц Хаунсфилда. Параметры окна (ширина и положение на всей шкале Хаунсфилда) всегда обозначают на компьютерных томограммах. После такой обработки изображение помещают в долговременную память компьютера или сбрасывают на твердый носитель — фотопленку. Добавим, что при компьютерной томографии выявляются самые



**Рис. 11.17.** Спиральная компьютерная томограмма (ангиограмма).  
 А — расширенная брюшная аорта. Стрелками показаны почечные артерии.  
 К левой почке идет добавочная артерия (указана изогнутой стрелкой).



**Рис. 11.18.** Компьютерная томограмма поясничных позвонков (трехмерная реконструкция изображения).

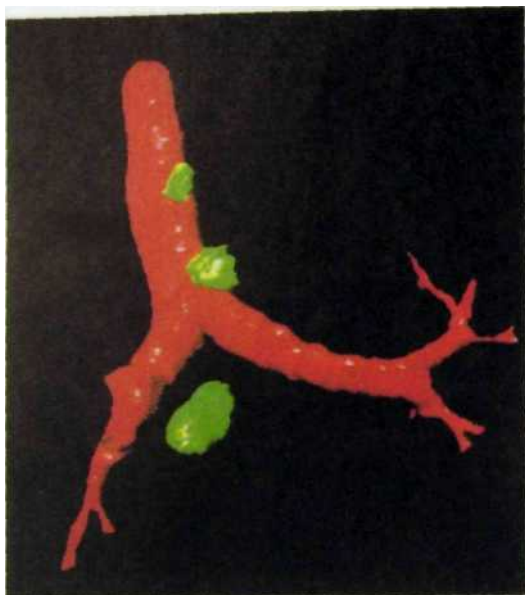
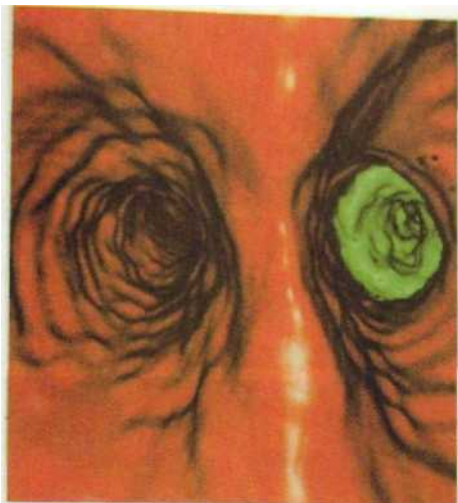


Рис. 11.19. Компьютерная томограмма (виртуальная эндоскопия). Наружный вид трахеи, бронхов и увеличенных лимфатических узлов.

незначительные перепады плотности, около 0,4—0,5 %, тогда как обычная рентгенограмма может отобразить плотностной фациент только в 15—20 %.

Обычно при компьютерной томографии не ограничиваются получением одного слоя. Для уверенного распознавания поражения необходимо несколько срезов, как правило, 5—10, их выполняют на расстоянии 5—10 мм друг от друга. Для ориентации в расположении выделяемых слоев относительно тела человека на этом же аппарате производят обзорный цифровой снимок изучаемой области — *рентгенотопографшу*, на которой и отображаются выделяемые при дальнейшем исследовании уровни томограмм.

В настоящее время сконструированы компьютерные томографы, в которых в качестве источника проникающего излучения вместо рентгеновского излучателя используют вакуумные электронные пушки, испускающие пучок быстрых электронов. Сфера применения таких *электронно-лучевых компьютерных томографов* пока ограничена в основном кардиологией.



**Рис. 11.20.** Компьютерная томограмма (виртуальная эндоскопия, выполненная у того же больного — см. рис. 11.19). Изображение бифуркации трахеи. Эндобронхиальный рак правого главного бронха.

В последние годы бурно развивается так называемая *спиральная томография*, при которой излучатель движется по спирали по отношению к телу пациента и захватывает, таким образом, за короткий промежуток времени, измеряемый несколькими секундами, определенный объем тела, который в последующем может быть представлен отдельными дискретными слоями. *Спиральная томография* инициировала создание новых, чрезвычайно перспективных способов визуализации — компьютерной ангиографии (рис. 11.17), трехмерного (объемного) изображения органов (рис. 11.18) и, наконец, так называемой виртуальной эндоскопии (рис. 11.19; 11.20), которая стала венцом современной медицинской визуализации.

Специальной подготовки больного к КТ органов головы, шеи, грудной полости и конечностей не требуется. При исследовании аорты, нижней полой вены, печени, селезенки, почек больному рекомендуется ограничиться легким завтраком. На исследование желчного пузыря пациент должен явиться натощак. Перед КТ поджелудочной железы и печени необходимо принять меры для уменьшения метеоризма. Для более четкого дифференцирования желудка и кишечника при КТ брюшной полости их контрастируют путем дробного приема внутрь пациентом до исследования около 500 мл 2,5 % раствора водорастворимого йодистого контрастного вещества.

Следует также учесть, что если накануне проведения КТ больному выполняли рентгенологическое исследование желудка или кишечника, то

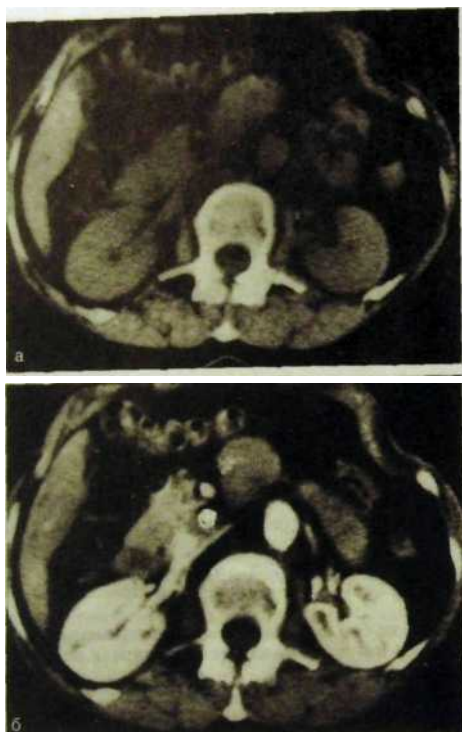


Рис. 11.21. Методика «усиления» при компьютерной томографии, а — томограмма брюшной полости до введения контрастного вещества; б — после внутривенного введения рентгеноконтрастного вещества: усиление тени аорты, сосудов и почек.

скопившийся в них барий будет создавать артефакты на изображении. В связи с этим не следует назначать КТ до полного опорожнения пищеварительного канала от этого контрастного вещества.

Разработана дополнительная методика выполнения КТ — *усиленная КТ* (рис. 11.21). Она заключается в проведении томографии после внутривенного введения больному водорастворимого контрастного вещества. Этот прием способствует увеличению поглощения рентгеновского излучения в связи с появлением контрастного раствора в сосудистой сис-

теме и паренхиме органа. При этом, с одной стороны, повышается контрастность изображения, а с другой - выделяются сильно васкуляризованные образования, например сосудистые опухоли, метастазы некоторых опухолей. Естественно, на фоне усиленного теневого изображения паренхимы органа в ней лучше выявляются малососудистые или вовсе бессосудистые зоны (кисты, опухоли).

Некоторые модели компьютерных томографов снабжены *кардиосинхронизаторами*. Они включают излучатель в точно заданные моменты времени — в систолу и диастолу. Полученные в результате такого исследования поперечные срезы сердца позволяют визуально оценить состояние сердца в систолу и диастолу, провести расчет объема камер сердца и фракции выброса, проанализировать показатели общей и регионарной сократительной функции миокарда.

Значение КГ не ограничивается ее использованием в диагностике заболеваний. Под контролем КТ производят пункции и прицельную биопсию различных органов и патологических очагов. КТ играет важную роль в контроле эффективности консервативного и хирургического лечения больных. Наконец, КТ является точным методом определения локализации опухолевых поражений, что используют для наводки источника радиоактивного излучения на очаг при проведении лучевой терапии злокачественных новообразований.

## 1.8. Ангиография

На обычных рентгенограммах не получается изображение артерий, вен и лимфатических сосудов, поскольку они поглощают рентгеновское излучение так же, как окружающие их ткани. Исключением являются артерии и вены легких, которые вырисовываются как ветвящиеся темные полоски на фоне светлых легочных полей. Кроме того, у больных атеросклерозом, преимущественно пожилого и старческого возраста, наблюдается отложение извести в стенках сосудов, и эти известковые бляшки хорошо видны на снимках.

*Ангиографией называют рентгенологическое исследование кровеносных сосудов, производимое с применением контрастных веществ.*

Для искусственного контрастирования в кровяное и лимфатическое русло вводят раствор органического соединения йода, предназначенного для этой цели. В зависимости от того, какую часть сосудистой системы контрастируют, различают *артериографию, венографию (флебографию) и лимфографию*.

Ангиографию выполняют только после общеклинического обследования и лишь в тех случаях, когда с помощью неинвазивных методов не удастся диагностировать болезнь и предполагается, что на основании картины сосудов или изучения кровотока можно выявить поражение собственно сосудов или их изменения при заболеваниях других органов. Однако нужно помнить, что ангиография — инвазивное исследование, связанное с возможностью осложнений и с довольно значительной лучевой нагрузкой.

Основные задачи ангиографии ясны из изложенного ранее. Ее применяют для исследования гемодинамики и выявления собственно сосудистой патологии, диагностики повреждений и пороков развития органов, распознавания воспалительных, дистрофических и опухолевых поражений, вызывающих нарушения функции и морфологии сосудов. Ангиография является необходимым этапом при проведении *эндоваскулярных операций* (см. далее).

Противопоказаниями к ангиографии служат крайне тяжелое состояние больного, острые инфекционные, воспалительные и психические заболевания, выраженная сердечная, печеночная и почечная недостаточность, повышенная чувствительность к препаратам йода.

Возможность идиосинкразии к йоду выясняют во время опроса больного до исследования, а также путем проведения пробы на чувствительность к йодистому препарату, который собираются использовать. Для этого больному вводят внутривенно 1—2 мл контрастного вещества. Признаками аллергической реакции считают головную боль, тошноту, кожный зуд, крапивницу, конъюнктивит, ринит, нарушение сердечного ритма.

Перед исследованием врач должен разъяснить пациенту необходимость и характер процедуры и получить его согласие на ее проведение. Вечером накануне ангиографии назначают транквилизаторы. Утром отмечают завтрак. В области пункции выбривают волосы. За 30 мин до исследования выполняют премедикацию (антигистаминные препараты, транквилизаторы, анальгетики).

Артериографию производят путем пункции сосуда или его катетеризации. Пункцию применяют при исследовании сонных артерий, артерий и вен нижних конечностей, брюшной аорты и ее крупных ветвей. Однако *основным способом ангиографии в настоящее время является, безусловно, катетеризация сосуда, которую выполняют по методике, разработанной шведским врачом Сельдингером.*

Излюбленным местом для катетеризации служит область бедренной артерии. Больного укладывают на спину. Операционное поле обрабатывают и отграничивают стерильными простынями. Прощупывают пульсирующую бедренную артерию. После местной паравазальной анестезии 0,5 % раствором новокаина делают разрез кожи длиной 0,3—0,4 см. Из него тупым путем прокладывают узкий ход к артерии. В проделанный ход с небольшим наклоном вводят специальную иглу с широким просветом. Ею прокалывают стенку артерии, после чего колющий стилет удаляют. Подтягивая иглу, локализируют ее конец в просвете артерии. В этот момент из павильона иглы появляется сильная струя крови. Через иглу в артерию вводят металлический проводник, который затем продвигают во внутреннюю и общую подвздошную артерии и аорту до избранного уровня. Иглу удаляют, а по проводнику в необходимую точку артериальной системы вводят рентгеноконтрастный катетер. За его продвижением наблюдают на дисплее. После удаления проводника свободный (наружный) конец катетера присоединяют к адаптеру и катетер сразу же промывают изотоническим раствором натрия хлорида с гепарином.



**Рис. 11.22.** Рентгенооперационная для проведения ангиографии и внутрисосудистых вмешательств.

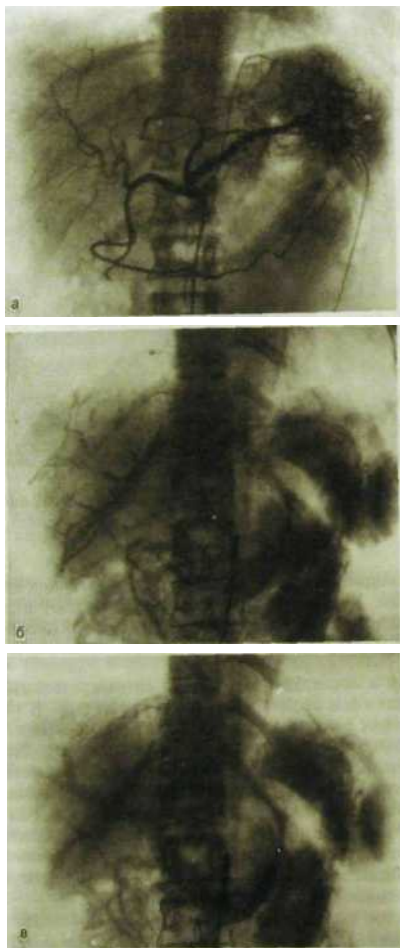
Все манипуляции при ангиографии осуществляют под контролем рентгенотелевидения. Участники катетеризации работают в защитных фартуках, поверх которых надеты стерильные халаты. В процессе ангиографии ведут постоянное наблюдение за состоянием больного (рис. 11.22).

Через катетер в исследуемую артерию автоматическим шприцем (инъектором) под давлением вводят контрастное вещество. В тот же момент начинается скоростная рентгеновская съемка. Ее программа — число и время выполнения снимков — установлена на пульте управления аппаратом. Снимки немедленно проявляют. Убедившись в успехе исследования, катетер удаляют. Место пункции прижимают на 8–10 мин для остановки кровотечения. На область пункции на сутки накладывают давящую повязку. Больному на тот же срок предписывается постельный режим. Спустя сутки повязку заменяют асептической наклейкой. За состоянием больного постоянно следит лечащий врач. Обязательны измерение температуры тела и осмотр места оперативного вмешательства.

Наиболее частое осложнение ангиографии — развитие гематомы в области катетеризации, где появляется припухлость. Ее лечат консервативно. Тяжелое, но, к счастью, редкое осложнение — тромбоэмболия периферической артерии, о возникновении которой свидетельствует ишемия конечности.

*«Артериография» — общее название контрастного рентгенологического исследования любой артерии. На практике нередко используют частные термины: в зависимости от цели и места введения контрастного вещества различа-*





**Рис. П.23.** Контрастирование чревного ствола и его ветвей

а — ранняя артериальная фаза: видны артерии печени, левая желудочная артерия, селезеночная артерия, желудочно-двенадцатиперстная артерия; б — поздняя артериальная фаза и начало паренхиматозной фазы: определяется тень стенки желудка и селезенки; в — венозная фаза: **выделяется тень воротной вены** и ее ветвей в печени.

ют аортографию, коронарографию, каротидную и вертебральную ангиографию, целиакографию, мезентериографию и т.д. Для выполнения всех этих видов ангиографии конец рентгеноконтрастного катетера вводят в исследуемый сосуд. После инъекции контрастного вещества оно заполняет основной ствол и крупные ветви, затем переходит в ветви среднего и малого калибра. Далее контрастное вещество накапливается в капиллярах, отчего интенсивность тени органов, снабжаемых исследуемым сосудом, возрастает. Наконец, контрастное вещество появляется в венозных путях оттока.

При введении контрастного вещества в артерию на ангиограммах в норме последовательно отражаются закономерные фазы кровотока: артериальная, капиллярная (паренхиматозная), венозная. Это позволяет судить о регионарной гемодинамике (рис. 11.23).

*Венография* может быть выполнена прямым и непрямым способами. При прямой венографии контрастное вещество вводят в кровь путем венопункции или веносекции, в ряде случаев с применением катетеризации по методу Сельдингера (рис. 11.24).

Непрямое контрастирование вен осуществляют одним из трех способов: 1) введением контрастного вещества в артерии, из которых оно через систему капилляров достигает вен (иными словами, используют венозную фазу ангиографии для получения изображения вен); 2) инъекцией контрастного вещества в костномозговое пространство, из которого оно поступает в соответствующие вены; 3) введением контрастного вещества в паренхиму органа путем пункции, при этом на снимках отображаются вены, отводящие кровь от данного органа. Таким образом, например, получают изображение селезеночной и воротной вен, вводя контрастное вещество в паренхиму селезенки (спленоportoграфия).

К венографии есть ряд специальных показаний: хронический тромбоз, тромбоз, тромбоз, посттромбофлебитические изменения вен, подозрение на аномалию развития венозных стволов, различные нарушения венозного кровотока, в том числе из-за недостаточности клапанного аппарата вен, ранение вен, состояния после оперативных вмешательств на венах.

Методика венографии зависит от области исследования и будет описана в соответствующих главах III части учебника. Здесь необходимо подчерк-



Рис. 11.24. Контрастирование нижней поллой вены (кавография) через катетер, введенный в правую подвздошную вену.

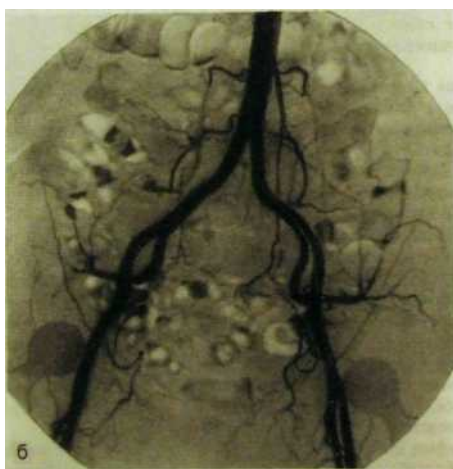
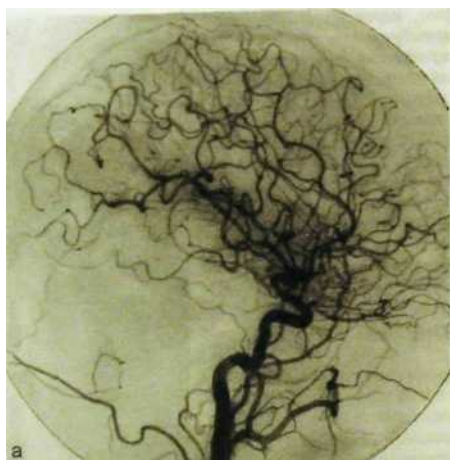


Рис. П.25. Дигитальная субтракционная ангиография.

а — каротидная артериограмма головного мозга; б — абдоминальная аортограмма.

нать, что к числу противопоказаний к исследованию относится острый тромбофлебит. По окончании флебографии в вену вводят изотонический раствор натрия хлорида. Место пункции прижимают указательным пальцем. После остановки кровотечения накладывают асептическую повязку. Если появляется боль по ходу вены, повышается температура тела и наступает пастозность конечности, ноге придают возвышенное положение, делают повязку с бальзамическим линиментом по А.В. Вишневскому и внутривенно капельно вливают гепарин — 5000 ЕД в 250 мл изотонического раствора натрия хлорида. Производят тугое бинтование конечности.



Рис. П.26. Лимфограмма. Контрастное вещество заполнило лимфатические сосуды бедра и таза. По ходу сосудов видны контрастированные бедренные и подвздошные лимфатические узлы.

Новой методикой рентгенологического исследования сосудов является *цифровая субтракционная ангиография (ДСА)*. В основе ее лежит принцип компьютерного вычитания (субтракции) двух изображений, записанных в памяти компьютера, — снимков до и после введения контрастного вещества в сосуд.

Благодаря компьютерной обработке итоговая рентгенологическая картина сердца и сосудов отличается высоким качеством, но главное — на ней можно вычленить изображение сосудов из общего изображения исследуемой части тела, в частности убрать мешающие тени мягких тканей и скелета и количественно оценить гемодинамику (рис. 11.25). Существенным преимуществом ДСА по сравнению с другими методиками является уменьшение необходимого количества рентгеноконтрастного вещества, поэтому можно получить изображение сосудов при большом разведении контрастного вещества. А это означает (внимание!), что можно ввести контрастное вещество внутривенно и на последующей серии снимков получить тень артерий, не прибегая к их катетеризации. В настоящее время почти повсеместно обычную ангиографию заменяют на ДСА.

Необходимо отметить, что в связи с развитием других, альтернативных методов визуализации сосудов, в частности *компьютерной, магнитно-резонансной и ультразвуковой ангиографии и доплеровского картирования* (см. соответствующие разделы), значительно уменьшилась частота выполнения ангиографии в клинической практике.

Для выполнения *лимфографии* контрастное вещество вливают непосредственно в просвет лимфатического сосуда. В клинике в настоящее время проводят главным образом лимфографию нижних конечностей, таза и забрюшинного пространства (рис. 11.26). Контрастное вещество — жидкую

масляную эмульсию йодистого соединения - вводят в сосуд со скоростью 0,25—0,5 мл/мин. Рентгенограммы лимфатических сосудов делают спустя 15—20 мин, а рентгенограммы лимфатических узлов — через 24 ч.

Показания к лимфографии сравнительно узки. К ней прибегают при системных и опухолевых заболеваниях для уточнения локализации, степени и характера поражения лимфатических узлов. В частности, такая необходимость может возникнуть при планировании лучевой терапии у онкологических больных. Однако благодаря развитию компьютерной томографии, позволяющей получить четкое изображение лимфатических узлов, в настоящее время применение лимфографии в онкологической клинике ограничено.

## 2. РАДИОНУКЛИДНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

*Наше проникновение в мир атомов можно сравнить с великими, полными открытий кругосветными путешествиями и дерзкими исследованиями астрономов, проникших в глубины мирового пространства.*

Нильс Бор

Удручающе длинной казалась дистанция между физическими лабораториями, где ученые регистрировали треки ядерных частиц, и будничной клинической практикой. Сама мысль о возможности использования ядерно-физических феноменов для обследования больных могла показаться если не сумасбродной, то сказочной. Однако именно такая идея родилась в опытах венгерского ученого Д.Хевеши, впоследствии лауреата Нобелевской премии. В один из осенних дней 1912 г. Э.Резерфорд показал ему груды хлорида свинца, валявшуюся в подвале лаборатории, и сказал: «Вот, займитесь этой кучей. Постарайтесь из соли свинца выделить радий D».

После множества опытов, проведенных Д.Хевеши совместно с австрийским химиком А.Панетом, стало ясно, что химическим способом разделить свинец и радий D невозможно, так как это не отдельные элементы, а изотопы одного элемента — свинца! Они различаются только тем, что один из них радиоактивный. Распадаясь, он испускает ионизирующее излучение. Значит, радиоактивный изотоп — радионуклид — можно применять как метку при изучении поведения его нерадиоактивного близнеца.

Перед врачами открылись заманчивые перспективы: вводя в организм больного радионуклиды, наблюдать за их местонахождением с помощью радиометрических приборов. За сравнительно короткий срок радионуклидная диагностика превратилась в самостоятельную медицинскую дисциплину. За рубежом радионуклидную диагностику в сочетании с лечебным применением радионуклидов называют *ядерной медициной*.

*Радионуклидный метод* — это способ исследования функционального и морфологического состояния органов и систем с помощью радионуклидов и меченных ими индикаторов. Эти индикаторы — их называют *радиофармацевтическими препаратами (РФП)* — вводят в организм больного, а затем с помощью различных приборов определяют скорость и характер перемещения, фиксации и выведения их из органов и тканей.

Кроме того, для радиометрии могут быть использованы кусочки тканей, кровь и выделения больного. Несмотря на введение ничтожно малых количеств индикатора (сотые и тысячные доли микрограмма) не оказывающих влияния на нормальное течение жизненных процессов, метод обладает исключительно высокой чувствительностью.

*Радиофармацевтическим препаратом называют разрешенное для введения человеку с диагностической целью химическое соединение, в молекуле которого содержится радионуклид. Радионуклид должен обладать спектром излучения определенной энергии, обуславливать минимальную лучевую нагрузку и отражать состояние исследуемого органа.*

В связи с этим РФП выбирают с учетом его фармакодинамических (поведение в организме) и ядерно-физических свойств. Фармакодинамику РФП определяет то химическое соединение, на основе которого он синтезирован. Возможности же регистрации РФП зависят от типа распада радионуклида, которым он помечен.

Выбирая РФП для исследования, врач должен прежде всего учесть его физиологическую направленность и фармакодинамику. Рассмотрим это на примере введения РФП в кровь. После инъекции в вену РФП первоначально равномерно распределяется в крови и транспортируется по всем органам и тканям. Если врача интересуют гемодинамика и кровенаполнение органов, то он выберет индикатор, который длительное время циркулирует в кровеносном русле, не выходя за пределы стенок сосудов в окружающие ткани (например, альбумин человеческой сыворотки). При исследовании печени врач предпочтет химическое соединение, которое избирательно улавливается этим органом. Некоторые вещества захватываются из крови почками и выделяются с мочой, поэтому они служат для исследования почек и мочевых путей. Отдельные РФП тропны к костной ткани, в связи с чем они незаменимы при исследовании костно-суставного аппарата (рис. 11.27). Изучая сроки транспортировки и характер распределения и выведения РФП из организма, врач судит о функциональном состоянии и структурно-топографических особенностях этих органов.

Однако недостаточно учитывать лишь фармакодинамику РФП. Нужно обязательно принимать во внимание ядерно-физические свойства входящего в его состав радионуклида. Прежде всего он должен иметь определенный спектр излучения. Для получения изображения органов применяют только радионуклиды, испускающие  $\gamma$ -лучи или характеристическое рентгеновское излучение, так как эти излучения можно регистрировать при наружной детекции. Чем больше  $\gamma$ -квантов или рентгеновских квантов образуется при радиоактивном распаде, тем эффективнее данный РФП в диагностическом отношении. В то же время радионуклид должен испускать по возможности меньше корпускулярного излучения — электронов, которые поглощаются в теле пациента и не участвуют в получении изображения органов. С этих позиций предпочтительны радионуклиды с ядерным превращением по типу изомерного перехода —  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{113m}\text{In}$ .

Радионуклиды, период полураспада которых — несколько десятков дней, принято считать *долгоживущими*, несколько дней — *среднеживущими*, несколько часов — *короткоживущими*, несколько минут — *ультракороткоживущими*. По понятным соображениям стремятся использовать короткоживущие радионуклиды. Применение среднеживущих и тем более долгоживу-



**Рис. 11.27.** Сцинтиграммы скелета после введения остеотропного РФП.

*полувыведения* ( $T^J$ ). Время, за которое активность препарата, введенного в организм, снижается наполовину за счет его выведения, именуют *периодом биологического полувыведения*. Время, в течение которого активность введен-

ных радионуклидов связано с повышенной лучевой нагрузкой, использование ультракороткоживущих радионуклидов затруднено по техническим причинам.

Существует несколько способов получения радионуклидов. Часть из них образуется в реакторах ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{125}\text{I}$ ), часть — в ускорителях ( $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{23}\text{P}$ ,  $^{113}\text{I}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ). Однако наиболее распространенным способом получения радионуклидов является генераторный, т.е. изготовление радионуклидов непосредственно в лаборатории радионуклидной диагностики с помощью генераторов. Таким образом получают самый распространенный радионуклид —  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , а также  $^{111}\text{In}$ .

Очень важный параметр радионуклида — энергия квантов электромагнитного излучения. Кванты очень низких энергий задерживаются в тканях и, следовательно, не попадают на детектор радиометрического прибора. Кванты же очень высоких энергий частично пролетают детектор насквозь, поэтому эффективность их регистрации также невысока. Оптимальным диапазоном энергии квантов в радионуклидной диагностике считают 70–200 кэВ.

Важным требованием к РФП является минимальная лучевая нагрузка при его введении. Известно, что активность примененного радионуклида уменьшается вследствие действия двух факторов: распада его атомов, т.е. физического процесса, и выведения его из организма — биологического процесса. Время распада половины атомов радионуклида называют *физическим периодом*

ного в организм **РФП** уменьшается наполовину вследствие **физического** распада и выведения, называют *эффективным периодом полувыведения* (Тм.)

Для радионуклидных диагностических исследований стремятся выбрать **РФП** с наименее продолжительным  $T^{\wedge}$ . Это и понятно' ведь от данного параметра зависит лучевая нагрузка на больного. Однако очень короткий физический период полураспада также неудобен: нужно успеть доставить **РФП** в лабораторию и провести исследование. Общее же правило таково: Т<sub>ф</sub> препарата должен приближаться к продолжительности диагностической процедуры.

Как уже отмечалось, в настоящее время в лабораториях чаще используют генераторный способ получения радионуклидов, причем в 90—95 % случаев — это радионуклид  $^{99m}\text{Tc}$ , которым метят подавляющее большинство **РФП**. Кроме радиоактивного технеция, иногда применяют  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ , очень редко — другие радионуклиды.

Ниже приведены **РФП**, наиболее часто используемые в клинической практике.

<i>РФП</i>	<i>Область применения</i>
$^{99m}\text{Tc}$ -альбумин	Исследование кровотока
$^{99m}\text{Tc}$ -меченные эритроциты	Исследование кровотока
$^{99m}\text{Tc}$ -коллоид (тсхнифит)	Исследование печени
$^{99m}\text{Tc}$ -бутил-ИДА (бромезида)	Исследование желчевыделительной системы
$^{99m}\text{Tc}$ -пирофосфат (технифор)	Исследование скелета
$^{99m}\text{Tc}$ -МАО	Исследование легких
$^{133}\text{Xe}$	Исследование легких
$^{67}\text{Ga}$ -ацитрат	Туморотропный препарат, исследование сердца
$^{99m}\text{Tc}$ -сестамиби	Туморотропный препарат
$^{99m}\text{Tc}$ -моноклональные антитела	Туморотропный препарат
$^{201}\text{Tl}$ -хлорид	Исследование сердца, головного мозга, туморотропный препарат
$^{99m}\text{Tc}$ -DMSA (технемек)	Исследование почек
$^{131}\text{I}$ -гиппуран	Исследование почек
$^{99m}\text{Tc}$ -DTPA (пентатех)	Исследование почек и сосудов
$^{99m}\text{Tc}$ -MAG-3 (технемаг)	Исследование почек
$^{99m}\text{Tc}$ -пертехнетат	Исследование щитовидной железы и слюнных желез
$^{18}\text{F}$ -DG	Исследование головного мозга и сердца
$^{123}\text{I}$ -MIBG	Исследование надпочечников

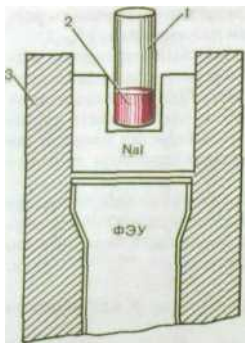
Однажды во время своего обучения в Геттингене Нильс Бор плохо подготовился к коллоквиуму и его выступление оказалось слабым. Однако Бор не пал духом и в заключение с улыбкой сказал: «Я выслушал здесь столь плохие выступления, что прошу рассматривать мое нынешнее как месть».

(ФИЗИКИ шутят. — М.: Мир, 1966)



Для выполнения радионуклидных исследований разработаны разнообразные диагностические приборы. Независимо от их конкретного назначения все эти приборы устроены по единому принципу: в них есть де-





**Рис. 11.28.** Детектор с колодезным кристаллом йодида натрия  
1 — счетная пробирка; 2 — радиоактивная проба; 3 — коллиматор. ФЭУ — фотоэлектронный умножитель.

тектор, преобразующий ионизирующее излучение в электрические импульсы, блок электронной обработки и блок представления данных. Многие радиодиагностические приборы оснащены компьютерами и микропроцессорами.

В качестве детектора обычно используют *сцинтилляторы* или, реже, газовые счетчики. Сцинтиллятор — это вещество, в котором под действием быстро заряженных частиц или фотонов возникают световые вспышки — сцинтилляции. Эти сцинтилляции улавливаются фотоэлектронными умножителями (ФЭУ), которые превращают световые вспышки в электрические сигналы. Сцинтилляционный кристалл и ФЭУ помещают в защитный металлический кожух — коллиматор, ограничивающий «поле видения» кристалла размерами органа или изучаемой части тела пациента.

Обычно у радиодиагностического прибора имеется несколько сменных коллиматоров, которые подбирает врач в зависимости от задач исследования. В коллиматоре имеется одно большое или несколько мелких отверстий, через которые радиоактивное излучение проникает в детектор. В принципе, чем больше отверстие в коллиматоре, тем выше чувствительность детектора, т.е. его способность регистрировать ионизирующее излучение, но одновременно ниже его разрешающая способность, т.е. свойство раздельно различать мелкие источники излучения. В современных коллиматорах имеется несколько десятков мелких отверстий, положение которых выбрано с учетом оптимального «видения» объекта исследования!

В приборах, предназначенных для определения радиоактивности биологических проб, применяют сцинтилляционные детекторы в виде так называемых колодезных счетчиков (рис. 11.28). Внутри кристалла имеется цилиндрический канал, в который помещают пробирку с исследуемым материалом. Такое устройство детектора значительно повышает его способность улавливать слабые излучения биологических проб. Для измерения радиоактивности биологических жидкостей, содержащих радионуклиды с мягким  $\beta$ -излучением, применяют жидкие сцинтилляторы.

Все радионуклидные диагностические исследования делят на две большие группы: исследования, при которых **РФП** вводят в организм пациента, — исследования *in vivo*, и исследования крови, кусочков ткани и выделений больного — исследования *in vitro*.

При выполнении любого исследования *in vivo* требуется психологическая подготовка пациента. Ему необходимо разъяснить цель процедуры, ее значение для диагностики, порядок проведения. Особенно важно под-

черкнуть безопасность исследования. В специальной подготовке как правило, нет необходимости. Следует лишь предупредить пациента о его поведении во время исследования. При исследованиях *in vivo* применяют различные способы введения РФП в зависимости от задач процедуры. В большинстве методик предусматривается проведение инъекции РФП преимущественно в вену, гораздо реже в артерию, паренхиму органа, другие ткани. РФП применяют также перорально и путем вдыхания (ингаляция).

Показания к радионуклидному исследованию определяет лечащий врач после консультации с радиологом. Как правило, его проводят после других клинических, лабораторных и неинвазивных лучевых процедур, когда становится ясна необходимость радионуклидных данных о функции и морфологии того или иного органа.

Противопоказаний к радионуклидной диагностике нет, имеются лишь ограничения, предусмотренные инструкциями Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Среди радионуклидных методов различают: методы радионуклидной визуализации, радиографию, клиническую и лабораторную радиометрию.

Термин «*визуализация*» образован от английского слова *vision* (зрение). Им обозначают получение изображения, в данном случае с помощью радиоактивных нуклидов. *Радионуклидная визуализация* — это создание картины пространственного распределения РФП в органах и тканях при введении его в организм пациента. Основным методом радионуклидной визуализации является *гаммасцинтиграфия* (или просто *сцинтиграфия*), которую проводят на аппарате, называемом *гамма-камерой*. Вариантом сцинтиграфии, выполняемой на специальной гамма-камере (с подвижным детектором), является *послойная радионуклидная визуализация* — *однофотонная эмиссионная томография*. Редко, главным образом из-за технической сложности получения ультракороткоживущих позитронизлучающих радионуклидов, проводят *двухфотонную эмиссионную томографию* также на специальной гамма-камере. Иногда применяют уже устаревший метод радионуклидной визуализации — *сканирование*; его выполняют на аппарате, называемом *сканером*.

*Сцинтиграфия* — это получение изображения органов и тканей пациента посредством регистрации на гамма-камере излучения, испускаемого инкорпорированным радионуклидом.

Физиологической сущностью сцинтиграфии является органотропность РФП, т.е. способность его избирательно накапливаться в определенном органе — накапливаться, выделяться или проходить по нему в виде компактного радиоактивного болюса.

*Гамма-камера* (рис. 11.29) представляет собой сложное техническое устройство, насыщенное микроэлектроникой и компьютерной техникой. В качестве детектора радиоактивных излучений применяют сцинтилляционный кристалл (обычно йодид натрия) больших размеров - диаметром до 50 см. Это обеспечивает регистрацию излучения *одномоментно* над



Рис. 11.29. Гамма-камера «Эльсцинт».

всей исследуемой частью тела. Исходящие из органа гамма-кванты вызывают в кристалле световые вспышки. Эти вспышки регистрируются несколькими ФЭУ, которые равномерно расположены над поверхностью кристалла. Электрические импульсы из ФЭУ через усилитель и дискриминатор передаются в блок анализатора, который формирует сигнал на экране дисплея. При этом координаты светящейся на экране точки точно соответствуют координатам световой вспышки в сцинтиляторе и, следо-

вательно, расположению радионуклида в органе. Одновременно с помощью электроники анализируется момент возникновения каждой сцинтилляции, что дает возможность определить время прохождения радионуклида по органу.

Важнейшей составной частью гамма-камеры, безусловно является *специализированный компьютер*, который позволяет производить разнообразную компьютерную обработку изображения: выделять на нем заслуживающие внимания поля — так называемые *зоны интереса* — и проводить в них различные процедуры: измерение радиоактивности (общей и локальной), определение размеров органа или его частей, изучение скорости прохождения РФП в этом поле. С помощью компьютера можно улучшить качество изображения, выделить на нем интересующие детали, например питающие орган сосуды.

При анализе сцинтиграмм широко применяют математические методы, системный анализ, камерное моделирование физиологических и патологических процессов. Естественно, все полученные данные не только отображаются на дисплее, но также могут быть перенесены на магнитные носители, переданы по компьютерным сетям.

Заключительным этапом сцинтиграфии обычно является создание твердой копии изображения на бумаге (с помощью принтера) или пленке (посредством фотокамеры).

В принципе каждая сцинтиграмма в той или иной степени характеризует функцию органа, так как РФП накапливается (и выделяется) преимущественно в нормальных и активно функционирующих клетках, поэтому *сцинтиграмма — это функционально-анатомическое изображение*. В этом уникальность радионуклидных изображений, отличающая их от получаемых при рентгенологическом и ультразвуковом исследованиях, магнитно-резонансной томографии. Отсюда вытекает и основное условие для назначения сцинтиграфии — исследуемый орган обязательно должен быть хотя бы в ограниченной степени функционально активным. В противном случае сцинтиграфическое изображение не получится. Вот почему бессмысленно назначать радионуклидное исследование печени при печеночной коме.

Сцинтиграфию широко применяют практически во всех разделах клинической медицины: терапии, хирургии, онкологии, кардиологии, эндокринологии и др.— там, где необходимо «функциональное изображение» органа. В том случае, если выполняют один снимок, то это *статическая сцинтиграфия*. Если же задачей радионуклидного исследования является изучение функции органа, то выполняют серию сцинтиграмм с различными временными интервалами, которые могут измеряться в минутах или секундах. Такую серийную сцинтиграфию называют *динамической*. Проанализировав на компьютере полученную серию сцинтиграмм, выбрав в качестве «зон интереса» весь орган или его часть, можно получить на дисплее кривую, отображающую течение прохождения РФП через этот орган (или его часть). Такие кривые, построенные на основании результатов компьютерного анализа серии сцинтиграмм, именуют *гистограммами*. Они предназначены для изучения функции органа (или его части). Важным достоинством

гистограмм является возможность обрабатывать их на компьютере: сглаживать, выделять отдельные составляющие части, суммировать и вычитать, оцифровывать и подвергать математическому анализу.

При анализе сцинтиграмм, в основном статических, наряду с топографией органа, его размерами и формой определяют степень однородности его изображения. Участки с повышенным накоплением РФП называют *горячими очагами*, или *горячими узлами* (рис. 11.30). Обычно им соответствуют избыточно активно функционирующие участки органа — воспалительно измененные ткани, некоторые виды опухолей, зоны гиперплазии. Если же на сцинтиграмме выявляется область пониженного накопления РФП, то, значит, речь идет о каком-то объемном образовании, заместившем нормально функционирующую паренхиму органа, — так называемые *холодные узлы* (рис. 11.31). Они наблюдаются при кистах, метастазах, очаговом склерозе, некоторых опухолях.

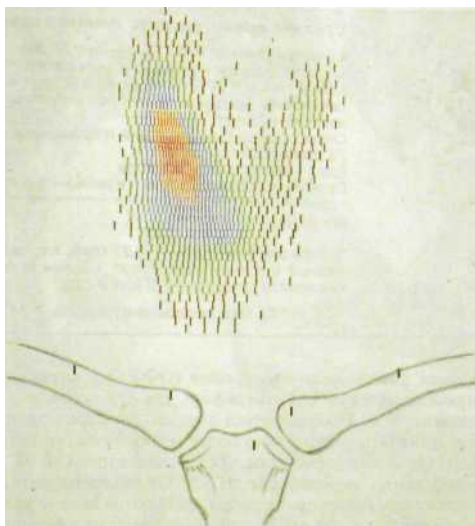
Синтезированы РФП, избирательно накапливающиеся в опухолевой ткани, — *туморотропные РФП*, которые включаются преимущественно в клетки, обладающие высокой митотической и метаболической активностью. Вследствие повышенной концентрации РФП опухоль будет вырисовываться на сцинтиграмме в виде горячего очага. Такую методику исследования называют *позитивной сцинтиграфией*. Для нее создан ряд РФП (см. ранее).

Сцинтиграфия с мечеными моноклональными антителами носит название *иммуносцинтиграфии*.

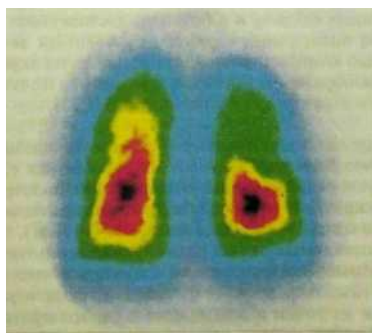
Разновидностью сцинтиграфии является *бинуклидное исследование*, т.е. получение двух сцинтиграфических изображений с использованием одновременно вводимых РФП. Такое исследование проводят, например, для более отчетливого выделения мелких парашитовидных желез на фоне более массивной ткани щитовидной железы. С этой целью одновременно вводят два РФП, один из которых —  $^{201}\text{Tl}$ -хлорид — накапливается в обоих органах, другой —  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пертехнетат — только в щитовидной железе. Затем с помощью дискриминатора и компьютера из первого (суммарного) изображения вычитают второе, т.е. выполняют процедуру *субтракции*, в результате чего получают итоговое изолированное изображение парашитовидных желез.

Существует особый тип гамма-камер, предназначенный для *визуализации всего тела пациента*. При этом датчик камеры перемещается над обследуемым пациентом (или, наоборот, пациент перемещается под датчиком). Получаемая при этом сцинтиграмма будет содержать информацию о распределении РФП во всем теле больного. Таким путем получают, например, изображение всего скелета, выявляя при этом скрытые метастазы.

Для исследования сократительной функции сердца применяют гамма-камеры, снабженные специальным устройством — триггером, который под управлением электрокардиографа включает сцинтилляционный детектор камеры в строго заданные фазы сердечного цикла — систолу и диастолу. В результате этого после компьютерного анализа полученной информации на экране дисплея появляются два изображения сердца — систолическое и диастолическое. Совместив их на дисплее, можно изучить сократительную функцию сердца.



**Рис. 11.30.** Сканограмма щитовидной железы. В правой доле определяется зона повышенного накопления РФП — «горячий» очаг.



**Рис. 11.31.** Сцинтиграмма легких. Отсутствие РФП в верхней зоне левого легкого.



### Среднее время, которое ученый отдает работе

Среднее время жизни человека — 60 лет  
Детство (школа, колледж, университет) — 24 года  
Сон (8 часов в сутки; сон во время научных дискуссий, лекций и семинаров не учитывается) — 20 лет  
Отпуск (плюс выходные дни и праздники, 73 дня в год) — 12 лет  
Еда (1 час в день) — 2,5 года  
Прочие потребности (0,5 ч в день) — 1,5 года

Итого... — 59,75 года

Чистое рабочее время — 0,25 года, т.е. около 90 дней.  
Ученый в среднем работает 1,5 дня в год или, если исключить детство, — 2,5 дня в год.

(Физики продолжают шутить. — М.: Мир, 1968)

*Однофотонная эмиссионная томография (ОФЭТ)* постепенно вытесняет обычную статическую скintiграфию, так как позволяет с таким же количеством того же РФП добиться лучшего пространственного разрешения, т.е. выявлять значительно более мелкие участки поражения органа — горячие и холодные узлы. Для выполнения ОФЭТ применяют специальные гамма-камеры (рис. 11.32). От обычных они отличаются тем, что детекторы (чаще два) камеры вращаются вокруг тела больного. В процессе вращения синтилляционные сигналы поступают на компьютер из разных ракурсов съемки, что дает возможность построить на экране дисплея послойное изображение органа (как при другой послойной визуализации — рентгеновской компьютерной томографии).

ОФЭТ предназначена для тех же целей, что и статическая скintiграфия, т.е. для получения анатомо-функционального изображения органа, но отличается от последней более высоким качеством изображения. Она позволяет выявить более мелкие детали и, следовательно, распознать заболевание на более ранних стадиях и с большей достоверностью. При наличии достаточного числа поперечных «срезов», полученных за короткий период времени, с помощью компьютера можно построить на экране дисплея трехмерное объемное изображение органа, позволяющее получить более точное представление о его структуре и функции (рис. 11.33).

Существует еще один вид послойной радионуклидной визуализации — *позитронная двухфотонная эмиссионная томография (ПЭТ)*. В качестве РФП используют радионуклиды, испускающие позитроны, в основном ультракороткоживущие нуклиды, период полураспада которых составляет несколько минут, —  $^{11}\text{C}$  (20,4 мин),  $^{15}\text{O}$  (10 мин),  $^{18}\text{F}$  (2,03 мин) (ПО мин). Испускаемые этими радионуклидами позитроны аннигилируют вблизи атомов с электронами, следствием чего является возникновение двух гамма-квантов — фотонов (отсюда и название метода), разлетающихся из точки аннигиляции в строго противоположных направлениях. Разлетающиеся кванты регистрируются несколькими детекторами гамма-камеры, располагающимися вокруг обследуемого.



**Рис. 11.32.** Ротационная гамма-камера для эмиссионной томографии.

Основным достоинством ПЭТ является то, что используемыми при ней радионуклидами можно метить очень важные в физиологическом отношении лекарственные препараты, например глюкозу, которая, как известно, активно участвует во многих метаболических процессах. При введении в организм пациента меченой глюкозы она активно включается в тканевый обмен головного мозга и сердечной мышцы. Регистрируя с помощью ПЭТ поведение этого препарата в названных органах, можно судить о характере метаболических процессов в тканях. В головном мозге, например, таким образом выявляют ранние формы нарушения кровообращения или развития опухолей и даже обнаруживают изменение физиологической активности мозговой ткани в ответ на действие физиологических раздражителей — света и звука (рис. 11.34). В сердечной мышце определяют начальные проявления нарушения метаболизма.

Распространение этого важного и весьма перспективного метода в клинике сдерживается тем обстоятельством, что ультракороткоживущие радионуклиды производят на ускорителях ядерных частиц — циклотронах. Ясно, что работать с ними можно только в том случае, если циклотрон расположен непосредственно в лечебном учреждении, что, по понятным причи-



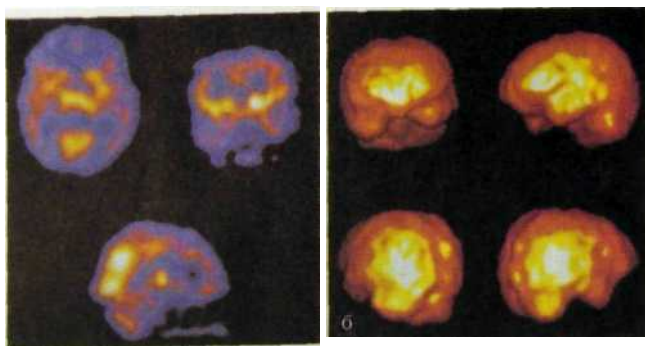
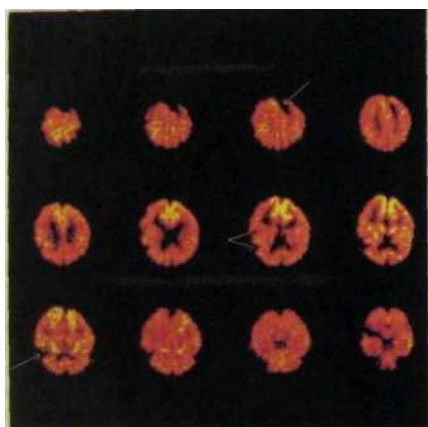


Рис. 11.33. Эмиссионная томография головного мозга.

а - томограммы в трех проекциях; б - объемная реконструкция изображения мозга.



**Рис. 11.34.** Серия томограмм (позитронная двухфотонная эмиссионная томография). Очаги инфаркта в головном мозге (указаны стрелками).

нам, доступно лишь ограниченному числу медицинских центров, в основном крупным научно-исследовательским институтам.

*Сканирование* предназначено для тех же целей, что и сцинтиграфия, т.е. для получения радионуклидного изображения. Однако в детекторе сканера имеется сцинтилляционный кристалл сравнительно небольших размеров,

несколько сантиметров в диаметре, поэтому для обозрения всего исследуемого органа приходится перемещать этот кристалл последовательно строка за строкой (например, как электронный пучок в электронно-лучевой трубке). Движения эти медленные, вследствие чего продолжительность исследования составляет десятки минут, иногда 1 ч и более. Качество получаемого при этом изображения низкое, а оценка функции - лишь приближительная. По этим причинам сканирование в радионуклидной диагностике применяют редко, в основном там, где отсутствуют гамма-камеры.

Для регистрации функциональных процессов в органах — накопления, выведения или прохождения по ним РФП - в некоторых лабораториях применяют радиографию. Радиограф имеет один или несколько сцинтилляционных датчиков, которые устанавливают над поверхностью тела пациента. При введении в организм больного РФП эти датчики улавливают гамма-излучение радионуклида и преобразуют его в электрический сигнал, который затем записывается на диаграммной бумаге в виде кривых.

Однако простота устройства радиографа и всего исследования в целом перечеркивается весьма существенным недостатком — низкой точностью исследования. Дело в том, что при радиографии в отличие от сцинтиграфии очень трудно соблюсти правильную «геометрию счета», т.е. расположить детектор точно над поверхностью исследуемого органа. В результате подобной неточности детектор радиографа часто «видит» не то, что нужно, и эффективность исследования оказывается низкой.

Под *клинической радиометрией* понимают измерение радиоактивности всего тела или его части после введения в организм РФП. Обычно в клинической практике используют гамма-излучающие радионуклиды. После введения в организм РФП, содержащего такой радионуклид, его излучения улавливают сцинтилляционным детектором, расположенным над соответствующей частью тела пациента. Результаты исследования обычно представляются на световом табло в виде количества импульсов, зарегистрированных за определенный промежуток времени, либо в виде скоросчета (в импульсах в минуту). В клинической практике данный метод не имеет большого значения. Обычно его используют в тех случаях, когда необходимо выявить и оценить инкорпорацию радионуклидов при случайном их попадании в организм человека — по неосторожности, при катастрофах.

Более интересный метод — *радиометрия всего тела*. При ее проведении человека помещают в специальную низкофоновую камеру, содержащую несколько специально ориентированных сцинтилляционных детекторов. Это позволяет регистрировать радиоактивное излучение всего тела, причем в условиях минимального влияния естественного радиоактивного фона, который, как известно, в некоторых областях поверхности Земли может быть весьма высоким. Если во время выполнения радиометрии закрыть свинцовой пластиной какую-либо часть тела (орган), то можно оценить вклад именно этой части тела (или располагающегося под пластинкой органа) в общую радиоактивность организма. Таким путем удастся изучить метаболизм белков, витаминов, железа, определить объем внеклеточной воды. Этот метод применяют также при обследовании людей со случайной инкорпорацией радионуклидов (вместо обычной клинической радиометрии).



Рис. 11.35. Аппаратура для радиоиммунологического анализа.

Для *лабораторной радиометрии* используют автоматизированные радиометры (счетчики проб; рис. 11.35). В них на конвейере располагаются пробирки с радиоактивным материалом. Под управлением микропроцессора пробирки автоматически подаются к окну колодезного счетчика; после выполнения радиометрии происходит автоматическая смена пробирок. Результаты измерения подсчитываются в компьютере, и после соответствующей обработки они поступают на печатающее устройство. В современных радиометрах в автоматическом режиме производятся сложные расчеты, и врач получает готовую информацию, например о концентрации в крови гормонов и ферментов с указанием точности выполненных измерений. Если объем работы по лабораторной радиометрии невелик, то применяют более простые радиометры с ручным перемещением пробирок и выполнением радиометрии вручную, в неавтоматическом режиме.

Радионуклидная диагностика *in vitro* (от лат. *vitrum* — стекло, поскольку все исследования проводят в пробирках) относится к микроанализу и занимает пограничное положение между радиологией и клинической биохимией. Она позволяет обнаружить присутствие в биологических жидкостях (кровь, моча) различных веществ эндогенного и экзогенного происхождения, находящихся там в ничтожно малых или, как говорят химики, исчезающих концентрациях. К таким веществам относятся гормоны, ферменты, лекарственные препараты, введенные в организм с лечебной целью, и др.

При различных заболеваниях, например при раке или инфаркте миокарда, в организме появляются вещества, специфические для этих заболеваний. Их называют маркерами (от англ. *mark* — метка). Концентрация маркеров столь же ничтожно **мала**, как и гормонов: буквально единичные молекулы в 1 мл крови.

Все эти уникальные по своей точности исследования могут быть выполнены с применением *радиоиммунологического анализа*, разработанного в 1960 г. американскими исследователями С. Берсоном и Р. Ялоу, которым впоследствии за эту работу была присуждена Нобелевская премия. Широкое внедрение его в клиническую практику ознаменовало собою революционный скачок в микроанализе и радионуклидной диагностике. Впервые врачи получили возможность, причем весьма реальную, расшифровывать механизмы развития многих заболеваний и диагностировать их на самых ранних стадиях. Наиболее зримо ощутили значение нового метода эндокринологи, терапевты, акушеры, педиатры<sup>1</sup>.

Принцип радиоиммунологического метода состоит в конкурентном связывании искомых стабильных и аналогичных им меченых веществ со специфической воспринимающей системой.

Для выполнения такого анализа выпускают стандартные наборы реагентов, каждый из которых предназначен для определения концентрации какого-либо одного конкретного вещества.

Схема радиоиммунологического исследования представлена на рис. 11.36. Как видно на рисунке, связывающая система (чаще всего это специфические антитела или антисыворотка) вступает во взаимодействие одновременно с двумя антигенами, один из которых искомый, другой — его меченый аналог. В качестве метки по ряду соображений наиболее часто используют гамма-излучатель  $^{125}\text{I}$ , реже — бета-излучатель  $^3\text{H}$ . Применяют растворы, в которых меченого антигена содержится всегда больше, чем антител. В этом случае разыгрывается настоящая борьба меченого и немеченого антигенов за связь с антителами. Последние относятся к иммуноглобулинам класса G.

Они должны быть узкоспецифическими, т.е. реагировать только с исследуемым антигеном. Антитела акцептируют на своих открытых связывающих местах (сайтах) лишь специфичные для них антигены, причем в количествах, пропорциональных количеству антигенов. Этот механизм образно описывают как феномен «замка и ключа»: чем больше исходное содержание искомого антигена в реагирующих растворах, тем меньше радиоактивного аналога антигена будет захвачено связывающей системой и тем большая его часть останется несвязанной.

Одновременно с определением концентрации искомого вещества в крови пациента в тех же условиях и с теми же реагентами проводят исследование стандартных сывороток с точно установленной концентрацией искомого антигена. По соотношению радиоактивностей прореагировавших компонентов строят калибровочную кривую, отражающую зависимость радиоактивности пробы от концентрации исследуемого вещества. Затем, сопоставляя радиоактивность проб материала, полученного от пациента, с калибровочной кривой, определяют концентрацию искомого вещества в пробе.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Гринин Л. С., Рыбаков С. С. Радиоиммунологический анализ. М.: Энергоатомиздат, 1984; Ткачева Г. Л., Балаболкин М. И., Ларичева И. М. Радиоиммунологические методы исследования. — М.: Медицина, 1983; Чард I. Радиоиммунологический анализ: Пер. с англ. — М.: Мир, 1981.

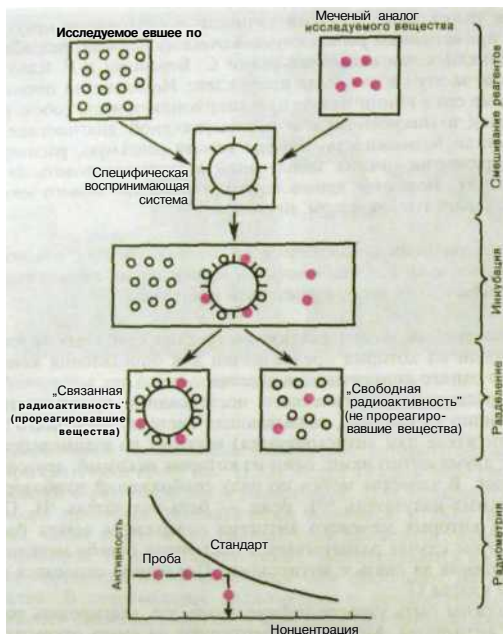


Рис. Н.36. Схема выполнения радиоиммунологического анализа.

Радионуклидный анализ *in vitro* стали называть *радиоиммунологическим*, поскольку он основан на использовании иммунологических реакций антиген—антитело. Однако в дальнейшем были созданы другие близкие по целям и методике, но различающиеся по деталям виды исследования *in vitro*. Так, если в качестве меченой субстанции применяют антитело, а не антиген, анализ называют *иммунорадиометрическим*; если же в качестве связывающей системы взяты тканевые рецепторы, говорят о *радиорецепторном* анализе.

Радионуклидное исследование в пробирке состоит из 4 этапов (рис. 11.37).

*Первый этап* — смешивание анализируемой биологической пробы с реагентами из набора, содержащего антисыворотку (антитела) и связывающую систему. Все манипуляции с растворами проводят специальными полуавтоматическими микропипетками, в некоторых лабораториях их осуществляют с помощью автоматов.

*Второй этап* — инкубация смеси. Она продолжается до достижения динамического равновесия: в зависимости от специфичности антигена ее



Рис. П.37. Этапы радиоиммунологического анализа.

а — смешивание реактивов; б — инкубация; в — разделение ингредиентов реакции; г — радиометрия; д — построение калибровочных кривых и определение концентрации искомого вещества.

длительность варьирует от нескольких минут до нескольких часов и даже суток.

*Третий этап* — разделение свободного и связанного радиоактивного вещества. С этой целью используют имеющиеся в наборе сорбенты (ионообменные смолы, уголь и др.), осаждающие более тяжелые комплексы антиген—антитело.

*Четвертый этап* - радиометрия проб, построение калибровочных кривых, определение концентрации искомого вещества. Все эти работы выполняются автоматически с помощью радиометра, оснащенного микропроцессором и печатающим устройством.

Как видно из изложенного, радиоиммунологический анализ основан на использовании радиоактивной метки антигенов. Однако принципиально в качестве метки антигена или антитела можно использовать другие вещества, в частности ферменты, люминофоры или высокофлюоресцирующие молекулы. На этом основаны новые методы микроанализа: *иммуоферментный, иммунолюминесцентный, иммунофлюоресцентный*. Некоторые из них весьма перспективны и составляют конкуренцию радиоиммунологическому исследованию.

### 3. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

*Словом: наша речь о том,  
Как он сделался царем.*

И.П. Ершов

Ультразвуковые волны — это упругие колебания среды с частотой, превышающей частоту колебания слышимых человеком звуков,— свыше 20 кГц. В ультразвуковой диагностике используют продольные ультразвуковые волны, которые обладают высокой проникающей способностью и проходят через ткани организма, не пропускающие видимый свет. Они относятся к числу неионизирующих излучений и в применении в диагностике диапазоне не вызывают выраженных биологических эффектов. Средняя интенсивность их энергии не превышает при использовании коротких импульсов  $0,01 \text{ Вт/см}^2$ , поэтому противопоказаний к исследованию нет. Процедура ультразвуковой диагностики непродолжительна, безболезненна, может быть многократно повторена. Ультразвуковой аппарат занимает мало места и может быть использован для обследования как стационарных, так и амбулаторных больных.

*Ультразвуковой метод* — способ дистантного определения положения, формы, величины, структуры и движения органов и тканей, а также патологических очагов с помощью ультразвукового излучения.

Он позволяет зарегистрировать даже незначительные изменения плотности биологических сред. Благодаря перечисленным выше достоинствам ультразвуковой метод стал одним из наиболее популярных и доступных исследований в клинической медицине. В некоторых ее разделах, например



Рис. 11.38. Ультразвуковой диагностический аппарат.

акушерстве, педиатрии, он стал основным, а иногда единственным методом диагностической визуализации<sup>1</sup>.

Аппарат для ультразвукового исследования представляет собой сложное и вместе с тем достаточно портативное устройство, выполняемое в стационарном или переносном варианте (рис. 11.38). Датчик аппарата, называемый также *трансдюсером*, включает в себя ультразвуковой пре-

<sup>1</sup> Подробнее см.: Клиническое руководство по ультразвуковой диагностике/Под ред. ММ Митькова. Т.1. — М.: ВИДАР, 1996; Под ред. ММ. Митькова и МВ. Медведева. Т.2.- М.: ВИДАР, 1996; т.3 - М.: ВИДАР, 1997.



образователь. основной частью которого является пьезокерамический кристалл. Короткие электрические импульсы, поступающие из электронного блока прибора, возбуждают в нем ультразвуковые колебания — *обратный пьезоэлектрический эффект*. Применяемые для диагностики колебания характеризуются небольшой длиной волны, что позволяет формировать из них узкий пучок, направленный на исследуемую часть тела. Отраженные волны («эхо») воспринимаются тем же пьезоэлементом и преобразуются в электрические сигналы — *прямой пьезоэлектрический эффект*. Последние поступают в высокочастотный усилитель, обрабатываются в электронном блоке прибора и выдаются пользователю в виде одномерного (в форме кривой) или двухмерного (в форме картинки) изображения. Первое называют *эхограммой*, а второе — *сонограммой* (синонимы: *ультрасонограмма*, *ультразвуковая сканограмма*).

*Таким образом, ультразвуковой преобразователь выполняет следующие функции: 1) преобразует электрические сигналы в ультразвуковые колебания; 2) принимает отраженные эхосигналы и преобразует их в электрические; 3) формирует пучок ультразвуковых колебаний необходимой формы; 4) обеспечивает (в ряде систем) перемещение пучка ультразвуковых волн в исследуемой области.*

Ультразвуковые датчики представляют собой сложные устройства. Их подразделяют на предназначенные для *медленного и быстрого* — в реальном времени — сканирования. Датчики для медленного сканирования, как правило, *одноэлементные*, для быстрого — *механические* или *электронные* (механическое или электронное сканирование). Механические датчики в большинстве случаев содержат два-три элемента, реже — один элемент. При этом изображение на экране получается в виде сектора (секторные датчики). Датчики для электронного сканирования всегда многоэлементные, выполнены в виде линеек различной длины и формы. В зависимости от формы получаемого изображения различают *секторные*, *линейные* и *конвексные (выпуклые)* датчики.

Частоту ультразвуковых волн подбирают в зависимости от цели исследования. Для глубоко расположенных структур применяют более низкие частоты, для поверхностных — более высокие. Например, для изучения сердца используют волны с частотой 2,2—5,0 МГц, для эхографии глаза — 10—15 МГц. На современных установках сонограммы подвергают компьютерному анализу по стандартным программам. Распечатка информации производится в виде картинки — изображения исследуемой области либо, при одномерном исследовании, в виде кривых или ряда цифр.

Все ультразвуковые установки, кроме основанных на эффекте Доплера (см. ниже), работают в режиме импульсной эхолокации: излучается короткий импульс и воспринимается короткий сигнал. В зависимости от задач исследования применяют разные виды датчиков. Одни из них предназначены для сканирования с поверхности тела. Другие датчики соединены с эндоскопическим зондом, их используют при внутрисполостном исследовании, в том числе в комбинации с эндоскопией. Эти датчики, а также созданные для ультразвуковой локации на операционном столе, можно стерилизовать. *Биопсийные*, или *пункционные*, датчики применяют для точного наведения биопсийных, или пункционных, игл.

По принципу действия все ультразвуковые датчики делят на две группы: *эхоимпульсные* и *доплеровские*. Приборы первой группы служат для определения анатомических структур, их визуализации и измерения. Доплеровские датчики позволяют получать кинематическую характеристику быстро протекающих процессов - кровотока в сосудах, сокращений сердца. Однако такое деление условно. Многие установки дают возможность одновременно изучать как анатомические, так и функциональные параметры.

Для исследования головного мозга, глаза, щитовидной, слюнных и молочной желез, сердца, почек, обследования беременных со сроком более 20 нед специальной подготовки не требуется. При изучении органов брюшной полости, особенно поджелудочной железы, следует тщательно подготовить кишечник, чтобы в нем не было скопления газа. Больной должен явиться в ультразвуковой кабинет натощак. Исследование органов таза рекомендуется проводить при наполненном мочевом пузыре.

Больного обследуют при разном положении тела и датчика. При этом врач обычно не ограничивается стандартными позициями, а, меняя положение датчика, стремится получить возможно полную информацию о состоянии органов. Для улучшения контакта с датчиком кожу над исследуемой областью тела хорошо смазывают пропускающим ультразвук специальным акустическим гелем.

Ослабление ультразвука в среде определяется так называемым *импедансом* — ультразвуковым сопротивлением. Величина его зависит от плотности среды и скорости распространения в ней ультразвуковых волн. Достигнув границы двух сред с разным импедансом, пучок этих волн претерпевает изменения: часть его продолжает распространяться в новой среде, а часть отражается. Коэффициент отражения зависит от разности импеданса соприкасающихся сред, т.е. от степени акустической неоднородности граничащих тканей: чем выше различие в импедансе, тем больше волн отражается. Кроме того, степень отражения зависит от угла падения волн на граничащую плоскость: наибольшее отражение отмечается при прямом угле падения. Из-за почти полного отражения ультразвуковых волн на границе некоторых сред при ультразвуковом исследовании приходится сталкиваться со «слепыми» зонами: это наполненные воздухом легкие, кишечник (при наличии в нем газа), участки тканей, расположенные за костями. На границе мышечной ткани и кости отражается до 40 % волн, а на границе мягких тканей и газа — практически 100 %, поскольку газ не проводит ультразвуковые волны. При необходимости ультразвуковое исследование проводят с применением контрастных средств. К их числу относятся, в частности, микропузырьки газа, растворенные в галактозе.

*Наибольшее распространение в мимической практике нашли три метода ультразвуковой диагностики: одномерное исследование (эхография), двухмерное исследование (сонография, сканирование) и доплерография. Все они основаны на регистрации отраженных от объекта эхосигналов.*

Различают два варианта одномерного ультразвукового исследования: *А-* и *М-методы*. Принцип *А-метода* показан на рис. 11.39, а. Датчик находится в фиксированном положении для регистрации эхосигнала в направлении излучения. Эхосигналы представляются в одномерном виде как амплитудно-временная кривая.

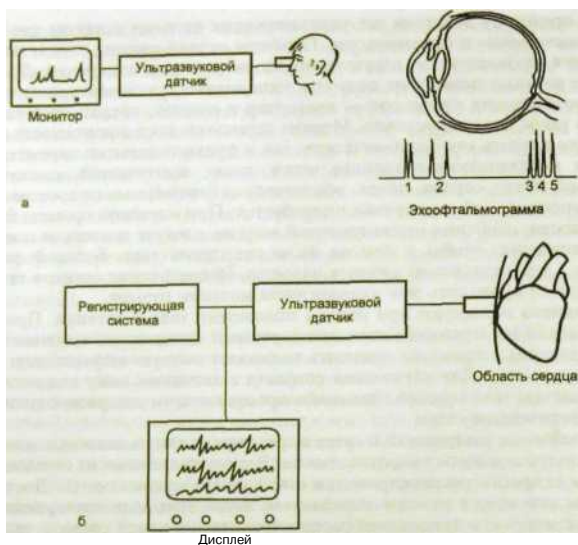


Рис. 11.39. Одномерное ультразвуковое исследование.

а — А-метод эхографии (на примере исследования глазного яблока): пики на эхоофтальмограмме образованы роговицей (1), хрусталиком (2), сетчаткой (3), склерой (4), ретробульбарной жировой клетчаткой (5); б — М-метод ультразвукового сканирования сердца (эхокардиография).

литудные отметки на оси времени. Отсюда, кстати, и название метода (от англ. amplitude — амплитуда). Иными словами, отраженный сигнал образует на экране индикатора фигуру в виде пика на прямой линии. Количество и расположение пиков на горизонтальной прямой соответствуют расположению отражающих ультразвук элементов объекта. Следовательно, одномерный А-метод позволяет определить расстояние между слоями тканей на пути ультразвукового импульса. *Основное клиническое применение А-метода — офтальмология и неврология.* При исследовании глаза с помощью этого метода можно определить состояние глазного яблока, выявить помутнение стекловидного тела, отслойку сетчатки или сосудистой оболочки, опухоль или инородное тело в глазнице. В неврологии А-метод позволяет определить локализацию серповидного отростка и тем самым установить наличие объемного процесса в мозге: кровоизлияния, опухоли. Следует отметить, что, несмотря на наличие в настоящее время более сложных, наглядных и точных методов изучения головного мозга, А-метод ультразвуковой биолокации по-прежнему достаточно широко применяют в клинике, так как его отличают простота, дешевизна и мобильность исследования.

*М-метод* (от английского motion — движение) также относится к одномерным ультразвуковым исследованиям (рис. 11.39, б). Он предназначен для исследования движущегося объекта — сердца. Датчик также находится в фиксированном положении. Частота посылки ультразвуковых импульсов очень высокая — около 1000 в 1 с, а продолжительность импульса очень небольшая, всего 1 мкс. Таким образом, датчик лишь 0,1 % времени работает как излучатель, а 99,9 % — как воспринимающее устройство. Отраженные от движущихся стенок сердца эхосигналы записываются на диаграммную бумагу. По форме и расположению зарегистрированных кривых можно составить представление о характере сокращений сердца. Данный метод ультразвуковой биолокации получил также название «*эхокардиография*» и, как следует из его описания, применяется в *кардиологической клинике*. Как и А-метод, М-метод благодаря его простоте и доступности достаточно широко используют в клинической практике, преимущественно на первичном, доклиническом этапе обследования.

*Ультразвуковое сканирование позволяет получать двухмерное изображение органов (сонография)*. Этот метод известен также под названием «*В-метод*» (от англ. bright — яркость). Сущность метода заключается в перемещении ультразвукового пучка по поверхности тела во время исследования. Этим обеспечивается регистрация сигналов одновременно или последовательно от многих объектов. Получаемая серия сигналов служит для формирования изображения. Оно возникает на дисплее и может быть зафиксировано на бумаге. Это изображение можно подвергнуть математической обработке, определяя размеры (площадь периметр, поверхность и объем) исследуемого органа.

При ультразвуковом сканировании яркость каждой светящейся точки на экране индикатора находится в прямой зависимости от интенсивности эхосигнала. Сигналы разной силы обуславливают на экране участки потемнения различной степени (от белого до черного цвета). На аппаратах с такими индикаторами плотные камни выглядят ярко-белыми, а образования, содержащие жидкость, — черными (рис. 11.40).



**Рис. 11.40.** Сонограмма желчного пузыря при холелитиазе. В полости пузыря определяется одиночный камень ( ++ ), за ним видна акустическая «дорожка».

Большинство ультразвуковых установок позволяет производить сканирование пучком волн относительно большого диаметра и с большой частотой кадров в секунду, когда время перемещения ультразвукового луча намного меньше периода движения внутренних органов. Это обеспечивает прямое наблюдение на дисплее за движением органов (сокращениями и расслаблениями сердца, перемещениями органов при дыхании и т.д.). О таких исследованиях говорят, что их проводят в *режиме реального времени*.

Важнейшим элементом ультразвукового сканера, обеспечивающим использование режима реального времени и серой шкалы, является блок промежуточной цифровой памяти. В нем ультразвуковое изображение преобразуется в цифровое и накапливается по мере поступления сигналов от датчика. Одновременно осуществляется считывание изображения из памяти специальным устройством и представление его с необходимой скоростью на дисплее. У промежуточной памяти есть еще одно назначение: благодаря ей изображение имеет полутоновый характер, такой же, как на рентгенограмме. Однако диапазон градаций серого цвета на рентгенограмме не превышает 15–20 уровней, тогда как в ультразвуковой установке он достигает 64. Промежуточная цифровая память позволяет остановить изображение движущегося органа, т.е. сделать *стоп-кадр*, и внимательно изучить его на экране дисплея. При необходимости с этого стоп-кадра может быть сделана твердая копия на бумаге, можно записать движение органов на магнитные носители — диск или ленту.

*Допплерография* — одна из самых изящных инструментальных методик. Она основана на *эффекте Доплера*, названном так по имени австрийского ученого — физика и астронома. Этот эффект состоит в изменении длины волны (или частоты) при движении источника волн относительно принимающего их устройства. Он характерен для любых волн (свет, звук и т.д.). При приближении источника к приемнику длина волны уменьшается, а при удалении — увеличивается. На эффекте Доплера основана работа целого класса ультразвуковых диагностических приборов. Более того, в настоящее время доплерографию можно выполнять с помощью приборов для двухмерной ультразвуковой биолокации.

*Существуют два вида доплерографических исследований — непрерывный (постоянноволновой) и импульсный.* При первом генерация ультразвуковых волн осуществляется непрерывно одним пьезокристаллическим элементом, а регистрация отраженных волн — другим. В электронном блоке прибора производится сравнение двух частот ультразвуковых колебаний: направленных на большого и отраженных от него. По сдвигу частот этих колебаний судят о скорости движения анатомических структур. Анализ сдвига частот может производиться акустически или с помощью самописцев.

*Непрерывная доплерография* — простой и доступный метод исследования. Он наиболее эффективен при высоких скоростях движения крови, например в местах сужения сосудов. Однако у этого метода имеется существенный недостаток: частота отраженного сигнала изменяется не только вследствие движения крови в исследуемом сосуде, но и из-за любых других движущихся структур, которые встречаются на пути падающей ультразвуковой волны. Таким образом, при непрерывной доплерографии определяется суммарная скорость движения этих объектов.

От указанного недостатка свободна *импульсная доплерография*. Она позволяет измерить скорость в заданном врачом участке контрольного объема

130

ма. Размеры этого объема невелики - всего несколько миллиметров в диаметре, а его положение может произвольно устанавливать врач в соответствии с конкретной задачей исследования. В некоторых аппаратах скорость кровотока можно определять одновременно в нескольких (до 10) контрольных объемах. Такая информация отражает полную картину кровотока в исследуемой зоне тела пациента. Укажем, кстати, что изучение скорости кровотока иногда называют ультразвуковой *флоуметрией*.

*Результаты импульсного доплерографического исследования могут быть представлены врачу тремя способами: в виде количественных показателей скорости кровотока, в виде кривых и аудиально, т.е. тональными сигналами на звуковом выходе аппарата.* Звуковой выход позволяет на слух дифференцировать однородное, правильное, ламинарное течение крови и вихревой турбулентный кровоток в патологически измененном сосуде. При записи на бумаге ламинарный кровоток характеризуется тонкой кривой, тогда как вихревое течение крови отображается широкой неоднородной кривой.

Большое значение в клинической медицине, особенно в ангиологии, получила *ультразвуковая ангиография*, или *цветное доплеровское картирование* (рис. 11.41, 11.42). Метод основан на *кодировании в цвете среднего значения доплеровского сдвига излучаемой частоты*. При этом кровь, движущаяся к датчику, окрашивается в красный цвет, а от датчика — в синий. Интенсивность цвета возрастает с увеличением скорости кровотока. Иногда для усиления контрастирования в кровь вводят перфузат с микрочастицами, имитирующими эритроциты.

Дальнейшим развитием доплеровского картирования стал так называемый *энергетический доплер*. При этом методе в цвете кодируется не средняя величина доплеровского сдвига, как при обычном доплеровском картировании, а интеграл амплитуд всех эхосигналов доплеровского спектра. Это дает возможность получать изображение кровеносного сосуда на значительно большем протяжении, визуализировать сосуды даже очень небольшого диаметра (ультразвуковая ангиография). На ангиограммах, полученных с помощью энергетического доплера, отражается не скорость движения эритроцитов, как при обычном цветовом картировании, а плотность эритроцитов в заданном объеме. Благодаря своим диагностическим возможностям ультразвуковая ангиография методом энергетического доплера в ряде случаев может заменить более инвазивную рентгеновскую ангиографию (рис. 11.43).

Доплеровское картирование используют в клинике для изучения формы, контуров и просвета кровеносных сосудов. С помощью этого метода легко выявляют сужения и тромбоз сосудов, отдельные атеросклеротические бляшки в них, нарушения кровотока. Кроме того, введение в клиническую практику энергетического доплера позволило этому методу выйти за рамки чистой ангиологии и занять достойное место при исследовании различных паренхиматозных органов с диффузными и очаговыми поражениями, например у больных циррозом печени, диффузным или узловым зобом, пиелонефритом и нефросклерозом и др., чему способствует появление класса контрастных веществ для ультразвукового исследования.

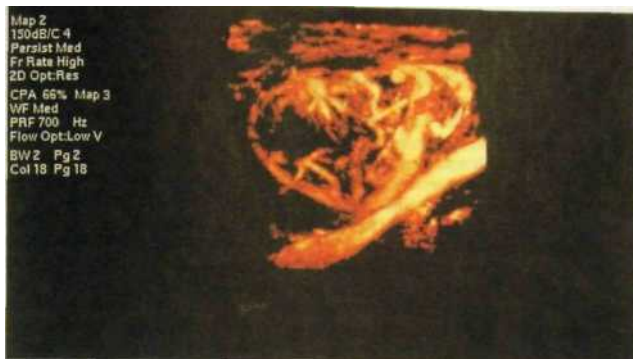
Еще один вид доплеровского картирования — *тканевый доплер*. Он основан на *визуализации нативных тканевых гармоник*. Они возникают как



**Рис. 11.41.** Допплерограмма брюшной аорты (поперечное сканирование). Аневризма аорты.



**Рис. 11.42.** Цветное картирование нормальной почки в режиме энергетического доплера-



РНС. 11.43. Ультразвуковая ангиограмма (цветная доплерограмма) подчелюстного лимфатического узла, пораженного метастазом рака. Четко видны сосуды опухоли.

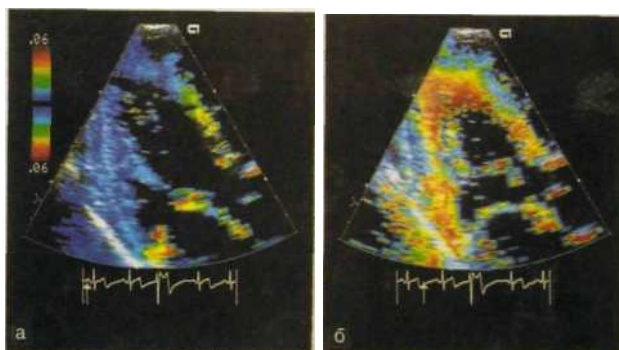


Рис. И.44. Изображение сердца в фазах диастолы (а) и систолы (б) при исследовании в режиме тканевого доплера.

дополнительные частоты при распространении волнового сигнала в материяльной среде, являются составной частью этого сигнала и кратны его основной (фундаментальной) частоте. Регистрируя только тканевые гармоники (без основного сигнала), удастся получить изолированное изображение сердечной мышцы без изображения содержащейся в полостях сердца крови. Подобная визуализация сердечной мышцы, выполненная в фиксированные фазы сердечного цикла — систолу и диастолу, позволяет неинвазивным путем оценить сократительную функцию миокарда (рис. 11.44).





Рис. 11.41. Допплсrogramма брюшной аорты (поперечное сканирование). Аневризма аорты.



Рис. 11.42. Цветное картирование нормальной почки в режиме энергетического доплера.

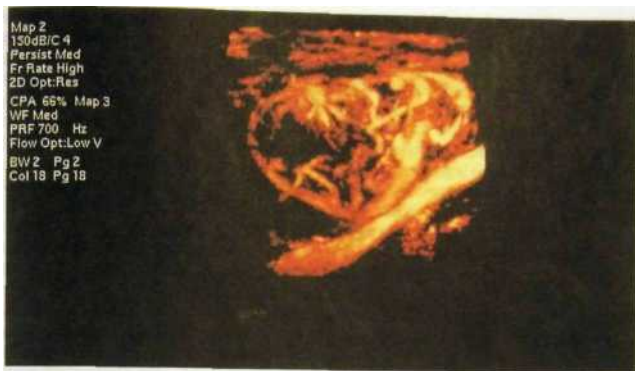


Рис. 11.43. Ультразвуковая ангиограмма (цветная доплерограмма) подчелюстного лимфатического узла, пораженного метастазом рака. Четко видны сосуды опухоли.

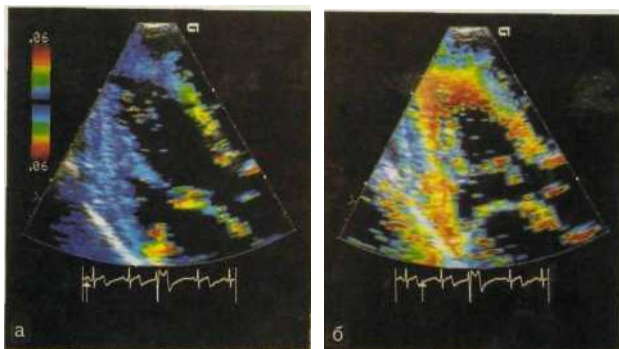


Рис. 11.44. Изображение сердца в фазах диастолы (а) и систолы (б) при исследовании в режиме тканевого доплера.

дополнительные частоты при распространении волнового сигнала в материальной среде, являются составной частью этого сигнала и кратны его основной (фундаментальной) частоте. Регистрируя только тканевые гармоники (без основного сигнала), удастся получить изолированное изображение сердечной мышцы без изображения содержащейся в полостях сердца крови. Подобная визуализация сердечной мышцы, выполненная в фиксированные фазы сердечного цикла — систолу и диастолу, позволяет неинвазивным путем оценить сократительную функцию миокарда (рис. 11.44).

Большие диагностические возможности открываются перед ультразвуковым методом исследования при сочетании применения сонографии и доплерографии — так называемая *дуплексная сонография*. При ней получают как изображение сосудов (анатомическая информация), так и запись кривой тока в них (физиологическая информация). Возникает возможность прямого неинвазивного исследования с целью диагностики окклюзионных поражений различных сосудов с одновременной оценкой кровотока в них. Таким образом следят за кровенаполнением плаценты, сокращениями сердца у плода, направлением кровотока в камерах сердца, определяют обратный ток крови в системе воротной вены, вычисляют степень стеноза сосуда.

Логическим итогом совместного развития двух методов исследования — ультразвукового и эндоскопического — стала *эндоскопическая сонография* (рис. 11.45). При ней ультразвуковой датчик закрепляют на конце световода, вводимого в полость исследуемого органа, например желудка или кишечника. Предварительно в исследуемую полость вводят около 100 мл воды, что улучшает визуализацию стенки органа. При этом удастся не только получить изображение стенки органа на всю ее глубину, но и установить наличие в ней патологических изменений, в первую очередь опухолей, и степень их распространения.

*Данные ультразвукового исследования (сонография) анализируют с учетом анамнеза и клинической картины болезни и в соответствии с общей схемой изучения лучевых изображений (см. с. 159).* Что же касается конкретных деталей, то первоначально определяют тип сканограммы (линейная, секторная) и положение датчика (оно указано на сонограмме специальной меткой). Затем устанавливают проекцию, в которой выполнено исследование, и элементы сканограммы: координатную сетку, изображение различных структур. Потом тщательно оценивают положение, форму и размеры исследуемого органа.

Большинство мягкотканых органов (щитовидная железа, печень, почки и т.д.) вырисовываются на сканограммах как темные поля, в которых в виде светлых полосок выделяются сигналы от элементов стромы (кровеносных сосудов, желчных протоков и др.).

При развитии в органе неоднородных по отношению к паренхиме структур на сонограммах появляются светлые сигналы от них в виде штрихов, очагов, разнообразных полос. Весьма демон-  
Рис. П.45. Эндоскопическая сонограмма желудка.



1 — слизистая оболочка (эхогенная); 2 — глубокий слой слизистой оболочки (гипоэхогенный); 3 — подслизистый слой (эхогенный); 4 — мышечная оболочка (гипоэхогенная); 5 — серозная оболочка и адвентициальный слой (эхогенный).

стративна картина кисты, заполненной жидкостью: она обуславливает округлое однородное темное поле, окруженное светлым ободком плотной ткани. Если содержимое полости неоднородно (например, абсцесс с обрывками некротизировавшей ткани в гное), то на темном фоне полости обнаруживают светлые участки. Воспалительный инфильтрат выделяется как светлый участок неправильной формы с расплывчатыми контурами. Опухолевое образование, наоборот, чаще имеет более правильную форму и более резкие очертания. Самые яркие светлые очаги соответствуют конкрементам. За ними иногда прослеживается длинная темная полоса — «симптом кометы». При диффузных поражениях органа (распространенная инфильтрация, полнокровие, разрастание соединительной ткани) изображение его становится неоднородным — темные и светлые участки чередуются в различных сочетаниях. Чем плотнее ткань, тем светлее ее отображение.

#### 4. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

*Иногда физические принципы некоторых технологий, используемых человеком с большой эффективностью, настолько запутаны и туманны, что проходят многие годы, прежде чем люди четко осознают законы и принципы, на которых эти технологии основаны.*

М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури  
(Основы менеджмента, — М.: «Дело», 1992)

История создания *магнитно-резонансной томографии* (МРТ) весьма любопытна. В 1946 г. группы исследователей в Стэнфордском и Гарвардском университетах независимо друг от друга открыли явление, которое было названо ядерно-магнитным резонансом (ЯМР). Суть его состояла в том, что ядра некоторых атомов, находясь в магнитном поле, под действием внешнего электромагнитного поля способны поглощать энергию, а затем испускать ее в виде радиосигнала. За это открытие F. Bloch и E. Purcell в 1952 г. были удостоены Нобелевской премии. Новый феномен вскоре научились использовать для спектрального анализа биологических структур (ЯМР-спектроскопия). В 1973 г. Пауль Лаутербур впервые показал возможность получать изображения с помощью ЯМР-сигналов: он представил изображение двух наполненных водой капиллярных трубочек. Так родилась ЯМР-томография, которая в дальнейшем получила название **МРТ**. Первые томограммы были продемонстрированы в 1982 г. на Международном конгрессе радиологов в Париже.

*МРТ* основана на явлении ядерно-магнитного резонанса. Если тело, находящееся в постоянном магнитном поле, облучить внешним переменным магнитным полем, частота которого точно равна частоте перехода между энергетическими уровнями ядер атомов, то ядра начнут переходить в вышележащие по энергии квантовые состояния. Иными словами, наблюдается избирательное (резонансное) поглощение энергии электромагнитного поля. При прекращении воздействия переменного электромагнитного поля возникает резонансное выделение энергии (рис. 11.46).



Рис. 11.46. Принцип магнитно-резонансной томографии.

Магнитно-резонансное исследование основано на способности ядер некоторых атомов вести себя как магнитные диполи. Этими свойствами обладают ядра, которые содержат нечетное количество нуклонов и обладают магнитным моментом, в частности  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$  и  $^{31}\text{P}$ .

Современные МР-томографы «настроены» на ядра водорода, т.е. на протоны. Протон постоянно вращается. Следовательно, вокруг него тоже образуется магнитное поле, которое имеет магнитный момент, или спин. При помещении вращающегося протона в магнитное поле возникает прецессия протона. Прецессией называется движение оси вращения протона, при котором она описывает круговую коническую поверхность наподобие оси вращающегося волчка. Например, в магнитном поле напряженностью 1 Т (тесла) резонансная частота протона равна 42,57 МГц.

Обычно дополнительное радиочастотное поле действует в виде импульса, причем в двух вариантах: более короткого, который поворачивает протон на  $90^\circ$ , и более продолжительного, поворачивающего протон на  $180^\circ$ . Когда радиочастотный импульс заканчивается, протон возвращается в исходное положение (наступает его релаксация), что сопровождается излучением порции энергии.

Каждый элемент объема исследуемого объекта (т.е. каждый воксел — от англ. volume — объем, cell — клетка) за счет релаксации распределенных в нем протонов возбуждает электрический ток («МР-сигналы») в приемной катушке, находящейся вне объекта. Магнитно-резонансными характеристиками объекта служат 3 параметра: плотность протонов, время  $T_1$  и время  $T_2$ .  $T_1$  называется спин-решетчатой, или продольной, релаксацией, а  $T_2$  — спин-спин-овой, или поперечной. Амплитуда зарегистрированного сигнала характеризует плотность протонов или, что то же самое, концентрацию элемента в исследуемой среде. Что же касается времен  $T_1$  и  $T_2$ , то они зависят от многих факторов (молекулярной структуры вещества, температуры, вязкости и др.).

В принципе для МРТ можно использовать не только ядра водорода, но и ядра других атомов, способные генерировать МР-сигналы. Однако их концентрация в тканях значительно ниже, вследствие чего чувствительность метода и качество изображения ухудшаются. МРТ позволяет получить изображение любых слоев тела человека.

Система для МРТ состоит из сильного магнита, создающего статическое магнитное поле. Магнит полый, в нем имеется туннель, в котором располагается пациент (рис. 11.47). Стол для пациента имеет автомати-

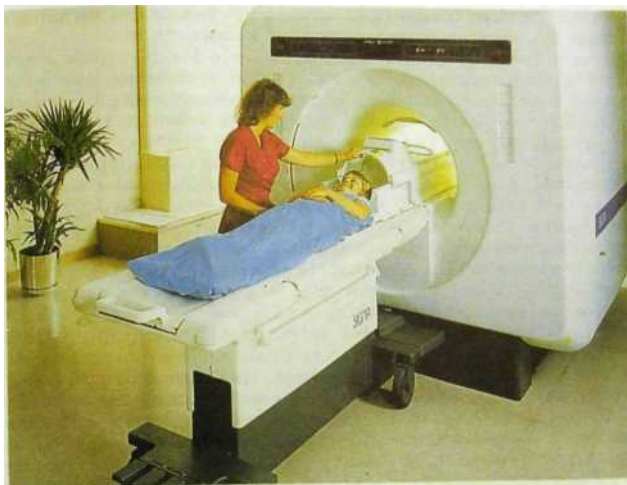


Рис. 11.47. Подготовка к исследованию на магнитно-резонансном томографе.

ческую систему управления движением в продольном и вертикальном направлениях. Для радиоволнового возбуждения ядер водорода дополнительно устанавливают высокочастотную катушку, которая одновременно служит для приема сигнала релаксации. С помощью специальных градиентных катушек накладывается дополнительное магнитное поле, которое служит для кодирования МР-сигнала от пациента, в частности оно задает уровень и толщину выделяемого слоя.

При воздействии радиочастотных импульсов на прецессирующие в магнитном поле протоны происходит их резонансное возбуждение и поглощение энергии. При этом резонансная частота пропорциональна силе приложенного статического поля. После окончания импульса происходит релаксация протонов: они возвращаются в исходное положение, что сопровождается выделением энергии в виде МР-сигнала. Этот сигнал подается на ЭВМ для анализа. МР-установки включают в себя мощные высокопроизводительные компьютеры.

В зависимости от напряженности статического магнитного поля выделяют следующие категории МР-томографов: приборы с ультраслабым полем — ниже 0,02 Т, со слабым полем — между 0,1 и 0,5 Т, средним полем — между 0,5 и 1 Т, с сильным полем — выше 1 Т. Аппараты с напряженностью менее 0,5 Т, как правило, имеют в основе резистивные магниты и имеют небольшие размеры, что позволяет разместить их примерно в таком же помещении, как обычный рентгеновский кабинет. Аппараты с

полями 0.5 Т и выше создаются на основе сверхпроводящих магнитов, работающих в условиях глубокого охлаждения жидким гелием.

Добавим, что к размещению высокопольного МР-томографа в лечебном учреждении предъявляются очень строгие требования. Необходимы отдельные помещения, тщательно экранированные от внешних магнитных и радиочастотных полей. Обычно процедурная комната, где находится МР-томограф, заключена в металлическую сетчатую клетку (клетка Фарадея), поверх которой нанесен отделочный материал (пола, потолка, стен).

*Характер МР-изображений определяется тремя факторами: плотностью протонов (т.е. концентрацией ядер водорода), временем релаксации  $T_1$  (спин-решетчатой) и поперечной релаксации  $T_2$  (спин-спиновой).* При этом основной вклад в создание изображения вносит анализ времени релаксации, а не протонной плотности. Так, серое и белое вещества головного мозга по концентрации воды различаются всего на 10 %, в то время как по продолжительности релаксации протонов в них — в 1,5 раза.

Существует несколько способов получения МР-томограмм, различающихся порядком и характером генерации радиочастотных импульсов, методами компьютерного анализа МР-сигналов. Наибольшее распространение получили два способа. При использовании одного из них анализируют главным образом время релаксации  $T_1$  ( $T_1$ -взвешенное изображение). Различные ткани (серое и белое вещества головного мозга, цереброспинальная жидкость, опухолевая ткань, хрящи, мышцы и т.д.) имеют в своем составе протоны с разным временем релаксации  $T_1$ . От продолжительности  $T_1$  зависит величина МР-сигнала: чем короче  $T_1$ , тем сильнее МР-сигнал и светлее данное место изображения на дисплее. Жировая ткань на МР-томограммах белая, менее светлое изображение дают головной и спинной мозг, плотные внутренние органы, сосудистые стенки и мышцы. Воздух, кости, кальцификаты практически не дают МР-сигнала, поэтому их (ШораженИЯ"черного цвета.  $T_1$  мозговой ткани также неоднородное: белое и серого вещества — разное.  $T_1$  опухолевой ткани отличается от  $T_1$  одноименной нормальной ткани. Указанные различия во времени релаксации  $T_1$  создают предпосылки для визуализации нормальных и измененных тканей на МР-томограммах.

При другом способе МРТ интенсивность ответного сигнала *зависит* от продолжительности  $T_2$ ; ( $T_2$ -взвешенное изображение): чем короче  $T_2$ , тем слабее сигнал и, следовательно, ниже яркость свечения экрана дисплея (рис. 11.48).

При МРТ можно применять *искусственное контрастирование тканей*. С этой целью используют химические вещества, обладающие магнитными свойствами и содержащие ядра с нечетным числом протонов и нейтронов, например соединения фтора, или же парамагнетики, которые изменяют время релаксации воды и тем самым усиливают контрастность изображения на МР-томограммах. Одним из наиболее распространенных контрастных веществ, используемых в МРТ, является *соединение гадолиния —  $Gd-DTPA$* .

МРТ — исключительно ценный метод исследования. Она позволяет получать изображение тонких слоев тела человека в любом сечении (рис. 11.49) — фронтальном, сагиттальном, аксиальном (как известно, при рентгеновской компьютерной томографии, за исключением спиральной КТ, может быть использовано только аксиальное сечение). Исследование необременительно для больного, абсолютно безвредно, не вызывает осложнений.

На МР-томограммах лучше, чем на рентгеновских компьютерных томограммах, отображаются мягкие ткани: мышцы, хрящи, жировые прослойки. При МРТ можно получать изображение сосудов, не вводя в них контрастное вещество. С помощью специальных алгоритмов и подбора радиочастотных импульсов современные высокопольные МР-томографы позволяют получать двухмерное и трехмерное (объемное) изображения сосудистого русла — *магнитно-резонансная ангиография* (рис. 11.50, 11.51). Крупные сосуды и их разветвления среднего калибра удается достаточно четко визуализировать на МР-томограммах без дополнительного введения контрастного вещества. Для получения изображения мелких сосудов дополнительно вводят препараты гадолиния. Разработаны ультравысокоскоростные МР-томографы, позволяющие наблюдать движение сердца и крови в его полостях и сосудах и получать матрицы повышенной разрешающей способности для визуализации очень тонких слоев.

С целью предотвращения развития у пациентов клаустрофобии (боязни закрытых пространств) освоен выпуск так называемых открытых МР-томографов (рис. 11.52). В них нет длинного магнитного туннеля, а постоянное магнитное поле создается путем размещения магнитов сбоку от больного. Подобное конструктивное решение не только позволило избавить пациента от необходимости длительное время находиться в относительно замкнутом пространстве, но и создало предпосылки для проведения инструментальных вмешательств под контролем МРТ (см. следующий раздел).

При направлении на МРТ следует учитывать некоторые ограничения применения этого метода. В частности, препятствием для проведения дан-



а



б

Рис. П.48. Магнитно-резонансные томограммы головного мозга, выполненные на основе измерения  $T_1$  (а) и  $T_2$  (б). Большая опухоль в правой теменной области.



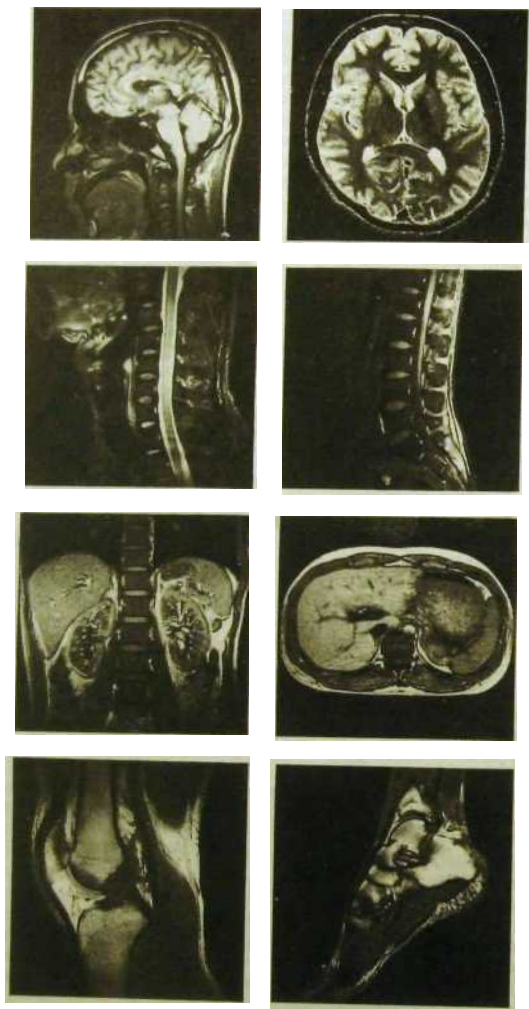


Рис. 11.49. Магнитно-резонансные томограммы различных органов.

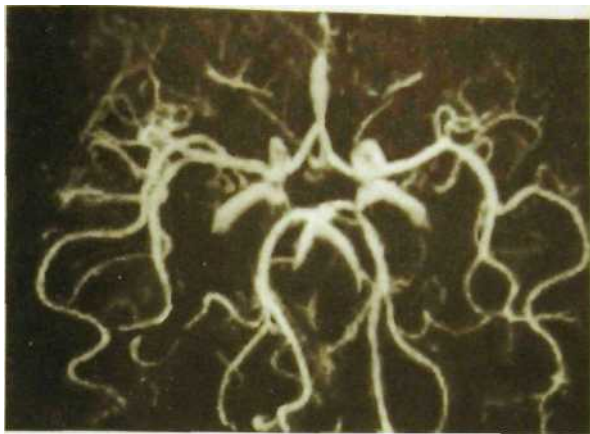


Рис. 11.50. Магнитно-резонансная ангиограмма головного мозга.

ного исследования служит наличие металлических инородных тел в тканях пациента (металлические клипсы после операции, водители сердечного ритма, электрические нейростимуляторы). Кроме того, МРТ не проводят в первые 3 мес беременности.

*МР-спектроскопия*, как и МРТ, основана на явлении ядерно-магнитного резонанса. Обычно исследуют резонанс ядер водорода, реже — углерода, фосфора и других элементов. Сущность метода состоит в следующем. Исследуемый образец ткани или жидкости помещают в стабильное магнитное поле напряженностью около 10 Т. На образец воздействуют импульсными радиочастотными колебаниями. Изменяя напряженность магнитного поля, создают резонансные условия для разных элементов в спектре магнитного резонанса. Возникающие в образце МР-сигналы улавливаются катушкой приемника излучений, усиливаются и передаются в компьютер для анализа. Итоговая спектрограмма имеет вид кривой, для получения которой по оси абсцисс откладывают доли (обычно миллионные) напряжения приложенного магнитного поля, а по оси ординат — значения амплитуды сигналов. Интенсив-



Рис. 11.51. Магнитно-резонансная ангиограмма дуги аорты и брахицефальных сосудов (трехмерная реконструкция изображения).

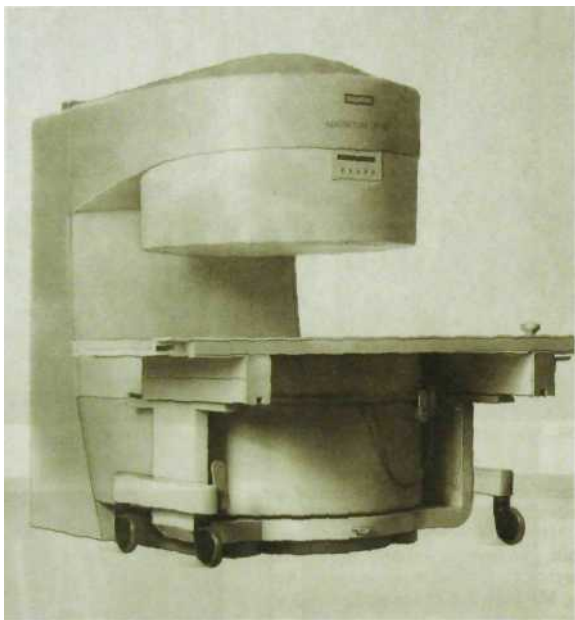


Рис. И.52. Открытый магнитно-резонансный томограф.

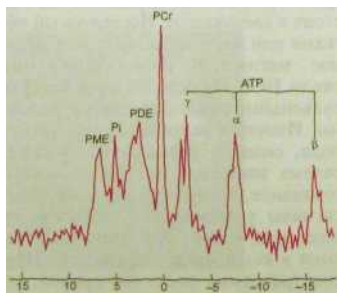


Рис. 11.53. Магнитно-резонансная спектрограмма головного мозга и схема к ней.

ность и форма ответного сигнала зависят от плотности протонов и времени релаксации. Последняя определяется местоположением и взаимоотношением ядер водорода и других элементов в макромолекулах

Разным ядрам свойственны различные частоты резонанса поэтому МР-спектроскопия позволяет получить представление о химической и пространственной структуре вещества. С ее помощью можно определить структуру биополимеров, липидный состав мембран и их фазовое состояние, проницаемость мембран. По виду МР-спектра удастся дифференцировать зрелые и незрелые опухолевые клетки, оксигенированные и гипоксические ткани, свободную и связанную воду в протоплазме клеток, получить другие важные для биологии и медицины сведения.

Исключительный интерес представляет *прижизненная МР-спектроскопия* (МР-спектрография) тканей человеческого тела. Для ее проведения используют сложные высокопольные МР-установки с напряженностью магнитного поля не менее 1,5 Т. Анализ получаемых на таких аппаратах спектрограмм дает возможность определить содержание ряда элементов в органах и тканях живого человека (рис. 11.53).

## 5. ТЕРМОГРАФИЯ

*И в какой части тела является жар или холод, там и болезнь.*

Гиппократ

*Холодно... холодно... тепло... горячо!*

(Из детской игры)

Все тела, температура которых выше абсолютного нуля, испускают радиоволны сплошного спектра частот (тепловое радиоизлучение). Интенсивность теплового излучения пропорциональна температуре тела.

*Медицинская термография* — метод регистрации естественного теплового излучения тела человека в невидимой инфракрасной области электромагнитного спектра. При термографии определяется характерная «тепловая» картина всех областей тела. У здорового человека она относительно постоянна, но при патологических состояниях меняется. Термография — объективный, простой и абсолютно **безвредный** метод, к применению которого нет противопоказаний.

Подготовка пациента предусматривает отмену лекарственных средств, влияющих на кровообращение и метаболические процессы. На поверхности тела не должно быть мазей и косметики. Пациенту запрещают курить за 4 ч до исследования. Это особенно важно при изучении периферического кровотока. Термографию органов брюшной полости проводят натощак. В кабинете поддерживают постоянную температуру (18—20 °С) и влажность (55—65 %). Исследуемую часть тела обнажают, после чего пациент адаптируется к температуре помещения 10–15 мин, а при исследовании кистей и стоп — 30 мин. В зависимости от задач исследования термографию выполняют в разных положениях пациента и проекциях.

Термография позволяет точно и быстро оценить интенсивность ПК-излучения от поверхности тела человека, обнаружить изменения теплопро-

дукции и теплопереноса в рыхлых областях тела и тем самым выявить нарушения кровотока и иннервации, симптомы развивающихся воспалительных, онкологических и некоторых профессиональных болезней.

Температуру тела человека принято считать постоянной. Однако это постоянство относительно. Температура внутренних органов выше, чем температура на поверхности тела. При изменениях окружающей среды температура меняется в зависимости от физиологического состояния организма.

В связи с чрезвычайно развитой сосудистой сетью в коже и подкожной клетчатке показатели поверхностного кровотока — важный индикатор состояния внутренних органов: при развитии в них патологических процессов происходит рефлекторное изменение поверхностного кровотока, которое сопровождается изменением теплоотдачи. Таким образом, основной фактор, определяющий температуру кожи, — *интенсивность кровообращения*.

Второй механизм теплообразования — *метаболические процессы*. Степень выраженности обмена веществ в ткани обусловлена интенсивностью биохимических реакций: с их усилением увеличивается продукция тепла.

Третий фактор, обуславливающий тепловой баланс в поверхностных тканях, — их *теплопроводность*. Она зависит от толщины, структуры, расположения этих тканей. В частности, теплоотдача тела человека определяется состоянием кожи и подкожной жировой клетчатки: их толщиной, развитостью основных структурных элементов, гидрофильностью.

В норме каждая область поверхности тела имеет характерный тепловой рельеф. Над крупными кровеносными сосудами температура выше, чем в окружающих областях. Средние значения температуры кожи — 31–33 °С, но она различна в разных частях тела — от 24 °С на большом пальце до 35 °С в стеральной ямке. Однако при этом температура кожи, как правило, одинакова на симметричных участках тела, разница здесь не должна превышать 0,5–0,6 °С. Физиологическая асимметрия на конечностях колеблется от 0,3 до 0,8 °С, а на передней брюшной стенке не превышает 1 °С. У женщин наблюдаются периодические изменения температурного рельефа некоторых частей тела (молочных желез, области живота) в связи с менструальным циклом, поэтому термографию указанных областей у них рекомендуется выполнять на 6–8-й день цикла. Существенные изменения температурного рельефа возникают при многих патологических состояниях. При этом появляются зоны гипер- или гипотермии, нарушается нормальный рисунок сосудов, регистрируется термоасимметрия на теле или конечности.

*Рамичают три способа термографии: жидкокристаллическую термографию, инфракрасную термографию и радиотермографию (СВЧ-термографию).*

*Жидкокристаллическая термография* основана на свойстве жидких кристаллов изменять цвет в зависимости от изменения температуры. Разработаны специальные устройства, в которых экран покрыт жидкокристаллическим составом. В процессе термографии экран приближают к исследуемой части тела. По цветному окрашиванию изображения с помощью калориметрической линейки судят о температуре поверхностных тканей.

*Инфракрасная термография* — самый распространенный метод термографии. От позволяет получить изображение теплового рельефа поверхности тела и измерить температуру на любом участке поверхности тела с точностью до десятых долей градуса. Инфракрасную термографию осуществляют с помощью специальных приборов — термографов (тепловизоров).

Каждый участок исследуемой поверхности в зависимости от его температуры представлен на экране термографа более светлой или более темной областью либо имеет условный цвет. Изображение можно рассматривать на экране (термоскопия) или зафиксировать на фотохимической бумаге и получить термограмму. С помощью градуированной шкалы и теплового контрольного излучателя («черное тело») можно бесконтактным способом определять абсолютную температуру на поверхности кожи или разность температур на различных участках тела, т.е. выполнять термометрию.

Анализ термограмм на качественном уровне заключается в общем осмотре изображения, изучении температурного рельефа и распределения горячих и холодных зон. При таком визуальном анализе обращают особое внимание на выявление зон гипер- и гипотермии и нарушения структуры сосудистого рисунка, оценивают протяженность участка гипер- или гипотермии (ограниченный, протяженный, диффузный), его локализацию, размеры, форму, очертания. Нарушения сосудистого рисунка проявляются изменением количества, расположения и калибра сосудистых ветвей.

Количественный анализ дает возможность уточнить результаты визуального анализа термограммы и определить разность температур исследуемого участка и окружающих тканей или симметричного участка. У здорового человека термограмма каждой области тела имеет характерный вид. При воспалительных процессах определяется зона гипертермии, соответствующая области инфильтрации, имеющая неоднородную структуру, при этом отмечается разница температур с окружающими тканями  $0,7-1^{\circ}\text{C}$  при хроническом воспалении,  $1-1,5^{\circ}\text{C}$  при остром и свыше  $1,5-2^{\circ}\text{C}$  — при гнойно-деструктивном процессе. В частности, термография полезна при оценке активности артрита и бурсита, определении границ ожогового поражения или зоны отморожения (рис. 11.54).

Для злокачественной опухоли характерна **зона интенсивной гипертермии** (на  $2-2,5^{\circ}\text{C}$  выше температуры симметричной области). Структура участка гипертермии при этом однородна, контуры его сравнительно чет-



Рис. 11.54. Термограмма нижних конечностей при артрите правого коленного сустава. Зона гиперемии над пораженным суставом.

line, видны расширенные сосуды. При нарушении артериального кровообращения (ангиоспазм, сужение или полный стеноз сосуда) определяется зона гипотермии, которая по расположению, форме и размерам соответствует области снижения кровотока. При венозном тромбозе, тромбофлебите, посттромбофлебитическом синдроме, наоборот, в соответствующей области обычно отмечается зона повышенной температуры. Кроме того, при расстройствах кровотока наблюдается изменение обычного сосудистого рисунка, свойственного данному анатомическому региону,

*Радиотермометрия — измерение температуры внутренних органов и тканей по собственному их излучению.* Давно известно, что человек является источником радиоизлучения. Впервые регистрацию этого излучения для медицинской диагностики применили А. Баррет и П. Майерс в 1975 г.

При радиотермометрии производят измерение температуры ткани на разной глубине с помощью микроволнового радиометра. Если известна температура кожи в данной области, то можно вычислить температуру на любой глубине. Этого также можно добиться, регистрируя температуру на двух разных длинах волн. Ценность метода подкрепляется тем, что температура глубоко расположенных тканей, с одной стороны, постоянна, а с другой — почти моментально меняется под влиянием некоторых лекарственных средств, в частности сосудорасширяющих препаратов. Это дает возможность проводить функциональные исследования, например, при решении вопроса об уровне ампутации при окклюзии сосудов конечностей.

## 6. ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ

*Надо видеть мир таким, какой он есть, и делать его таким, каким он должен быть.*

Даниил Гранин

Медицина давно перестала быть созерцательной дисциплиной. Ее задачами являются управление системами жизнеобеспечения организма, активное вмешательство в морфологию и функцию органов с целью быстрого исправления «поломов». Эта тенденция в последние годы отчетливо и блистательно проявилась в медицинской радиологии.

*На стыке лучевой диагностики и хирургии возникло новое клиническое направление — интервенционная радиология. Сущностью интервенционной радиологии является сочетание в одной процедуре диагностических, в данном случае лучевых, и лечебных мероприятий.*

На первом этапе радиолог путем лучевого исследования определяет характер и объем поражения. На втором этапе, обычно не прерывая исследования, он выполняет необходимые лечебные манипуляции.

Основные направления интервенционной радиологии следующие:

- эндоваскулярные,
- эндобронхиальные,
- эндобилиарные,
- эндоуринальные,

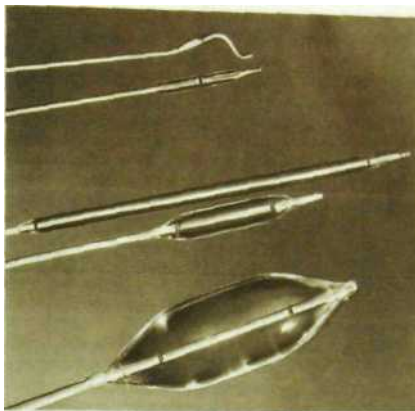


Рис. 11.55. Различные типы катетеров для внутрисосудистых вмешательств.

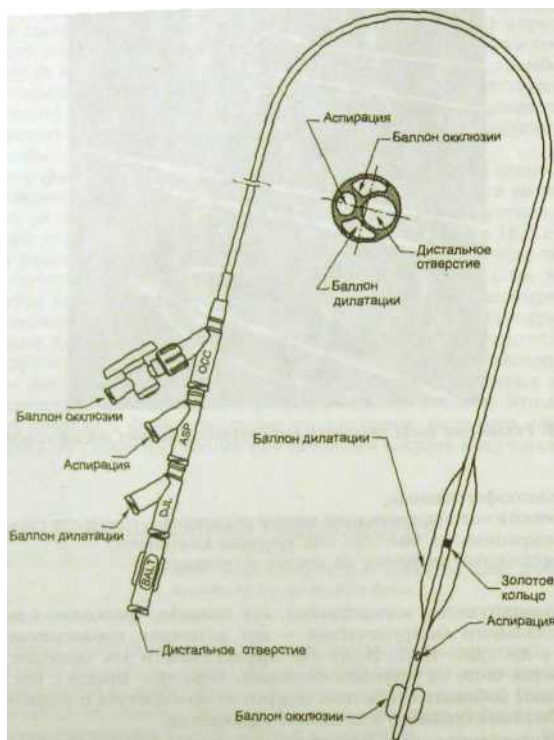
- эндоэзофагеальные,
- чрескожное дренирование кист и абсцессов,
- аспирационная биопсия под лучевым контролем,
- чрескожные операции на костях и суставах.

Все манипуляции осуществляют, как правило, чрескожно с помощью специального инструментария — игл, катетеров, проводников, стилетов и др. (рис. 11.55, П 56). По эффективности эти щадящие вмешательства часто не уступают «большой» хирургии. Вместе с тем они позволяют избежать открытого хирургического доступа и сократить срок пребывания больного в лечебном учреждении.

Интервенционную процедуру выполняют под контролем лучевого метода в режиме реального времени. Контроль может быть осуществлен с помощью рентгенологического, ультразвукового методов, компьютерной рентгеновской или магнитно-резонансной томографии.

Первоначально интервенционная радиология развивалась главным образом на базе рентгенологических исследований. Успехи интервенционной рентгенологии были подготовлены всем ходом научно-технического прогресса. Для того чтобы осуществлять вмешательства на кровеносных сосудах, пищеварительном тракте, желчных и мочевыводящих путях, понадобилось создать мощные рентгеновские установки со скоростной съемкой, телевизионной и регистрирующей аппаратурой. Необходимо было пройти долгий путь развития и совершенствования ангиографии и конструирования ряда специальных приспособлений для катетеризации сосудов, желчных протоков, мочеточников, прицельных пункций и биопсии глубоко расположенных органов.





**Рис. 11.56.** Устройство баллона для ангиопластики.

*Рентгеноинтервенционные процедуры* выполняет специально подготовленный врач-рентгенолог в рентгенодиагностическом кабинете, оборудованном для проведения оперативных вмешательств и ангиографических исследований (см. рис. 11.22). Естественно, при этом полностью соблюдаются правила асептики и антисептики. В кабинете имеются все средства — инструментальные и лекарственные — для оказания неотложной помощи и реанимации больного. Подготовку и премедикацию больного проводят так же, как при ангиографии.

*Рентгеноэндоваскулярными вмешательствами* называют внутрисосудистые чрескатетерные диагностические и лечебные манипуляции, проводимые

*под рентгенологическим контролем.* Основные виды рентгеноэндоваскулярных вмешательств сложились к середине 80-х годов<sup>1</sup>, однако разработка их началась значительно раньше. В 1964 г. Ч. Доггер и М. Джаркинс впервые произвели катетерное расширение подвздошно-бедренных артерий суженных в результате атеросклероза. Впоследствии Ч. Доггер за эти исследования был удостоен Нобелевской премии. Соответствующий тип вмешательства получил название *транслуминальная ангиопластика*, или *эндоваскулярная дилатация сосудов*. В 1969 г. В.А. Хилько посредством транскаротидного доступа произвел закупорку сосудов гемангиомы кожного покрова черепа, вводя в них полистероловые шарики. Вмешательства такого рода именуют *рентгеноэндоваскулярной окклюзией*.

Эндоваскулярная дилатация, или ангиопластика, — один из наиболее эффективных способов лечения ограниченных сегментарных поражений сосудов — стенозов и окклюзии (рис. 11.57, 11.58).

Вопрос о том, проводить конкретному больному дилатацию или реконструктивное оперативное вмешательство, решают совместно хирург и рентгенолог. Круг показаний к дилатации за последние годы значительно расширился. Ее выполняют при атеросклеротических сужениях коронарных сосудов и брахиоцефальных ветвей аорты, стенозе почечных артерий, сопровождающемся реноваскулярной гипертензией, и артерий пересаженной почки, сужении висцеральных ветвей брюшной аорты, различных окклюзионных процессах в подвздошных артериях и сосудах нижних конечностей.

Процедура дилатации начинается с введения в пораженный сосуд стандартного ангиографического катетера. Через него вводят контрастное вещество для точного определения топографии, степени выраженности и характера стеноза. Затем в просвет диагностического катетера вводят терапевтический двухпросветный катетер с баллончиком. Конец катетера устанавливают перед суженным участком сосуда. Ангиографический катетер удаляют, проводник терапевтического катетера осторожно продвигают в зону стеноза. После этого шприцем, снабженным манометром, в баллончик вливают разбавленное контрастное вещество, в результате чего баллончик равномерно растягивается и оказывает давление на стенки суженного отдела сосуда. Вследствие этого возникают небольшие разрывы интимы и происходит растяжение средней оболочки сосуда; может повреждаться и раздавливаться атероматозная бляшка. Дилатацию повторяют несколько раз, после чего катетер удаляют.

Для того чтобы предотвратить повторное сужение сосуда (рестеноз), часто выполняют *рентгеноэндоваскулярное протезирование*. С этой целью в расширенный баллончиком участок сосуда вводят металлический (например, нитиноловый) протез (так называемый *стенст*). Попутно заметим, что стентирование в настоящее время применяют не только при ангиопластике, но и для предотвращения сужения пищевода при его раковом поражении, канала привратника, желчных протоков, трахеи и крупных бронхов, мочеочника, носослезного канала.

<sup>1</sup> Подробнее см.: *Рабкин ИХ, Матевосов АЛ., Гетман Л.Н.* Рентгеноэндоваскулярная хирургия, — М.: Медицина, 1987.

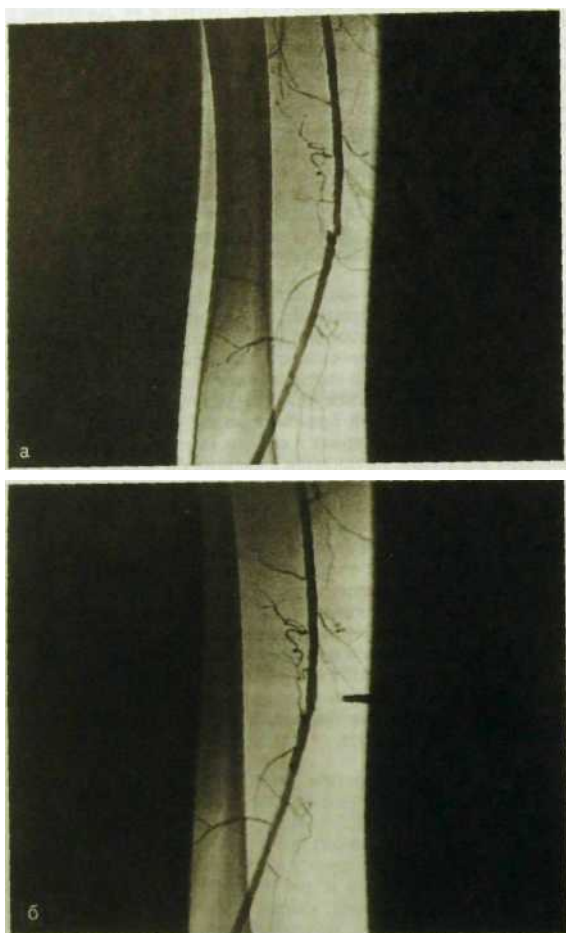
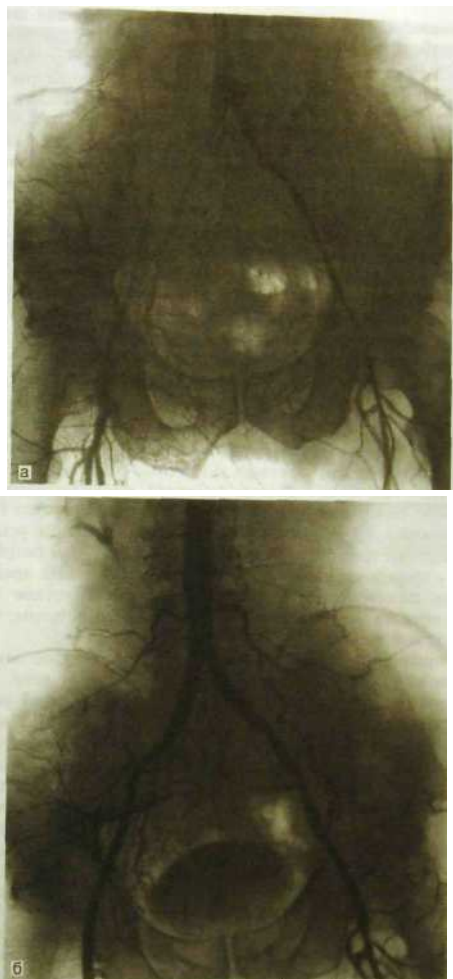


Рис. 11.57. Ангиограммы до (а) и после (б) баллонной ангиопластики при стенозе бедренной артерии (наблюдение В.И. Прокубовского).



**Рис. 11.58.** Ангиограммы до (а) и после (б) баллонной ангиопластики при выраженном атеросклеротическом поражении брюшной аорты и подвздошных артерий (наблюдение В.И. Прокубовского).

*Рентгеноэндоваскулярная окклюзия* — чрескатетерная закупорка сосуда, его эмболизация. Для этого через катетер вводят эмболизирующий материал, который временно или постоянно obturates просвет сосуда. В зависимости от калибра сосуда и цели процедуры используют микрочастицы платины, микросферы с ферромагнетиками, гемостатическую желатиновую губку, металлические спирали, масляные эмульсии. Рентгеноэндоваскулярную окклюзию производят для остановки кровотечения (например, легочного, желудочного, кишечного), тромбирования аневризмы, разобщения врожденных и приобретенных артериовенозных соустьев. Эмболизация внутренней подвздошной артерии является средством остановки тяжелых кровотечений при травме таза. К рентгеноэндоваскулярной окклюзии прибегают перед некоторыми оперативными вмешательствами, например при нефрэктомии по поводу рака почки, что способствует «бескровности» операции и облегчает удаление новообразования.

К числу рентгеноэндоваскулярных вмешательств относятся многие другие манипуляции: чрескожное закрытие незаросшего артериального (боталлова) протока и дефекта в перегородке сердца, чрескатетерная эмболизация, чрескатетерное удаление инородных тел из сердца и легочной артерии. Получили распространение методы селективного введения лекарств и радиоактивных лечебных препаратов в различные отделы сосудистой системы. Их применяют при химиотерапии опухолей, неокклюзионной мезентериальной ишемии, для растворения сгустков в просвете сосуда (медикаментозный тромболизис) и лечения острого тромбоза. Большие успехи достигнуты при проведении тромболитической терапии большим острым инфарктом миокарда, с тромбозом легочной артерии, а также чрескатетерной терапии острых панкреатитов и панкреонекрозов. Местное воздействие лекарственных средств часто оказывается более эффективным, чем внутривенное или внутримышечное.

Всеобщее признание получили два новшества. Первое заключается в *чрескатетерном введении специального фильтра в полую вену*. Через вены верхней конечности фильтр устанавливают в верхней полой вене, а через бедренную вену его проводят в нижнюю полую вену. Фильтр является эффективным средством профилактики тромбоэмболии легочной артерии (например, при тромбофлебите). Второе новшество связано с введением через катетер *глубокого зонда-световода*, который используют для лазерного разрушения атероматозных бляшек или тромбов (так называемая *лазерная тоннелизация*), или прибора для механической ретракции сгустка.

В сферу интервенционной радиологии входят не только эндоваскулярные, но и разнообразные *экстравазальные (внесосудистые)* манипуляции. Под рентгенологическим контролем выполняют *катетеризацию бронхов* с целью получения материала путем биопсии недоступных для бронхоскопа участков бронхиального дерева, *выполняют чрескожные трансторакальные пункции внутрилегочных и медиастинальных образований*. Усиленно разрабатываются *эндобилиарные рентгенохирургические вмешательства*. Посредством чрескожной пункции и катетеризации желчных протоков осуществляют декомпрессию при обтурационной желтухе, создают временный или постоянный отток желчи (наружное или внутреннее дренирование желчных



**Рис. 11.59.** Баллонное расширение мочеточника.

а — сужение мочеточника в верхней трети; б — в суженном участке раздут баллон; в — значительное уменьшение стеноза после дилатации.

путей), вводят препараты для растворения желчных камней, удаляют мелкие камни, устраняют стриктуры желчных протоков, расширяют анастомоз между общим желчным протоком и пищеварительным трактом.

Следует упомянуть о *рентгеноэндоуринальных вмешательствах*. Основой их чаще всего являются чрескожная пункция и катетеризация почечной лоханки при непроходимости мочеточника. Через искусственно созданный ход дробят и удаляют почечные камни, не подлежащие *литотрипсии* — волновому дроблению. Таким же путем производят нефростомию, вводят лекарственные препараты, осуществляют биопсию, рассечение стриктуры и баллонное расширение мочеточника (рис. 11.59)

Баллонную дилатацию осуществляют также для устранения *стриктуры пищевода ПЛЖ желудка*. Немалую роль в клинике играет такое интервенционное вмешательство, как *аспирационная биопсия* под рентгенологическим контролем. Ее используют для установления природы внутригрудных и абдоминальных образований и инфильтратов, что избавляет многих больных от пробной торакотомии или лапаротомии, для пункционной биопсии щитовидной железы, лимфатических узлов, почек, печени, селезенки. Эту же манипуляцию с успехом применяют для *идентификации непальпируемых образований молочной железы*. С помощью пункции осуществляют чрескожное дренирование кист и абсцессов, что составляет в ряде случаев альтернативу оперативным вмешательствам.

Помимо *рентгенотелевизионного просвечивания*, в ряде случаев в качестве контроля используют *компьютерную томографию*, особенно часто при проведении направленной пункции патологических образований, построении стереотаксических координат в случае выполнения стереотаксических операций на головном мозге.

В качестве направляющего, контролирующего исследования, помимо рентгенологического, все чаще применяют *ультразвуковое*. Вследствие отсутствия неблагоприятного воздействия ионизирующего излучения сонография позволяет более продолжительно следить за проведением в организм пациента микрохирургических инструментов и отслеживать все этапы интервенционных вмешательств. Для выполнения таких процедур современные ультразвуковые аппараты обязательно оснащаются специальными *пункционными датчиками*.

В последнее время в качестве контролирующего метода начинают использовать *магнитно-резонансную томографию*, которая становится доступной при использовании МР-томографа открытого типа.

## **7. МЕДИЦИНСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ КАК ОБЪЕКТ ИНФОРМАТИКИ**

Главным источником диагностической информации, получаемой с помощью средств лучевой диагностики, являются *медицинские изображения органов (medical images)*. Многообразные медицинские образы независимо от способа их получения — *рентгенологического, ультразвукового, радионуклидного или магнитно-резонансного* — могут быть объединены в две основные группы: *аналоговые и цифровые (дигитальные)*; имеется также промежуточный вариант — *аналого-цифровые*.

К *аналоговым изображениям* относят такие, в которых заключена информация непрерывного характера. Подобные изображения являются основными при восприятии человеком окружающего его мира. Эти изображения предъявляют врачу для распознавания заболеваний. Всем аналоговым изображениям, включая медицинские, свойствен ряд недостатков. В частности, затруднены их компактное хранение, обработка в соответствии с потребностями диагностики, передача от пользователя к пользователю. В них всегда много лишних сигналов, или шумов, которые ухудшают их качество.

Все этих недостатков лишены *дигитальные (цифровые) медицинские изображения*. Они имеют в своей основе ячеистую структуру (матрицу), содержащую информацию (в виде цифр) об органе, которая поступила из датчиков диагностического аппарата. С помощью компьютера из хранящихся в матрице сигналов по сложным алгоритмам создается (реконструируется) изображение органов. Дигитальные изображения характеризуются высоким качеством, отсутствием посторонних сигналов (шумов). Их легко сохранять на различных магнитных, оптических и магнитно-оптических цифровых носителях, легко обрабатывать на компьютере и пересылать на большие расстояния по сетям телекоммуникации.

*Аналого-цифровые изображения* имеют сложную «историю». Первоначально они создаются как аналоговые, затем в процессе передачи от детектора до дисплея оцифровываются и на этом этапе как всякие дигитальные изображения имеют все перечисленные выше достоинства. Вместе с тем наличие обязательного аналогового этапа неизбежно обуславливает все уже отмеченные недостатки, характерные для изображений такого рода.

Необходимо отметить, что аналоговые изображения могут быть преобразованы в матричные и, наоборот, матричные — в аналоговые. Оцифровку аналоговых изображений и ввод их в память компьютера осуществляют с помощью специальных считывающих устройств — сканеров.

Ниже сгруппированы медицинские изображения и методы лучевой диагностики, с помощью которых их получают.

#### *Аналоговые изображения:*

- традиционная пленочная рентгенография, в том числе линейная томография,
- традиционная рентгеноскопия,
- сонография (некоторые разновидности).

#### *Аналого-цифровые изображения:*

- цифровая рентгенография (вторичная оцифровка рентгенограмм),
- цифровая рентгеноскопия,
- цифровая субтракционная ангиография,
- сонография (некоторые разновидности),
- сцинтиграфия.

#### *Цифровые изображения:*

- первично-цифровые методы рентгенографии,
- компьютерная томография,
- магнитно-резонансная томография,
- эмиссионная томография (одно- и двухфотонная),
- доплеровское картирование.



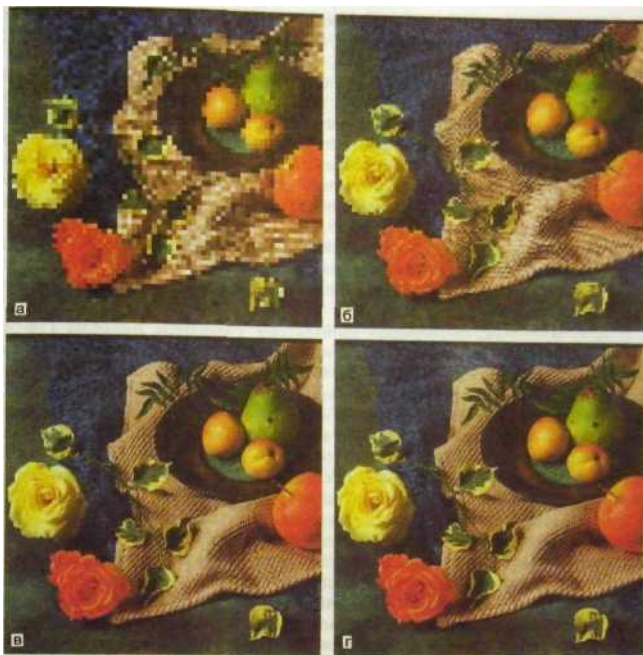
Представление диагностических изображений на дисплее может иметь двоякий характер. *Векторные* изображения состоят из набора элементарных линий и кривых, описываемых математическими формулами в виде математических объектов, называемых *векторами*. Последние имеют графическую характеристику и могут изменяться врачом в соответствии с выбранными программами без ухудшения качества изображения.

*Матричные* изображения имеют в своей основе растр, состоящий из большого числа ячеек — *пикселей* (от англ. picture — картина, cell — клетка, наименьший визуальный элемент на экране дисплея). Пространственное разрешение матричных изображений тесно связано с количеством содержащихся в них пикселей. Вследствие этого при обработке такого изображения, связанной с изменением его размеров (всего или отдельных деталей), распечаткой на принтере с разрешающей способностью, отличающейся от таковой на экране, оно может в значительной степени деформироваться — появиться зубчатость контуров, исчезают детали изображения. Матричные изображения формируются на растровом дисплее аналогично тому, как это происходит на экране телевизора, т.е. путем сканирования электронным лучом по строкам. Тем самым создается режим восприятия изображения в реальном времени. Для создания матричного изображения применяют специальный дисплейный процессор, который через систему связи (интерфейс) подключен к оперативной памяти компьютера.

Каждому из элементов матрицы изображения на экране дисплея соответствует определенный участок адресуемой памяти. Таким образом, вся ПЛОЩАДЬ растрового дисплея содержит совокупность пикселей, имеющую свою размерность. В лучевой диагностике экранная площадь дисплея обычно формируется в виде следующих матриц: 64x64, 128x128, 256x256, 512x512, 1024x1024 пикселей. Чем больше число пикселей, на которое разбивается экранная площадь дисплея, тем выше разрешающая способность системы отображения. Чем крупнее матрица изображения, тем более фрагментарным оно представляется наблюдателю (рис. 11.60).

Каждый пиксел изображения формируется в памяти дисплейного процессора различным числом бит — от 1 до 24. Чем большим количеством бит информации представлен каждый пиксел изображения, тем богаче изображение по своим зрительным свойствам и тем больше информации об исследуемом объекте оно содержит. Так, 2-битный пиксел содержит всего  $2^2=4$  уровня передачи изображения, 8-битный (однобайтный) — 256, 24-битный пиксел имеет свыше 16 млн вариантов. *Количество бит, содержащихся в одном пикселе, называют его глубиной.* Чем больше глубина пиксела, тем качественнее изображение. Оптимальным вариантом черно-белого изображения является *однобайтный пиксел*, который содержит 256 градаций серого цвета (от белого — 0 до черного — 256), — так называемая *стандартная серая шкала*.

При изображении в цвете наилучшим вариантом является *трехбайтный* пиксел, который содержит 16,7 млн цветов (*стандарт RGB* — *Red, Green, Blue* — *красный, зеленый, голубой*). Однако такая палитра цветов требует большого объема памяти компьютера, поэтому в медицинской практике чаще применяют упрощенный, так называемый *индексированный, цвет* — *однобайтный*, который содержит 256 цветов. Он несколько хуже по качеству, зато намного рациональнее расходует память компьютера. Кроме того, он быстрее и проще передается по линиям компьютерной связи. И все же



**Рис. 11.60.** Влияние величины матрицы на качество изображения.

а — матрица размером 64х64; б - 128х128; в — 256х256; г — 512х512 пикселей.

для ускорения передачи изображений и более рационального хранения в компьютерной памяти их *сжимают* (т.е. производят их компрессию) специальными программами в несколько раз, или *архивируют*. При обратном процессе — *разархивировании* — качество изображения восстанавливается практически до исходного. Для передачи изображений от компьютера к компьютеру их рекомендуется переводить в один из стандартных форматов, наиболее универсальным из которых является TIFF (Target-Image File Format — целевой файловый формат изображения).

В *ультразвуковой диагностике* чаще используют 6-битный пиксел, у которого  $2^6=64$  оттенка серого цвета (от черного до белого). В *радионуклидной диагностике* применяют преимущественно 8-битный пиксел (байтная система формирования пиксела), в котором  $2^8=256$  вариантов оценок, т.е. уровней серой шкалы или цвета. Нетрудно подсчитать, что матричное изображение размером 64х64 пикселей в радионуклидной диагностике требует

4096 байт памяти, а изображение размером 128x128 пикселей — 16 384 байт, т.е. около 16 Кбайт (приблизительно столько, сколько занимает одна страница машинописного текста).

Более совершенные системы радионуклидной диагностики имеют изображение размером 256x256, 512x512 и даже 1024x1024 пикселей. Для формирования таких образов при соответствующем 8-битном пикселе нужно занять в памяти компьютера соответственно 64, 256 и около 1000 Кбайт (1 Мбайт) памяти. Увеличение объема памяти неизбежно приводит к снижению скорости обмена информацией, что сопровождается увеличением времени, необходимого для построения каждого кадра изображения. В связи с этим мелкие растры (256x256 и 512x512) применяют преимущественно для получения статических изображений с высоким пространственным разрешением, т.е. в диагностике очаговых поражений в органах, тогда как крупные матрицы (64x64 и 128x128) используют главным образом для динамических исследований.

В компьютерной томографии используют 2-байтные пикселы (16-битные). При размерах матрицы 512x512 на получение одной компьютерной томограммы будет затрачиваться 412 кбайт памяти компьютера. Приблизительно такой же объем памяти необходим для получения МР-томограммы.

В цифровой рентгенографии и рентгеноскопии применяют дисплей с очень мелкой матрицей — 1024x1024 пикселей. Такое изображение практически неотличимо от обычного полутонного аналогового. Однако для получения этого изображения нужно свыше 1 Мбайт памяти компьютера. Еще больший объем компьютерной памяти — свыше 2 Мбайт — необходим для построения одного кадра в цифровой субтракционной ангиографии.

Для работы цветных дисплеев, наиболее широко применяемых в радионуклидной диагностике и доплеровском картировании, требуется память компьютера, в 3 раза большая, чем для черно-белых, по количеству основных цветов (стандарт RGB). Понятно, что для реализации такой задачи нужны высокопроизводительные компьютеры с большим объемом дисковой и оперативной памяти и развитым программным обеспечением.

*Все медицинские изображения в лучевой диагностике могут существовать в двух вариантах: в виде твердых копий — рентгенограмм, отпечатков на бумаге, фотобумаге — и в электронном виде — на экране дисплея, магнитных носителях, оптических дисках и пр.* Здесь уместно еще раз напомнить, что емкость одной стандартной трехдюймовой дискеты составляет 1,44 Мбайта, оптического диска CD-ROM — 640 Мбайт, магнитно-оптического диска — 2 Гбайт, жесткого диска (винчестера) персонального компьютера — несколько Гбайт. Скорость передачи информации по современным коммуникационным системам в настоящее время обычно не превышает 1200—3600 бит/с. Таковы «взаимоотношения» медицинских изображений и современных цифровых способов их хранения и передачи.

Одним из важнейших направлений в визуализации органов является получение функциональных изображений. При этом можно выделить 3 типа таких изображений: характеризующие двигательную активность органов (сократительную, эвакуаторную и др.) — I тип; характеризующие экскреторную функцию органа — II тип; отражающие активность метаболических процессов в органе — III тип.

Получить функциональное изображение I типа, т.е. исследовать двигательную активность органов, можно на экране рентгенодиагностического

158

аппарата или дисплее аппарата для ультразвуковой диагностики. С целью регистрации функциональных изображений I типа применяют киносъемку видеоманитофонную запись, регистрацию на магнитных носителях компьютера. Для того чтобы исследовать эвакуаторную функцию органов в них предварительно вводят специальные вещества - рентгеноконтрастные при рентгенологическом методе исследования и радионуклидные - при радионуклидном. Наблюдая с помощью аппаратов для лучевой диагностики за выведением контрастного вещества из органа, судят об его эвакуаторной функции. Применение с этой целью компьютерной технологии позволяет оценить функцию органа в количественных показателях.

*Функциональные изображения II типа получают для изучения экскреторной функции органа.* С этой целью применяют радиофармпрепараты и рентгеноконтрастные вещества, избирательно и быстро захватываемые из крови исследуемыми органами. Таким путем изучают, например, функцию печени, почек, желчевыведительной системы.

*Функциональные изображения III типа — метаболические.* Их применяют преимущественно в радионуклидной диагностике. С этой целью в организм пациента вводят РФП, включающийся в обмен веществ в исследуемом органе. Так, например, в сердечной мышце активно поглощается и утилизируется меченая глюкоза, поэтому интенсивность изображения сердечной мышцы на скинтиграммах после введения в организм этого РФП будет отражать перфузию миокарда и метаболическую активность сердечной мышцы. Этот же РФП активно метаболизируется мозговой тканью, в связи с чем он может быть использован для получения функциональных изображений головного мозга.

Существенным преимуществом дигитальных изображений является возможность их компьютерной обработки. *Первый этап такой обработки — предварительный.* Его осуществляют во время сбора информации, т.е. в момент получения самого изображения. С этой целью проводят коррекцию изображения с целью «выправления» технических дефектов детекторов излучений, например неоднородности в чувствительности по полю большого скинтилляционного кристалла гамма-камеры или линейки ультразвуковых датчиков. На этом же этапе осуществляют коррекцию физиологических факторов, ухудшающих изображение. Например, при радионуклидном исследовании почек исключают влияние радиоактивности, находящейся в кровеносных сосудах и окружающих мягких тканях, при исследовании печени необходимо учесть и исключить динамическую нерезкость, вызванную ее дыхательными перемещениями.

*Следующий этап обработки изображений — аналитический.* Его проводят во время анализа изображений. Так, с целью улучшения качества изображения можно провести *процедуру сглаживания*, т.е. выравнивание неоднородностей, *контрастирование органов путем отсечения окружающего орган фона*, который мешает зрительному восприятию исследуемого органа. Можно выполнить также *дополнительное раскрашивание* отдельных участков изображения, что также улучшит качество его восприятия.

Для того чтобы улучшить выявление патологических очагов в органе, проводят *исчисленные кривые*, т.е. линии, соединяющие точки изображения с одинаковым накоплением РФП или одинаковой оптической плотностью. Иногда целесообразно построить *профилограмму* — горизонтальную линию, проходящую через весь исследуемый орган. Такая линия покажет распреде-

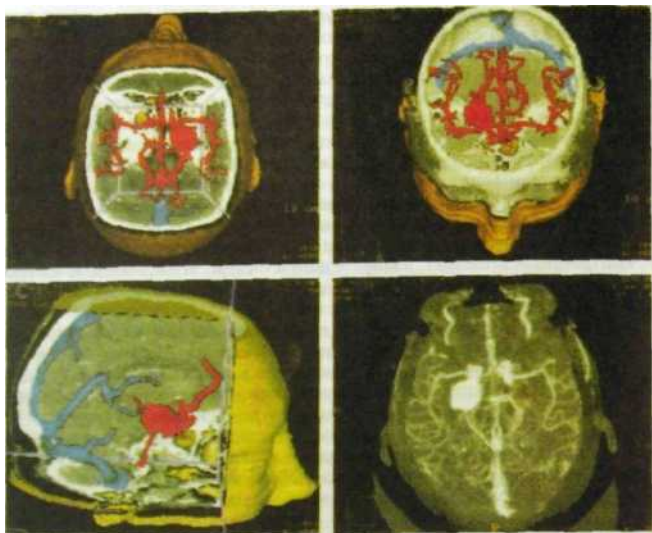


Рис. 11.61. Компьютерное совмещение изображений сосудистой системы головного мозга, полученных с помощью магнитно-резонансной и компьютерной рентгеновской томографии (так называемые спаянные изображения).

ление РФП вдоль горизонтальной или вертикальной оси, т.е. получится как бы срез органа по этой линии. С помощью специальных алгоритмов можно построить *аксонометрическое*, или *псевдообъемное*, изображение органа. Естественно, все указанные выше преобразования выполняют с помощью компьютера по заложенным в него прикладным программам.

Своеобразной формой обработки изображения является *"алгебра кадров"*: сложение или вычитание нескольких изображений органа с помощью компьютера. Таким путем, например, получают изолированное изображение сосудов при цифровой субтракционной ангиографии или изображение парашитовидных желез при сцинтиграфии.

Аналогичный прием используют для повышения контрастности изображения опухолей и «привязки» его к анатомическим ориентирам. При этом складывают два кадра — изображения опухоли и того участка тела, где эта опухоль выявлена. Новое направление обработки изображений — совмещение изображений, полученных посредством разных методов исследования, например компьютерно-томографического и магнитно-резонансного (рис. 11.61). Такие суммарные изображения носят название «спаянные».

С помощью компьютера можно *обрабатывать кривые*, полученные при анализе медицинских изображений. Можно, например, *сгладить* (апрокси-

мировать) эти кривые, т.е. сделать их визуально более наглядными. Специальные прикладные программы позволяют провести на компьютере *математическое моделирование изучаемых функций*, что помогает выявить патологические изменения и оценить степень их выраженности.

Выделение «зон интереса» — один из основных этапов обработки диагностических изображений на компьютере. «Зона интереса» — это участок изображения органа (рентгенологического, ультразвукового, магнитно-резонансного, радионуклидного), который представляет наибольший интерес для диагностики.

«Зоной интереса» может быть весь орган или его часть. На одном изображении возможно несколько «зон интереса», например исследуемый орган, окружающие его ткани, пучок питающих орган сосудов, соседние органы. Применительно к отдельному органу такими «зонами интереса» могут быть, в частности, кортикальный слой и выделительная система органа (например, у почки — см. рис. 1.16).

Форму, размеры и количество «зон интереса» врач выбирает произвольно в зависимости от вида исследования и конкретных задач диагностики; делается это с помощью *курсора* на экране дисплея либо *автоматически* по специальным программам обработки изображений. Выбранную «зону интереса» изучают отдельно или же во взаимосвязи с другими. В этой зоне с помощью компьютера можно проследить прохождение рентгеноконтрастного вещества или РФП. Построенные на основании результатов такого анализа кривые — *гистограммы* отражают функцию органа (или его части). В «зонах интереса» можно определить оптическую плотность изображения органа, выявить и оценить степень неоднородности его ткани.

Перспективным направлением использования компьютера для анализа медицинских изображений является их *автоматизированный анализ*. Особенно эффективна такая обработка при *массовых проверочных исследованиях*, например при флюорографии грудной полости или маммографии. С помощью особо сложных компьютерных систем, состоящих из нескольких десятков и даже сотен высокопроизводительных процессоров (так называемые *нейрокомпьютеры*), удастся автоматизировать процесс распознавания заболеваний. Для этого такие системы предварительно длительное время «обучают» на большом клиническом материале, т.е. создают «базу знаний» по данному предмету.

Вычислительную технику все шире используют в медицинской практике. В некоторых клиниках более половины информации о больном поступает к врачу после компьютерной обработки. Это не только медицинские изображения, но и электронная система документооборота, локальные внутрибольничные, региональные и мировые компьютерные сети. Все большее распространение получает телемедицина как средство общения и профессиональной деятельности. Традиционная система *врач—больной* заменяется на более сложную: *больной — компьютер — врач*. В связи с этим уже на студенческой скамье чрезвычайно важно овладеть основами медицинской информатики и компьютерной техники, научиться использовать компьютерную технологию в повседневной врачебной деятельности.

Конечно, компьютеризация медицины ни в коей мере не умаляет роли врача. *Это была, есть и будет гуманитарная специальность!* Никогда — ни

сейчас, ни в будущем — компьютер не заменит врача у постели больного, хотя бы потому, что он лишен важнейшего свойства человеческой личности — сострадания! Как остроумно заметил один ученый: «Отвечать на вопросы, которых никто не задавал, — это то, чего не может машина, а человеческий мозг может». Более того, умелое применение вычислительной техники подчеркивает значение деонтологии, гуманизм врача. В компьютерный век только от него зависит, сколько останется «человеческой» медицины. Политику в лучевой диагностике должен определять врач: «Но о главном не забудь: ты владыка, в этом суть!» (Г. Абашидзе).

## МОЛОДОМУ ИССЛЕДОВАТЕЛЮ

*Медицинские научные деятели происходят из всей массы медицинского сословия: всякий практический врач, раз он обладает умом, энергией и талантом, может проявить свое участие в общей медицинской науке и сложиться в постоянного и крупного медицинского деятеля.*

И.П. Павлов

Как-то Владимир Маяковский не без иронии заметил, что книги пишут для того, чтобы случилось что-нибудь новое, а редакторы существуют для того, чтобы ничего не случилось. Почему нам вспомнились эти слова? Потому что мы опасались, что рецензенты учебника (а от них зависит решение о его издании) предложат нам отказаться от данного раздела во второй части книги. С мягкой укоризной они укажут, что для разработки и усовершенствования методов и средств исследования требуются глубокие знания предмета и наивно предлагать соответствующие задания студентам.

Тогда мы на очередной лекции, рассказав об основных способах получения лучевых изображений, предложили студентам 3-го курса тут же придумать новые методы, которые можно было бы использовать для этой цели. Из всех полученных в ответ записок приведем три (без изменения стиля авторов).

1. «Почему бы органы не зазвучали? Пропускаем узкий пучок электромагнитных волн. Меняя частоту, достигаем резонанса в той или иной ткани, органе и т.д. Регистрируя резонансное излучение, преобразуем электромагнитные волны в звуковые. Сравниваем с эталоном (лучше всего для парных органов). Любовь — мелодия, жизнь — серенада, пусть болезнь станет симфонией!».

2. «Для диагностики новообразований. Слабый электрический ток проходит сквозь тело. Опухоль имеет большее сопротивление. Экран с помощью осциллографа регистрирует».

3. «А что если сделать радионуклидное исследование отдельной клетки, сравнивая с электрограммой и радионуклидной сканограммой нормальной клетки. При таком способе мы сможем проникнуть не только в отдельные структурные компоненты клетки, выделяя какие-то патологические процессы в ней, но и еще глубже. Но насколько это технически осуществимо?»

Заметьте, что эти записки были получены нами более 15 лет назад, до выхода первого издания данного учебника! Поэтому мы смело выдвигаем несколько проблем и в заключение второй части учебника.

*Первое и главное предложение:* не на ходу или во время лекции, а после глубокого обдумывания попытайтесь отыскать идею принципиально нового метода получения лучевых изображений. Сумел же это сделать А. Кормак (идея компьютерной томографии) или Пауль Лаутербур (идея магнитно-резонансного изображения).

*Второе предложение:* изучение экономики лучевых исследований. В России этой проблемой долгое время никто не интересовался. Только в связи с развитием страховой медицины появились расчеты стоимости рентгенологических, ультразвуковых, радионуклидных и других процедур. Однако, во-первых, эти расчеты далеко не просты и не всегда корректны. Во-вторых, не проведено сопоставление экономичности разных лучевых методик в зависимости от их эффективности при конкретных патологических состояниях.

*Третье предложение:* необходимо, исходя из теории массового обслуживания, определить потребность во всех видах лучевой диагностики в различных регионах страны, в лечебных учреждениях разного типа и т.д.

Разумеется, все это — крупные проблемы, но ведь «великая энергия рождается для великих целей». Однако важно решать и частные задачи. Их в данной области неисчислимое количество. Речь идет об отдельных изобретениях и рационализаторских предложениях по усовершенствованию существующих лучевых методик. В качестве примера укажем некоторые направления таких исследований: 1) улучшение подготовки больных, в частности для рентгенологических и ультразвуковых процедур; 2) усовершенствование средств защиты пациентов и персонала при рентгенологических исследованиях; 3) повышение качества и надежности детекторов излучения; 4) разработка способов обработки материалов лучевых исследований для повышения их информативности; 5) разработка оптимальных средств и способов передачи лучевых изображений по локальным и национальным сетям.



## Лучевая диагностика повреждений и заболеваний

*От недр тёмной преиз до высшей точки спалил Сатурна  
Я разрешил все трудности Вселенной.  
Я ускользнул от оков всех хитростей и уловок.  
Каждый узел стал развязан, кроме узла смерти.*

Абу Али Ибн Сина



"Джоконда и «лучи»". Фернан Леже, 1930

## 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Проблемы заболевания являются более сложными и трудными, чем любые другие, которые приходится решать тренированному уму.*

В. Ослер

Величественный и бесконечный мир расстилается вокруг. И каждый человек - тоже мир, сложный и неповторимый. Разными путями стремимся мы исследовать этот мир, понять основные принципы его строения и регуляции, познать его устройство и функции. Научное познание опирается на следующие исследовательские приемы: морфологический метод, физиологический эксперимент, клиническое исследование, лучевые и инструментальные методы. Однако *научные знания — лишь первая основа диагностики*. Эти знания — все равно, что ноты для музыканта. Однако, используя одни и те же ноты, разные музыканты при исполнении одного и того же произведения достигают разного эффекта. *Вторая основа диагностики — искусство и личный опыт врача* «Наука и искусство так же связаны между собой, как легкие и сердце, так что если один орган извращен, то другой не может правильно действовать» (Л.Толстой).

Все это подчеркивает исключительную ответственность врача: ведь каждый раз у постели больного он принимает важное решение. Постоянное повышение знаний и стремление к творчеству — вот черты настоящего врача. «Мы любим все — и жар холодных числ, и дар божественных видений...» (А. Блок).

С чего начинается любая диагностика, в том числе лучевая? С глубоких и твердых знаний о строении и функциях систем и органов здорового человека во всем своеобразии его половых, возрастных, конституциональных и индивидуальных особенностей. «Для плодотворного анализа работы каждого органа необходимо прежде всего знать его нормальную деятельность» (И.П. Павлов). В связи с этим все главы III части учебника начинаются с краткого изложения лучевой анатомии и физиологии соответствующих органов.

Мечта И.П. Павлова охватить величественную деятельность головного мозга системой уравнений еще далека от воплощения. При большинстве патологических процессов диагностическая информация столь сложна и индивидуальна, что выразить ее суммой уравнений пока не удастся. Тем не менее повторное рассмотрение сходных типовых реакций позволило теоретикам и клиницистам выделить типовые синдромы повреждений и заболеваний, создать некоторые образы болезней. Это — важная ступень на диагностическом пути, поэтому в каждой главе после описания нормальной картины органов рассмотрены симптомы и синдромы болезней, наиболее часто выявляемые при лучевой диагностике. Добавим лишь, что именно здесь ярко проявляются личные качества врача: его наблюдательность и способность в пестром калейдоскопе симптомов разглядеть ведущий синдром поражения. Можно поучиться у наших далеких предков. Мы имеем в виду наскальные рисунки времен неолита, в которых удивительно точно отражена общая схема (образ) явления.

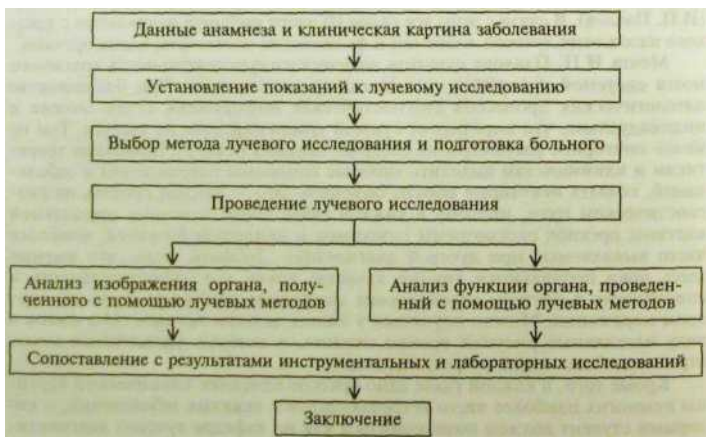
Кроме того, в каждой главе дано краткое описание клинической картины немногих наиболее часто встречающихся и тяжелых заболеваний, с которыми студент должен познакомиться как на кафедре лучевой диагностики

ки и лучевой терапии, так и в процессе курирования больных в терапевтических и хирургических клиниках на старших курсах.

Собственно диагностика начинается с обследования больного, и очень важно правильно выбрать программу его проведения. Ведущим звеном в процессе распознавания болезней, конечно, остается квалифицированное клиническое обследование, но оно уже не сводится только к осмотру больного а представляет собой организованный целенаправленный процесс, который начинается с осмотра и включает применение специальных методов среди которых видное место занимают лучевые.

В этих условиях работа врача или группы врачей должна основываться на четкой программе действий, которая предусматривает порядок применения различных способов исследования, т.е. каждый врач должен быть вооружен набором стандартных схем обследования больных. Эти схемы призваны обеспечить высокую надежность диагностики, экономию сил и средств специалистов и пациентов, приоритетное применение менее инвазивных вмешательств и уменьшение лучевой нагрузки на больных и медицинский персонал. В связи с этим в каждой главе приведены схемы лучевого обследования при некоторых клинических и рентгенологических синдромах. Это лишь скромная попытка наметить путь комплексного лучевого обследования при наиболее часто встречающихся клинических ситуациях. Дальнейшая задача состоит в переходе от этих ограниченных схем к подлинным диагностическим алгоритмам, которые будут содержать все данные о больном.

На практике, увы, выполнение программы обследования сопряжено с определенными трудностями: различно техническое оснащение лечебных учреждений, неодинаковы знания и опыт врачей, состояние больного. «Острословы говорят, что оптимальной траекторией называется та траектория, по которой ракета никогда не летает» (Н.Н. Моисеев). И тем не менее врач должен для конкретного больного выбрать наилучший путь обследования. Отмеченные этапы входят в общую схему диагностического исследования пациента.



Для того чтобы эффективно проводить лучевую диагностику и грамотно оценивать результаты лучевых исследований, необходимо придерживаться строгих методологических принципов.

**Первый принцип:** всякое лучевое исследование должно быть обосновано. Главным аргументом в пользу выполнения лучевой процедуры должна быть клиническая необходимость получения дополнительной информации, без которой полный индивидуальный диагноз установить невозможно.

**Второй принцип:** при выборе метода исследования необходимо учитывать лучевую (дозовую) нагрузку на больного. В инструктивных документах Всемирной организации здравоохранения предусмотрено, что рентгенологическое исследование должно обладать несомненной диагностической и прогностической эффективностью; в противном случае оно является напрасной тратой средств и представляет опасность для здоровья вследствие неоправданного применения радиации. При равной информативности методов нужно отдать предпочтение тому, при котором не происходит облучения больного или оно наименее значительное.

**Третий принцип:** при проведении лучевого исследования нужно придерживаться правила «необходимо и достаточно», избегая излишних процедур. Порядок выполнения необходимых исследований — от наиболее щадящих и необременительных к более сложным и инвазивным (от простого к сложному). Однако не нужно забывать, что иногда приходится сразу выполнять сложные диагностические вмешательства ввиду их высокой информативности и важности для планирования лечения больного.

**Четвертый принцип:** при организации лучевого исследования нужно учитывать экономические факторы («стоимостная эффективность методов»). Приступая к обследованию больного, врач обязан предвидеть затраты на его проведение. Стоимость некоторых лучевых исследований столь велика, что неразумное применение их может отразиться на бюджете лечебного учреждения. На первое место мы ставим пользу для больного, но при этом не имеем права игнорировать экономику лечебного дела. Не принимать ее во внимание означает неправильно организовывать работу лучевого отделения.

Наука есть лучший современный способ удовлетворения любопытства отдельных лиц за счет государства.

Л.А. Арцимович

К знаменитому терапевту Сидегаму обратился медик с просьбой посоветовать, какие книги читать, чтобы стать хорошим врачом.

— Читайте, мой друг, «Дон Кихота» Сервантеса — это прекрасная книга, которую я сам часто перечитываю.

(Е.А. Вагнер. *Раздумья о врачебном долге.* - Пермь, 1986)



Одно из своих писем в 1885 г. А.П. Чехов шуточно подписал: «Хирург патологии А. Чехов». Как известно, великий русский писатель по образованию был врач: он закончил медицинский факультет Московского университета.

## 2. ЛЕГКИЕ

*...Самое устройство человеческого тела по своей художественности далеко превосходит все, что только было создано человеческим искусством.*

Бenedикт Спиноза

Легкие — один из самых частых объектов лучевого исследования. О важной роли рентгенолога в изучении морфологии органов дыхания и распознавании патологических процессов свидетельствует тот факт, что принятые классификации многих заболеваний, например пневмоний, туберкулеза, саркоидоза, пневмокониозов, злокачественных опухолей, в большой мере основаны на рентгенологических данных. Известно также, что скрыто протекающие поражения легких выявляют при проверочных флюорографических обследованиях населения.

С развитием компьютерной томографии значение рентгенологического метода в диагностике болезней легких еще более возросло. С ее помощью удается выявить самые ранние изменения в органах грудной полости. Важное место в оценке функциональной патологии легких, в частности нарушений капиллярного кровотока в них, занял радионуклидный метод.

Показания к рентгенологическому исследованию легких весьма широки: повышение температуры тела, кашель, выделение мокроты, одышка, боли в груди, кровохарканье и многие другие патологические состояния.

### 2.1. Лучевая анатомия легких

На обзорной рентгенограмме в прямой проекции (рис. III.1) почти на всем протяжении вырисовываются верхние 5–6 пар ребер. У каждого из них можно выделить *тело, передний и задний концы*. Нижние ребра частично или полностью скрыты за тенью средостения и органов, расположенных в поддиафрагмальном пространстве. Изображение передних концов ребер обрывается на расстоянии 2–5 см от фудины, так как реберные хрящи не дают различимой тени на снимках. У лиц старше 17–20 лет в этих хрящах появляются отложения извести в виде узких полосок по краю ребра и островков в центре хряща. Их, разумеется, не следует принимать за уплотнения легочной ткани. На рентгенограммах легких имеется также изображение костей плечевого пояса (ключиц и лопаток), мягких тканей фудной стенки, молочных желез и органов, расположенных в фудной полости (легкие, органы средостения).

Оба легких на обзорной прямой рентгенограмме видны раздельно; они образуют так называемые *легочные поля*, которые пересекаются тенями ребер. Между легочными полями находится интенсивная тень средостения. Легкие здорового человека заполнены воздухом, поэтому на рентгенограмме представляются очень светлыми. Легочные поля имеют определенную структуру, которую называют *легочным рисунком*. Он образован тенями артерий и вен легких и в меньшей степени окружающей их соединительной тканью. В медиальных отделах легочных полей, между передними концами II и IV ребер, вырисовывается тень *корней легких*. Главным признаком нормального корня является неоднородность.

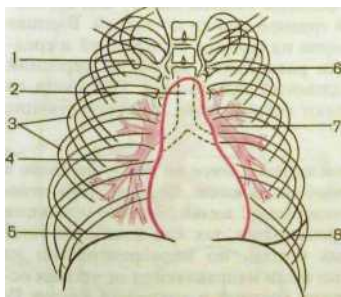


Рис. П.1.1. Передняя обзорная рентгенограмма органов грудной полости и схема к ней.

- 1 — передний конец ребра;
- 2 — трахея и главные бронхи;
- 3 — тело ребра;
- 4 — правая нижнедолевая артерия;
- 5 — диафрагма;
- 6 — задний конец ребра;
- 7 — корень левого легкого;
- 8 — контур левой молочной железы.

родность его изображения: в нем можно различить тени отдельных крупных артерий и бронхов. Корень левого легкого расположен не-много выше корня правого, его нижняя (хвостовая) часть скрывается за тенью сердца.

Легочные поля и их структура видны только потому, что в альвеолах и бронхах содержится воздух. У плода и мертворожденного ребенка ни легочные поля, ни их рисунок на снимке не отражаются. Только при первом

вдохе после рождения воздух проникает в легкие, после чего появляется изображение легочных полей и рисунка в них.

Легочные поля делят на *верхушки* — участки, расположенные выше ключиц, *верхние отделы* — от верхушки до уровня переднего конца II ребра, *средние* — между II и IV ребрами, *нижние* — от IV ребра до диафрагмы. Снизу легочные поля ограничены *тенью диафрагмы*. Каждая половина ее при исследовании в прямой проекции образует плоскую дугу, идущую от бокового отдела грудной стенки до средостения. Наружный отдел этой дуги составляет с изображением ребер острый реберно-диафрагмальный угол, соответствующий наружному отделу реберно-диафрагмального синуса плевры. Наиболее высокая точка правой половины диафрагмы проецируется на уровне передних концов V—VI ребер (слева — на 1—2 см ниже).

На боковом снимке изображения обеих половин грудной клетки и обоих легких накладываются друг на друга, но структура ближайшего к пленке легкого выражена резче, чем противоположного. Четко выделяются изображение верхушки легкого, тень грудины, контуры обеих лопаток и тени *Thin—Thix* с их дугами и отростками (рис. III.2). От позвоночника к грудины в косом направлении вниз и вперед идут ребра.

В легочном поле на боковом снимке выделяются два светлых участка: *позадигрудинное (ретростернальное) пространство* — область между грудиной и тенью сердца и восходящей аорты, а также *позадисердечное (ретрокардиальное) пространство* — между сердцем и позвоночником. На фоне легочного поля можно различить рисунок, образованный артериями и венами, которые направляются в соответствующие доли легких. Обе половины диафрагмы на боковом снимке имеют вид дугообразных линий, идущих от передней грудной стенки до задней. Высшая точка каждой дуги находится примерно на границе ее передней и средней третей. Вентральнее этой точки расположен короткий передний скат диафрагмы, а дорсальнее — длинный задний скат. Оба ската со стенками грудной полости составляют острые углы, соответствующие реберно-диафрагмальному синусу.

*Междолевыми щелями легкие делятся на доли: левое на две — верхнюю и нижнюю, правое на три — верхнюю, среднюю и нижнюю.* Верхняя доля отделяется от другой части легкого *косой междолевой щелью*. Знание проекции междолевых щелей очень важно для рентгенолога, так как позволяет устанавливать топографию внутрилегочных очагов, но непосредственно на снимках границы долей не видны. Косые щели направляются от уровня остистого отростка *Thin* к месту соединения костной и хрящевой частей IV ребра. Проекция *горизонтальной щели* идет от точки пересечения правой косой щели и средней подмышечной линии к месту прикрепления к грудины IV ребра (рис. II 1.3).

Более мелкой структурной единицей легкого является *бронхолегочный сегмент*. Это участок легкого, вентилируемый отдельным (сегментарным) бронхом и получающий питание от отдельной ветви легочной артерии. Согласно принятой номенклатуре, в легком выделяют 10 сегментов (в левом легком медиальный базальный сегмент часто отсутствует). Проекция сегментов на обзорные снимки показана на рис. III.3.

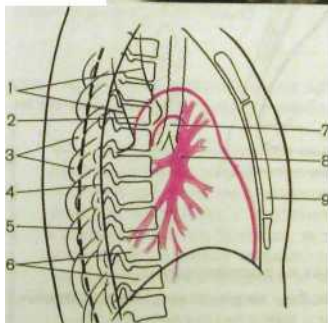


Рис. П1.2. Обзорная рентгенограмма органов грудной полости в боковой проекции и схема кней.

- 1 — край лопатки (спереди — правой, сзади — левой);
- 2 —нисходящая часть аорты;
- 3 —тела ребер левой стороны;
- 4 — задняя поверхность правого легкого;
- 5 — задняя поверхность левого легкого;
- 6 — тела позвонков;
- 7 —бифурка-ция трахеи;
- 8 —сосуды вкорне легкого;
- 9 —грудина впрофиль.

*Элементарной морфологической единицей легкого является ацинус — совокупность разветвлений одной концевой бронхиолы с альвеолярными ходами и альвеолами. Несколько ацинусов составляют легочную дольку. Границы нормальных долек на снимках не дифференцируются, но их изображение появляется на рентгенограммах и особенно на компьютерных томограммах при венозном полнокровии легких и уплотнении интерстициальной ткани легкого.*



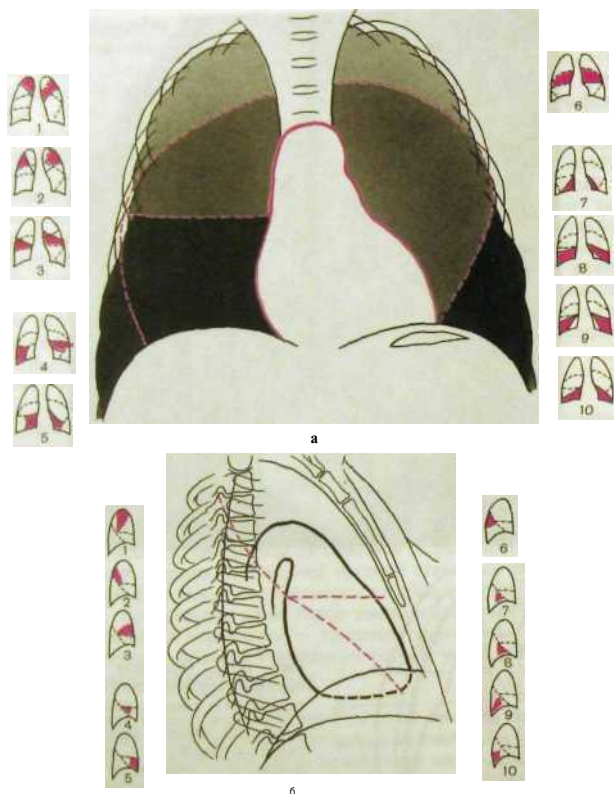


Рис. Ш.3. Проекция долей и сегментов легких на рентгенограмме.

а — на рентгенограммах в прямой проекции; б — на рентгенограммах в боковой проекции.

Цифрами обозначены номера бронхолегочных сегментов.

На обзорных рентгенограммах получается суммационное изображение всей толщи тканей и органов грудной клетки — тень одних деталей частично или полностью наслаивается на тень других. Для более углубленного изучения структуры легких применяют рентгеновскую томографию.

Как уже указывалось, различают два типа рентгеновской томографии: *линейную* и *компьютерную (КТ)*. Линейная томография может быть выпол-

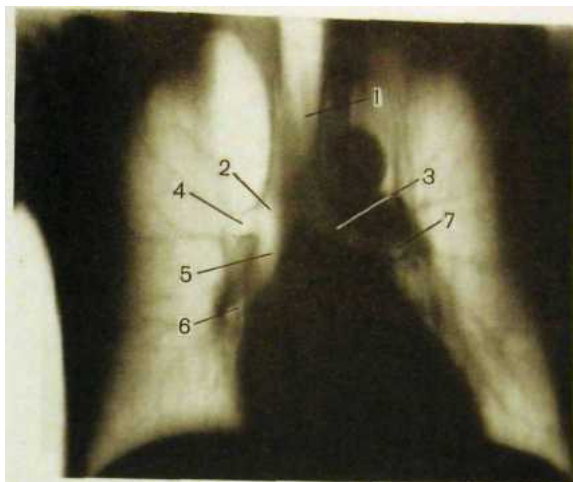


Рис. III.4. Томограмма на уровне срединной фронтальной плоскости грудной клетки.

- 1 — трахея; 2 — правый главный бронх;  
 3 — левый главный бронх;  
 4 — правый верхнедолевой бронх;  
 5 — промежуточный бронх;  
 6 — среднедолевой бронх; 7 — левый верхнедолевой бронх.

нена во многих рентгеновских кабинетах. Благодаря доступности идеше-  
 визне она пока еще широко распространена.

На линейных томограммах получается резкое изображение тех образо-  
 ваний, которые находятся в исследуемом слое. Тени структур, лежащих на иной  
 глубине, на снимке нерезкие («размазанные») (рис. III.4). Ос-  
 новные показания к линейной томографии следующие: изучение со-  
 стояния крупных бронхов, выявление участков распада или отложений извести в  
 легочных инфильтратах и опухолевых образованиях, анализ структуры корня  
 легкого, в частности определение состояния лимфа-  
 тических узлов корня и средостения.

Более ценные сведения о морфологии органов грудной полости по-  
 зволяет получить компьютерная томография. В зависимости от цели  
 исследования врач выбирает «ширину окна» при анализе изображения. Тем  
 самым он делает упор на изучение структуры либо легких, либо органов  
 средостения (рис. III.5).

В нормальных условиях плотность легочной ткани, по данным денсито-  
 метрии, колеблется от -650 до -850 Н. Такая низкая плотность объясняется  
 тем, что 92 % легочной паренхимы составляет воздух и лишь 8 % — мягкие  
 ткани и кровь в капиллярах. На компьютерных томограммах определяются

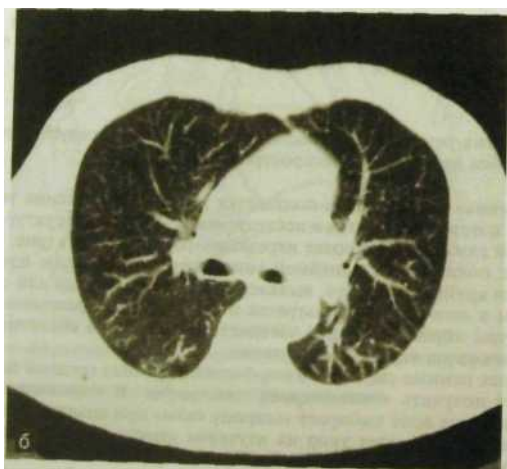
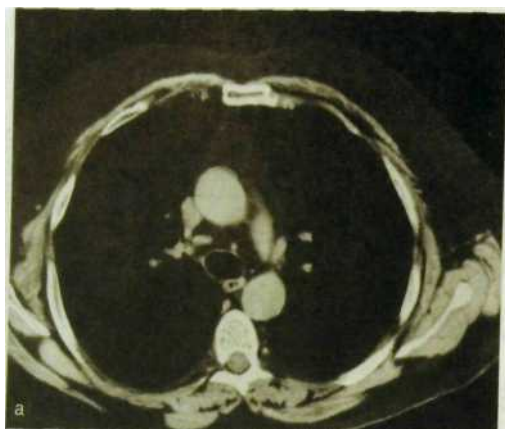


Рис. III.5. Компьютерные томограммы легких одного и того же пациента, выполненные при разных технических условиях.

а — для исследования органов средостения; б — для исследования легочной ткани.

тени легочных артерии и вен, четко дифференцируются главные долевые и сегментарные бронхи, а также межсегментарные и междолевые перегородки.

Фоном для медиастинальных органов является жировая клетчатка средостения. Ее плотность колеблется от 70 до 120 НУ. В ней могут быть заметны лимфатические узлы. В норме они круглой, овальной или треугольной формы. Если величина ума превышает 1 см, то его считают патологически измененным. С помощью срезов на разной глубине получают изображение „ре- и паратрахеальных лимфатических узлов, узлов в аортопульмональном «окне», в корнях легких и под бифуркацией трахеи. КТ играет важную роль в оценке состояния органов средостения: она позволяет изучить тонкие детали морфологии легочной ткани (оценка состояния долек и перидольковой ткани, выявление бронхоэктазий, участков бронхиальной эмфиземы, мелких очагов воспаления и опухолевых узелков). КТ часто необходима для установления отношения обнаруженного в легком образования к пристеночной плевре, перикарду, ребрам, крупным кровеносным сосудам.

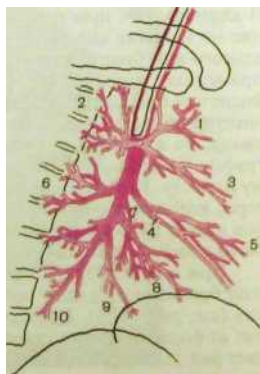
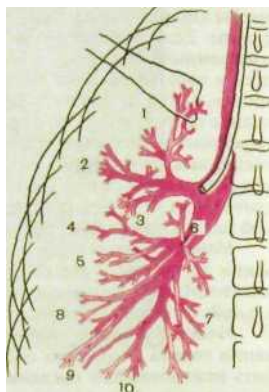
*Магнитно-резонансную томографию* пока реже используют при исследовании легких из-за низкого сигнала, который дает легочная ткань. Достоинство МРТ — возможность выделения слоев в разных плоскостях (аксиальной, сагитальной, фронтальной и др.).

*Ультразвуковое исследование* приобрело большое значение при исследовании сердца и крупных сосудов грудной полости, но оно позволяет получить немаловажные сведения также о состоянии плевры и поверхностного слоя легкого. С ее помощью небольшое количество экссудата плевральной полости выявляют раньше, чем при рентгенографии.

В связи с развитием КТ и бронхоскопии значительно сузились показания к специальному рентгенологическому исследованию бронхов — бронхографии. *Бронхография* заключается в искусственном контрастировании бронхиального дерева рентгеноконтрастными веществами (рис. III.6). В клинической практике показанием к ее выполнению является подозрение на наличие аномалии развития бронхов, а также внутреннего бронхиального или бронхоплеврального свища. В качестве контрастного вещества применяют *пропилюдон* в виде масляной взвеси или водорастворимый йодистый препарат. Исследование проводят преимущественно под местной анестезией дыхательных путей с помощью 1 % раствора дикаина или лидокаина, но в отдельных случаях, главным образом при выполнении бронхографии у маленьких детей, прибегают к внутривенному или ингаляционному наркозу. Контрастное вещество вводят через рентгеноконтрастные катетеры, которые хорошо видны при рентгеноскопии. Некоторые типы катетеров имеют систему управления концевой частью, что позволяет вводить катетер в любые участки бронхиального дерева.

При анализе бронхограмм идентифицируют каждый контрастированный бронх, определяют положение, форму, калибр и очертания всех бронхов (см. рис. III.6). Нормальный бронх имеет конусовидную форму, отходит от более крупного ствола под острым углом и под такими же углами отдает ряд последующих ветвей. В начальной части бронхов II и III порядков нередко отмечаются неглубокие циркулярные перетяжки, соответствующие местам расположения физиологических сфинктеров. Контуры тени бронха ровные или слегка волнистые.

Кровоснабжение легких осуществляется *легочными и бронхиальными артериями*. Первые составляют малый круг кровообращения; они выполняющие



Ряс. Ш.6. Бронхограммы правого легкого и схемы к ним

а — прямая проекция; б — боковая проекция; 1 — верхушечный бронх, 2 — задний, 3 — передний, 4 — наружный, 5 — внутренний, 6 — верхний нижней доли, 7 — нижне-невнутренний, 8 — нижнепередний, 9 — нижненаружный, 10 — нижнезадний.

функцию газообмена между воздухом и кровью. Система бронхиальных артерий относится к большому кругу кровообращения и обеспечивает питание легких. Бронхиальные артерии на рентгенограммах и томограммах не дают изображения, но ветви легочной артерии и легочные вены вырисовываются довольно хорошо. В корне легкого выделяется тень ветви *легочной артерии* (соответственно правой или левой), а от нее радиально отходят в легочные поля их долевые и далее сегментарные разветвления. *Легочные вены* не исходят из корня, а пересекают его изображение, направляясь к левому предсердию.



Рис. III.7, Дигитальная субтракционная ангиопульмонограмма.

Лучевые методы позволяют исследовать морфологию и функцию кровеносных сосудов легких. С помощью *спиральной рентгеновской томографии* и *магнитно-резонансной томографии* можно получить изображение начальной и проксимальных частей легочного ствола, его правой и левой ветвей и установить их взаимоотношения с восходящей аортой, верхней поллой веной и главными бронхами, проследить ветвление легочной артерии в легочной ткани вплоть до самых мелких подразделений, а также обнаружить дефекты наполнения сосудов при тромбоэмболии ветвей легочной артерии.

По специальным показаниям проводят рентгенологические исследования, связанные с введением контрастного вещества в сосудистое русло,— *ангиопульмонографию, бронхиальную артериографию, венокавографию*.

Под *ангиопульмонографией* понимают исследование системы легочной артерии (рис. III.7). После катетеризации вены локтевого сгиба или бедренной вены конец катетера проводят через правое предсердие и правый желудочек в легочный ствол. Дальнейший ход процедуры зависит от конкретных задач: если необходимо контрастировать крупные ветви легочной артерии, то контрастное вещество вливают непосредственно в легочный ствол или его главные ветви, если же изучению подлежат мелкие сосуды, то катетер продвигают в дистальном направлении до желаемого уровня.

*Бронхиальная артериография* — это контрастирование бронхиальных артерий. Для этого тонкий рентгеноконтрастный катетер через бедренную артерию вводят в аорту, а из нее — в одну из бронхиальных артерий (их, как известно, несколько с каждой стороны).

Показания к ангиопульмонографии и бронхиальной артериографии в клинической практике не очень широки. Ангиопульмонографию производят при подозрении на аномалию развития артерии (аневризма, стеноз, артериовенозный свищ) или тромбоэмболию легочной артерии. Бронхиальная артериография оказывается необходимой при легочном кровотечении (кровохарканье), природу которого не удалось установить посредством других исследований, в том числе при фибробронхоскопии.

Термином *\*кавография>* обозначают искусственное контрастирование верхней поллой вены. Изучение подключичной, безымянной и верхней поллой вен облегчает выбор венозного подхода к рациональному размещению катетеров, установке фильтра в поллой вене, определению уровня и причины обструкции венозного кровотока.



### Как заниматься научной работой

...Предлагаем очень полезный метод, позволяющий публиковаться чаще. Нужно предугадать результаты эксперимента и опубликовать их заранее. Это здорово сокращает время. Таким способом можно даже из-бавить себя от труда заканчивать эксперимент; по-скольку статья опубликована, можно заняться чем-ни-будь другим. Эта уловка в сочетании с хорошо разви-тым воображением позволяет опубликовать большое число экспериментальных статей, не проводя вообще никаких экспериментов, и тем самым сэкономить кучу государственных средств.

*А.Б. Мишаки и др. /Физики продолжают шутить.- М.: Мир, 1978)*

## 2.2. Лучевое исследование функции легких

Функциональная система дыхания состоит из множества звеньев, среди которых особое значение имеют системы легочного (внешнего) дыхания и кровообращения. Усилиями дыхательной мускулатуры вызываются изме-нения объема грудной клетки и легких, обеспечивающие их вентиляцию. Вдыхаемый воздух благодаря этому распространяется по бронхиальному дереву, достигая альвеол. Естественно, нарушения бронхиальной проходи-мости ведут к расстройству механизма внешнего дыхания. В альвеолах про-исходит диффузия газов через альвеолярно-капиллярную мембрану. Про-цесс диффузии нарушается как при поражении стенок альвеол, так и при нарушении капиллярного кровотока в легких.

По обычным рентгенограммам, произведенным в фазы вдоха и выдоха, и при рентгеноскопии можно составить ориентировочное представление о механике дыхательного акта и вентиляции легких. При вдохе передние концы и тела ребер поднимаются, межреберные промежутки расширяют-ся, диафрагма опускается (особенно за счет ее мощного заднего ската). Легочные поля увеличиваются, а прозрачность их возрастает. При необхо-димости все эти показатели могут быть измерены. Более точные данные получают при КТ. Она позволяет определить размеры грудной полости на любом уровне, вентиляционную функцию легких в целом и в любых их отделах. По компьютерным томограммам можно измерить поглощение рентгеновского излучения на всех уровнях (произвести денситометрию) и тем самым получить суммарные сведения о вентиляции и кровенаполнении легких.

Нарушения проходимости бронхов вследствие изменения их тонуса, накопления мокроты, отека слизистой оболочки, органических сужений наглядно отражаются на рентгенограммах и компьютерных томограммах. *Различают три степени нарушения бронхиальной проходимости — частичное,*

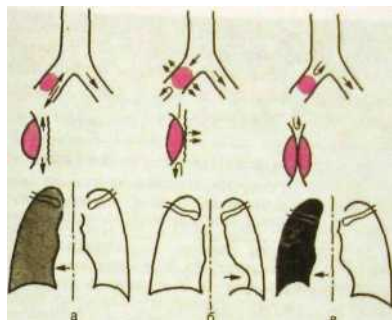


Рис. Ш.8. Типы нарушения бронхиальной проходимости и связанные с ними изменения в легких.

а — частичное закрытие правого главного бронха и гиповентиляция правого легкого; б — частичное вентильное закрытие и обтурационная эмфизема легкого; в — полное закрытие и ателектаз легкого.

*клапанное, полное и соответственно три состояния легкого — гиповентиляцию, обтурационную эмфизему, ателектаз (рис. Ш.8). Небольшое стойкое сужение бронха сопровождается снижением содержания воздуха в вентилируемой этим бронхом части легкого — гиповентиляцией. На рентгенограммах и томограммах данная часть легкого слегка уменьшается, становится менее прозрачной, рисунок в ней усиливается вследствие сближения сосудов и полнокровия. Средостение на вдохе может немного смещаться в сторону гиповентиляции.*

При обтурационной эмфиземе воздух во время вдоха, когда бронх расширяется, проникает в альвеолы, но при выдохе не сразу может выйти из них. Пораженная часть легкого увеличивается и становится светлее окружающих отделов легкого, особенно в период выдоха. Наконец, при полном закрытии просвета бронха возникает полная безвоздушность — ателектаз. Воздух уже не может проникнуть в альвеолы. Оставшийся в них воздух подвергается рассасыванию и частично заменяется отечной жидкостью. Безвоздушный участок уменьшается и обуславливает интенсивную однородную тень на рентгенограммах и компьютерных томограммах.

При закупорке главного бронха возникает ателектаз всего легкого. Закупорка долевого бронха ведет к ателектазу доли. Непроходимость сегментарного бронха завершается ателектазом сегмента. Субсегментарные ателектазы обычно имеют форму узких полосок в разных отделах легочных полей, адольковые — округлых уплотнений диаметром 1 — 5 см.

Однако основным лучевым способом исследования физиологии и выявления функциональной патологии легких стал *радионуклидный метод — сцинтиграфия*. Она позволяет оценить состояние вентиляции, перфузии и легочного капиллярного кровотока, причем получить как



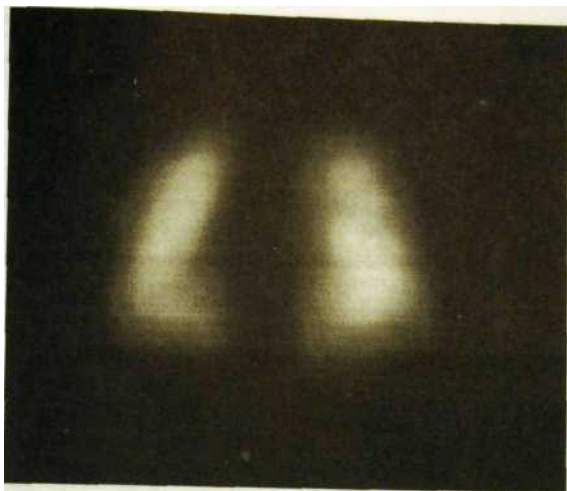
качественные, так и количественные показатели, характеризующие поступление газов в легкие и их выведение, а также обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью в легочных капиллярах.

С целью исследования кашиллярного легочного кровотока производят перфузионную сцинтиграфию, вентилиции и бронхиальной проходимости — ингаляционную сцинтиграфию. При обоих исследованиях получают радионуклидное изображение легких (рис. III.9, III.10). Для выполнения перфузионной сцинтиграфии пациенту внутривенно вводят меченные  $^{99m}\text{Tc}$  частицы ОI\бумина (микро сферы или макроагрегаты). Попадая в кровоток, они уносятся в правое предсердие, правый желудочек и затем в систему легочной артерии. Размер частиц 20—40 мкм, что препятствует прохождению их через капиллярное русло. Практически 100 % микро сфер застревает в капиллярах и испускает гамма-кванты, которые регистрируют с помощью гамма-камеры. Исследование не оказывает влияния на самочувствие пациента, поскольку из кровотока выключается лишь незначительная часть капилляров. У человека в легких имеется приблизительно 280 млрд капилляров, тогда как для исследования вводят всего 100—500 тыс. частиц. Через несколько часов после инъекции белковые частицы разрушаются энзимами крови и макрофагами.

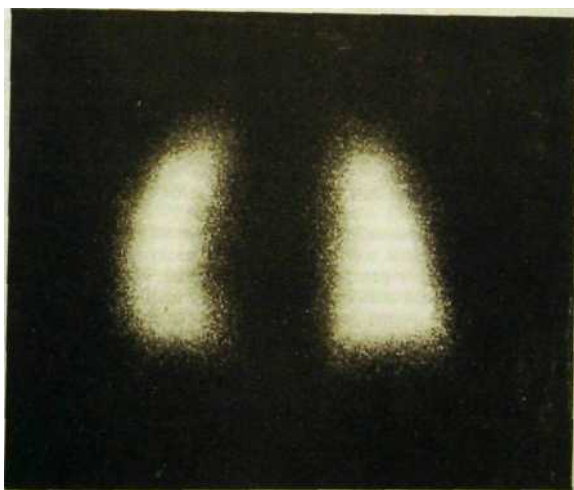
С целью оценки перфузионных сцинтиграмм проводят качественный и количественный анализ. При качественном анализе определяют форму и размеры легких в 4 проекциях: передней и задней прямых, правой и левой боковых. Распределение РФП по легочным полям должно быть равномерным. При количественном анализе оба легочных поля на экране дисплея делят на три равные части: верхнюю, среднюю и нижнюю. Суммарное накопление РФП в обоих легких принимают за 100 %. На компьютере рассчитывают относительную радиоактивность, т.е. накопление РФП в каждом отделе легочного поля, отдельно левого и правого. В норме соответственно правому легочному полю регистрируется более высокое накопление — на 5—10 %, причем концентрация РФП по полю увеличивается сверху вниз. Нарушения кашиллярного кровотока сопровождаются изменением указанных выше соотношений в накоплении РФП по полям и отделам легких.

Ингаляционную сцинтиграфию проводят с использованием инертных газов —  $^{85}\text{Kr}$  или  $^{99m}\text{Tc}$ . В закрытую систему спирографа вводят воздушно-кислородную смесь. Используя загубник и носовой зажим, создают замкнутую систему спирограф — пациент. После достижения динамического равновесия на гамма-камере записывают сцинтиграфическое изображение легких и затем проводят его качественную и количественную обработку так же, как перфузионного. Участки нарушения вентилиции легких соответствуют местам сниженного накопления РФП. Это наблюдается при обструктивных поражениях легких: бронхите, бронхиальной астме, локальном пневмосклерозе, раке бронха и др.

Для ингаляционной сцинтиграфии применяют также аэрозоли  $^{99m}\text{Tc}$ . При этом 1 мл РФП активностью 74—185 МБк вводят в распылитель ингалятора. Динамическую регистрацию производят со скоростью 1 кадр в 1 с в течение 15 мин. Строят кривую активность — время. На первом этапе исследования определяют состояние бронхиальной проходимости и вентилиции, при этом можно установить уровень и степень обструкции. На втором этапе, когда РФП диффундирует в кровяное русло через альвеолярно-капиллярную мем-



**Рис. III.9.** Перфузионная сцинтиграмма легких. Равномерное распределение РФП.



**Рис. III.10.** Ингаляционная (вентиляционная) сцинтиграмма легких. Равномерное распределение РФП.

**брану, оценивают** интенсивность капиллярного кровотока и состояние мембраны. Измерение региональной легочной перфузии и вентиляции можно выполнить и путем внутривенного введения радиоактивного ксенона, растворенного в изотоническом растворе натрия хлорида, с последующей регистрации **очистения легких** от ксенона на гамма-камере.



Молодой аспирант профессору:

— Наши шкафы на кафедре переполнены. Нужно уничтожить всю корреспонденцию, которой более 5 лет.

— Займитесь этим, — отвечает профессор, — но сначала снимите копии с документов, подлежащих уничтожению.

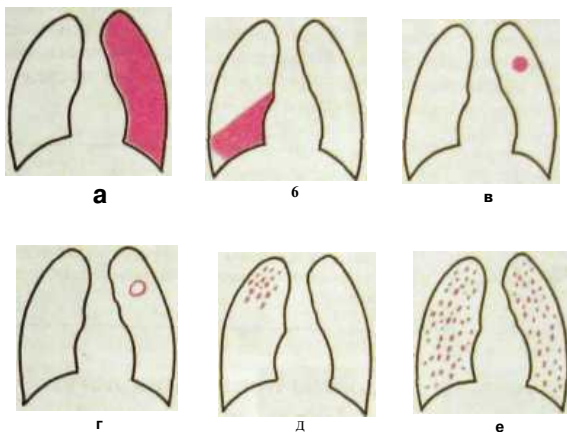
## 2.3. Лучевые синдромы поражения легких

Лучевая диагностика повреждений и заболеваний легких очень трудна. Не случайно даже сформулирован афоризм: «Ох, нелегкие эти легкие!». Сотни болезней в разных фазах своего развития создают многообразные рентгенологические и радионуклидные картины, и их бесконечные вариации кажутся порой неповторимыми. Тем не менее опытный врач, опираясь на результаты изучения анамнеза и клинической картины, знание нормальной и патологической анатомии, с завидной легкостью разбирается в типовых ситуациях и приходит к правильному заключению. Это происходит потому, что он научился определять морфологический субстрат рентгенологических симптомов. Конечно, рентгенологических признаков легочной патологии множество, но среди них выделяются три главных: затемнение легочного поля или его части, просветление легочного поля или его части, изменения легочного и корневого рисунка.

### 2.3.1. Затемнение легочного поля или его части

^ Большинство заболеваний легких сопровождается уплотнением легочной ткани, т.е. снижением или отсутствием ее воздушности. Уплотненная ткань сильнее поглощает рентгеновское излучение. На фоне светлого легочного поля появляется тень или, как принято говорить, затемнение. Положение, величина и форма затемнения зависят, естественно, от объема поражения. Различают несколько типовых вариантов затемнения (рис. 111.11). Если патологический процесс захватил все легкое, то на рентгенограмме в той или иной степени затемнено все легочное поле. Этот синдром обозначают термином «*обширное затемнение легочного поля*». Обнаружить его не составляет труда — он бросается в глаза при первом взгляде на снимок (рис. 111.12). Однако нужно сразу же определить его субстрат. Затемнение всего легочного поля чаще всего вызывается *закупоркой главного бронха и ателектазом соответствующего легкого*.

*Ателектазированное легкое* безвоздушно, поэтому тень его однородна. Кроме того, оно уменьшено, поэтому органы средостения смещены в сто-



**Рис. 11.11** Основные варианты затемнения легочного поля, а — обширное или тотальное затемнение; б — ограниченное затемнение; в — круглая тень; г — кольцевидная тень; д — очаговые тени; е — рассеяние (диссеминация) очагов в легких.

**рону затемнения.** Этих двух признаков достаточно, чтобы распознать ателектаз легкого и с помощью томографии и фибробронхоскопии точно установить его происхождение (опухоль главного бронха, его повреждение, инородное тело). Схожая картина может быть получена после удаления легкого (пневмонэктомии), но такой вариант ясен из анамнеза.

Другим патологическим процессом, при котором органы средостения смещены в сторону обширного затемнения, является *фиброторакс с циррозом легкого*. Однако при этой патологии затемнение никогда не бывает однородным: на его фоне различимы участки сохранившейся легочной ткани, вздутые долики, иногда полости, грубые фиброзные тяжи и т.д.

*Воспалительная инфильтрация* очень редко распространяется на все легкое. Если это все же произошло, то также наблюдается обширное затемнение легочного поля. Его отличают от ателектаза не только по клинической картине, но и по рентгенологическим симптомам. Органы средостения при пневмонии остаются на месте, а на фоне затемнения можно уловить просветы бронхов, заполненных воздухом.

Наконец, очень важно указать, что затемнение легочного поля может быть обусловлено не только уплотнением легочной ткани, но и *жидкостью, скопившейся в плевральной полости*. При большом *выпоте* затемнение становится обширным и однородным, как при ателектазе, но органы средостения при этом смещены в противоположную сторону! Как видите, столь «лаконичному» синдрому, как обширное затемнение легочного поля, вполне возможно дать морфологическую интерпретацию.

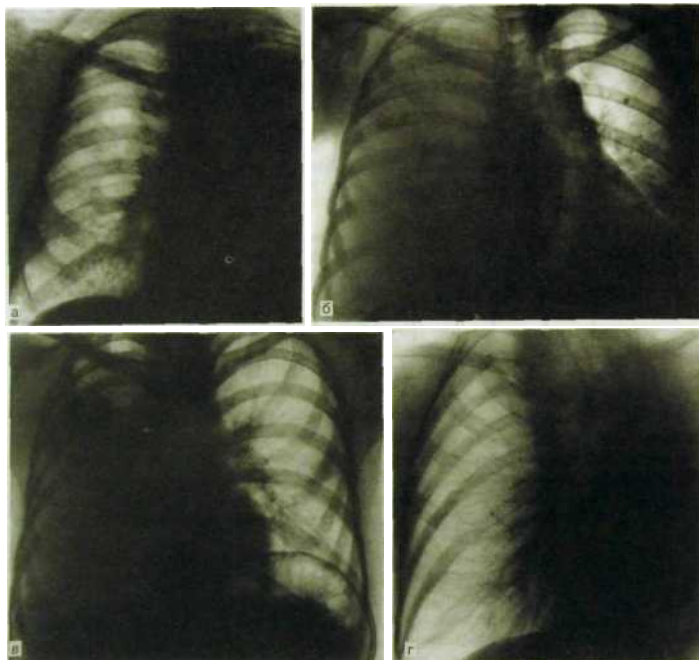


Рис. III. 12. Обширное (тотальное) затемнение легочного поля при разных патологических состояниях.

а — ателектаз левого легкого; б — правосторонний выпотной плеврит; в — воспаление правого легкого; г — фиброторакс при циррозе левого легкого.

Неизмеримо чаще патологический процесс поражает не все легкое, а только долю, часть доли, сегмент или даже субсегмент. На рентгенограммах обнаруживают тень, по положению, величине и форме совпадающую с измененной долей, сегментом или субсегментом. Этот синдром получил наименование «ограниченное затемнение легочного поля» (см. рис. III. 11). Субстратом его являются *инфильтрация легочной ткани (накопление любого экссудата в альвеолах), ателектаз или склероз легочной ткани, опухолевое разрастание.*

Обнаружив ограниченное затемнение на рентгенограммах, нужно прежде всего установить его топографию, т.е. определить, какая доля, сегмент или субсегмент уплотнен. Задача по существу простая, если имеются снимки в двух проекциях, поскольку каждая доля и каждый сегмент зани-

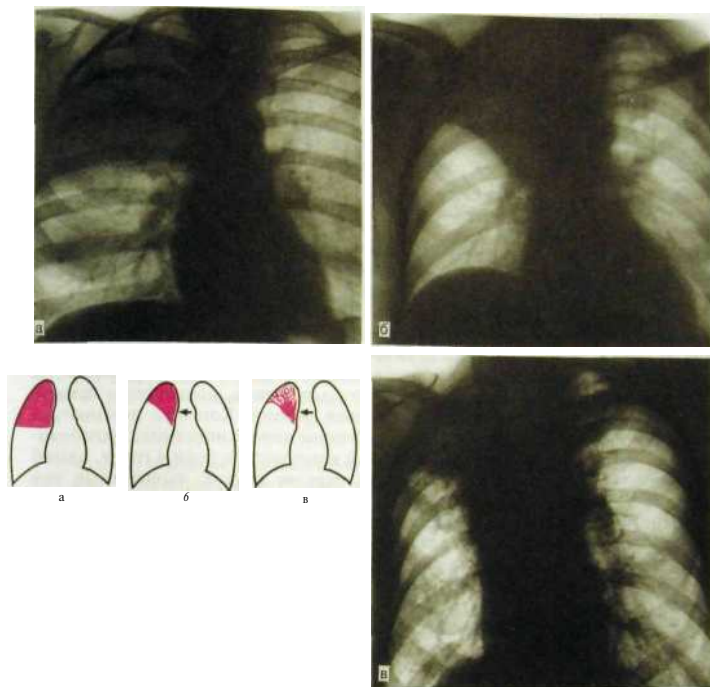


Рис. III.13. Ограниченное затемнение правого легочного поля при поражении верхней доли.

а — воспаление; б — ателектаз; в — цирроз.

мают определенное место в грудной полости (см. рис. III.3). Сложнее установить субстрат затемнения. Разумеется, данные анамнеза, результаты клинического и лабораторного исследований нередко проливают свет на природу уплотнения легочной ткани. Однако, учитывая клинические сведения, рентгенолог всегда составляет собственное мнение, руководствуясь рядом соображений. Их удобно перечислить на примере поражения верхней доли правого легкого. На рис. III.13 представлены симптомы наиболее часто выявленных патологических состояний этой доли.

При *пневмонической инфильтрации* затемнение по размерам соответствует доле, имеет четкую прямую или выпуклую книзу границу, отделяющую ее от средней доли (междолевая плевра). На фоне затемнения могут

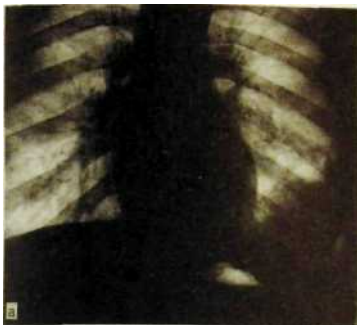
быть видны просветы бронхов. Положение средостения не изменено. При *ателектазе* доля уменьшена, нижняя граница втянута, тень однородна, а средостение слегка смещено в сторону затемнения. При *пневмоклерозе* доля также уменьшена, а средостение перетянута в ее сторону, но затемнение неоднородно: на его фоне видны просветления, соответствующие вздутым участкам сохранившейся легочной ткани или полостям, а также переплетающиеся темные полосы фиброзной ткани. В отличие от ателектаза проходимость бронхов сохранена, что прекрасно отображается на томограммах.

Приведенные соображения по дифференциальной диагностике полностью относятся к внутридолевым сегментарным патологическим процессам. Однако чем меньше объем поражения, тем обычно труднее разгадать его природу. Наиболее общие соображения здесь таковы. *Пневмоническая и туберкулезная инфильтрация* имеет вид разлитых или очаговых затемнений с нерезкими очертаниями (подробнее см. ниже). Об *опухолевом разрастании* свидетельствует более или менее отграниченная тень с неровными контурами. В ней не прослеживаются просветы бронхов, могут быть видны увеличенные лимфатические узлы в корне легкого. Уплотнение, обусловленное крупным *инфарктом легкого*, дает треугольную тень, основанием примыкающую к грудной стенке или междолевой границе. Конечно, диагностике инфаркта помогают такие факты, как наличие явного источника тромбоэмболии (например, тромбоза нижней конечности), боли в груди, одышка, кровохарканье, перегрузка правых отделов сердца, выявляемые при электрокардиографии и.

Читателю, вероятно, уже известно, что затемнение части легочного поля совсем не обязательно связано с уплотнением легочной ткани: опухоль, растущая из ребра или плевры, плевральная шварты и плевральный выпот также вызовут затемнение легочного поля, поскольку они тоже поглощают большое количество рентгеновского излучения. Однако с помощью рентгенограмм в разных проекциях и тем более компьютерных томограмм всегда можно установить краевую локализацию поражения, вне легочной ткани.

*Ограниченное затемнение* части легочного поля может быть обусловлено *диафрагмальной грыжей*, т.е. выходом органов брюшной полости в грудную полость через дефект в диафрагме. В этом случае затемнение неотделимо от контура диафрагмы, резко отграничено от легочной ткани. Если в составе грыжи находятся часть желудка или кишечные петли, то затемнение неоднородно из-за наличия просветлений, обусловленных скоплениями газа в этих органах (рис. 111.14). Все сомнения устраняет исследование, проведенное после приема больным бариевой взвеси, которая последовательно заполняет желудок и кишечник. В этом случае на снимке видно, какая часть пищеварительного канала находится в составе грыжи, и можно установить локализацию грыжевых ворот.

В особый синдром *круглой тени в легочном поле* выделяют ограниченные затемнения легочного поля, при которых тень патологического образования на снимках во всех проекциях имеет форму круга, полукруга или овала диаметром более 1 см (рис. 111.15). Такую тень обуславливает фокус поражения шаровидной или овоидной формы. Субстратом могут быть *эозинофильный инфильтрат*, *туберкулезный инфильтрат* или *тубер-*



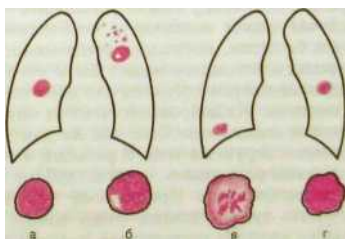
**Рис. III. 14.** Левосторонняя диафрагмальная грыжа, содержащая левый изгиб толстой кишки.

а — рентгенограмма в прямой проекции; б — рентгенограмма после заполнения толстой кишки контрастной массой: стрелками указаны грыжевые ворота.

*кулема, округлый участок пневмонической инфильтрации, инфаркт легкого, закрытая киста (бронхиальная, ретенционная, эхинококковая, альвеококковая), аневризма, доброкачественная опухоль, злокачественная опухоль (первичная или метастатическая) и многие другие патологические состояния.*

Дифференциальная диагностика одиночных и множественных круглых теней в легких иногда затруднена. В этих случаях важную роль играют данные анамнеза и клиническая картина заболевания (например, при пневмонии, инфаркте легкого, метастатических опухолях). Кроме того, большую помощь оказывает то обстоятельство, что многие заболевания, при которых на рентгенограмме видны круглые тени, встречаются редко. «Что часто, то часто, а что редко, то редко», — любят повторять старые рентгенологи. Практически приходится различать главным образом закрытые кисты, туберкулемы и опухоли легких.

*Закрытая киста* определяется как тень круглой или овоидной формы, резко ограниченная от окружающей легочной ткани (рис. III.16). Контуры ее четкие, дугообразные. Тень абсолютно однородна, если не произошло отложения извести в стенке или



**Рис. III. 15.** Рентгенологическая картина заболеваний, обуславливающих синдром круглой тени в легочном поле, а — закрытая киста; б — туберкулема; в — гамартома с известковыми включениями; г — периферический рак легкого.



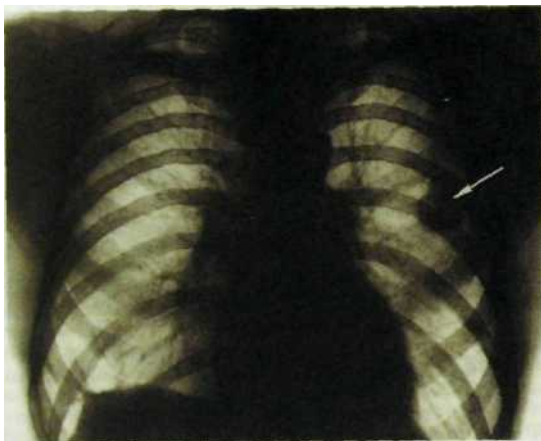
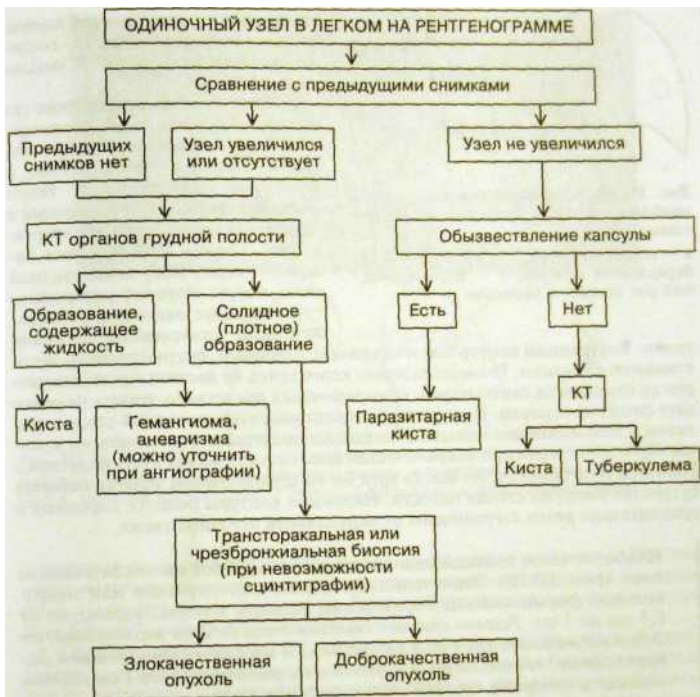


Рис. III. 16. Синдром круглой тени в легочном поле. Закрыва́тая эхинококковая киста в левом легком (указана стрелками).

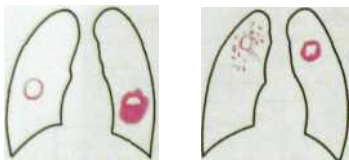
фиброзной капсуле кисты при эхинококке (выявление этих краевых кальцинации упрощает диагностику). При КТ киста сразу выдает себя, так как, по данным денситометрии, содержимым ее оказывается жидкость.

Дифференцирование *туберкулемы, доброкачественной опухоли и ракового узла* облегчается, если имеются рентгенограммы, выполненные ранее, поскольку можно установить темп роста образования. В противном случае может возникнуть необходимость в трансторакальной пункционной биопсии, поскольку рентгенологическая картина при этих патологических состояниях может быть очень схожей. Однако существуют и надежные опорные пункты для рентгенологической дифференциальной диагностики. Из доброкачественных опухолей легкого наиболее часто наблюдается *гамартома*. Она, так же как туберкулема и рак, дает на рентгенограмме округлую тень с резкими и не совсем ровными очертаниями, но ее легко распознать, если в глубине узла имеются известковые или костные включения. Признаками туберкулемы в известной степени можно считать туберкулезные очаги вокруг нее или в других отделах легких, а также наличие шелевидной полости в том месте, где в туберкулему входит дренирующий бронх. О *первичном раке легкого* свидетельствуют быстрый рост, появление узких полосок лимфангита к периферии от узла и в направлении корня легкого, увеличение лимфатических узлов в корне (подробнее см. ниже). При обнаружении в легком *одиночного шаровидного образования* рекомендуется применять следующую диагностическую программу.



Своеобразной формой затемнения является *кольцевидная тень в легочном поле* (см рис III.11) - рентгенологическое отображение полости, содержащий газ или газ и жидкость. Обязательным требованием для выделения такого синдрома служит *замкнутость кольца* на рентгенограммах в разных проекциях. Дело в том, что на снимке в какой либо одной проекции пересекающиеся тени сосудов могут напоминать кольцо. Иногда кольцевидные фигуры на снимке в одной проекции могут быть образованы костными мостиками между ребрами.

С учетом анамнеза и клинической картины, результатов анализа состояния полости и окружающей ее легочной ткани необходимо определить патологоанатомический субстрат рентгенологического синдрома. *Одиночная врожденная киста* обуславливает на снимках тонкую кольцевидную тень, расположенную на фоне неизменной легочной ткани (рис. III.17). Мно-



б

Рис. III.17. Рентгенологическая картина наиболее частых полостей в легких (схема).

а — открытая киста; б — абсцесс; в — туберкулезная каверна; г — периферический рак легкого с распадом.

жественные врожденные кисты, наслаиваясь друг на друга, создают характерную картину «мыльных пузырей».

*Полость абсцесса* содержит газ и жидкость; в ней виден характерный горизонтальный уровень жидкости. Стенки абсцесса толстые, а в окружающей легочной ткани расположена зона инфильтрации с нерезкими расплывчатыми очертаниями. *Свежая туберкулезная каверна* имеет вид кольцевидной тени, вокруг которой разбросаны туберкулезные очаги или расположен пояс уплотненной легочной

ткани. Внутренний контур полости вначале неровный, бухтообразный, затем становится гладким. Размеры каверны колеблются от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. *Периферический рак* легкого отнюдь не редко дает симптом полости. В результате распада некротизированной опухолевой ткани в нем возникает одна или несколько полостей с фестончатыми краями. По мере отторжения некротических масс полость может стать округлой с ровными очертаниями, но всегда хотя бы на ограниченном участке остается бугристая масса на стенке полости. Наружные контуры полости неровные и сравнительно резко отграничены от окружающей легочной ткани.

Наиболее часто наблюдающимся видом затемнений являются *очаговые тени* (рис. III.18) Этим термином обозначают округлые или неправильной формы теневые образования, размеры которых варьируют от 0,5 мм до 1 см. *Условно принято считать очаги до 2 мм милиарными, от 2 до 4 мм мелкими, от 4 до 8 мм средними и от 8 до 12 мм крупными.* Заметим лишь, что одиночный круглый очаг размером более 1 см обычно относят к синдрому круглой тени в легочном поле.

Число очаговых теней может быть разным. В одних случаях это одиночное образование, в других — группа рядом расположенных очагов. Иногда имеется множество очагов. Если они охватывают довольно значительную область, но не большую, чем верхушка легкого и два прилежащих межреберья на прямой рентгенограмме, говорят об ограниченной диссеминации. Большее по территории рассеяние очагов именуют распространенной диссеминацией. Встречаются, наконец, случаи диффузной диссеминации, когда очаги густо усеивают оба легких.

При анализе рентгенограмм следует прежде всего учитывать локализацию очагов. Расположение их в верхушках и наружных отделах подключичной зоны в большинстве случаев указывает на туберкулезную природу заболевания — *очаговый туберкулез легких* (см. рис. III.18). Наличие очагов в средних и нижних отделах легких характерно для *очаговой пневмонии*. С особой тщательностью необходимо анализировать контуры и структуру очагов, а также легочный фон вокруг них. Нерезкие очертания очагов — признак активного воспалительного процесса. Об этом же свидетельствуют

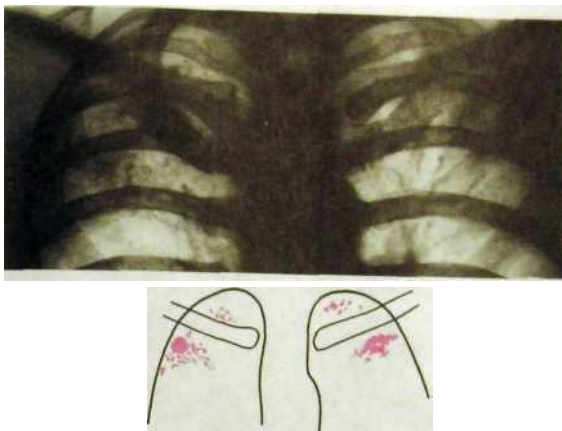


Рис. III. 18. Рентгенограмма верхних отделов легких и схема к ней. В верхушках и наружных частях первых межреберий видны множественные очаги разной плотности, местами сливающиеся. Очаговый туберкулез в фазе инфильтрации.

усиленный рисунок в той же зоне и склонность очагов к слиянию. Плотные четко очерченные очаги — свидетельство гранулематозного или же затихшего воспалительного поражения. Часть туберкулезных очагов в неактивную фазу заболевания обызвествляется.

Обычно диагностика и установление природы очаговых образований в легких при должном внимании к клиническим данным больших трудностей не вызывают. Сложности возникают главным образом при диффузных диссеминациях (см. далее). Как правило, решение выносят на основании результатов анализа обзорных рентгенограмм легких, но при наличии клинических признаков активности туберкулезного процесса или тесно сгруппированных очагов целесообразно выполнить томографию с целью выявления полостей, невидимых на обзорных снимках.

### 2.3.2. Просветление легочного поля или его части

Повышение прозрачности легочного поля или его части может быть обусловлено либо наличием воздуха в плевральной полости (*пневмоторакс*), либо уменьшением количества мягких тканей и соответственно увеличением количества воздуха в легком или его части. Такое состояние может быть следствием вздутия легочной ткани (эмфизема) или сниженного притока в легкое (малокровие легкого), что наблюдается главным образом при некоторых врожденных пороках сердца.

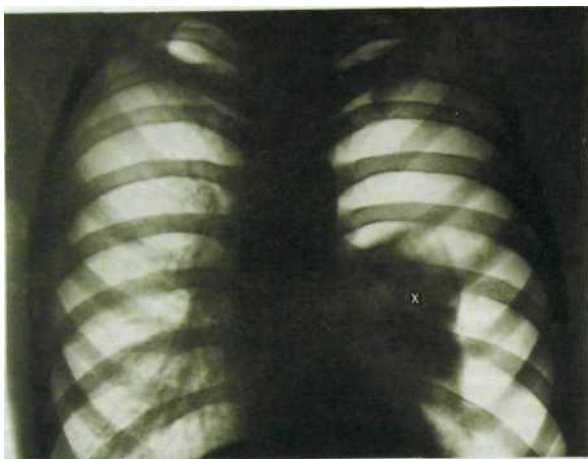


Рис. Ш.19. Обзорная рентгенограмма легких. Левосторонний пневмоторакс. Левое легкое (х) сильно спалось, прижато к средостению.

Различить указанные состояния нетрудно. В случае возникновения пневмоторакса на фоне просветления нет легочного рисунка и виден край спавшегося легкого (рис. Ш.19). При малокровии легочный рисунок обеднен, заметны лишь тонкие сосудистые веточки. Эмфизема характеризуется усилением легочного рисунка за счет расширения ветвей легочной артерии.

*Двустороннее диффузное повышение прозрачности легочных полей наблюдается при эмфиземе легких.* В случае выраженной эмфиземы наблюдается характерная картина. Легочные поля увеличены, диафрагма уплощена и расположена низко. Подвижность диафрагмы уменьшена. Прозрачность легочных полей при вдохе и выдохе меняется мало. Крупные ветви легочной артерии (долевые, сегментарные артерии) расширены, но затем вдруг калибр их уменьшается («скачок калибра»), отчего корни легких кажутся как бы обрубленными. Грудина выстоит кпереди, а позадигрудинное пространство увеличено. Сердце небольших размеров, что связано с уменьшением притока крови в него. Вследствие легочной гипертензии сокращения правого желудочка усилены.

*Компьютерные томограммы* отражают обеднение и фрагментацию легочного рисунка при эмфиземе. Рентгеновская плотность легочной ткани на вдохе необычно мала (ниже -850 HU). Разница в плотности между выдохом и вдохом меньше 100 HU.

Характерная картина повышения прозрачности части легочного поля наблюдается при *пневмотораксе* (см. рис. Ш.19).

Специального рассмотрения заслуживает прободной (спонтанный) пневмоторакс. Он возникает в результате нарушения целостности висцерального листка плевры, когда воздух из легкого внезапно начинает поступать в плевральную полость. Причиной перфорации плевры может послужить разрыв стенки каверны, абсцесса, кисты, эмфизематозного пузыря и т.д. По рентгенограммам необходимо оценить состояние легкого и установить локализацию патологического очага. Если при анализе обычных снимков это сделать не удастся, то выполняют томографию или компьютерную томографию.

### 2.3.3. Изменения легочного и корневого рисунка

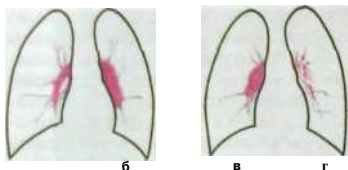
*Изменения легочного рисунка* — синдром, часто наблюдающийся при заболеваниях легких. Нередко он сочетается с нарушением структуры корня легкого. Это понятно: ведь легочный рисунок образован в первую очередь артериями, исходящими из корня, поэтому многие патологические процессы затрагивают как паренхиму легкого, так и его корень.

Оценка состояния легочного рисунка — нелегкая задача даже для рентгенолога. Это объясняется существованием разных типов ветвления легочных сосудов, немалыми возрастными и индивидуальными различиями. Тем не менее можно выделить некоторые общие показатели нормального легочного и корневого рисунка.

У здорового человека рисунок четко прослеживается в обоих легочных полях. Он составлен из прямых или дугообразных разветвляющихся полосок, кружков и овалов. Все эти фигуры — теневое отображение артерий и вен, расположенных в легких под разными углами к направлению пучка рентгеновского излучения. В прикорневой зоне находятся самые крупные сосуды, рисунок здесь богаче, а элементы его крупнее. К периферии калибр сосудов уменьшается, и в наружной зоне легочных полей заметны лишь очень мелкие сосудистые веточки. Для нормального рисунка характерны правильность ветвления, всеообразное отхождение элементов рисунка от корня к периферии, непрерывное уменьшение размеров этих элементов от прикорневой зоны до наружной, резкость контуров и отсутствие ячеистости.

Анализ рисунка целесообразно начинать с оценки изображения корней легких. Тень корня левого легкого локализуется несколько выше тени правого корня. В изображении каждого корня можно различить тени артерий и светлые полосы, соответствующие крупным бронхам (рис. III.20). В случае полнокровия легких и застоя крови в них калибр сосудов в корнях увеличивается. При фиброзе клетчатки в воротах легкого тень корня становится малодифференцированной, в ней уже не удается проследить очертания отдельных анатомических элементов. Наружный контур корня неровный, иногда выпуклый в сторону легочного поля. При увеличении бронхопульмональных лимфатических узлов в корне вырисовываются округлые образования с наружными дугообразными контурами.

Из многообразных вариантов изменений легочного рисунка особую роль играют два: его усиление и деформация. Под *усилением рисунка* понимают увеличение числа элементов на единицу площади легочного поля и



**Рис. ПП.20.** Рентгенологическое изображение корня легкого (схема), а — нормальный корень; б — инфильтрация клетчатки корня; в — увеличение корневых лимфатических узлов; г — фиброзная деформация корня.

объема самих элементов. Классическим примером служит застойное полнокровие легких, часто наблюдающееся при митральных пороках сердца. Возникающие при этом изменения двусторонние и захватывают оба легочных поля на всем протяжении. В корнях видны расширенные сосудистые стволы. Ветви легочной артерии расширены и прослеживаются до периферии легочных полей. Правильность ветвления сосудов при этом не нарушается. *Деформация рисунка* — изменение нормального положения элементов рисунка и их

формы. При этом меняется направление тени сосудов, местами эти тени имеют неровные очертания, расширяются к периферии (вследствие инфильтрации или фиброза периваскулярной ткани). Подобные изменения могут определяться на ограниченной территории и тогда чаще всего являются результатом перенесенного воспалительного процесса. Однако патологическая перестройка рисунка может затрагивать легочные поля на значительном протяжении, что встречается при диффузных (диссеминированных) поражениях легких.

К *диффузным (диссеминированным)* поражениям легких относят патологические состояния, при которых в обоих легких наблюдаются распространенные изменения в виде рассеяния очагов, увеличения объема интерстициальной ткани или сочетания этих процессов.

*Рентгенологически диффузные поражения проявляются одним из трех синдромов: 1) очаговым (нодулярным) диссеминированным поражением; 2) сетчатой (ретикулярной) перестройкой легочного рисунка; 3) сетчато-узелковым (ретикулонодулярным) поражением.*

При *диссеминированном очаговом поражении* на рентгенограммах наблюдается рассеяние множественных очагов в обоих легких (рис. 111.21). Субстрат этих очагов разный — гранулемы, кровоизлияния, разрастания опухолевой ткани, фиброзные узелки и др. Сетчатый тип диффузного поражения выражается в появлении на рентгенограммах новых элементов рисунка — своеобразной ячеистости, петлистости, напоминающей многослойную паутину. Субстратом такого рисунка является увеличение объема жидкости или мягких тканей в интерстициальном пространстве легких. При сетчато-узелковом типе на снимках определяется сочетание сетчатой перестройки и многочисленных очаговых теней, распределенных по легочным полям.

При *перфузионной сцинтиграфии легких* основным синдромом патологии является дефект в распределении РФП. По аналогии с рентгенологическими данными можно выделить обширный, ограниченный и очаговые дефекты. Отсутствие РФП в целом легком или обширный дефект в изображении легкого чаще всего наблюдается при центральной форме рака легкого.



Рис. 111.21. Диффузное обсеменение обоих легких множественными метастазами рака.

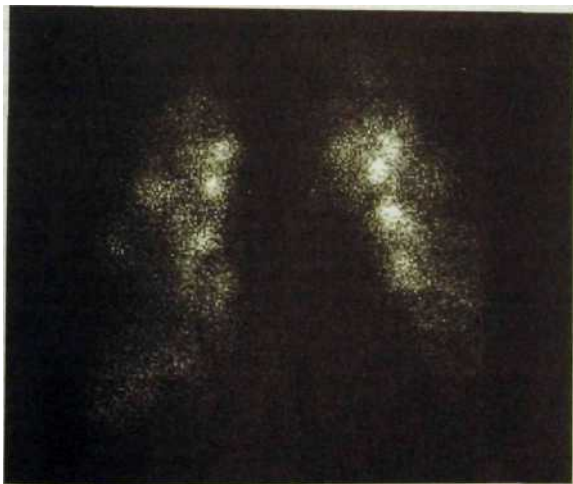


Рис. III.22. Ингаляционная сцинтиграмма легких при обструктивном бронхите. Задержка поступления РФП в участки гиповентиляции (сравните с рис. ШЛО)



го. Природа сегментарного или долевого (лобарного) дефекта бывает разной. Его может обусловить нарушение кровотока в пораженном сегменте или доле вследствие тромбоэмболии ветви легочной артерии. Он возникает при ателектазе и в зоне раковой опухоли. Значительно уменьшено накопление РФП в области пневмонической инфильтрации и отека. Субсегментарные дефекты нередко обнаруживают при обструктивном бронхите с выраженной эмфиземой и бронхиальной астме в период обострения (рис. 111.22). Очаговые дефекты в изображении вызываются теми же процессами, что и сегментарные, но они наблюдаются также при давлении на легкое плеврального выпота и в участках гиповентиляции легкого.



— Эта диссертационная работа явно плохо написана. Почему Вы решили дать о ней положительный отзыв? Профессор: Если я дам отрицательный, то отменяют защиту. А я считаю необходимым, чтобы диссертант обязательно провалился.

Норберту Винуру, отцу кибернетики, задали вопрос: — Как Вы считаете, в чем суть перехода на компьютеры?

— Это очень просто. Теперь десять тысяч человек должны работать круглые сутки в течение века, чтобы сделать столько ошибок, сколько делает хорошая машина за три секунды.

## 2.4. Лучевые симптомы поражений легких

Легочные поражения весьма многообразны. Описание их лучевой картины — задача специальных руководств и монографий. В вузовском учебнике целесообразно остановиться на семиотике наиболее важных заболеваний, с которыми студенты часто встречаются при курации больных в терапевтической и хирургической клинике.

### 2.4.1. Повреждения легких и диафрагмы

*При острой закрытой или открытой травме грудной юхетки и легких все пострадавшие нуждаются в лучевом исследовании.* Вопрос о срочности его выполнения и объеме решают на основании клинических данных. Главная задача — исключить повреждение внутренних органов, оценить состояние ребер, грудины и позвоночника, а также обнаружить возможные инородные тела и установить их локализацию. Значение лучевых методов повышается в связи с трудностью клинического осмотра больных из-за шока, острой дыхательной недостаточности, подкожной эмфиземы, кровоизлияния, резкой болезненности и т.д.

В случае необходимости выполнения неотложных реанимационных мероприятий или оперативного вмешательства лучевое исследование, заключающееся в обзорной рентгенографии легких при повышенном напряжении на трубке, проводят прямо в реанимационном отделении или операционной. В отсутствие столь экстренных показаний и при ме-

нее тяжелом состоянии пострадавшего его доставляют в рентгеновский кабинет, где выполняют рентгенограммы легких и по возможности КТ. Кроме того, целесообразно провести сонографию органов брюшной полости, в частности почек. Патологические изменения в органах грудной полости могут постепенно нарастать, а с 3-5-го дня иногда к ним присоединяется такое осложнение, как пневмония, поэтому рентгенограммы легких при повреждении внутренних органов необходимо производить повторно в течение нескольких суток.

*Переломы ребер*, сопровождающиеся смещением отломков, легко обнаруживаются на снимках. В отсутствие смещения распознаванию переломов помогает выявление параплевральной гематомы, а также тонкой линии перелома на прицельных рентгенограммах, произведенных соответственно болевой точке. Достаточно четко определяются переломы грудины, ключиц и позвонков. Обычно наблюдаются компрессионные переломы тел позвонков с различной степенью их клиновидной деформации.

Как при открытой, так и при закрытой травме грудной клетки может быть нарушена целостность легкого (его разрыв).

*Патогномоничным признаком разрыва легкого является скопление газа в плевральной полости — пневмоторакс (рис. III.23) или непосредственно в легочной паренхиме в виде полости — «травматическая киста».*

При одновременном повреждении плевры газ из плевральной полости поступает в мягкие ткани грудной стенки. На фоне этих тканей и легочных полей на снимках появляется своеобразный «перистый» рисунок — результат расслоения мышечных волокон газом. Кроме того, газ по интерстициальному пространству легкого может проникнуть в медиастинальную клетчатку, что на рентгенограммах проявляется в виде эмфиземы средостения.

Непосредственно в легочной ткани могут выделяться разные по интенсивности, форме и протяженности участки уплотнения. Они представляют собой зону пропитывания паренхимы кровью, очаги отека, субсегментарных и дольковых ателектазов. Иногда кровоизлияния в легочную ткань проявляются в виде множественных мелких очагов или, наоборот, одиночной округлой гематомы (см. рис. III.23).

*Нарушение целостности шевры сопровождается кровоизлиянием.* В большинстве случаев кровь скапливается в плевральной полости, обуславливая картину гемоторакса (см. рис. III.23). При горизонтальном положении пострадавшего гемоторакс вызывает общее понижение прозрачности легочного поля, а при вертикальном — затемнение в его наружном и нижнем отделах с косой верхней границей. Одновременное попадание в плевральную полость воздуха (при открытой травме) или газа из легкого (при разрыве легкого) обуславливает типичную картину гемопневмоторакса, при котором верхний уровень жидкости в любых положениях тела остается горизонтальным (см. рис. III.23).

*Ранение диафрагмы сопровождается высоким положением ее поврежденной половины и ограничением двигательной функции.* В случае пролапса органов брюшной полости через дефект в диафрагме рентгенолог обнаруживает в грудной полости необычное образование, ограниченное от легочной

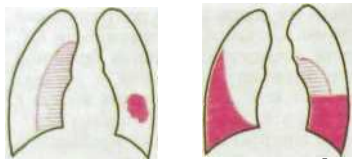


Рис. 3. Рентгенологические проявления, травмы легких и плевры (схема).

а - пневмоторакс; б - гематома в легких;  
в - гемоторакс; г - гемолневмоторакс.

ткани и примыкающее к грудно-брюшной преграде (травматическая диафрагмальная грыжа). Если в грудную полость проникли петли кишечника, то это образование состоит как бы из скоплений газа, разделенных узкими перегородками. Для такой грыжи характерна изменчивость рентгенологической картины при перемене положения тела больного и повторных исследованиях. Введение контрастной

массы в желудок и кишечник дает возможность установить, какие

отделы пищеварительного канала пролабировали в грудную полость и где располагаются грыжевые ворота: на уровне последних отмечается сужение просвета кишки (см. рис. 111.14).

К сожалению, травма органов грудной полости нередко осложняется развитием пневмонии, абсцесса, эмпиемы плевры. Лучевые методы — рентгенография, томография, компьютерная томография — обеспечивают их распознавание. При подозрении на бронхоплевральный свищ прибегают к бронхографии. Для оценки состояния капиллярного кровотока в легком и функциональной способности легочной ткани полезна скintiграфия.

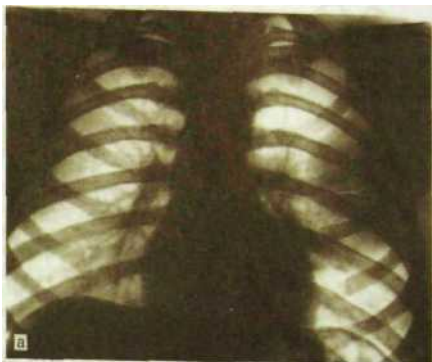
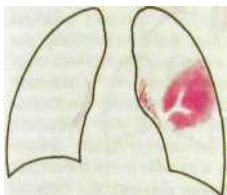
## 2.4.2. Острые пневмонии

*Острая пневмония* проявляется воспалительной инфильтрацией легочной ткани. В зоне инфильтрата альвеолы заполняются экссудатом, в связи с чем воздушность легочной ткани понижается и она сильнее, чем в норме, поглощает рентгеновское излучение. В связи с этим *рентгенологическое исследование является ведущим методом распознавания пневмоний*. Оно позволяет установить распространенность процесса, реактивные изменения в корнях легких, плевре, диафрагме, своевременно обнаружить осложнения и контролировать эффективность лечебных мероприятий.

Особенно важна рентгенография легких при атипично клинически протекающих пневмониях, вызванных микоплазмой, хламидией, легионеллой, пневмониях у больных с иммунодефицитом и внутрибольничных пневмониях, возникших после хирургических операций и искусственной вентиляции легких.

С помощью правильно проведенного рентгенологического исследования могут быть распознаны все острые пневмонии. Воспалительный инфильтрат определяется как участок затемнения на фоне наполненных воздухом легких (рис. 111.24). В этом участке нередко заметны содержащие воздух бронхи в виде узких светлых полосок. Границы инфильтрированной зоны нерезки, за исключением той ее стороны, которая примыкает к междолевой плевре.

Рентгенологическая картина долевых пневмоний определяется тем, какая доля легкого поражена (рис. 111.25). Сплошная инфильтрация целой



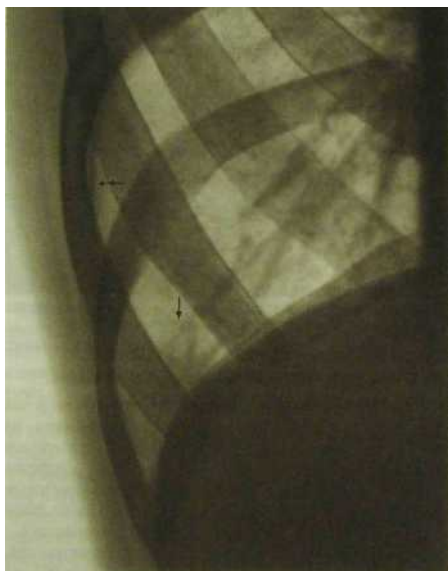
Рнс. III.24. Острая левосторонняя пневмония. Инфильтрация аксиллярного отдела верхней доли. В инфильтрате различимы узкие просветы бронхов.  
а — рентгенограмма в прямой проекции; б — в левой боковой проекции.

доли встречается нечасто. Обычно процесс ограничивается частью доли или одним-двумя сегментами. Зная местоположение сегментов, можно безошибочно определить зону поражения. При дольковых пневмониях на рентгенограммах вырисовываются затемнения округлой или неправильной формы размером 1—2,5 см с нерезкими очертаниями, расположенные на фоне усиленного легочного рисунка группами в одном легком или обоих легких. Они могут соединяться в крупные фокусы сливной пневмонии. Наблюдаются также случаи мелкоочаговой пневмонии, когда поражены главным образом ацинусы. Размеры очагов при этом колеблются от 0,1 до 0,3 см (рис. 111.26).

При острых пневмониях часто регистрируются инфильтрация клетчатки корня на стороне поражения и небольшое количество жидкости в реберно-



**Рис. III.25.** Рентгенологическая картина долевых пневмоний (схема), а — прямая проекция; б — боковая проекция; 1 — верхняя доля правого легкого, 2 — средняя, 3 — нижняя, 4 — верхняя доля левого легкого, 5 — нижняя, 6—8 — добавочные доли (варианты нормы), 9 — задняя, нижняя и доля непарной вены.



**Рис. III.26.** Прицельная рентгенограмма нижнего отдела правого легкого. Стрелкой указаны мелкие пневмонические очаги, двойной стрелкой — полоска утолщенной плевры.

диафрагмальном синусе. Подвижность соответствующей половины диафрагмы уменьшается.

В процессе выздоровления больного тень инфильтрированного участка на всем протяжении постепенно ослабевает или же распадается на отдельные мелкие участки, между которыми располагаются восстановившие свою воздушность легочные дольки. Рентгенологические изменения обычно наблюдаются дольше, чем клинические признаки выздоровления, поэтому заключение о полном излечении можно сделать на основании результатов совместной оценки клинических и рентгенологических данных. Одним из неблагоприятных осложнений пневмонии является гнойное расплавление легочной ткани с образованием абсцесса. В этих случаях в инфильтрате определяется полость, содержащая газ и жидкость (рис. III.27, III.28).

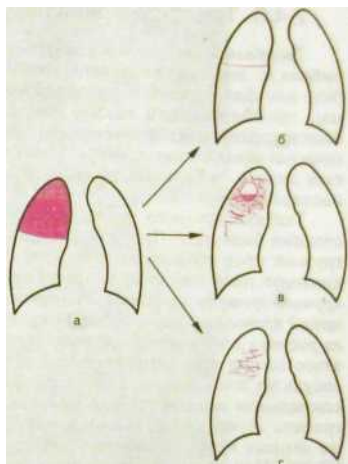


Рис. III.27. Исходы долевых пневмоний (схема).

а — инфильтрация доли; б — полное рассасывание инфильтрата; в — нагноение с образованием абсцесса; г — развитие рубцового поля.

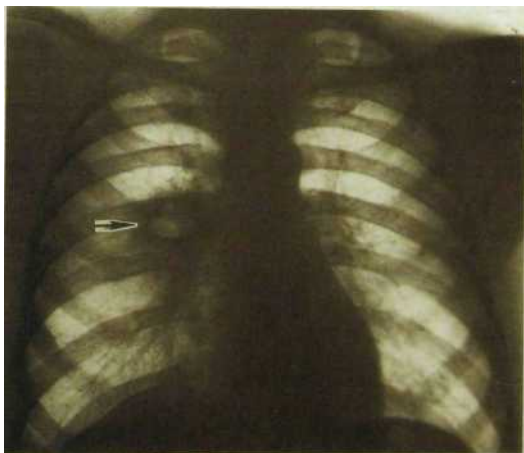


Рис. Ш.28. Правосторонняя абсцедирующая пневмония. В центре прикорневого инфильтрата — полость, содержащая жидкость и газ (указано стрелкой).

### 2.4.3. Тромбоземболия ветвей легочной артерии

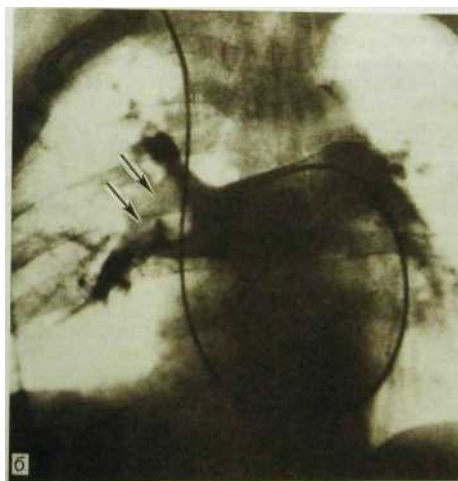
*Тромбоземболия ветвей легочной артерии* возникает вследствие заноса эмбола из вен нижних конечностей и таза (особенно часто при тромбофлебите или флеботромбозе подвздошно-бедренного сегмента венозной системы), тромбированной нижней или верхней полой вены, сердца (при тромбоэмболическом синдроме). Клиническая диагностика далеко не всегда надежна. *Клиническая триада симптомов* — одышка, кровохарканье, боли в боку — отмечается лишь у 1/4 больных, поэтому исключительную ценность имеет лучевое исследование.

Тактика лучевого исследования зависит от локализации тромба и состояния больного. При угрожающей клинической картине с резкой перегрузкой правого желудочка сердца показана срочная рентгенография или компьютерная томография органов грудной полости. *Признаками закупорки крупной артерии* являются увеличение правых отделов сердца, усиление сокращений правого желудочка, расширение верхней полой вены, ослабление легочного рисунка в зоне ветвления тромбированного сосуда. Возможно расширение этого сосуда проксимальнее пораженного отдела, а иногда и «ампутация» сосуда на этом уровне. Если есть возможность выполнить ангиографию на спиральном компьютерном томографе или магнитно-резонансную ангиографию легких, то точно определяют размеры и расположение тромба. Те же данные могут быть получены при срочной ангиопульмонографии (рис. III.29). При этом катетеризацию легочной артерии производят не только для контрастирования сосудов, но и для выполнения последующих антикоагуляционных и других эндоваскулярных вмешательств.

При менее тяжелом состоянии пациента в первую очередь также проводят рентгенографию органов грудной полости. Учитывают рентгено-логические симптомы тромбоземболии легочной артерии: расширение ствола легочной артерии, увеличение амплитуды сокращений правого желудочка сердца, ослабление сосудистого рисунка в зоне поражения, подъем диафрагмы на той же стороне, пластинчатые ателектазы в области сниженной перфузии, небольшое количество жидкости в реберно-диафрагмальном синусе.

Позднее в зоне поражения может развиваться геморрагический инфаркт. Его объем зависит от калибра тромбированной артерии и колеблется от небольшого участка обычно расположено субплеврально, а сам он отбрасывает на пленку треугольную или овальную тень (рис. III.30). При неблагоприятном течении возможны осложнения: распад тканей в зоне инфаркта, развитие абсцесса и пневмонии, плеврит.

Важную роль в распознавании тромбоземболии крупных ветвей легочной артерии играет *перфузионная сцинтиграфия*. Соответственно участку пониженного или отсутствующего кровотока обнаруживается дефект накопления РФП (рис. III.31). Чем больше этот дефект, тем более крупная ветвь артерии поражена. При эмболизации мелких ветвей отмечаются неоднородность изображения легких, наличие небольших участков поражения (рис. III.32).



Рнс. III.29. Ангиопульмонограммы.

а — легочная артерия и ее ветви не изменены; б — тромбоэмболия легочной артерии: крупные тромбы (указаны стрелками) в правой легочной артерии и ее доле-  
вых ветвях.



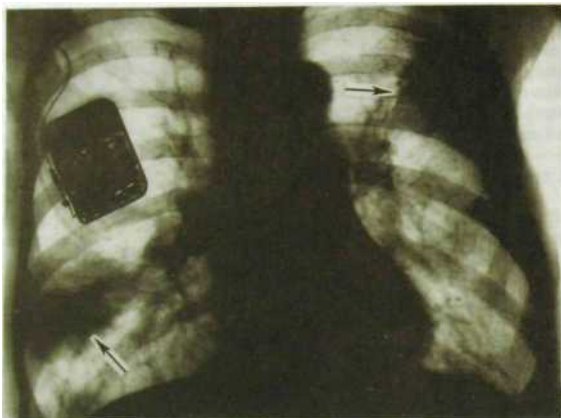


Рис. III.30. Обзорная рентгенограмма легких. Инфаркты в обоих легких (указаны стрелками). Тень высокой («металлической») плотности от прибора — водителя ритма сердца.

Конечно, результаты сцинтиграфии нужно оценивать с учетом клинических и рентгенографических данных, поскольку сходные дефекты накопления могут наблюдаться при других легочных заболеваниях, сопровождающихся снижением легочного кровотока: пневмонии, опухоли, эмфиземе. Для того чтобы повысить точность интерпретации перфузионных сцинтиграмм, производят вентиляционную сцинтиграфию. Она позволяет выявить локальные нарушения вентиляции при обструктивных заболеваниях легких: обструктивном бронхите, эмфиземе, бронхиальной астме, раке легкого. Однако именно при тромбоэмболии на вентиляционных сцинтиграммах не возникает дефектов, так как бронхи в зоне поражения проходимы.

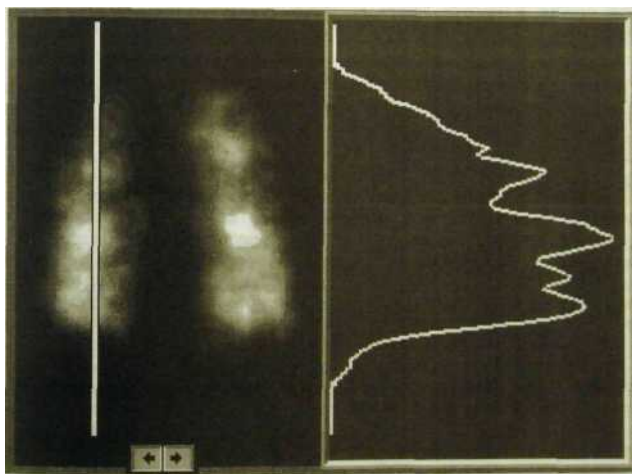
Таким образом, характерным признаком тромбоэмболии легочной артерии является дефект накопления РФП на перфузионных сцинтиграммах при нормальной картине на вентиляционных сцинтиграммах. Подобное сочетание при других заболеваниях легких практически не регистрируется.

#### 2.4.4. Хронические бронхиты и эмфизема легких

*Хронические бронхиты* — группа распространенных заболеваний, при которых имеется диффузное воспалительное поражение бронхиального дерева. Различают *простой (неосложненный)* и *осложненный бронхит*. Последний проявляется в трех формах: *обструктивный, слизисто-гнойный и смешанный бронхит*.



**Рис. III.31.** Перфузионная сцинтиграмма легких (снимок со спины). Тромбозом-  
болия левой верхнедолевой артерии. В область поражения РФП не поступил.



**Рис. Ш.32.** Перфузионная сцинтиграмма легких. Тромбозом-  
болия мелких ветвей легочной артерии. Неоднородность изображения легких. Справа — профилограм-  
ма, иллюстрирующая неоднородность распределения РФП в легком.

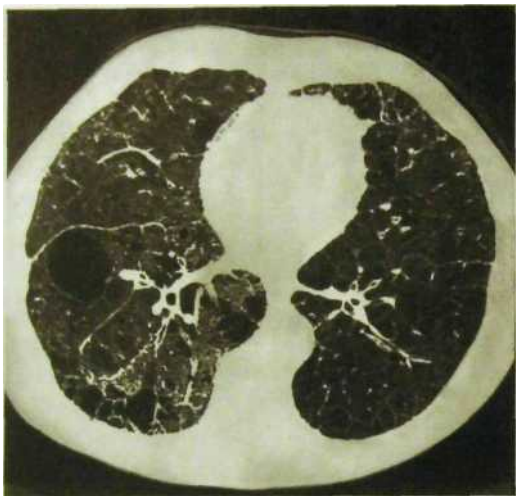


Рис. III.33. Компьютерная томограмма. Обструктивный бронхит и диффузная эмфизема легких. Структура легких значительно перестроена. Фиброзные тяжи, бронхоэктазы, небольшие буллы и крупный эмфизематозный пузырь.

В диагностике простого бронхита лучевые методы не имеют большого значения, а главную роль играет фибробронхоскопия. Задача рентгенолога — в первую очередь исключить другие поражения легких, которые могут обусловить схожие клинические признаки (туберкулез легких, рак и т.д.). На рентгенограммах отмечается лишь усиление легочного рисунка, преимущественно в нижних отделах, вследствие утолщения стенок бронхов и перибронхиального склероза. Совсем другое дело — распознавание обструктивных форм бронхита, при которых результаты рентгенологических и радионуклидных исследований служат важным дополнением к клиническим данным. На рентгенограммах, томограммах и компьютерных томограммах при обструктивном бронхите отмечаются три группы симптомов: 1) увеличение объема соединительной ткани в легких; 2) эмфизема и легочная гипертензия; 3) относительно малые размеры сердца.

Увеличение объема соединительной ткани выражается прежде всего в утолщении стенок бронхов и перибронхиальном склерозе. Вследствие этого на снимках вырисовываются, особенно в прикорневых зонах, просветы бронхов, окаймленные узкой теневой полоской (симптом «трамвайных рельсов»). Если эти бронхи отражаются в осевом сечении, то они выделяются в виде небольших кольцевидных теней с наружным неровным контуром. В связи с развитием фиброзной ткани легочный рисунок принимает сетчатый вид. Как правило, обнаруживается и фиброзная деформация корней легких.

Сужение просвета мелких бронхов ведет к развитию диффузной эмфиземы легких и легочной гипертензии. Рентгенологическая картина этих состояний была описана выше. Смещаемость ребер и диафрагмы при дыхании уменьшается, как и различия в прозрачности легочных полей на вдохе и выдохе; площадь легочных полей увеличена.

Рентгенологическая картина обструктивного бронхита настолько характерна, что обычно не возникает необходимости в специальном контрастировании бронхов - бронхографии. Бронхографические симптомы бронхита разнообразны. Наиболее важными из них считают проникновение контрастного вещества в расширенные устья бронхиальных желез (аденоэктазы), деформацию бронхов с неравномерностью контуров, спазмы бронхов в области их устья или на протяжении, незаполнение мелких ветвей, наличие маленьких полостей (каверникулы), скопления мокроты в просвете бронхов, обуславливающие различные дефекты накопления РФП в тени бронхов.

При скинтиграфии легких, помимо увеличения легочных полей и общего уменьшения накопления РФП, нередко отмечаются дефекты в его распределении (см. рис. III.22). Им соответствуют участки нарушенного кровотока и вентиляции — эмфизематозные пузыри и буллы. Очень четко вырисовываются эмфизематозные полости на компьютерных томограммах (рис. III.33).

#### 2.4.5. Хронические пневмонии и ограниченные неспецифические пневмосклерозы

*Рентгенологическое исследование позволяет распознать все формы и стадии течения хронических пневмоний.* На снимках определяется инфильтрация легочной ткани. Она обуславливает неоднородное затемнение за счет сочетания участков инфильтрации и склероза, грубых фиброзных тяжей, просветов бронхов, окаймленных полосой перибронхиального склероза (рис. III.34). Процесс может захватывать часть сегмента, часть доли, целую долю или даже все легкое. В тени инфильтрата могут быть видны отдельные полости, содержащие жидкость и газ. Картину дополняют фиброзная деформация корня легкого и плевральные наслоения вокруг пораженного отдела легкого.

Однако врача всегда подстерегает опасность принять за хроническую пневмонию *ограниченный неспецифический пневмосклероз*, который возникает вследствие перенесенной пневмонии, завершившейся не полным рассасыванием инфильтрации, а развитием фиброзного (рубцового) поля. На рентгенограммах тоже определяется неоднородное затемнение, вызванное сочетанием участков склероза и дольковой эмфиземы. Измененный отдел легкого уменьшен, в нем различимы переплетающиеся тяжи фиброзной ткани, между которыми находятся розеткоподобные светлые участки — вздутые дольки, но в отличие от пневмонии нет очагов инфильтрации и тем более мелких гнойных полостей, очертания всех теневых элементов резкие, а не расплывчатые. На повторных снимках картина не меняется. Нет и клинико-лабораторных признаков хронического воспалительного процесса, если не считать признаков регионарного бронхита, который иногда обостряется в зонах пневмосклероза.

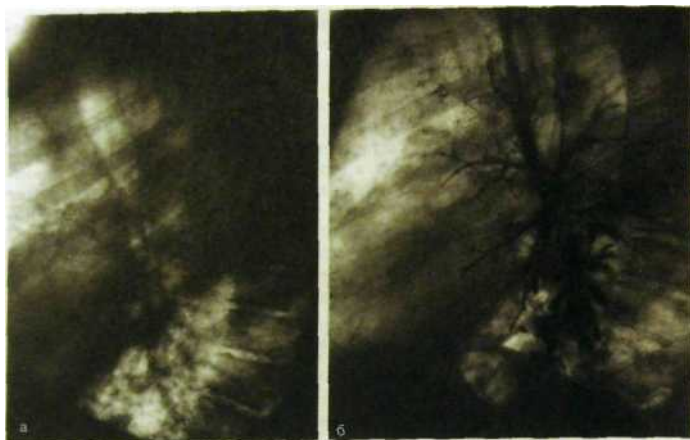
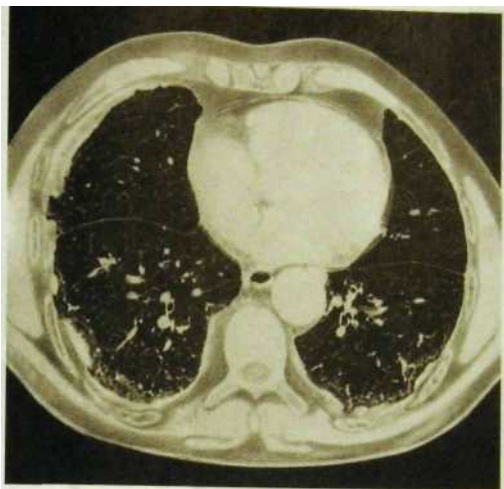


Рис. Ш.34. Хроническая неспецифическая пневмония в сочетании с пневмосклерозом. а — рентгенограмма в боковой проекции: нижняя доля уменьшена, пронизана грубыми тяжами, между которыми имеются пневмонические очаги и участки долевой эмфиземы; б — бронхограмма: бронхи сближены, деформированы, их мелкие ветви не заполняются контрастным веществом.

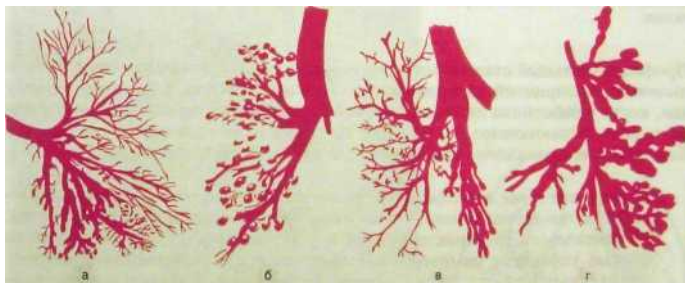
Для того чтобы получить представление о состоянии бронхиального дерева при хронической пневмонии и бронхоэктатической болезни, проводят компьютерную томографию (рис. Ш.35), и лишь в том случае, если выполнить ее невозможно, прибегают к бронхографии. По бронхограммам удастся различить изменения бронхов при указанных заболеваниях (рис. Ш.36). Как видно на рис. Ш.36, для хронической пневмонии характерна необычная картина. Изменения бронхов в зоне инфильтрации неоднотипны, контуры их неровные, участки сужения и расширения имеют разные размеры. При врожденных бронхоэктазах, наоборот, рентгенограммы разных больных словно копируют одна другую. Кистозные бронхоэктазы обуславливают множественные тонкостенные полости, не содержащие жидкости. Легочная ткань к периферии от полостей недоразвита, без очагов инфильтрации, легочный рисунок обеднен (*«кистозная гипоплазия легкого»*). При дизонтогенетических бронхоэктазах недоразвита и уменьшена часть легкого (например, вся нижняя доля). Бронхи в ней собраны в пучок, одинаково расширены и заканчиваются булавовидными вздутиями.

## 2.4.6. Пневмокониозы

При современном развитии промышленного и сельскохозяйственного производства проблема профилактики и раннего распознавания пылевых поражений легких — пневмокониозов — приобрела исключительное значение.



**Рис. III.35.** Компьютерная томограмма. Асбестоз легких. На фоне интерстициального фиброза и эмфиземы множественные бронхоэктазы. Крупные бляшки на плевре.



**Рис. III.36.** Различные типы поражения бронхиального дерева.

а — изменения бронхов нижней доли легкого и язычка при хронической пневмонии; б — кистозные бронхоэктазы; в — дизонтогенетические («ателектатические») бронхоэктазы; г — большие кистозные бронхоэктазы.

Главную роль здесь, несомненно, играет рентгенологическое исследование. Разумеется, диагностика основывается прежде всего на данных о многолетней работе пациента в условиях повышенного содержания неорганических и органических пылей в воздухе, но анамнестические сведения не всегда помогают.



**Рис. III.37.** Рентгенограмма правого легкого и схема к ней. Интерстициальный тип пневмокониоза. Видна мелкая сетчатость — проявление уплотнения межзачной ткани.

Профессиональный стаж может оказаться небольшим, а надежность противопылевых мероприятий на производстве — недостаточной. Еще коварнее случаи, когда у работника пылевой профессии развивается не пневмокониоз или не только пневмокониоз, но и другое диссеминированное поражение легких. Клинические проявления пневмокониоза в ранних стадиях скудны.

*Ранняя, как и вся последующая, диагностика пневмокониозов основывается на результатах анализа рентгеновских снимков высокого качества. В зависимости от характера пыли и реактивности организма больного первые уловимые симптомы выражаются преимущественно в интерстициальных или очаговых изменениях, поэтому выделяют три типа заболеваний: интерстициальный, узелковый и узловой.*

*Интерстициальный тип* первоначально проявляется нежной сетчатостью легочного рисунка в прикорневых зонах. Постепенно уплотнение межзачной ткани и соответственно перестройка легочного рисунка распространяются по легочным полям с некоторой тенденцией шадить верхушки и основания легких (рис. III.37). Впрочем, при асбестозе и талькозе сетчатость рисунка наблюдается главным образом в нижних отделах. Очаговые образования при асбестозе отсутствуют, но возникают плевральные наслоения, иногда мощные, в которых могут быть отложения извести. Интерсти-

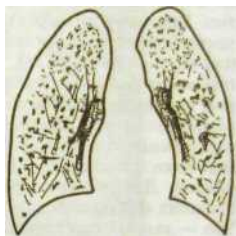


Рис. 111.38. Обзорная рентгенограмма легких и схема к ней. Узелковый тип пневмокониоза. Многочисленные плотные очаги в обоих легких. Фиброзная деформация корней легких.

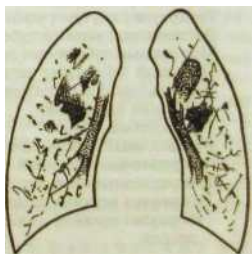
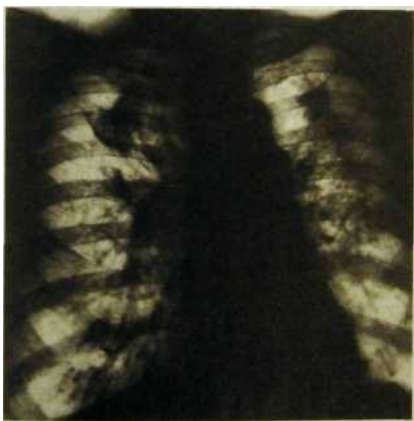


Рис. III.39. Обзорная рентгенограмма легких и схема к ней. Узловой тип пневмокониоза. Большие участки уплотнения легочной ткани в верхних отделах. Мелкие множественные узелки на фоне интерстициального фиброза. Контуры сердца неровные из-за плевроперикардиальных сращений.



циальные изменения преобладают при пневмокониозе шлифовальщиков, алюминозе, вдыхании пыли вольфрама и кобальта, антракозе.

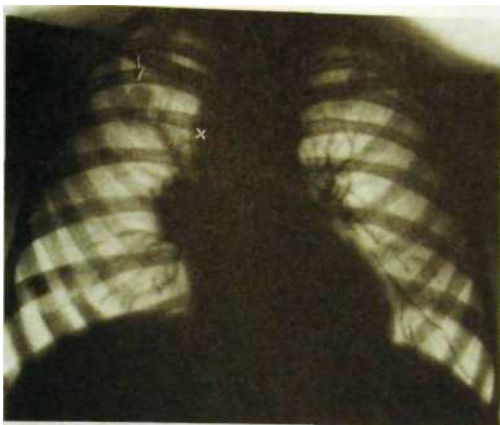
Развернутая картина силикоза и пневмокониоза шахтеров характеризуется наличием множественных очагов на фоне диффузного сетчатого фиброза, т.е. наблюдается *узловый тип* болезни. Пневмокониотические узелки обусловлены разрастанием соединительной ткани вокруг пылевых частиц. Размеры очагов различны — от 1 до 10 мм, форма неправильная, очертания неровные, но резкие. Более густо они расположены в средних и нижних отделах (рис. III.38). Корни легких увеличены, фиброзно уплотнены, в них могут быть увеличены лимфатические узлы (очень показательно краевое, скорлупообразное обызвествление таких узлов). Периферические отделы легких вздуты. Признаком повышения давления в малом круге являются расширение крупных ветвей легочной артерии, небольшие размеры сердечной тени, гипертрофия мышцы правого желудочка, углубление его сокращений. Дальнейшее прогрессирование болезни ведет к формированию больших фиброзных полей и участков уплотнения (большие затемнения). Это — *узловой тип* поражения (рис. III.39). Распознавание его не составляет труда. Необходимо лишь исключить нередко наблюдающееся сочетание конгломеративного пневмокониоза с туберкулезом легких.

## 2.4.7. Туберкулез легких

В основу всех мероприятий по борьбе с туберкулезом положен принцип предупреждения заражения и раннего распознавания болезни. Целям раннего выявления служат проверочные флюорографические обследования различных контингентов здорового населения, а также правильная и своевременная диагностика туберкулеза в амбулаториях, поликлиниках и стационарах общемедицинской сети. Клиническая классификация туберкулеза была утверждена Приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации № 34 от 22 ноября 1995 г. Она обязательна для всех лечебно-профилактических учреждений страны. В соответствии с этой классификацией различают следующие формы туберкулеза органов дыхания.

Первичный туберкулезный комплекс.  
Туберкулез внутригрудных лимфатических узлов.  
Диссеминированный туберкулез легких.  
Милиарный туберкулез легких.  
Очаговый туберкулез легких.  
Инфильтративный туберкулез легких.  
Казеозная пневмония.  
Туберкулема легких.  
Кавернозный туберкулез легких.  
Фиброзно-кавернозный туберкулез легких.  
Туберкулезный плеврит (в том числе эмпиема).  
Туберкулез верхних дыхательных путей, трахеи, бронхов и др.  
Туберкулез органов дыхания, комбинированный сплываемыми заболеваниями легких.

*Различают две фазы течения туберкулеза: а) инфильтрация, распад, обсеменение; б) рассасывание, уплотнение, рубцевание, обызвествление.* Как видно, клиническая классификация туберкулеза легких основывается на морфологических данных, выявляемых при рентгенологическом исследовании.



**Рис. III.40.** Первичный туберкулезный комплекс. Первичный очаг (указан стрелкой) в верхней доле. «Дорожка» от очага к корню легкого. Увеличены лимфатические узлы в корне и паратрахеальные (χ).

Задачи рентгенологического исследования при обследовании больных с туберкулезом легких:

- 1) установить наличие туберкулезного процесса в легких;
- 2) охарактеризовать морфологические изменения в легких и внутригрудных лимфатических узлах;
- 3) определить форму и фазу болезни;
- 4) контролировать динамику процесса и эффективность терапии.

Первичный туберкулезный комплекс — очагацинозная или дольковой пневмонии, обычно расположенный субплеврально. От него к корню легкого тянутся узкие полоски лимфангита. В корне же определяются увеличенные лимфатические узлы — характерный признак первичного туберкулеза (рис. III.40). Видимая на снимках тень в легочном поле состоит из центрального творожистого участка и перифокальной зоны, которая обусловлена серозно-лимфоцитарным пропитыванием тканей. Под влиянием специфической терапии перифокальная зона уменьшается к концу 3—4-й недели и рассасывается за 3—4 мес. Лимфатические узлы постепенно уменьшаются, уплотняются. В течение 2—3 лет в легочном очаге и лимфатических узлах откладываются соли извести. Обызвестленный первичный очаг получил название очага Гона. Его обнаруживают при проверочных рентгенологических исследованиях у 10—15 % здоровых людей.

Туберкулез внутригрудных лимфатических узлов — основная форма внутригрудного туберкулеза, наблюдающаяся в детском возрасте. На рентгенограммах определяются увеличение одного или обоих корней легких и потеря дифференцированности их тени (рис. III.41). В одних случаях в корне вырисовываются увеличенные лимфатические

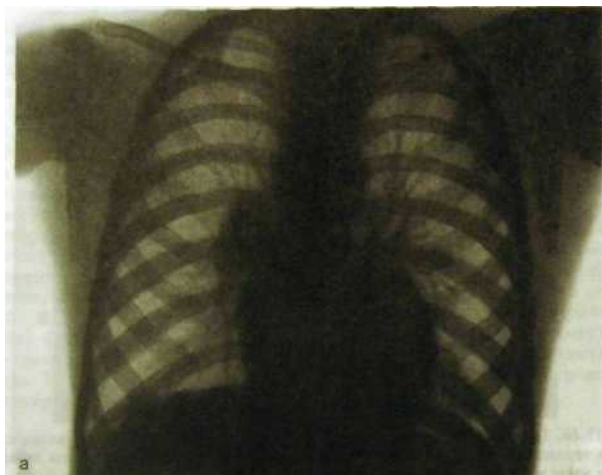


Рис. III.41. Туберкулез внутригрудных лимфатических узлов. Пакет увеличенных лимфатических узлов в корне правого легкого.

а — рентгенограмма; б — томограмма.

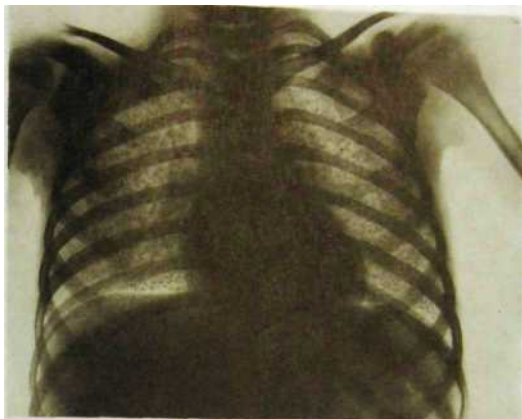


Рис. П1.42. Острый милиарный туберкулез у ребенка. Легкие усеяны множественными мельчайшими однотипными очагами.

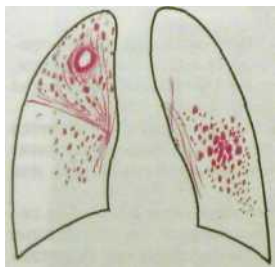
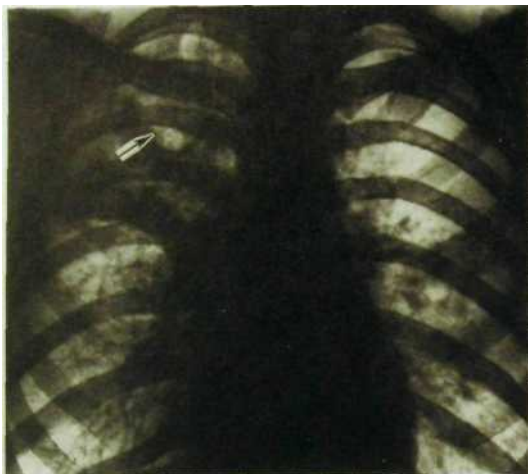
узлы, в других — их очертания теряются в тени перифокальной инфильтрации. Выявлению гиперплазии лимфатических узлов помогает томография, особенно компьютерная. По мере излечения узлы уменьшаются, в корне остаются фиброзные изменения.

**Диссеминированный туберкулез легких** встречается в различных формах (милиарный, острый и хронический диссеминированный), причем рассеяние очагов может происходить гематогенным или бронхогенным путем.

При остром гематогенно-диссеминированном туберкулезе в легочных полях определяются множественные равномерно распределенные однотипные очаговые тени. Легкие при этом умеренно вздуты, но прозрачность их снижена, а легочный рисунок частично скрыт за очаговой россыпью (рис. П1.42).

Хронический гематогенно-диссеминированный туберкулез характеризуется волнообразным течением с повторным высыпанием и частичным рассасыванием очагов. Для него характерно двустороннее поражение верхушек и дорсальных отделов верхних долей (рис. П1.43). Очаги разнообразны по величине, множественные, обычно продуктивные. Они расположены на фоне усиленного легочного рисунка (за счет фиброза). Слияние очагов и их распад приводят к возникновению тонкостенных каверн. Они служат источником бронхогенного обсеменения — появления ацинозных или дольковых очагов уплотнения легочной ткани в средних и нижних отделах легких.

**Очаговый туберкулез** — это фактически сборная группа различных по генезу туберкулезных поражений легких послепервичного периода. Их отличительная черта — наличие неравномерно и асимметрично расположенных очагов разных формы и размера, преимущественно в вер-



**Рис. Н1.43.** Обзорная рентгенограмма легких и схема к ней. Хронический диссеминированный туберкулез. Многочисленные очаги, местами сливающиеся, и каверна в верхней доле правого легкого (указана стрелкой). Очаги бронхогенной диссеминации в среднем отделе левого легкого.

хушках и подключичных отделах легочных полей (см. рис. III.18). На передней рентгенограмме общая протяженность поражения не должна превышать ширины двух межреберных промежутков (не считая верхушек), иначе говорят уже не об очаговом, а о диссеминированном процессе.

Инfiltrативный туберкулез легких отображается на рентгенограммах как типичное ограниченное затемнение легочного поля. Субстратом затемнения является перифокальное воспаление вокруг вновь образовавшегося или обострившегося старого туберкулезного очага. Протяженность и форма затемнения варьируют в широких пределах: то это округлый фокус в подключичной зоне, то крупная облаковидная тень, соответствующая какому-либо субсегменту или сегменту, то инфильтрация легочной ткани вблизи междолевой щели (так называемый перисциссурит: от

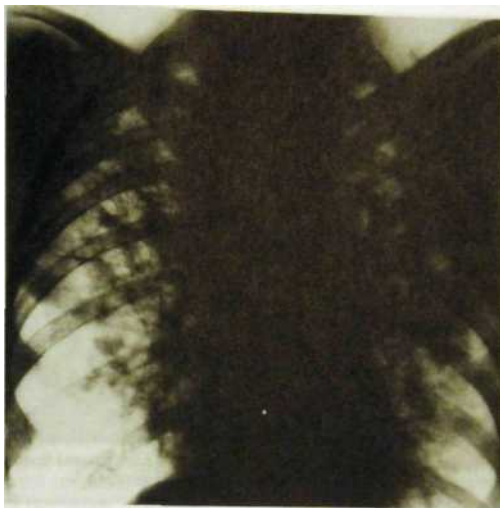


Рис. III.44. Двусторонняя дольковая казеозная пневмония.

«сцисса» — междолевая щель). Динамика инфильтрата различна. В благоприятных случаях перифокальное воспаление полностью рассасывается, а казеозный центр уплотняется. На снимках остается небольшое фиброзное поле или уплотненный очаг, но наблюдается расплавление инфильтрата с образованием каверны. Иногда весь инфильтрат подвергается творожистому перерождению, инкапсулируется и превращается в туберкулему.

Казеозная пневмония принадлежит к тяжелым формам туберкулезного поражения. Она характеризуется инфильтрацией целой доли легкого с быстро возникающим казеозным распадом и образованием полостей или появлением множественных дольковых очагов, также склонных к слиянию и распаду (рис. III.44).

Туберкулема легких — один из вариантов прогрессирования легочного очага или инфильтрата. На рентгенограммах выявляется округлой, овальной или не совсем правильной формы тень с резкими и слегка неровными контурами (см. рис. 11.13). Тень интенсивная, иногда в ней выделяются более светлые участки распада полулунной формы или более плотные включения — отложения извести. В легочной ткани вокруг туберкулемы или на расстоянии от нее могут быть видны тени туберкулезных очагов и посттуберкулезных рубцов, что помогает в дифференциальной диагностике с первичным раком легкого (см. ниже).

Кавернозный туберкулез легких возникает как следствие распада легочной ткани при любых формах туберкулеза. Его характерный

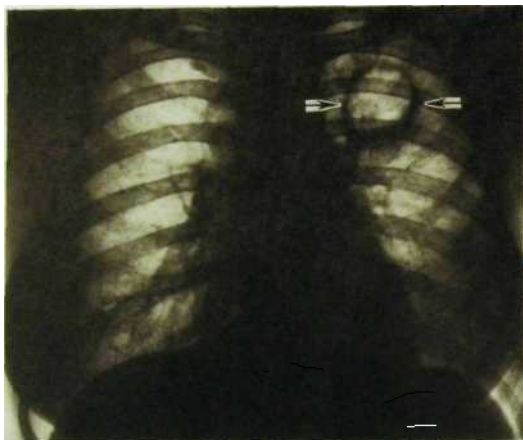


Рис. III.45. Большая туберкулезная каверна (указана стрелками) в подключичной зоне левого легкого, связанная «дорожкой» с корнем легкого.

рентгенологический признак — наличие кольцевидной тени в легочном поле (рис. III.45). Иногда каверна ясно вырисовывается на обзорных или прицельных рентгенограммах. В других случаях она плохо различима среди тени туберкулезных очагов и склероза легочной ткани. В этих случаях помогает томография. При свежем кавернозном туберкулезе склеротические явления обычно незначительные, но в дальнейшем наступает сморщивание пораженных отделов, которые пронизаны грубыми тяжами и содержат многочисленные туберкулезные очаги: процесс переходит в фазу цирроза.

Цирротический туберкулез легких — конечный этап прогрессирования туберкулеза, сопровождающегося распадом легочной ткани. Пораженная часть легкого, чаще всего верхняя доля, резко уменьшена, склерозирована. Ее тень на снимках неоднородна из-за сочетания участков склероза, деформированных туберкулезных каверн, плотных очагов, отдельных вздутий легочной ткани. Органы средостения смещены в сторону поражения, межреберные промежутки сужены, имеются плевральные наслоения, соседние отделы легких вздуты.

#### 2.4.8. Первичный рак легкого

Первичный рак легкого в ранних фазах развития не дает отчетливых субъективных симптомов и ясной клинической картины. Несоответствие клинических проявлений болезни и анатомических изменений служит причиной того, что больной не обращается к врачу. На пути болезни должна быть преграда — массовое обследование населения с применением флюоро-

графии или рентгенографии. Ежегодному обследованию подлежат контингенты, у которых наиболее часто развивается рак легкого: курящие мужчины старше 45 лет и лица, страдающие хроническими заболеваниями легких. У всех больных, у которых на флюорограммах или рентгенограммах обнаружены изменения в легких, необходимо в первую очередь исключить рак.

Основные методы рентгенодиагностики первичного рака легкого — рентгенография легких в двух проекциях при высоком напряжении на трубке и томография или КТ легких. С их помощью можно обнаружить обе основные формы рака — центральную и периферическую.

Центральный рак исходит из эпителия сегментарного, долевого или главного бронха. В ранней фазе изображение опухоли трудно заметить из-за ее малой величины и большого числа теней в корне легкого, поэтому при небольших кровохарканьях неясной природы или необъяснимом кашле, сохраняющемся более 3 нед, показано бронхологическое исследование. Затем при преимущественно эндобронхиальном росте опухоли появляются симптомы нарушения вентиляции и кровотока в сегменте или доле, связанной с бронхом, просвет которого сужен опухолью. Рентгенологическая картина этих нарушений — гиповентиляции, обструктивной эмфиземы и, наконец, ателектаза — описана выше (см. с. 181). В этих случаях проводят томографию или КТ. Малейшее сужение бронха, неровность его контуров, дополнительная тень в просвете подтверждают предположение об опухолевом процессе.

При преимущественно экзобронхиальном росте опухоли и местном утолщении стенки бронха тень на томограммах появляется сравнительно рано, а затем, когда размер ее превысит 1 — 1,5 см, становится заметной и на рентгенограммах. Схожие признаки наблюдаются и при перибронхиальном узловатом раке. Наоборот, при разветвленном перибронхиальном раке изображение узла опухоли отсутствует. В прикорневой зоне определяется участок усиленного рисунка, составленный из извилистых полосок, радиарно расходящихся в легочное поле и сопровождающих сосудисто-бронхиальные разветвления. Тень корня плохо дифференцирована. На томограммах можно заметить сужение просвета долевого или сегментарного бронха и отходящих от него ветвей. При скинтиграфии выявляют отчетливое нарушение кровотока в легочном поле. В конце концов при всех вариантах роста центрального рака возникает ателектаз сегмента, доли или всего легкого (рис. III.46).

*Рентгенологическим выражением малого периферического рака является одиночный очаг в легком (рис. III.47). Его особенности следующие: 1) небольшая величина (предел различимости на флюорограмме 4—5 мм, на рентгенограмме 3 мм); 2) малая интенсивность тени (даже при диаметре 10-15 мм эта тень слабее, чем тень туберкулемы или доброкачественной опухоли); 3) округлая форма; реже встречаются также тени треугольной, ромбовидной и звездчатой формы; 4) относительно нерезкие контуры (тоже по сравнению с тенью кисты или доброкачественной опухоли). Известковые включения наблюдаются редко — лишь в 1 % случаев периферического рака.*

По мере роста опухоли тень ее становится более округлой, но края ее более фестончатые или просто бугристые, что хорошо определяется на ли-





**Рис. III.46.** Рак переднего сегментарного бронха. Небольшое уплотнение корня правого легкого и узкая тень, пересекающая правое легочное поле (указана стрелками), — отображение резко спавшегося переднего сегмента (ателектаза).

а — рентгенограмма легких в прямой проекции; б — в боковой.

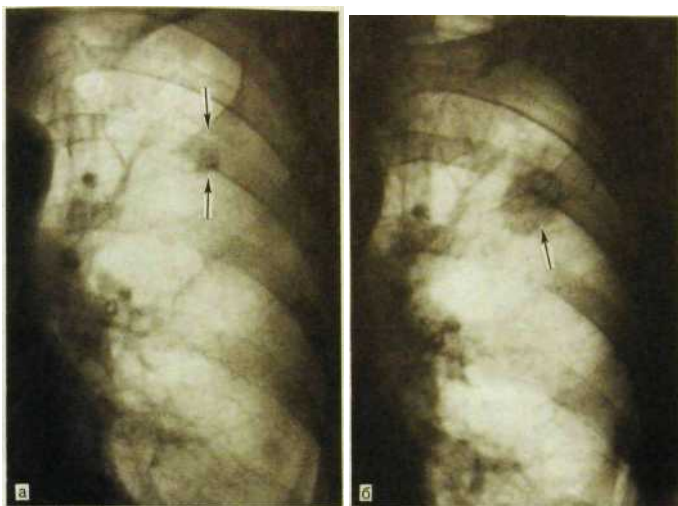


Рис. III.47. Фрагменты рентгенограмм легких одной и той же больной.  
а — маленький периферический рак легкого (указан стрелками); б — заметное увеличение опухоли (указана стрелками) через 5 лет.

нейных и компьютерных томограммах (рис. III.48). Характерны также более выраженная неровность на каком-либо одном участке и втяжение на контуре в том месте, где в опухоль входит бронх. Тень опухоли неоднородная, что объясняется бугристостью ее поверхности. В случае распада в тени опухоли появляются просветления. Они могут иметь вид двух-трех маленьких полостей или одной большой краевой либо центрально расположенной полости. Известна и так называемая полостная форма рака, когда на снимках вырисовывается округлая полость, напоминающая каверну или кисту (рис. III.49). Раковую природу ее выдает неровность внутренней поверхности и бугристое утолщение на ограниченном участке одной из стенок полости (симптом «кольца с перстнем»). При опухолях диаметром более 3–4 см нередко определяются «дорожки» к плевре и корню легкого.

При наличии рентгенограмм, выполненных в разные сроки, можно установить примерный темп роста опухоли (см. рис. III.47). В общем время удвоения ее объема варьирует от 45 до 450 дней. У лиц пожилого возраста опухоль может расти очень медленно, так что ее тень порой почти не меняется в течение 6–12 мес.

Ценные сведения получают при КТ. Она позволяет уточнить распространенность центрального рака, прорастание его в органы средостения, состояние внутригрудных лимфатических узлов, наличие выпота в полости

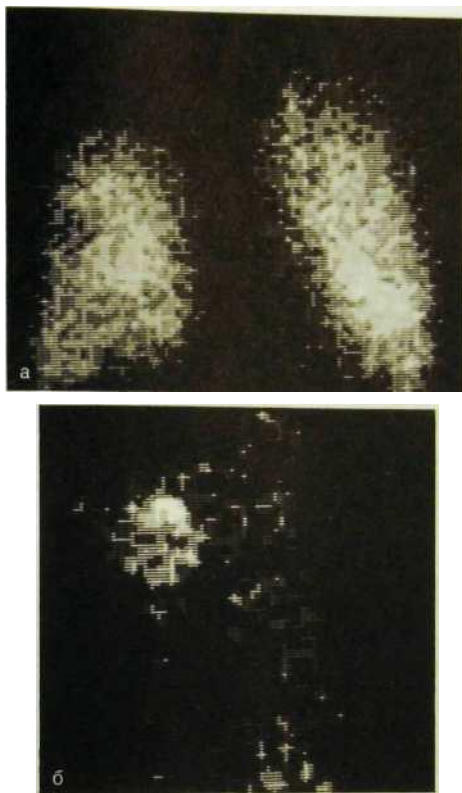


**Рис. III.48.** Рентгенологическая картина периферического рака легкого.

а — линейная томограмма: четко выделяется крупное бугристое образование с неровными контурами, связанное дорожкой с корнем легкого; б — компьютерная томограмма: бугристое образование в легком, лучистые тени вокруг узла (лимфангит) и метастазы в корне легкого.



**Рис. III.49.** Периферический рак легкого с распадом (полостная форма рака). Внутренняя поверхность полости неровная. В нижнем отделе полости — бугристое образование (х).



**Рис. III.50.** Рак бронха.

а — перфузионная сцинтиграмма легких, выполненная с  $^{99m}\text{Tc}$ -макроагрегатами: дефект накопления РФП в области опухоли; б — сцинтиграмма, произведенная с опухоротропным препаратом цитратом  $^{67}\text{Ga}$ : усиленное накопление РФП в опухоли.

плевры и перикарда. При периферическом узле в легком КТ дает возможность исключить доброкачественные опухоли, содержащие участки жира или окостенения (в частности, гамартомы). Плотность ракового узла превышает 60 НУ, но если она более 140 НУ, то обычно это доброкачественная опухоль. По томограммам очень четко прослеживается прорастание периферического рака в ребро. Кроме того, обнаруживают раковые узелки,

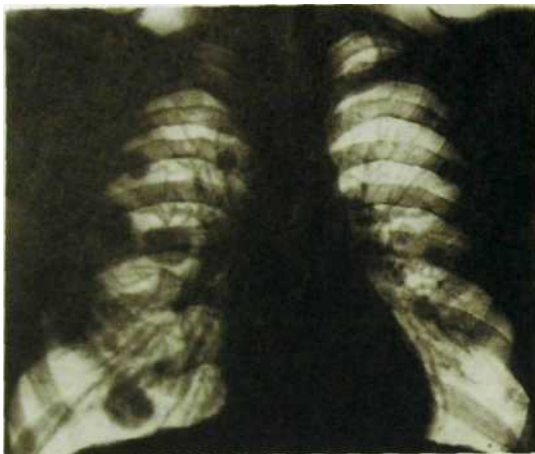


Рис. III.51. Обзорная рентгенограмма легких. Множественные метастазы злокачественной опухоли в легких.

которые на обычных снимках нелегко заметить (в околомедиастинальных или краевых субплевральных зонах).

Вспомогательным приемом в диагностике рака легкого и его метастазов в лимфатических узлах средостения является сцинтиграфия с цитратом галлия. Этот РФП обладает способностью накапливаться как в узлах рака, так и в скоплениях лимфоидной ткани при лимфогранулематозе, лимфосаркоме, лимфолейкозе (рис. III.50). Свойством концентрироваться в раковой опухоли легкого обладает также препарат технеция —  $^{99m}\text{Tc}$ -сесамиби.

*Практически во всех случаях операбельного рака необходимо выполнить бронхоскопию или трансторакальную пункцию с целью получения кусочка ткани для его микроскопического исследования. Под контролем телевизионной рентгеноскопии удастся пунктировать большинство легочных и медиастинальных образований, но в отдельных случаях, когда трудно попасть в небольшую «мишень» и выбрать оптимальную траекторию движения иглы, пункцию производят под контролем КТ. Тонкую биопсийную иглу вводят по линейному курсору. С помощью нескольких срезов устанавливают, что конец иглы находится в правильном положении.*

Многие злокачественные опухоли (рак легкого, рак молочной железы, саркома, остеогенная саркома и др.) склонны к метастазированию в легкие. Картина достаточно типична, когда в легких выявляются несколько или много округлых опухолевых узелков (рис. III.51). Сложнее диагностика ракового лимфангита, когда извилистые полосы словно пронизывают нижние отделы легочных полей. Это поражение особенно характерно для метастазирования в легкие рака желудка.

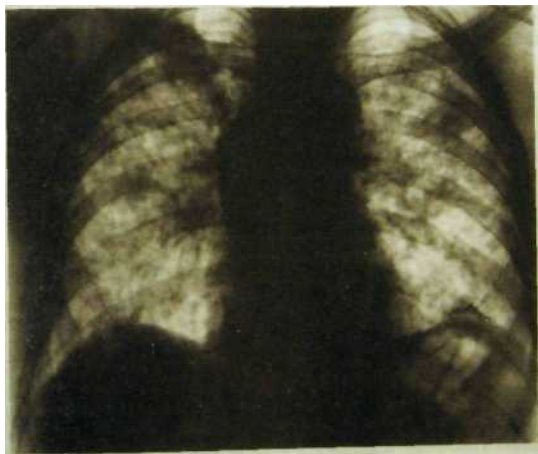
#### 2.4.9. Диффузные (диссеминированные) поражения легких

*Под диффузными (диссеминированными) поражениями легких понимают распространенные изменения обоих легких в виде рассеяния очагов, увеличения объема интерстициальной ткани или сочетания этих состояний.*

К числу часто наблюдающихся очаговых поражений относятся все формы диссеминированного туберкулеза, карциноматоз легких, острый бронхиолит, детские инфекции.

На рентгенограммах, линейных и компьютерных томограммах определяются множественные однотипные или разнокалиберные очаги в обоих легких. В зависимости от величины очагов различают милиарное обсеменение (очаги размером 0,5—2 мм), мелкоочаговое (2—4 мм), среднеочаговое (4—8 мм) и крупноочаговое (более 8 мм).

Увеличение объема интерстициальной ткани легких выражается на рентгенограммах в усилении легочного рисунка, который принимает вид нежной или более грубой сетки. Раньше всего эту сетчатую перестройку структуры легких обнаруживают на компьютерных томограммах. По ним удается судить о состоянии междольковых перегородок, наличии перибронхиальных уплотнений, экссудата в альвеолярной ткани, долевой эмфиземы, мелких гранулематозных узелков. К числу часто выявляемых сетчато-узелковых поражений относятся пневмокониозы, саркоидоз, экзогенные и эндогенные аллергические альвеолиты, токсические альвеолиты, лекарственная болезнь, раковый лимфангит и все формы идиопатического фиброзирующего альвеолита, в том числе синдром Хаммена—Рича (рис. III.52).



**Рис. III.52.** Диффузное поражение легких при саркоидозе. В нижнем отделе левого легкого над куполом диафрагмы определяется металлический шов (после биопсии).