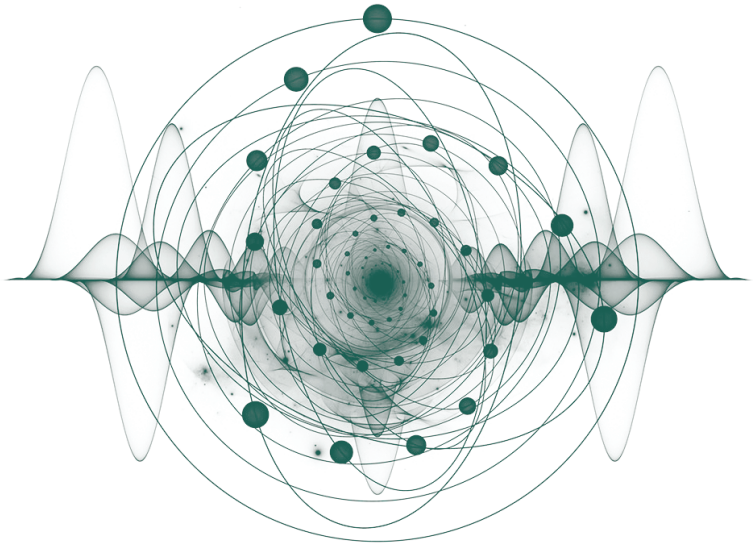


ТОМОСИНТЕЗ



Москва
2020

УДК 615.8
ББК 53.6
В 191

Рецензенты

Таубин Михаил Львович —
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель направления «Ядерная медицина и рентгеновская техника» ФГУП «НИИ НПО ЛУЧ», ГК «РОСАТОМ»

Меских Елена Валерьевна —
доктор медицинских наук, заведующая научно-исследовательским отделом профилактики, комплексной (включая лучевую) диагностики и лечения заболеваний молочной железы (Федеральный маммологический центр) ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России

Амосов Виктор Иванович —
доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой рентгенологии и радиационной медицины
ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Минздрава России

Дьячкова Галина Викторовна —
доктор медицинских наук, профессор,
заведующая лабораторией рентгеновских и ультразвуковых методов диагностики
ФГБУ «РНЦ «ВТО» имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России

Васильев А.Ю.
В 191 Томосинтез / Васильев А.Ю. — М.: Издательство ИКАР, 2020. — 224 с.: ил.

ISBN 978-5-7974-0661-7

В монографии изложены основы практического применения методики томосинтеза при различных клинических ситуациях. Рассмотрены основные физико-технические принципы методики томосинтеза, показаны рентгеновские аппараты с функцией томосинтеза, разрешенные к применению на территории РФ. Большое внимание уделено методике проведения исследования различных органов и систем, показания к ее назначению и ограничения. В отдельных главах описана нормальная рентгеноанатомия на серии цифровых томограмм.

Представлены возможности методики в маммологии, пульмонологии, фтизиатрии и педиатрии.

Иллюстрационный материал, используемый в монографии, получен авторским коллективом. Даны рекомендации по внедрению томосинтеза в широкую клиническую практику.

Монография предназначена врачам-рентгенологам, преподавателям кафедр лучевой диагностики, аспирантам, клиническим ординаторам и студентам медицинских вузов.

Монография издана при содействии Фонда развития лучевой диагностики

УДК 615.8
ББК 53.6

ISBN 978-5-7974-0661-7

© Васильев А.Ю., 2020
© Оформление. АО «Издательство ИКАР», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ 6

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 7

ВВЕДЕНИЕ 8

ГЛАВА 1
ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТОМОСИНТЕЗА 11

1.1. Краткая историческая справка о развитии методики томосинтеза 12
1.2. Способы получения проекционных данных в томосинтезе 13
1.2.1. Способ плоскопараллельного перемещения 14
1.2.2. Способ вращения в ограниченном угле 16
1.2.3. Комбинированный способ 17
1.3. Алгоритмы реконструкции изображения в томосинтезе 18
1.3.1. Алгоритм сдвига и сложения 18
1.3.2. Алгоритм обратного проецирования 20
1.3.3. Алгоритм обратного проецирования с фильтрацией 21
1.3.4. Перспективные алгоритмы реконструкции, используемые в томосинтезе 22
1.4. Артефакты реконструкции в томосинтезе 22
1.5. Технические средства для реализации методики томосинтеза 24
1.5.1. Аппараты для общей рентгенодиагностики 24
1.5.2. Флюорограф с возможностью томосинтеза 30
1.5.3. Маммографы с возможностью томосинтеза и их физико-технические особенности 33
1.6. Радиационная нагрузка на пациента при томосинтезе 40
Список литературы 42

ГЛАВА 2
РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОМОСИНТЕЗА
В ДИАГНОСТИКЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
(на основе данных мировой литературы) 47

Список литературы 56

ГЛАВА 3
ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ 59

3.1. Система BI-RADS 60
3.2. Плотность ткани молочных желез 62
3.3. Клинико-инструментальные ориентиры, противопоказания и особенности проведения методики томосинтеза молочных желез 63
3.4. Методология томосинтеза молочной железы 64
3.5. Протокол описания томограмм 67
3.6. Преимущества методики томосинтеза молочных желез 67
3.7. Недостатки использования методики томосинтеза 68
3.8. Возможности томосинтеза в диагностике и дифференциальной диагностике патологии молочных желез 68
Клиническое наблюдение 1 68
Клиническое наблюдение 2 70
Клиническое наблюдение 3 70
Клиническое наблюдение 4 73
Клиническое наблюдение 5 74
Клиническое наблюдение 6 79
Клиническое наблюдение 7 81
Клиническое наблюдение 8 83
Клиническое наблюдение 9 86
Клиническое наблюдение 10 88
Клиническое наблюдение 11 91
Список литературы 93

ГЛАВА 4
ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ 95

4.1. Методика проведения томосинтеза органов грудной клетки 96
4.2. Нормальная рентгеноанатомия органов грудной клетки при томосинтезе 99
4.3. Возможности томосинтеза в диагностике заболеваний и повреждений органов грудной клетки 109
Список литературы 141

ГЛАВА 5
ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ТУБЕРКУЛЕЗНОГО ПОРАЖЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА 143

5.1. Методика проведения томосинтеза позвоночника 144
5.2. Нормальная рентгеновская анатомия позвоночника при томосинтезе 150
5.3. Томосинтез в диагностике туберкулеза позвоночника 158
Пример № 1 177
Пример № 2 181
5.4. Выводы 184
Список литературы 185

ГЛАВА 6
ТОМОСИНТЕЗ В ПЕДИАТРИИ 187

6.1. Показания к проведению томосинтеза у детей 188
6.2. Ограничение методики томосинтеза у детей раннего возраста 188
6.2.1. Особенности томосинтеза при обследовании детей 189
6.2.3. Параметры сканирования костно-суставной системы у детей 191
6.2.4. Параметры сканирования органов грудной клетки у детей 191
6.2.5. Рентгеноанатомические особенности костно-суставной системы у детей 192
6.2.6. Рентгеноанатомические особенности органов грудной клетки у детей и подростков 193
6.2.7. Возможности томосинтеза в диагностике заболеваний органов грудной клетки у детей и подростков 196
6.3. Возможности томосинтеза в диагностике заболеваний костно-суставной системы 201
6.3.1. Возможности томосинтеза при исследовании позвоночника 201
6.3.2. Возможности томосинтеза в диагностике заболеваний кисти и стопы 204
6.3.3. Возможности томосинтеза при выявлении образований костей 206
Список литературы 210

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 211

БЛАГОДАРНОСТИ 213

ГЛОССАРИЙ 215

АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

Васильев Александр Юрьевич — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» МЗ РФ, кафедра лучевой диагностики

Грязнов Артем Юрьевич — доктор технических наук, профессор, ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», заместитель директора Института фундаментального инженерного образования

Нечаев Валентин Александрович — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики»

Павлова Тамара Валерьевна — кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ГБУЗ «ГКБ им. В.М. Буянова ДЗМ»

Потрахов Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор, ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)», кафедра электронных приборов и устройств

Цыбульская Юлия Александровна — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры лучевой диагностики Института профессионального образования ПМГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)

Шолохова Наталия Александровна — кандидат медицинских наук, заведующая отделением лучевой диагностики ГБУЗ «ДГКБ святого Владимира ДЗМ», доцент кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «МГМСУ имени А.И. Евдокимова» Минздрава РФ

Шутихина Ирина Викторовна — кандидат медицинских наук, начальник образовательного отдела ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

КЛКТ — конусно-лучевая компьютерная томография

КТ — компьютерная томография

МБТ — микобактерия туберкулеза

МСКТ — многосрезовая компьютерная томография

МЖ — молочные железы

ММГ — маммография

МРТ — магнитно-резонансная томография

НДКТ — низкодозовая компьютерная томография

ОГК — органы грудной клетки

РМЖ — рак молочной железы

ХОБЛ — хроническая обструктивная болезнь легких

ЦР — цифровая рентгенография

УЗИ — ультразвуковое исследование

BP — back projection, алгоритм обратного проецирования

IR — iterative reconstruction, алгоритм итеративной реконструкции

FBP — filtered backprojection, алгоритм обратного проецирования с фильтрацией

FOV — field of view, поле зрения

SAA — shift and add, алгоритм сдвига и сложения

ВВЕДЕНИЕ

Рентгенодиагностика неизменно занимает центральное место в процессе обследования и лечения больных. Современная рентгенология быстро развивается благодаря впечатляющему прогрессу методов и методик цифровой рентгенографии, к которым относится и томосинтез. Чтобы применять новые технологии, необходимо понимать ряд свойственных им основных технических и медицинских аспектов. С другой стороны, нельзя забывать об основной клинической задаче рентгенолога, а именно – проводить диагностику быстро и точно.

Техническое развитие в области обработки изображений в последние годы достигло беспрецедентно высокого уровня и во многом привело к существенным изменениям. Разнообразие медицинской визуализации требует от клинициста проводить анализ результатов в сотрудничестве с рентгенологом и выбирать из возможных методик диагностики наиболее эффективную.

В последние годы в клиническую практику стала активно внедряться методика томосинтеза. Благодаря созданию цифровых приемников рентгеновского изображения и повышению быстродействия вычислительных систем, обрабатывающих большое количество данных, в настоящее время томосинтез стал высшей ступенью развития принципа линейной томографии, позволяющей проводить послойную визуализацию объекта с произвольными параметрами количества, толщины реконструируемых слоев и расстоянием между ними.

По своему диагностическому потенциалу методика томосинтеза обладает высокой эффективностью в выявлении ранних структурных патологических процессов и в динамическом контроле течения различных заболеваний во время лечения.

Томосинтез весьма перспективен как методика первичного обследования пациента и как технология, которая в ряде случаев позволит отказаться от проведения высокодозовой многосрезовой компьютерной томографии.

Области применения томосинтеза разнообразны, но наиболее изучены в настоящее время в маммологии, пульмонологии и фтизиатрии. Безусловно, показания к применению томосинтеза будут расширяться и методика зарекомендует себя в новых областях применения, таких как оториноларингология, урология, остеология и др.

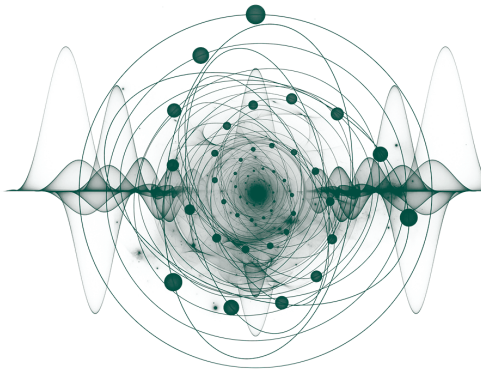
В настоящее время на территории нашей страны зарегистрировано несколько видов оборудования, позволяющего проводить томосинтез. Это относится к рентгеновским аппаратам общего назначения, а также к рентгеновскому оборудованию специального назначения: цифровые флюорографы и маммографы.

Авторскому коллективу монографии было очень важно ознакомить читателя с физико-техническими принципами томосинтеза, показать основы проведения методики, представить показания к ее выполнению и возможные ограничения.

Рентгеновская семиотика заболеваний имеет универсальный характер, но применение методики томосинтеза позволяет не только получить новую информацию, но и расширить и дополнить уже ранее выявленную.

Монография предназначена врачам-рентгенологам, преподавателям кафедр лучевой диагностики, аспирантам, клиническим ординаторам и студентам медицинских вузов.

Авторский коллектив данной монографии желает нашим читателям успехов в освоении и использовании томосинтеза в клинической практике и надеется, что эта книга станет им верным и надежным помощником.



1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТОМОСИНТЕЗА

1.1. КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА О РАЗВИТИИ МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА

После открытия Х-лучей, совершенного Рентгеном В.К. в 1895 году, на протяжении многих лет происходило постепенное совершенствование диагностических методик, основанных на использовании высокой проникающей способности рентгеновского излучения. При получении изображения внутреннего строения объекта практически сразу же выявился основной недостаток метода — формирование теневой картины как суммы изображений, в которую вносят свой вклад все слои исследуемого объекта.

Поэтому задача получения рентгеновского изображения каждого отдельного слоя объекта (то есть задача томографии, от греческого «томос» — слой, срез и «графо» — писать, запись) имеет давнюю и богатую историю развития.

Один из первых вариантов решения этой задачи был разработан в 1914 году, когда Майер К. предложил перемещать рентгеновскую трубку параллельно телу больного при неизменном положении приемника изображения (рентгеновской пленки в специальной кассете). При подобном перемещении на пленке остается четким изображение только одного выбранного слоя (среза, параллельного плоскости приемника), тогда как изображения объектов, лежащих выше или ниже выбранного, становятся размытыми.

В 1921 году была разработана методика, базировавшаяся на одновременном параллельном движении рентгеновской трубки и кассеты с пленкой во время экспозиции. Это приводило к тому, что слой объекта, располагающийся на выбранной глубине, получался резким (в фокусе), а изображение остальных слоев размывалось. Предложенная методика существенно повысила диагностическую ценность снимков, поскольку дала возможность более точно исследовать те изменения, которые ранее не могли быть оценены в результате перекрытия изображениями других деталей объекта.

Однако очевидно, что при использовании одного аналогового приемника (рентгеновской пленки) за один проход рентгеновской трубки получается снимок только одного слоя. Следовательно, если необходимо получить несколько срезов, расположенных на разной глубине, то в соответствии с ростом числа требуемых срезов необходимо увеличить количество экспозиций и проходов трубки над обследуемым пациентом, что, естественно, приводит к повышению дозы его облучения.

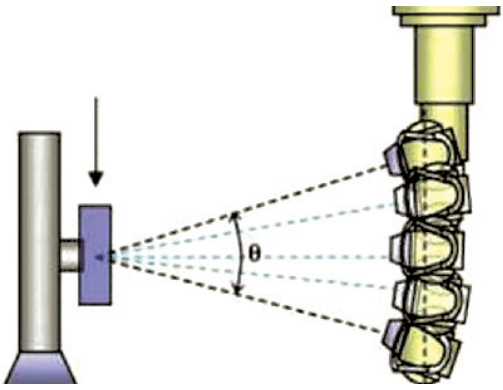
Идея единовременного получения изображения нескольких слоев (томограмм) анатомического объекта впервые была предложена в 1931 году и выражалась в создании методики пленочной симультанной томографии. В 1938 году на практике была показа-

на возможность снижения лучевой нагрузки на пациента с одновременным уменьшением размытия изображений. В то время, когда имелась возможность использования только аналоговых приемников (кассет с пленкой), это могло быть достигнуто за один проход рентгеновской трубки путем сложения нескольких рентгеновских снимков, сделанных под разными углами. С этой целью соответствующее количество кассет с пленкой складывалось стопкой друг на друга.

В 1970-х годах, когда как раз и возник термин «томосинтез» («совмещение сечений»), была описана возможность получения произвольного числа срезов. С этого же времени берет свое начало классическая томография, позволяющая получить на основе «сырых» томографических данных срез интересующего объекта под любым углом и на любой глубине.

В конце XX — начале XXI века в области рентгенографии произошла настоящая революция, связанная с созданием доступных плоскопанельных цифровых приемников рентгеновского излучения, позволяющих регистрировать изображение в реальном времени. В связи с этим методика томосинтеза получила дальнейшее развитие и стало возможным более широкое ее внедрение в клиническую практику.

1.2. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОЕКЦИОННЫХ ДАННЫХ В ТОМОСИНТЕЗЕ



Томосинтез — это рентгенологическая методика исследования, позволяющая за один проход рентгеновской трубки получить серию изображений различных слоев исследуемой области. Для этого необходимо, чтобы источник рентгеновского излучения и приемник совершали синхронное разнонаправленное перемещение. В некоторых системах приемник остается неподвижным, а движение совершает лишь рентгеновская трубка под заданным углом, который достигает 45° (рис. 1).

Рис. 1. Схема проведения томосинтеза, при которой приемник остается неподвижным
Источник: Nespoli P., Parlatano D., Cardinate L. et al. Pulmonary tomosynthesis in adult with cystic fibrosis: our preliminary experience // ECR 2013. EPOS. — Vienna., 2013. Doi: 10.1504/ecr2013/C-2204.

Сущность томосинтеза заключается в получении серии цифровых томограмм, после чего полученная серия «сырых» данных подвергается компьютерной обработке с помощью специальных алгоритмов реконструкции. Количество получаемых изображений зависит от характеристик приемников излучения, используемой рентгенооптической схемы и принципа взаимного перемещения элементов системы «источник — объект — приемник», а также от требуемого качества изображения выделенного слоя.

Определяющим фактором для реализации методики томосинтеза является способ взаимного перемещения источника излучения (рентгеновской трубки) и цифрового плоскопанельного динамического приемника изображения относительно пациента. На сегодняшний день выделяют три основных способа взаимного перемещения рентгеновской трубки и приемника изображения.

1.2.1. Способ плоскопараллельного перемещения

Первый способ заключается в том, что рентгеновская трубка и приемник изображения движутся разнонаправленно в параллельных плоскостях. Первый аналоговый аппарат такого типа был построен на основе патента Бокажа А. в 1921 году (рис. 2).

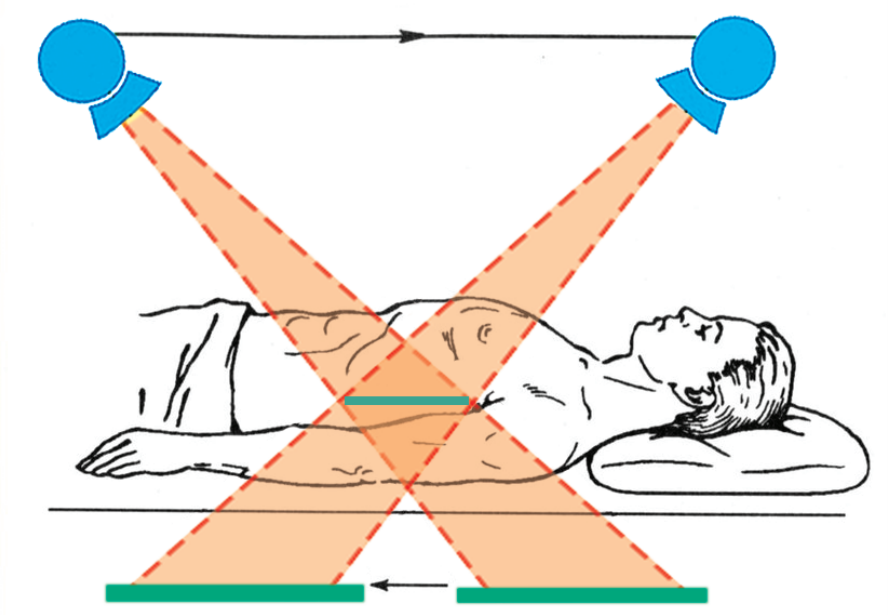


Рис. 2. Плоскопараллельный способ съемки

Соотношения расстояний «рентгеновская трубка — объект» и «объект — приемник» подбираются в соответствии с глубиной выбранной плоскости (зона интереса анатомических структур).

Проекционное изображение любой другой плоскости объекта будет смещаться при движении пары «источник — приемник», как показано на рисунке 3. Изображение округлой детали объекта резкое, треугольной — «размазано» по изображению выделенного слоя.

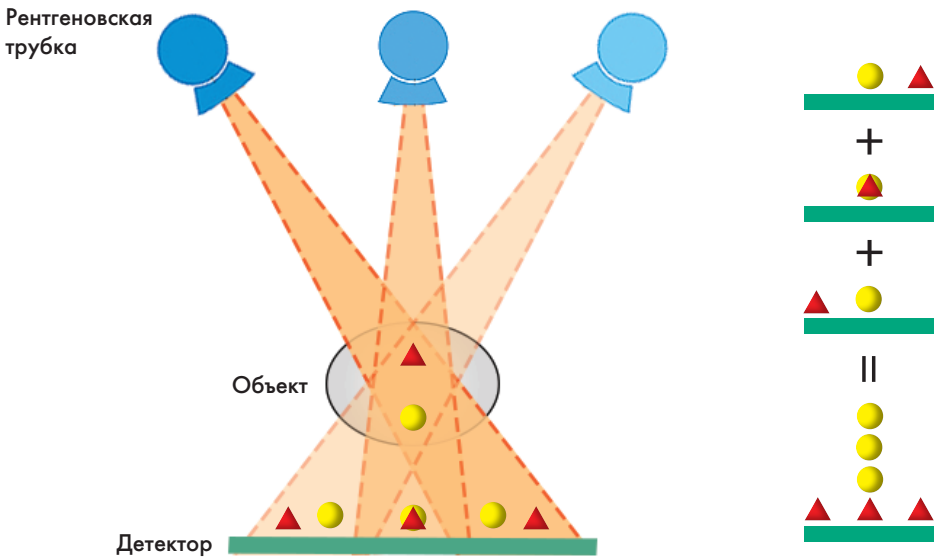


Рис. 3. Формирование изображения отдельного слоя

Томография, построенная на этих принципах, в настоящее время известна под разными названиями: «классическая томография», «продольная томография», «томография фокальной плоскости», «томография с перемещением», «линейная томография» и т. д.

Достоинством способа являются возможность независимого синтеза множества томограмм по ограниченному набору проекций и сравнительная простота его реализации.

Как правило, плоскопараллельный способ перемещения используется для проведения томосинтеза грудной и брюшной полостей и костно-суставной системы.

1.2.2. Способ вращения в ограниченном угле

Этот способ, называемый также изоцентрическим, заключается в том, что источник излучения и приемник изображения жестко закреплены относительно друг друга и вращаются как единое целое вокруг пациента (обычно на угол от 25 до 40 градусов) (рис. 4).

В ходе исследования выполняется серия рентгеновских снимков анатомической области под разными углами. Рентгеновская трубка аппарата с функцией томосинтеза проходит вокруг тела

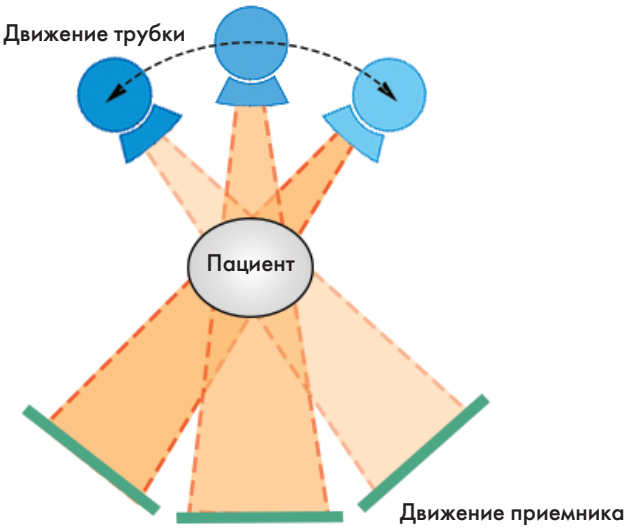


Рис. 4. Изоцентрический способ

пациента по дуге, при этом выполняется примерно 20–60 рентгеновских снимков за 5–10 секунд. Во время выполнения разноракурсных томограмм исследуемый объект должен быть неподвижным.

Однако при реализации способа вращения в ограниченном угле возникает несколько проблем: приемник изображения перемещается по траектории, непараллельной какой-либо плоскости объекта исследования, поэтому для каждой полученной проекции необходимо производить перерасчет данных, корректируя их на плоскость, параллельную плоскости интереса объекта. Кроме того, поскольку расстояние от фокусного пятна рентгеновской трубки до выбранного слоя также меняется в процессе съемки, то изменяется и коэффициент увеличения изображения, что требует дополнительных расчетов. Таким образом, для получения требуемой информации необходима постпроцессорная компьютерная обработка полученных данных.

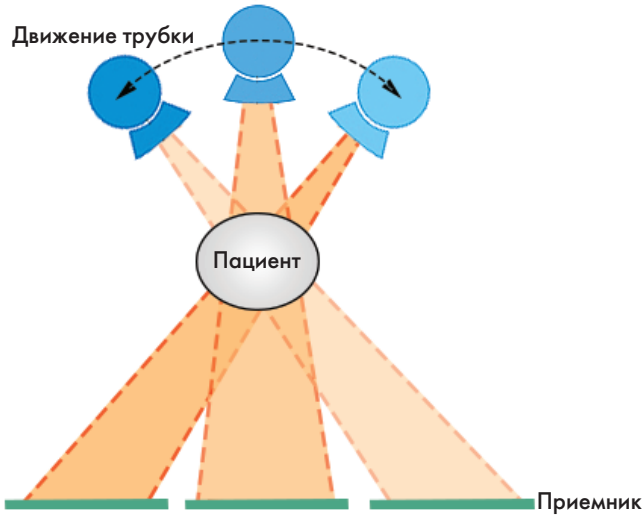


Рис. 5. Комбинированный способ

1.2.3. Комбинированный способ

Третий, частично изоцентрический способ движения является развитием первых двух, при этом рентгеновская трубка движется по окружности, а приемник изображения перемещается в своей плоскости или остается неподвижным (рис. 5).

Данный способ нашел широкое применение для томосинтеза молочной железы (МЖ).

Поскольку основные рентгенооптические схемы получения исходных «сырых» данных для дальнейшего моделирования выбранных срезов к настоящему времени уже хорошо апробированы, то совершенствование методики томосинтеза идет в основном по пути развития алгоритмов обработки получаемых первичных снимков с целью создания максимально резкой и информативной картины.

Во всех указанных схемах получения данных при реализации методики томосинтеза предъявляются существенные требования к точности изготовления и юстировки систем перемещения рентгеновской трубки и приемника изображения. Это напрямую влияет на разрешение получаемых сечений.

1.3. АЛГОРИТМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ТОМОСИНТЕЗЕ

В томосинтезе восстановленное пространственное изображение объекта состоит из наложенных друг на друга срезов. Полученная математическая модель (набор вокселей) позволяет визуализировать срезы в различных проекциях. Однако в отличие от компьютерной томографии (КТ) исходные томограммы получаются для ограниченного диапазона перемещения системы «трубка — приемник» (не важно, в плоскопараллельном способе или в изоцентрическом), поэтому пространственное разрешение расчетной модели очень сильно зависит от выбранной ориентации срезов в пространстве. Тем не менее пространственное разрешение, получаемое в реконструированных срезах, параллельных плоскости исходных проекционных снимков, зачастую превосходит аналогичное разрешение для КТ.

Для получения такого результата алгоритмы реконструкции должны быть адаптированы к ограниченному количеству исходных рентгеновских изображений и способны к подавлению возникающих в этой связи артефактов. В практике используется несколько методов восстановления изображений и значительное количество их модификаций, учитывающих те или иные особенности схем съемки.

1.3.1. Алгоритм сдвига и сложения

В настоящее время наиболее широко распространенным алгоритмом реконструкции, используемым в томосинтезе, является алгоритм сдвига и сложения (англ. shift and add — SAA). Алгоритм используется при реализации параллельного перемещения рентгеновской трубки и приемника изображения, при котором происходит сдвиг проекции каждого изображения на заданную величину (шаг сканирования). После завершения экспозиции полученные томограммы собираются в единое изображение, в результате чего на определенной глубине получается резкое изображение анатомического объекта.

На рисунке 6 воспроизведен принцип визуализации слоя, в котором находится элемент «треугольник», тогда как элемент «окружность» не лежит в выбранном слое среза.

Алгоритм сдвига и сложения позволяет учесть тот факт, что проекции элементов исследуемого объекта, находящиеся на разной высоте от приемника изображения, проецируются в разные его области. Поскольку источник излучения и приемник изображения движутся синхронно в параллельных плоскостях, то коэффициент увеличения каждого отдельного элемента объекта зависит только от его высоты относительно приемни-

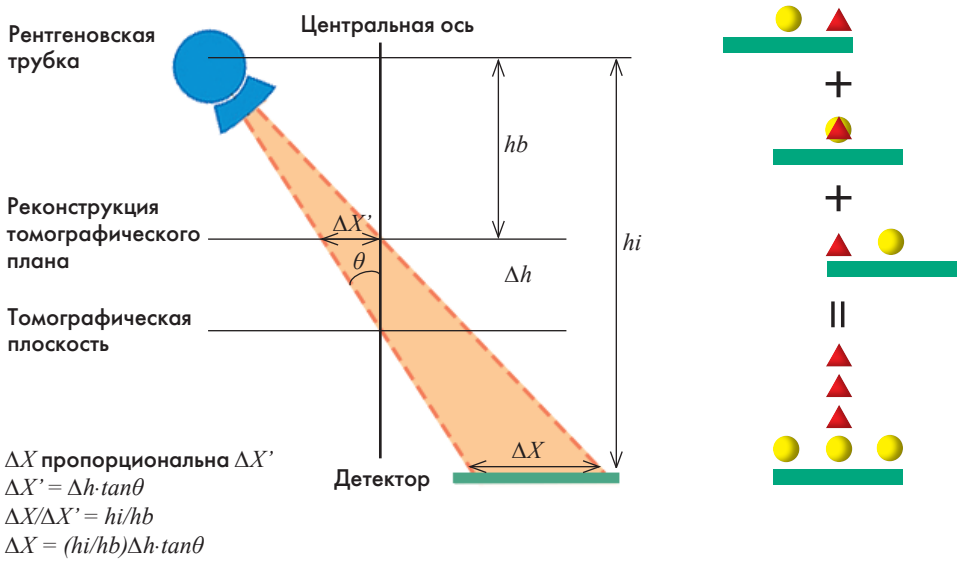


Рис. 6. Алгоритм «сдвига и сложения»

ка и не зависит от положения приемника или источника в области данных плоскостей. Таким образом элементы объекта в выбранной плоскости (точнее, их изображения) будут строго накладываться друг на друга, что позволит получить их резкое изображение, тогда как элементы, находящиеся в других плоскостях, будут распределены на изображении в разных точках и не окажут существенного влияния на формирование изображения среза. В итоге три полученных в примере (рис. 6) проекционных изображения могут быть сдвинуты и наложены таким образом, чтобы треугольники совпали друг с другом с одновременным размазыванием ненужных структур (окружностей).

Современные исполнительные механизмы, обеспечивающие взаимное перемещение рентгеновской трубки и приемника изображения, дают возможность реализовать алгоритм сдвига и сложения с высокой точностью. Данный алгоритм составляет сегодня основу большинства методик реконструкции при томосинтезе из-за своей простоты и удобства. Однако использование алгоритма сдвига и сложения в чистом виде для получения высококачественных срезов при томосинтезе невозможно в связи с перекрытием изображения размытыми анатомическими структурами, расположенными вне плоскости интереса. Ввиду этого недостатка в последнее время все чаще используется метод обратного проецирования, широко применяемый ранее в классической томографии.

1.3.2. Алгоритм обратного проецирования

Алгоритм обратного проецирования (англ. back projection — BP) состоит в том, что плотность или поглощающая способность любой точки объекта определяется путем сложения интенсивностей всех лучей, проходящих через данную точку (рис. 7). Этот алгоритм наиболее часто применяется при реализации схемы съемки с вращением в ограниченном угле.

Важным элементом предварительных расчетов для обратного проецирования является знание параметров геометрии съемки, таких как расстояние от источника излучения до приемника изображения по нормали к плоскости приемника; геометрические размеры входного окна (чувствительной области) приемника; его разрешающая способность; размеры пикселя; коэффициент геометрического увеличения — соотношение расстояний «рентгеновская трубка — объект» и «объект — приемник»; количество угловых проекций и угол поворота между соседними угловыми проекциями, а также диапазон углов сканирования при неполном наборе проекционных данных.

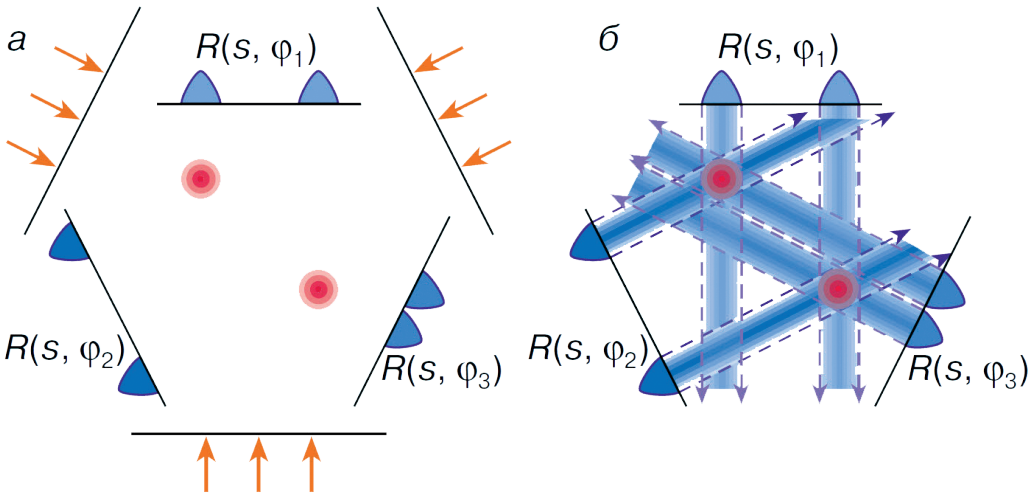


Рис. 7. Алгоритм обратного проецирования: а — получение проекционных данных; б — обратное проецирование

1.3.3. Алгоритм обратного проецирования с фильтрацией

Алгоритм обратного проецирования с фильтрацией (англ. filtered backprojection — FBP) предназначен для устранения нерезкости и обеспечивает коррекцию размытия изображений вне плоскости интереса.

Этот алгоритм подобен обычному методу обратных проекций, а основное различие заключается в том, что профили ослабления (отдельные снимки каждой конкретной проекции) фильтруются или модифицируются до операции обратного проецирования.

Предварительная фильтрация проекций необходима для повышения резкости получаемых томографических изображений, так как обратное проецирование без фильтрации дает значительно более размытое изображение. Это можно объяснить тем, что обратное проецирование не является точным методом решения обратной задачи томографии, и для повышения корректности использования данного метода необходимо применение дополнительных преобразований.

Фильтрация проекций осуществляется методом свертки каждой строки изображения со специально подобранной функцией — ядром свертки. Для различных режимов съемки, а также наборов проекционных данных, например, при ограниченном или неполном числе проекций, используемые ядра свертки могут принимать различный вид. Наиболее часто используемым является линейный низкочастотный фильтр. Семейство ядер свертки, соответствующих данному фильтру, представлено на рисунке 8.

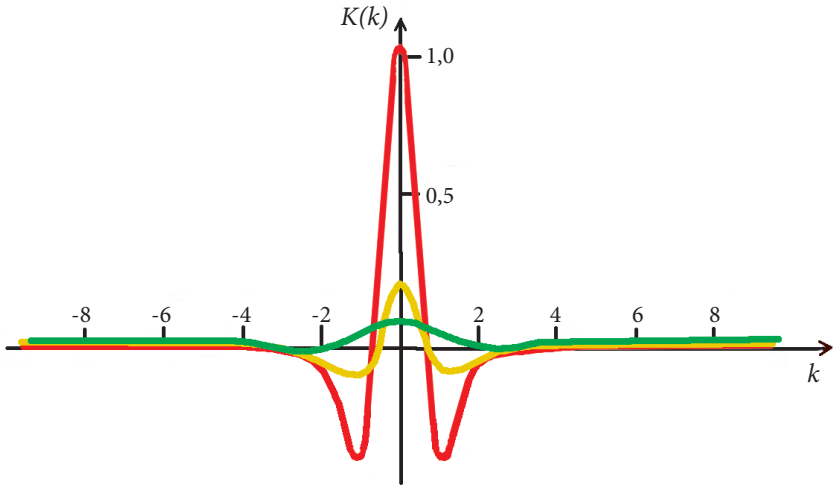


Рис. 8. Семейство ядер свертки линейного низкочастотного фильтра

1.3.4. Перспективные алгоритмы реконструкции, используемые в томосинтезе

Кроме описанных алгоритмов в томосинтезе довольно широко применяются и их различные модификации, а также алгоритмы, построенные на иных подходах. К таким алгоритмам можно отнести метод реконструкции в маммографии на основе алгоритма максимизации ожиданий, который, хотя и требует большого объема вычислений, позволяет лучше визуализировать мелкие элементы структуры.

Метод свернутых проекций близок к прямому методу амплитуд Фурье, но отличается тем, что он использует периодические свернутые проекции, получаемые из исходных проекций сложением их периодически сдвинутых копий и некоторые другие.

Алгоритм итеративных реконструкций в отличие от алгоритмов обратного проецирования и обратного проецирования с фильтрацией основан на рекурсивном восстановлении данных. Реконструкция выполняется путем итеративного обновления неизвестных линейных коэффициентов ослабления рентгеновского излучения путем минимизации погрешности между измеренными и рассчитанными проекционными данными. Такой алгоритм позволяет получать томограммы высокого качества, снизить влияние артефактов, в частности от металлоконструкций, однако требует больших вычислительных затрат, что удлиняет время реконструкции изображений.

Многие дополнительные алгоритмы реконструкции, предложенные для томосинтеза, продолжают совершенствоваться. К ним можно отнести методы, основанные на полной вариативной регуляризации, адаптивной диффузной регуляризации, апостериорном статистическом максимуме итеративной реконструкции, Байесовском выводе, и другие. Однако стоит отметить, что на данный момент названные алгоритмы не позволяют полностью убрать все артефакты, обусловленные особенностями рентгенооптических схем, применяемых в томосинтезе.

1.4. АРТЕФАКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ В ТОМОСИНТЕЗЕ

Артефактами изображений в томографии являются любые несоответствия между значениями вокселей реконструированного изображения и истинными коэффициентами ослабления материала объекта. Изображения в томосинтезе более склонны к появлению артефактов по сравнению с обычными рентгенограммами, так как технология реконструкции данных такова, что измерения на всех детекторах суммируются, поэтому на изображениях проявляются любые ошибки измерений. Ошибки реконструкции

могут быть вызваны как недостатком данных, так и наличием различных шумов. Артефакты могут проявляться в виде полос (погрешность в отдельном измерении), колец (ошибки калибровки детектора или его пикселя), затемнений (постепенное отклонение целой группы каналов/пикселей), зашумлений и так далее.

Главная проблема томосинтеза состоит в присутствии в восстановленных функциях плотности интенсивных «широкоугольных» артефактов, не поддающихся подавлению обычной частотной фильтрацией. Это приводит к тому, что в наблюдаемый срез проникают артефакты от объектов, находящихся далеко за его пределами. Особенно сильные артефакты возникают от высококонтрастных объектов, например от металлоконструкций.

В связи с вышеизложенным все артефакты можно поделить на три группы в соответствии с причинами, вызвавшими их появление: связанные с объектом съемки (движение, наличие материала с чрезмерно высокой плотностью, сканирование вне поля зрения (FOV), эффект фотонного голода), с обработкой данных (эффект частичного объема, рассеивание, подвыборка), с оборудованием (вращение рентгеновской трубки, увеличение жесткости пучка излучения, смещение фокусного пятна и т. п.).

Серьезным источником артефактов на изображении, выраженных в виде тонких полос, является эффект фотонного «голода», который может возникать в областях с высоким поглощением излучения. Рентгеновское излучение, проходя через горизонтальную составляющую объекта (в направлении максимального поглощения), значительно ослабляется, в результате чего недостаточное количество фотонов достигает приемника изображения. На данных углах съемки получаются наиболее «шумные» проекции. В процессе реконструкции данные шумы значительно усиливаются, что является причиной возникновения горизонтальных полос на изображении.

Данный эффект может быть нивелирован путем увеличения силы тока источника излучения. Но такое решение не всегда применимо на практике, поскольку увеличение тока приводит к повышению дозы облучения. В настоящее время использование итеративных методик реконструкции изображения позволяет нивелировать негативное влияние шумов на результаты реконструкции. Однако в любом случае при уменьшении дозы излучения в стандартных методиках происходит увеличение шумов и, как следствие, ухудшение качества изображения.

Движение объекта также приводит к нерезкости изображения, удвоению контура структуры или появлению полос, имеющих периодический характер. Это вызвано тем, что при реконструкции изображения полагаются на способность компьютера размещать значения коэффициентов ослабления в матрице пикселей, имеющей строки и столбцы. Если при сканировании

происходит движение, то компьютер не способен поместить измеренное значение в соответствующую ячейку.

Описанные выше артефакты обусловливаются методами съемки, геометрией, перемещением пучка, но не меньшие затруднения, как уже было отмечено, причиняют и артефакты, возникающие из-за некорректной работы отдельных блоков томографической аппаратуры.

1.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА

В настоящее время номенклатура рентгенодиагностических аппаратов, позволяющих реализовать методику томосинтеза, достаточно велика. Вместе с тем области применения томосинтеза пока достаточно ограниченны. Это в первую очередь рентгенодиагностика заболеваний МЖ, органов грудной клетки и костно-суставной системы. Аппараты, предназначенные для того или иного вида диагностических исследований, обладают своей спецификой как в конструктивном, так и в эксплуатационном аспекте, поэтому целесообразно рассмотреть их на примере комплексов, представленных на российском рынке.

1.5.1. Аппараты для общей рентгенодиагностики

Одним из представителей данной группы аппаратов является рентгенодиагностический комплекс Fujifilm FDR AcSelerate (рис. 9). В комплексе реали-

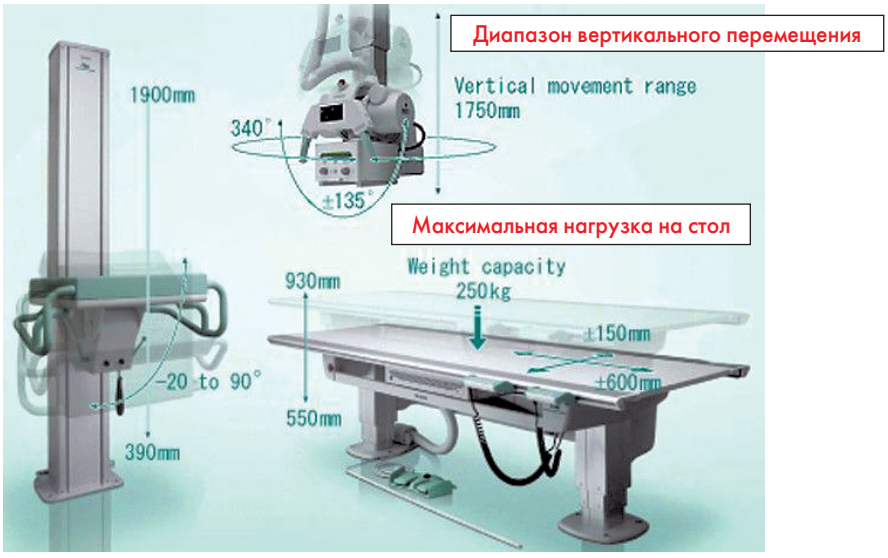


Рис. 9. Комплекс FDR AcSelerate (Fujifilm, Япония)

зована возможность получения набора проекций для томосинтеза методом плоскопараллельного перемещения.

Основные характеристики комплекса — рабочее напряжение трубки от 40 до 150 кВ при токах до 1 мА, размер фокусного пятна трубки 0,6/1,0 мм. В качестве приемника изображения используется плоскопанельный детектор рентгеновского излучения прямого преобразования размером 43,2х43,2 см с размером пикселя не более 150 мкм, что дает общее разрешение 2880х2880 пикселей. Диапазон перемещения рентгеновской трубки по вертикали равен 1750 мм, что позволяет проводить исследования любых частей тела всех анатомических областей. Методика томосинтеза реализована за счет перемещения рентгеновской трубки относительно рентгенографического штатива с неподвижным детектором.

Ниже представлены некоторые цифровые томограммы, полученные на аппарате FDR AcSelerate (Fujifilm, Япония) (рис. 10).

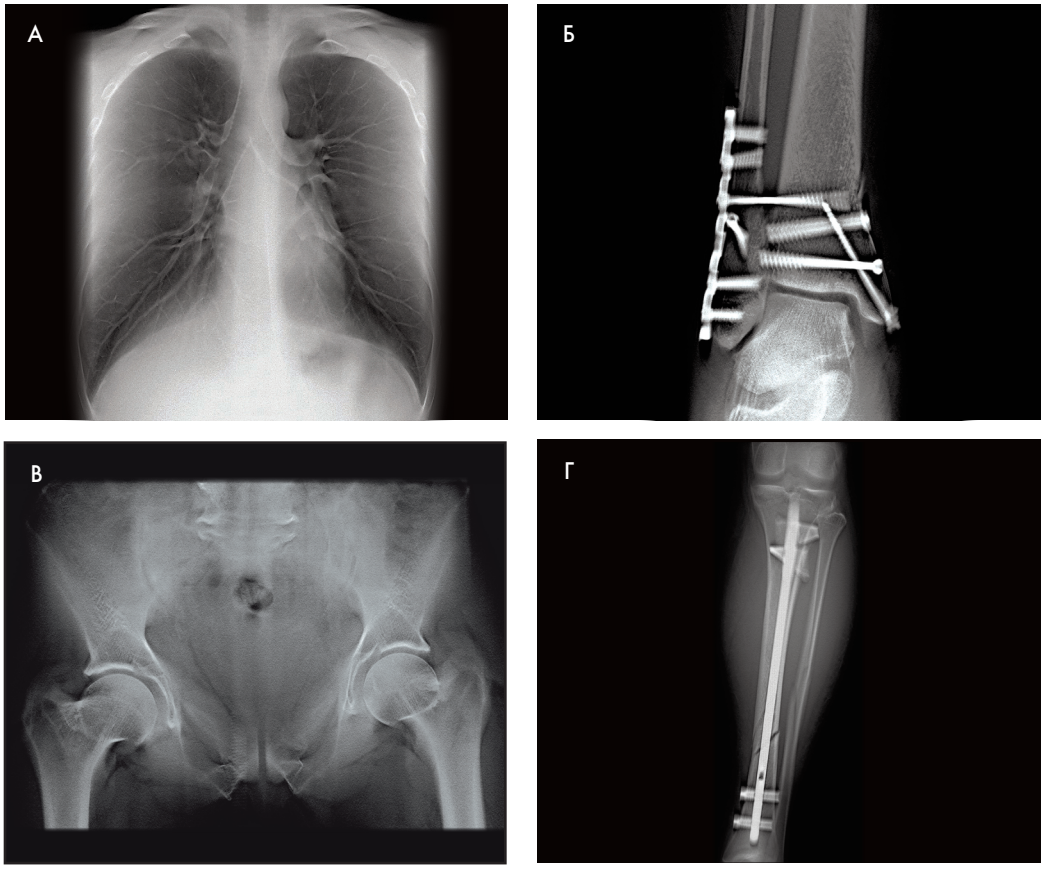


Рис. 10. Цифровые томограммы, полученные на комплексе FDR AcSelerate (Fujifilm, Япония)

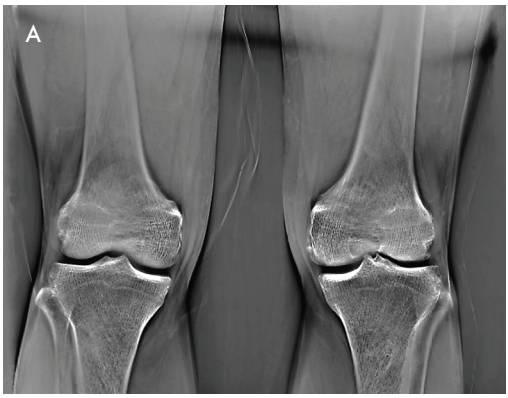
Другим примером может служить универсальный рентгеновский комплекс на базе поворотного стола-штатива SONIALVISION G4 (Shimadzu, Япония) (рис. 11).

У комплекса SONIALVISION G4 (Shimadzu, Япония) рабочее напряжение рентгеновской трубки составляет до 150 кВ, а размеры фокусных пятен составляют от 0,7 до 1,2 мм. Используется



Рис. 11. Комплекс SONIALVISION G4 (Shimadzu, Япония)

плоскопанельный детектор прямого преобразования размером 42х42 см с размером пикселя 139 мкм. Комплекс позволяет реализовать классическую методику томосинтеза, а также оригинальную методику T-Smart с итеративным алгоритмом реконструкции. Последняя улучшает качество первичного изображения и нивелирует артефакты от металла. Некоторые виды цифровых томограмм, выполненные на комплексе SONIALVISION G4 (Shimadzu), представлены на рис. 12.





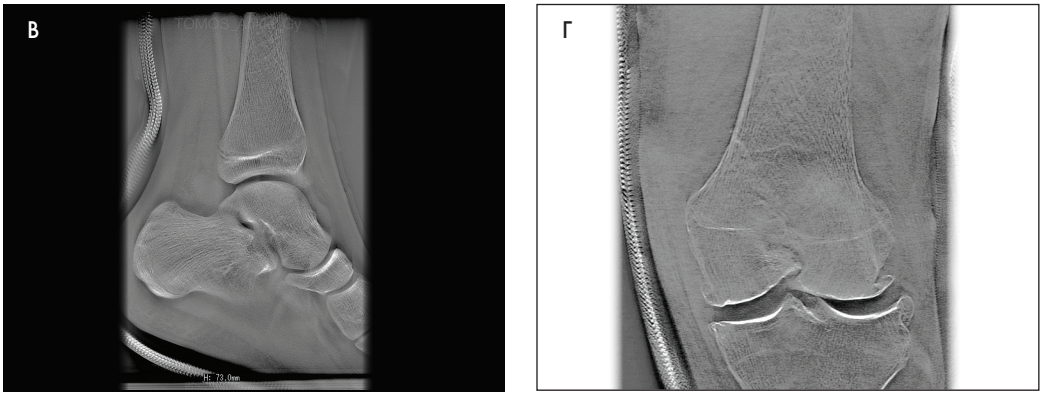


Рис. 12. Цифровые томограммы, полученные на комплексе SONIALVISION G4 (Shimadzu, Япония)



Рис. 13. Аппарат ТелеКоРД-МТ-Плюс (МТЛ, Россия)

Один из отечественных рентгенодиагностических комплексов с функцией томосинтеза — аппарат ТелеКоРД-МТ-Плюс (МТЛ, Россия) (рис. 13). Основные характеристики аппарата: рабочее напряжение рентгеновской трубки от 40 до 125 кВ, ток до 10 мА, размер фокусного пятна 0,6/1,2 мм. Плоскопанельный цифровой динамический детектор обеспечивает получе-

ние изображений с размером пикселя менее 150 мкм и частотой до 30 кадров в секунду, что позволяет получать изображения высокого разрешения при низком уровне доз (рис. 14). Наличие в автоматическом коллиматоре дополнительных фильтров позволяет формировать спектр излучения, оптимальный для исследования детей в педиатрии и неонатологии.

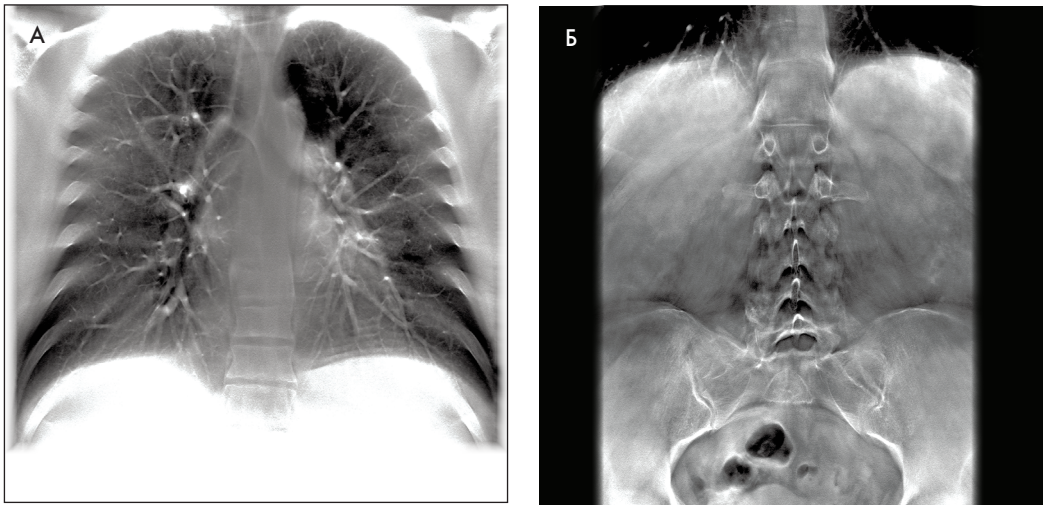


Рис. 14. Цифровые томограммы, выполненные на аппарате ТелеКоРД-МТ-Плюс (МТЛ, Россия)

Другой отечественный аппарат, где реализована функция томосинтеза, — полипозиционный телеуправляемый комплекс «АРТ» (НИПК «Электрон», Россия), который оснащен современной системой визуализации на базе высокочувствительного динамического плоскопанельного детектора собственного производства наибольшего формата 43х43 см (рис. 15). Основные характеристики — рабочее напряжение трубки от 40 до 150 кВ при токах до 1 мА, размер фокусного пятна трубки 0,6/1,2 мм, размер пикселя не более 140 мкм, что дает общее разрешение 3072х3072 пикселя. Диапазон изменения фокусного расстояния от 80 до 200 см обеспечивает проведение исследований любых частей тела всех анатомических областей. Комплекс позволяет проводить томосинтез под углом 60 градусов за 4 секунды. Высота реконструкции до 400 мм с высотой среза от 1 мм. Методика томосинтеза реализована за счет синхронного перемещения рентгеновской трубки и плоскопанельного детектора относительно выбранной области исследования неподвижного пациента.

Изображения, получаемые на данном аппарате, приведены на рис. 16.

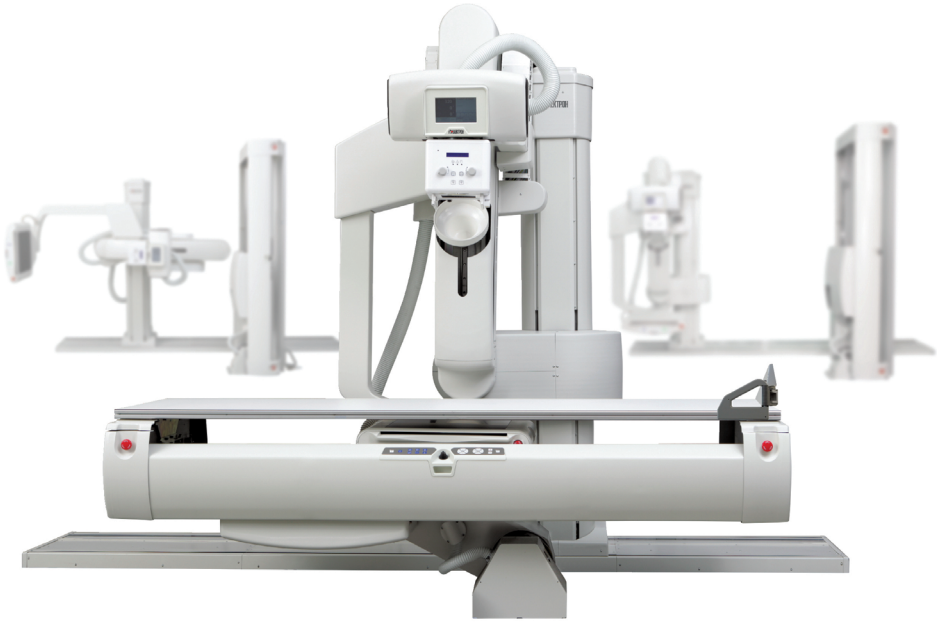


Рис. 15. Универсальный полипозиционный рентгенодиагностический комплекс «АРТ» (НИПК «Электрон», Россия)

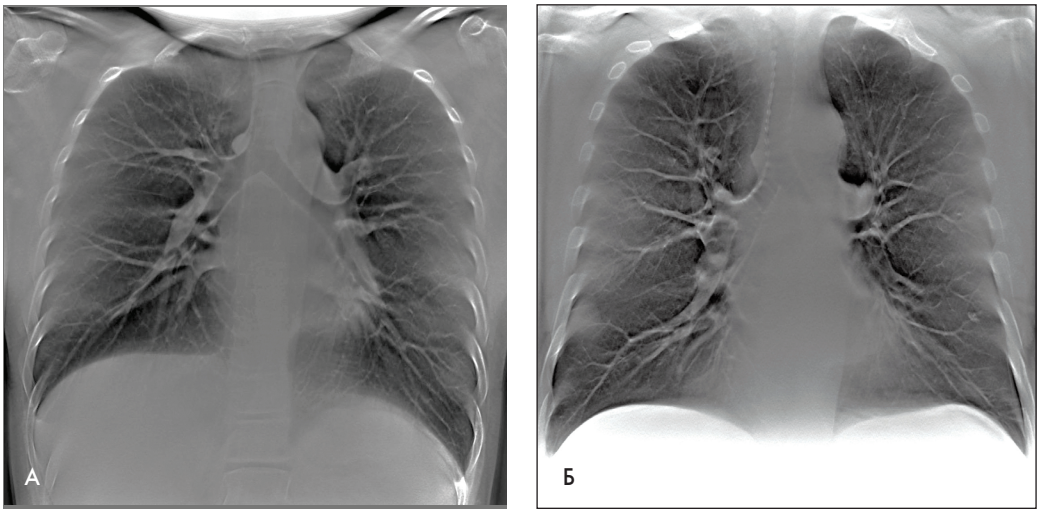


Рис. 16. Цифровые томограммы, полученные на комплексе «АРТ» (НИПК «Электрон», Россия)

1.5.2. Флюорограф с возможностью томосинтеза

Использование томосинтеза для уточнения диагноза при рентгенографии органов грудной клетки настолько хорошо зарекомендовало себя в последнее время, что все больше производителей стараются обеспечить эту возможность при разработке аппаратуры.

Сама схема классического аппарата для флюорографии позволяет ее относительно легко адаптировать к получению нужного количества проекций для томосинтеза по способу плоскопараллельного перемещения. На рисунке 17 представлен флюорограф «Флюоро-ПроГраф-РП» (Рентгенпром, Россия) традиционной для флюорографов «двухштативной» конструкции.

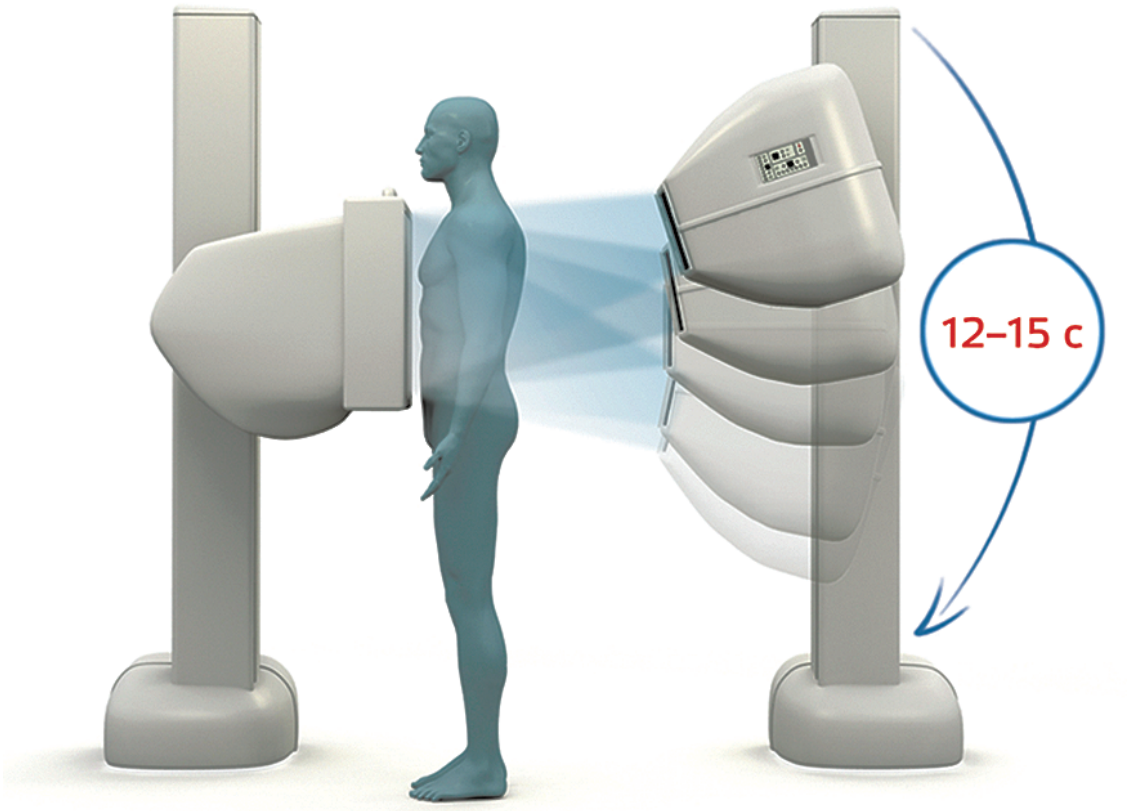


Рис. 17. Положение пациента при исследовании ОГК в прямой проекции на флюорографе «Флюоро-ПроГраф-РП» (Рентгенпром, Россия)

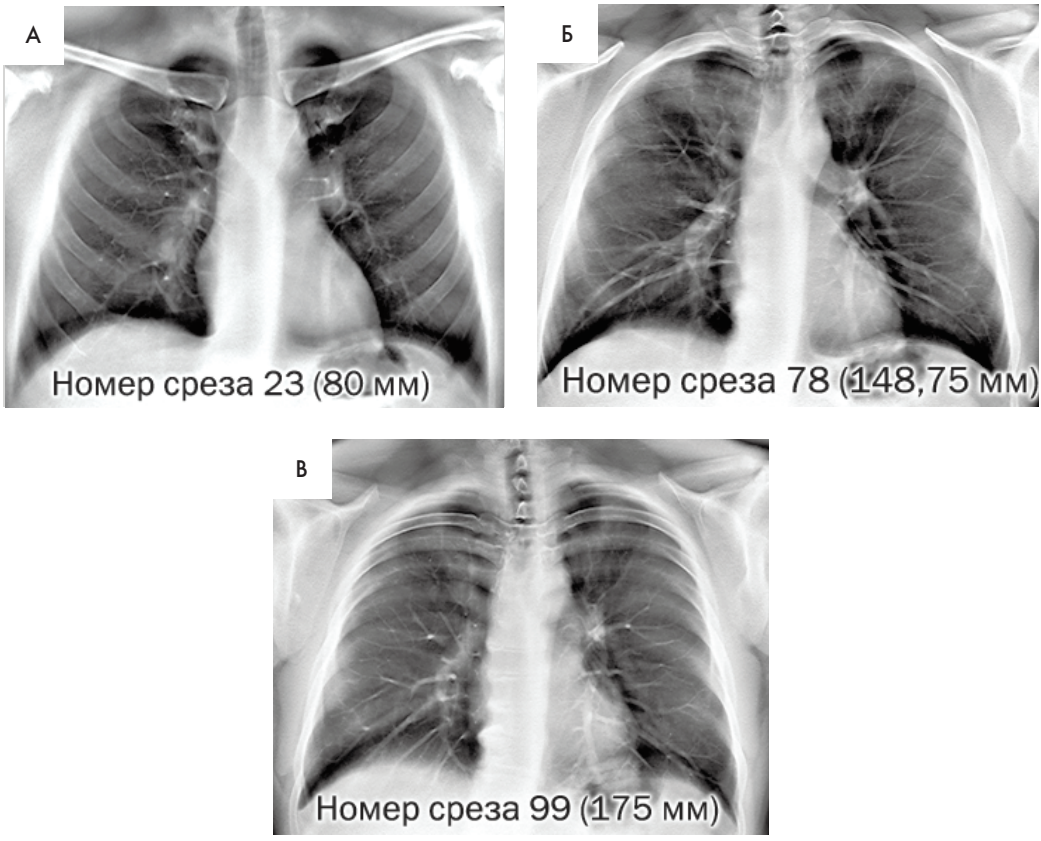
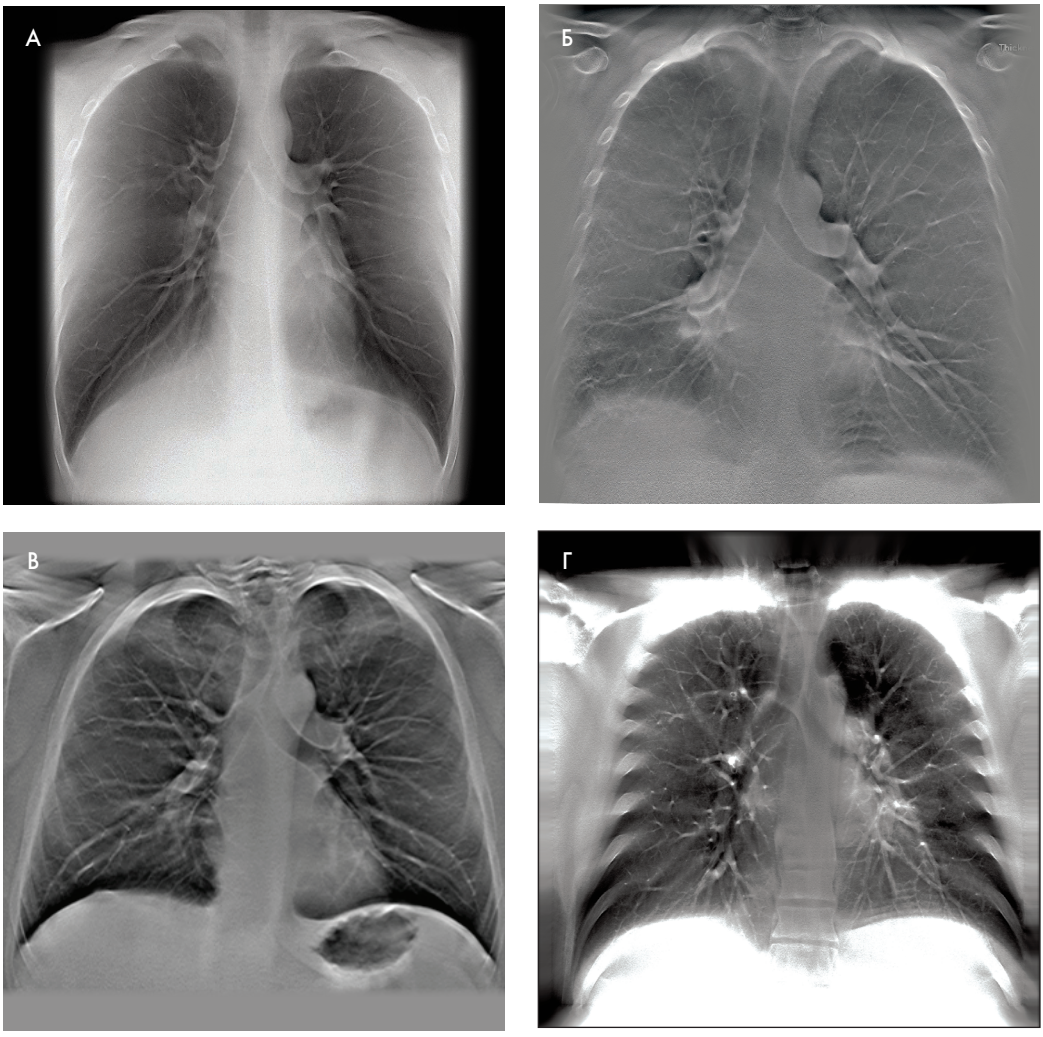


Рис. 18. Цифровые томограммы, полученные на флюорографе «Флюоро-ПроГраф-РП» (Рентгенпром, Россия)

Основные характеристики флюорографа: рабочее напряжение рентгеновской трубки до 90 кВ, размер фокусного пятна 1,0 мм. Приемник изображения имеет площадь входного окна 39х39 см с разрешением 2,5 пар/мм или 3,5 пар/мм. Диапазон углов вертикального вращения излучателя и приемника от –90 до +90 градусов, диапазон вертикального перемещения излучателя и приемника вдоль штатива не менее 115 см. Длительность исследования — 12 с. Размер пикселя — 250х250 мкм. Время реконструкции — не более 2 мин. Некоторые примеры цифровых томограмм, выполненные на флюорографе «Флюоро-ПроГраф-РП», представлены на рис. 18.

При этом изображения, получаемые в результате проведения томосинтеза (цифровые томограммы) на разных аппаратах, несколько отличаются друг от друга по представлению (рис. 19). Ввиду различных методик получения исходных томограмм, а также использования разных алгоритмов обработки «сырых» данных восстановленные срезы одних и тех же органов, полученные на различной аппаратуре, могут существенно отличаться друг от друга, что требует от врача-рентгенолога определенных навыков.



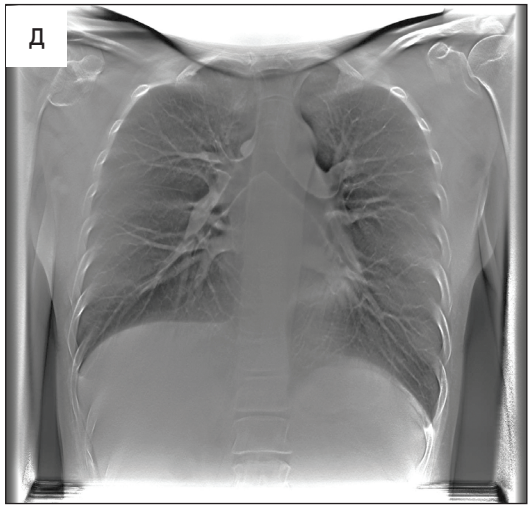


Рис. 19. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости ОГК, полученные на аппаратах производства Fujifilm (А), Shimadzu (Б), Рентгенпром (В), МТЛ (Г) и НИПК «Электрон» (Д)

1.5.3. Маммографы с возможностью томосинтеза и их физико-технические особенности

Для проведения томосинтеза молочной железы (МЖ) используются цифровые маммографические системы, в которых источник рентгеновского излучения может перемещаться, занимая различные позиции относительно объекта (рис. 20).

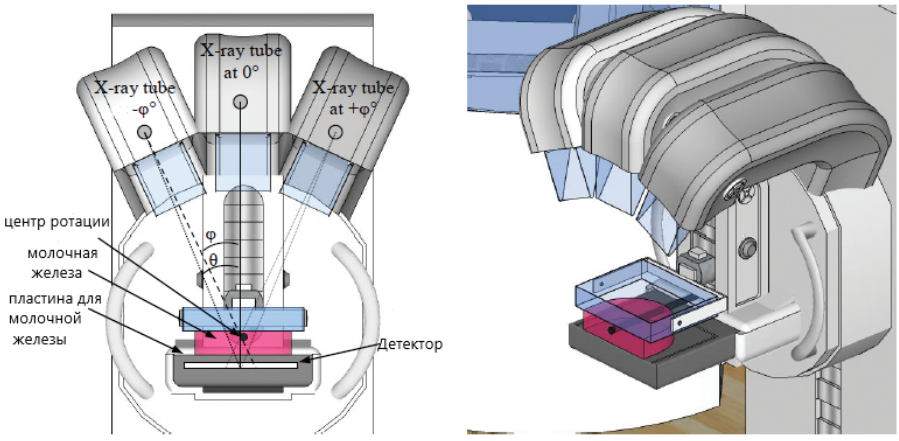


Рис. 20. Типичная геометрия, используемая для системы томосинтеза МЖ с полноформатным детектором: три положения рентгеновской трубки, угол поворота трубки — и угол проекции — для повернутого положения (Protocol for the quality control of the physical and technical aspects of digital breast tomosynthesis systems, 2016)

Системы, оснащенные функцией томосинтеза, могут работать в двух режимах: 1) режим «развертки», когда рентгеновская трубка движется непрерывно, испуская импульсы излучения с частотой, равной частоте кадров приемника рентгеновского излучения: 2) в режиме «шаг–снимок», когда рентгеновская трубка движется в следующее положение и генерирует импульс рентгеновского излучения в неподвижном состоянии. Рентгеновская трубка может перемещаться по С-дуге вокруг точки, расположенной внутри объекта (МЖ) или близко к объекту, а может двигаться и по линейной траектории. Во время режима «развертки» детектор может быть неподвижен (рис. 21) или может двигаться одновременно с трубкой.

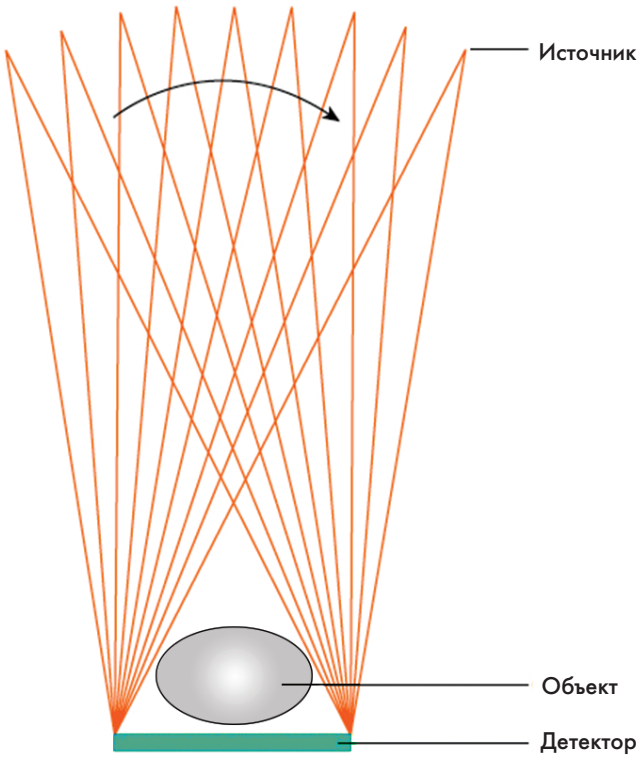


Рис. 21. Схема выполнения томосинтеза при неподвижном положении детектора
Источник: Barkhausen J., Rody A., Schaefer F. Digital breast tomosynthesis: technique and cases // Thieme. — 2015. — p. 5.

В случае, когда приемник движется, система имеет изоцентрическую геометрию С-дуги, по которой источник излучения и приемник изображения вращаются вокруг общей точки. В таком типе системы источник и приемник двигаются синхронно, при этом они могут быть не соединены друг с другом. Например, приемник может линейно перемещаться в плоскости приема изображения. Каждая индивидуальная проекция помогает формировать точки изображения в пределах отсканированного объема (объемного элемента, вокселя) при реконструкции изображения. Общая экспозиция определяется по сумме экспозиций отдельных изображений, и именно поэтому приемник должен обеспечить «малошумный сигнал» даже на низких уровнях дозы. Это означает, что приемник должен иметь высокую квантовую эффективность регистрации (DQE) даже при очень низкой дозе. Кроме того, приемник должен быстро считывать данные и иметь высокую частоту кадрирования, что уменьшает время сканирования и время компрессии МЖ. Для томосинтеза МЖ в настоящее время используются приемники изображения на основе детекторов прямого преобразования в виде матрицы тонкопленочных транзисторов (TFT), выполненных из аморфного селена или аморфного кремния.

Спектр рентгеновского излучения, используемый при томосинтезе, такой же, как и при цифровой маммографии, а напряжение рентгеновской трубки зависит от толщины компримированной МЖ. Энергия излучения или напряжение на трубке могут быть несколько увеличены, чтобы минимизировать повышение дозовой нагрузки. В качестве альтернативного варианта может быть усилена фильтрация, что приведет к увеличению жесткости излучения (средней энергии квантов в спектре). Вольфрам/родий (W/Rh) — типичная комбинация фильтра излучения, но можно также использовать фильтр вольфрам/алюминий (W/Al). При этом следует отметить, что фильтрация вольфрамом достигается за счет самопоглощения в мишени анода рентгеновской трубки, а родий или алюминий являются дополнительными фильтрами. Вертикальное разрешение и глубина резкости зависят прежде всего от геометрии получения томосинтезированного изображения, т. е. от угла наклона трубки (рис. 22), а также от количества полученных изображений в этом угле.

Угол перемещения трубки определяется как диапазон, в котором рентгеновская трубка перемещается относительно точки опоры. Чем больше угол, тем больше глубина резкости и меньше толщина среза. Это приводит к уменьшению размытия изображения соседних тканей, возникающему из-за «внеплоскостных» артефактов. Больший угол наклона может также повысить контрастное разрешение на низких пространственных частотах и помогает получить дополнительную информацию. Однако следует отметить, что стационарный приемник, не движущийся одновременно с рентгеновской

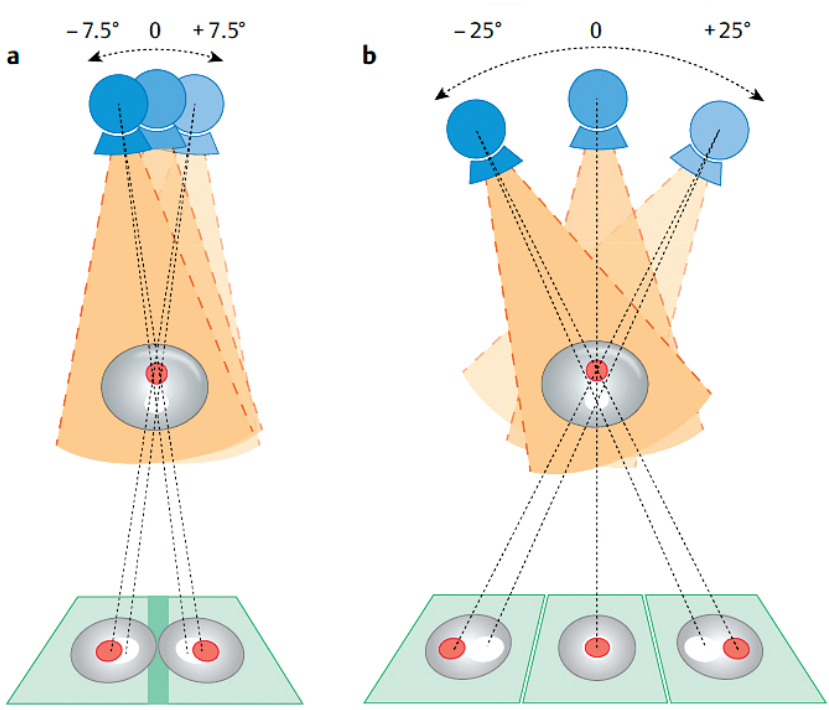


Рис. 22. Влияние угла наклона трубки на глубину резкости
Источник: Barkhausen J., Rody A., Schaefer F. Digital breast tomosynthesis: technique and cases // Thieme. — 2015. — p. 6.

трубкой, уменьшает объем сканирования по причине попадания косых рентгеновских лучей. Невозможно точно определить «оптимальный» угол наклона трубки при проведении томосинтеза, поскольку глубинное разрешение не единственный параметр, влияющий на качество методики. К примеру, чем шире угол наклона трубки, тем дольше сканирование и повышение вероятности получения артефактов движения.

Современные маммографические системы, оснащенные функцией томосинтеза, имеют диапазон угла наклона рентгеновской трубки от 11° до 60°. Помимо ограничений углового диапазона имеется также лимит количества проекций, который создает определенные трудности. Например, на изображениях высококонтрастных объектов это приводит к появлению эффекта муара, который выглядит как линейный артефакт, подобный тому, как он представлен на КТ. В томосинтезе тот же принцип: угловое увеличение между экспозициями не должно превышать несколько градусов, чтобы предотвратить линейные артефакты. На практике максимальное число проекций определяется минимальной дозой на детекторе при экспонировании,

чтобы получить суммарную дозу, равную дозе при обычной маммограмме. Время сканирования, а соответственно длительность компрессии органа, зависит от количества проекций и скорости передачи данных на приемник.

Независимо от типа используемой реконструкции томосинтез всегда генерирует неизотропный набор обработанных данных, в которых вертикальное разрешение намного хуже, чем в плоскостях, перпендикулярных рентгенооптической оси. Поэтому большинство артефактов возникает в вертикальном направлении. Срезы изображения, параллельные плоскости приемника, самые лучшие для визуализации. Просмотр многочисленных последовательных срезов предпочтителен в «режиме стека». Определение реальных размеров анатомических объектов возможно только в ограниченном угловом диапазоне, который приблизительно равен углу наклона рентгеновской трубки.

По сравнению с цифровой маммографией большое количество изображения при томосинтезе накладывает определенные сложности как при реконструкции, так и при просмотре изображений. Приемник изображения, имеющий матрицу 2800×3600 пикселей и 16 бит на пиксель, дает 20 мегабайт (МБ) необработанных данных на проекцию. Необработанный набор данных с N_p проекциями потребует емкость запоминающего устройства N_p×20МБ. А на 15 проекций это будет 300 МБ. Как правило, изображения реконструируются с шагом среза равным 1 мм, а реконструированный размер пикселя в плоскости изображения стремятся делать как можно меньше для получения более высокого пространственного разрешения. Средний размер среза изображения немного меньше, чем проекция, из-за того, что «среднестатистическая» МЖ не покрывает весь приемник. Предположим, что реконструированный срез томосинтеза состоит из 2000×3000 пикселей, 12МБ (16 бит на пиксель) получены из содержимого данных одного среза. В среднем при толщине компримированной МЖ, равной 50 мм, получится 50 срезов, содержащих 600 МБ данных. При этих же условиях размер набора данных, состоящий из необработанных проекций и реконструированных срезов, будет равен 900 МВ. А на полное исследование обеих МЖ в двух стандартных проекциях (Rcc, Lcc, Robl и Lobl) потребуется 3600 МБ. Окончательная цифра будет меняться в зависимости от специфических технических особенностей (размер входного окна приемника изображения, размер пикселя, количество проекций, интервал среза).

На данный момент времени существует не так много цифровых маммографических систем, оснащенных функцией томосинтеза. Все системы отличаются проекционной геометрией получения изображения, детекторными технологиями, обработкой и реконструкцией изображения. В таблице 1.1 представлен обзор технических характеристик цифровых маммографических систем, оснащенных функцией томосинтеза.

Таблица 1.1

Сравнительная характеристика цифровых маммографических систем с функцией томосинтеза

	Hologic Selenia Dimensions	IMS Giotto TOMO	IMS Giotto Class	Fujifilm Amulet Innovality	GE Healthcare SenoClaire	МТЛ Маммо-5МТ	Philips Microdose	Planmed Clarity 3D	Siemens Mammomat Inspiration
Тип геометрии	полно масштабная	полно масштабная	полно масштабная	полно масштабная	полно масштабная	полно масштабная	раздельно сканирующая	полно масштабная	полно масштабная
Тип детектора	энергетическая интеграция	энергетическая интеграция	энергетическая интеграция	энергетическая интеграция	энергетическая интеграция	прямое преобразование	подсчет фотонов	энергетическая интеграция	энергетическая интеграция
Материал детектора	a-Se	a-Se	a-Se	a-Se	CsI-Si	a-Se	Si	CsI-a-Si	a-Se
Размер пикселя (мкм)	70	85	85	68	100	100	85	83	85
Размер пикселя фокальной плоскости (мкм)	95–117	90	90	50–100	100	85	100	83/166	85
Движение рентгеновской трубки	непрерывное	пошаговое	пошаговое	непрерывное	пошаговое	непрерывное	непрерывное	непрерывная синхронизация и снимок	непрерывное

Фильтр	Al: 700 мкм	Rh: 50 мкм Ag: 50 мкм	Ag: 50 мкм	Rh: 50 мкм Al: 700 мкм Al 700 мкм+ Cu 250 мкм	Mo: 30мкм Rh: 25 мкм	Ag: 50 мкм Rh: 50 мкм Al: 500 мкм	Al: 500 мкм	Rh: 75 мкм Ag: 60 мкм	Rh: 50 мкм
Угловой диапазон (°)	15	40	30	15/40	25	36	движение трубки 34^0	30	50
Количество проекций	15	13	11	15	9	19	эта система не имеет проекционных изображений, но набор данных от линий детектора равен 21	15	25
Фокусное расстояние (см)	70	68,5	69	65	66	66	66	65	65,5
Расстояние между детектором и центром вращения (мм)	0	20	40	46	40	45	400 ниже детектора	4,4	47

1.6. РАДИАЦИОННАЯ НАГРУЗКА НА ПАЦИЕНТА ПРИ ТОМОСИНТЕЗЕ

С появлением томосинтеза возникла необходимость в оценке не только его клинического значения, но и измерения эффективной дозы облучения для оценки соотношения предполагаемой пользы и вреда от проводимого исследования.

В настоящее время опубликовано весьма небольшое количество работ по оценке радиационной нагрузки при томосинтезе. В публикации Svahn T.M. и др. (2015), вероятно, приведен наиболее полный литературный обзор величин лучевой нагрузки при томосинтезе молочной железы в сравнении с цифровой маммографией в двух проекциях. Основной вывод этой работы заключается в том, что эффективная доза при томосинтезе МЖ в одной или в двух плоскостях может быть несколько выше, чем при цифровой маммографии в двух проекциях, в зависимости от физико-технических параметров сканирования. Так, диапазон величин дозы при томосинтезе в одной проекции от 0,34 до 1 мЗв, а при томосинтезе в двух проекциях — от 0,68 до 1,17 мЗв. Если суммировать эти показатели со значением цифровой маммографии, то цифры будут следующие: 1,03–1,5 мЗв для томосинтеза в одной проекции в сочетании с цифровой маммографией и 2,0–2,23 мЗв для томосинтеза в двух проекциях в сочетании с цифровой маммографией.

Для оценки эффективной дозы при томосинтезе органов грудной клетки наиболее часто используется метод Монте-Карло, который позволяет моделировать клинические условия поглощенной дозы и рассчитывать эффективную дозу, используя антропоморфный фантом грудной клетки [Sabol J.M., 2009; Svalkvist A. et al., 2009, 2010; Ullman G. et al., 2010]. По разным данным, эффективная доза при томосинтезе легких составляет от 0,1 до 0,4 мЗв [Johnsson A.A. et al., 2010; Asplund S. et al., 2014; Zhang Y. et al., 2014]. Многие исследователи приводят среднее значение — 0,13 мЗв [Bath M. et al., 2010]. Различия в получаемых значениях обусловлены, вероятнее всего, тем, что авторы использовали разные антропометрические фантомы или физико-технические параметры сканирования. Например, Quaia E. и др. проводили томосинтез с напряжением на трубке 120 кВ, общее время сканирования составляло 11 с, и использовался дополнительный медный фильтр толщиной 0,1 мм. В данном исследовании эффективная доза томосинтеза грудной полости составила 0,2 мЗв [Quaia E. et al., 2010]. А в работе Lee K.H. и соавт. применялись несколько иные физико-технические параметры: напряжение на трубке — 125 кВ, время сканирования — 11,4 с, толщина медного фильтра — 0,2 мм; и эффективная доза при этом составила 0,32 мЗв [Lee K.H. et al., 2015].

Для цифровой рентгенографии легких в прямой и боковой проекциях приводят значения эффективной дозы 0,02 мЗв и 0,04–0,05 мЗв соответственно [Bath M. et al., 2014]. Следовательно, получаемая доза за одно исследование томосинтеза равняется проведению двух цифровых рентгенографий в двух проекциях [Chou S.H. et al., 2014].

В то же время существуют работы, где сообщаются и более высокие значения эффективной дозы для томосинтеза. Например, Koyama S. и др. проводили свои исследования на аппарате производства Shimadzu при напряжении на рентгеновской трубке 100 кВт, времени сканирования 5 секунд, и эффективная доза составила 0,92 мЗв [Koyama S. et al., 2010]. В другой работе, также при использовании системы вышеуказанного производителя, эффективная доза достигала 0,65 мЗв. При этом напряжение на трубке и время сканирования составляли те же значения [Zhao F. et al., 2012].

Некоторые исследователи сообщают о снижении лучевой нагрузки за счет изменения физико-технических параметров исследования. Так, Hwang H.S. и др. при напряжении на рентгеновской трубке в 100 кВ в сочетании с медным фильтром толщиной 0,3 мм достигли значения эффективной дозы в 0,062 мЗв, а Kim E.Y. и др. при таких же параметрах — 0,05 мЗв [Hwang H.S. et al., 2013; Kim E.Y. et al., 2010]. В литературе встречается термин «низкодозовый томосинтез», при котором значение эффективной дозы ниже 0,1 мЗв [Sabol J.M., 2012].

Основной интерес представляет сравнение эффективной дозы, получаемой при томосинтезе и многосрезовой компьютерной томографии (МСКТ) грудной полости. В ряде исследований, где сопоставлялись эти методики, значения доз при МСКТ варьировались от 2 до 4 мЗв. Следовательно, лучевая нагрузка при томосинтезе в 15–30 раз ниже, чем при МСКТ [Vikgren J. et al., 2008; Quaia E. et al., 2010; Yamada Y. et al., 2013]. В работе Нечаева В.А. и др. (2014) приводятся данные, что дозовая нагрузка при томосинтезе органов грудной клетки в 7,5–10 раз меньше, чем при МСКТ. Таким образом, получается, что эффективная доза при томосинтезе грудной клетки незначительно превышает лучевую нагрузку при цифровой рентгенографии и в десятки раз ниже, чем при МСКТ.

В литературе встречаются единичные работы, посвященные определению лучевой нагрузки при проведении томосинтеза костно-суставной системы, и сопоставление ее с цифровой рентгенографией и МСКТ. Так, в работе Canella C. и др. (2011) было показано преимущество томосинтеза над цифровой рентгенографией в выявлении эрозий суставных поверхностей костей кисти у пациентов с ревматоидным артритом, при этом средняя величина эффективной дозы при цифровой рентгенографии составляла 0,044 мЗв, а при томосинтезе достигала 0,117 мЗв.

В исследовании Xia W. и др. (2012) сравнивались возможности и величина лучевой нагрузки томосинтеза и МСКТ в диагностике травматических повреждений костно-суставной системы. Было обследовано 46 пациентов с подозрением на перелом и/или вывих следующих анатомических областей: верхние и нижние конечности, голова, атланто-аксиальный сустав, позвоночник и кости таза. Было показано, что средняя эффективная доза при КТ достигала 5,46 мЗв, в то время как при томосинтезе она равнялась 0,07 мЗв.

В работе Bacher K. и др. (2009) с помощью антропометрического фантома и термолюминесцентных дозиметров проводилось сравнение лучевой нагрузки при конусно-лучевой томографии (КЛКТ), томосинтезе и МСКТ в исследовании околоносовых пазух. Было показано, что независимо от применяемого метода визуализации слюнные железы, мозг и щитовидная железа получают самые высокие эквивалентные дозы при исследовании околоносовых пазух. При этом эффективная доза для КЛКТ и томосинтеза составляла 0,030 мЗв и 0,065 мЗв соответственно, а для МСКТ — 0,2 мЗв и 1,4 мЗв (низкодозовый и стандартный протоколы).

Таким образом, на основании мирового опыта можно констатировать, что методика томосинтеза занимает промежуточное значение по эффективной дозе между стандартной рентгенографией и другими томографическими технологиями, включая МСКТ и КЛКТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баранов В.А.* Нелинейные структурно-ориентированные методы обработки изображений для неразрушающего контроля: автореферат дис. … д-ра техн. наук: 05.11.13 / Баранов В.А. [Место защиты: ТПУ]. — Томск, 2014. — 42 с.
2. *Баранов В.А., Эверт У., Кулешов В.К., Янушевская М.Н.* «Нелинейный томосинтез» как метод решения реконструктивных задач радиационного контроля // Ползуновский вестник. — 2011. — № 2/2. — С. 334–379.
3. *Васильев А.Ю., Карпов С.С.* Сравнение дозовой нагрузки при проведении стандартной цифровой рентгенографии, томосинтеза и мультисрезовой компьютерной томографии в экспериментальном исследовании детского антропоморфного фантома // Вестник рентгенологии и радиологии. — 2017. — Т. 98., № 1. — С. 23–29.
4. *Васильев А.Ю., Малый А.Ю., Серова Н.С.* Анализ данных лучевых методов исследования на основе принципов доказательной медицины. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2008. — 32 с.
5. *Васильев А.Ю., Нечаев В.А.* Томосинтез в диагностике заболеваний органов грудной клетки (обзор литературы) // Радиология — практика. — 2015. — Т. 54, № 6. — С. 59–68.
6. *Гуржиев С.Н., Новиков В.А., Соколов С.Н.* Томосинтез на флюорографическом цифровом аппарате «Флюоро-ПроГраф-РП» // Медицинская техника. — 2013. — № 5. — С. 17–21.
7. *Левитов А.А., Краснюк В.И., Дога В.И.* Цифровой линейный томосинтез: новые возмож-

ности лучевой диагностики // Мед. радиол. и рад. безоп. — 2014. — № 3 (59). — С. 32–38.
8. *Лихачёв А.В.* Исследование l/Z2 фильтрации в алгоритмах томографии // Автометрия. — 2007. — Т. 43., № 3. — С. 57–64.
9. *Нечаев В.А., Трефилов А.А., Новоселова Е.А. и др.* Сравнительная характеристика дозовых нагрузок при стандартной цифровой рентгенографии, цифровом томосинтезе и мультиспиральной компьютерной томографии при исследовании грудной клетки // Невский радиологический форум — 2014: Сб. науч. работ. — СПб., 2014. — С. 361–362.
10. *Ободовский А.В.* Разработка и исследование технических средств микрофокусной рентгеновской томографии: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.27.02 / Ободовский А.В. [Место защиты: СПбГЭТУ «ЛЭТИ»]. — СПБ, 2018. — 18 с.
11. *Asplund S., Johnsson A., Vikgren J. et al.* Effect of radiation dose level on the detectability of pulmonary nodules in chest tomosynthesis // Eur. Radiol. — 2014. — V. 24, No. 7. — P. 1529–1536.
12. *Bacher K., Mermuys K., Casselman J. et al.* Evaluation of effective patient dose in paranasal sinus imaging: comparison of cone beam CT, digital tomosynthesis and multi slice CT // World congress on medical physics and biomedical engineering. — 2009. — P. 458–460.
13. *Barkhausen J., Rody A., Schaefer F.* Digital breast tomosynthesis: technique and cases // Thieme. — 2015. — 232p.
14. *Barrett J.F., Keat N.* Artifacts in CT: recognition and avoidance. // Radiographics — 2004. — V. 24 (6). — P. 1679–1691.
15. *Batenburg K.J., Sijbers J.* Discrete tomography from micro-CT data: application to the mouse trabecular bone structure // Proceedings of SPIE Medical Imaging: Physics of Medical Imaging. — 2006. — 614240.
16. *Bath M., Svalkvist A., Von Wrangel A. et al.* Effective dose to patients from chest examinations with tomosynthesis // Radiat. Prot. Dosim. — 2010. — V. 139, No. 1–3. — P. 153–158.
17. *Canella C., Philippe P., Pansini V. et al.* Use of tomosynthesis for erosion evaluation in rheumatoid arthritic hands and wrists // Radiology. — 2011. — V. 258, No. 1. — P. 199–205.
18. *Chou S.H., Kicska G.A., Pipavath S.N. et al.* Digital tomosynthesis of the chest: current and emerging applications // Radiographics. — 2014. — V. 34, No. 2. — P. 359–372.
19. *Cierniak R.* X-Ray Computed Tomography in Biomedical Engineering. — SpringerVerlag London Limited, 2011. — 319p.
20. *Daly M.J., Siewerdsen J.H., Moseley D.J., Jaffray D.A., Irish J.C.* Intraoperative cone-beam CT for guidance of head and neck surgery: Assessment of dose and image quality using a C-arm prototype // Med. Phys. — 2006. — V. 33 (10). — P. 3767–3780.
21. *Dobbins III J.T.* Tomosynthesis imaging: At a translational crossroads // Med. Phys. — 2009. — V. 36. No. 6. — P. 1956–1967.
22. *Dobbins III J.T., Godfrey D.J.* Digital x-ray tomosynthesis: current state of the art and clinical potential // Phys. Med. Biol. — 2003. — V. 48. No. 19. — P. 65–106.
23. *Eisenberg R.L.* Radiology: an illustrated history // Mosby-Year Book, 1992. — 620p.
24. *Hwang H.S., Chung M.J., Lee K.S.* Digital Tomosynthesis of the Chest: Comparison of Patient Exposure Dose and Image Quality between Standard Default Setting and Low Dose Setting // Korean. J; Radiol. — 2013. — V. 14, No. 3. — P. 525–531.
25. *Johnsson A.A., Svalkvist A., Vikgren J. et al.* A phantom study of nodule size evaluation with chest tomosynthesis and computed tomography // Radiat. Prot. Dosimetry. — 2010. — V. 139, No. 1–3. — P. 140–143.

26. *Koyama S., Aoyama T., Oda N. et al.* Radiation dose evaluation in tomosynthesis and C-arm cone-beam CT examinations with an anthropomorphic phantom // Med. Phys. — 2010. — V. 37, No. 8. — P. 4298–4306.
27. *Lee K.H., Goo J.M., Lee S.M. et al.* Digital tomosynthesis for evaluating metastatic lung nodules: nodule visibility, learning curves, and reading times // Korean. J. Radiol. — 2015. — V. 16, No. 2. — P. 430–439.
28. *Mithun S., Jha A.K., Panchal K. et al.* A rare cause of tube arcing artifact seen in computed tomography image of a positron emission tomography/computed tomography scanner. The Indian Journal of Radiology and Imaging. — 2016. — V. 26(1). — P. 153–155.
29. *Park S.J., Choo J.Y., Lee K.Y. et al.* Usefulness of digital tomosynthesis for the detection of airway obstruction: a case report of bronchial carcinosarcoma // Cancer Res Treat. — 2015. — №47 (3). — P. 544–548.
30. *Quaia E., Baratella E., Cioffi V. et al.* The value of digital tomosynthesis in the diagnosis of suspected pulmonary lesions on chest radiography: analysis of diagnostic accuracy and confidence // Acad. Radiol. — 2010. — V. 17, No. 10. — P. 1267–1274.
31. *Sabol J.M.* A Monte Carlo estimation of effective dose in chest tomosynthesis // Med. Phys. — 2009. — V. 36, No. 12. — P. 5480–5487.
32. *Sabol J.M.* Techniques for Very Low Dose Thoracic Digital Tomosynthesis // ESTI 2012. EPOS. — London, 2012. Doi: 10.1594/esti2012/E-0082.
33. *Svahn T.M., Houssami N., Sechopoulos I. et al.* Review of radiation dose estimates in digital breast tomosynthesis relative to those in two-view full-field digital mammography // Breast. — 2015. — V. 24, No. 2. — P. 93–99.
34. *Svalkvist A., Mansson L. G., Bath M. et al.* Monte Carlo simulations of the dosimetry of chest tomosynthesis // Radiat. Prot. Dosimetry. — 2010. — V. 139, No. 1–3. — P. 144–152.
35. *Svalkvist A., Zachrisson S., Mansson L.G. et al.* Investigation of the dosimetry of chest tomosynthesis // Proc. SPIE. — 2009. — V. 7258. — P. 725785X.
36. *Ullman G.A., Dance D.R., Sandborg M. et al.* Monte Carlo-based model for simulation of digital chest tomosynthesis // Radiat. Prot. Dosimetry. — 2010. — V. 139, No. 1–3. — P. 159–163.
37. *Vikgren J., Zachrisson S., Svalkvist A. et al.* Comparison of chest tomosynthesis and chest radiography for detection of pulmonary nodules: human observer study of clinical cases // Radiology. — 2008. — V. 249, No. 3. — P. 1034–1041.
38. *Wu T., Moore R.H., Rafferty E.A. et al.* A comparison of reconstruction algorithms for breast tomosynthesis // Med Phys. — 2004. — №31 (9). — P. 2636–2647.
39. *Xia W., Yin X.R., Wu J.T. et al.* Comparative study of DTS and CT in the skeletal trauma imaging diagnosis evaluation and radiation dose // Eur. J. Radiol. — 2013. — V. 82, No. 2. — P. 76–80.
40. *Yamada Y., Jinzaki M., Hashimoto M. et al.* Tomosynthesis for the early detection of pulmonary emphysema: diagnostic performance compared with chest radiography, using multidetector computed tomography as // Eur. Radiol. — 2013. — V. 23, No. 8. — P. 2118–2126.
41. *Zhang Y., Li X., Segars W.P. et al.* Comparison of patient specific dose metrics between chest radiography, tomosynthesis, and CT for adult patients of wide ranging body habitus // Med. Phys. — 2014. — V. 41, No. 2. — P. 023901.
42. *Zhao F., Zeng Y., Peng G. et al.* Experimental Study of Detection of Nodules Showing Ground-Glass Opacity and Radiation Dose by Using Anthropomorphic Chest Phantom: Digital Tomosynthesis and Multidetector CT // J. Comput. Assist. Tomogr. — 2012. — V. 36, No. 5. — P. 523–527.

FUJIFILM

На страже женского здоровья

AMULET

Innovality

Цифровая маммографическая система

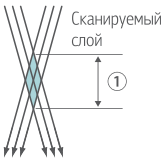


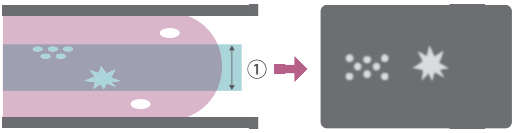


Два режима томосинтеза с функцией построения 2D изображения повышают диагностическую информативность снимков и снижают лучевую нагрузку на пациента за счет отсутствия необходимости выполнения повторных исследований.

• Стандартный режим (ST)

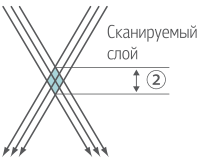
Угол отклонения трубки ±7,5° позволяет быстро проводить сканирование объемного слоя молочной железы с относительно небольшой лучевой нагрузкой

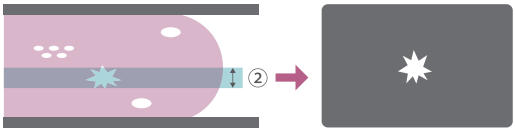




• Режим высокого разрешения (HR)

Угол отклонения трубки ±20° уменьшает толщину сканируемого слоя и позволяет максимально точно визуализировать различные структуры в плотных железах





Р-ФАРМ
Инновационные технологии здоровья

АО «Р-Фарм», 123154, Россия,
г. Москва, ул. Берзарина, д. 19, корп. 1
Тел. +7(495) 956-79-37, факс +7(495) 956-79-38
www.r-pharm.com

На правах рекламы.

ФЛЮОРОПРОГРАФ-РП

АППАРАТ С ФУНКЦИЕЙ ТОМОСИНТЕЗА



Инновационная разработка, объединяющая возможности проекционной рентгенографии и преимущества современных технологий.

Стандартный аппарат ФлюороПроГраф-РП дополнен функцией цифрового мультисрезового томосинтеза. Интенсивно развивающийся во всем мире многосрезовый томосинтез представляет собой революционное развитие цифровых технологий в применении к исследованию объекта при помощи сканирующих рентгеновских лучей.

За один проход рентгеновского источника вдоль тела пациента выполняется множество снимков с предельно малой дозой облучения.

Затем по специальному математическому алгоритму, похожему на компьютерную томографию, происходит пространственная реконструкция изображения объекта.

Результатом является набор коронарных срезов грудной клетки, с варьируемым между ними расстоянием в пределах 1—10 мм.

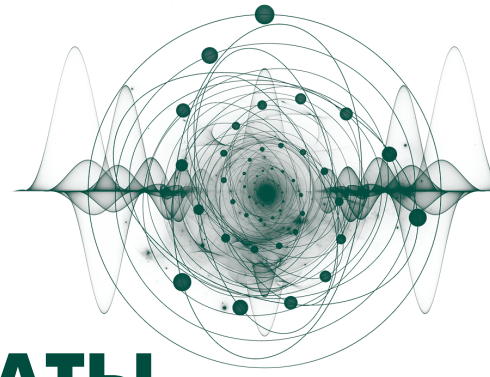


Инновационные достижения в аппарате ФлюороПроГраф-РП:

— диагностическая ценность исследования легких сравнима с результатами, получаемыми на КТ;
— доза сопоставима со стандартным флюорографическим обследованием;
— удобная анатомическая идентификация, большое сходство с обычным фронтальным снимком;
— возможность многократного обследования пациента для мониторирования динамики процесса лечения;
— высокая детализация элементов легочного рисунка при увеличении фрагментов изображений в режиме томо-увеличения;
— широкие возможности по позиционированию пациента;
— малое время обследования;
— простота использования.

АМИКО
рентгенотехника

2-ой Кожуховский проезд, д. 29, корп. 5,
г. Москва, 115432
Телефон: +7 495 742-41-60
Факс: +7 495 742-94-14
E-mail: info@amico.ru
www.amico.ru



2 РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОМОСИНТЕЗА В ДИАГНОСТИКЕ РАЗЛИЧНЫХ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (на основе данных мировой литературы)

Наиболее широкое распространение томосинтез получил в онкологии — в частности, в качестве эффективной методики диагностики новообразований МЖ. Реконструированный тонкий срез позволяет увидеть патологию железы на рентгенограмме без суперпозиции с окружающими структурами, что приводит к более высокой частоте обнаружения рака и уменьшению ложноположительных результатов. При этом доза полученного облучения сравнима с таковой при обычной маммографии (0,3–0,4 мЗв на одну проекцию). Методика особенно актуальна для женщин с высокой плотностью ткани МЖ и с высоким риском развития рака, однако в публикации некоторых известных авторов (Шершнева Е.В., Меских Е.В., 2015), напротив, указывается, что методика недостаточно эффективна для диагностики пациенток с плотной структурой ткани МЖ.

Другие авторы указывают на такие достоинства методики, как: повышение информативности в выявлении узловых образований; улучшение дифференциальной диагностики заболеваний, сопровождающихся скоплением кальцинатов; исключение потребности в проведении дополнительных исследований (прицельная маммография, дополнительные укладки); сокращение времени обследования; удлинение интервалов мониторинга за счет повышения качества диагностики. При этом на точность выявления образований в МЖ, например микрокальцинатов, оказывает влияние угол проекции: узкоугольная проекция обеспечивает более высокую чувствительность методики по сравнению с широкоугольной.

Солодкий В.А. с соавт. (2012) акцентируют внимание и на том, что технология томосинтеза исключает в ряде случаев гипердиагностику, снижая число инвазивных вмешательств, проводимых для уточнения природы изменений МЖ.

По данным Павловой Т.В. (2015), чувствительность, специфичность и общая точность томосинтеза в диагностике рака МЖ составляет 98, 99 и 98 % соответственно. Добавление методики томосинтеза в алгоритм обследования пациентов с непальпируемыми образованиями МЖ позволяет расширить стандартные методы обследования (маммография, ультразвуковое исследование) и повысить значения основных диагностических показателей. Автор также указывает, что отсутствие эффекта суммации при проведении томосинтеза МЖ улучшает визуализацию непальпируемого узлового образования, что дает возможность с большей точностью судить о характере и истинных размерах патологического очага и позволяет корректно классифицировать его в системе BI-RADS. Томосинтез в дифференциальной диагностике непальпируемых образований МЖ снижает количество ложноположительных результатов, необоснованных инвазивных вмешательств и повышает уровень диагностики. Интересно отметить, что к тому же выводу пришла и другая группа исследователей (Гринберг М.В. и др.,

2015). Авторы рекомендуют применение томосинтеза у пациентов с непальпируемыми образованиями МЖ категории BI-RADS 3–4, выявленных стандартными методиками.

Авторы ряда публикаций предлагают сочетанное применение методики томосинтеза и цифровой маммографии с целью повышения точности диагностики инвазивных форм рака МЖ.

По мнению большинства исследователей, эффективность томосинтеза в пульмонологии практически не уступает КТ [Johnsson A.A., Vikgren J., Svalkvist A. et al., 2014; E. Quaia et al., 2013; Chou S.H. et al., 2014]. Более того, по мнению некоторых авторов, методика томосинтеза имеет ряд преимуществ перед МСКТ. В исследовании Terzi A. и соавт. (2013) было показано, что выявляемость рака легкого при томосинтезе сопоставима с показателями низкодозовой КТ, превосходя последнюю в экономическом плане. Таким образом, авторы считают, что томосинтез может выступать в качестве методики выбора при скрининге рака легкого.

В литературе широко обсуждается вопрос об эффективности томосинтеза в выявлении узловых образований в легких. Методика существенно превосходит обзорную рентгенографию. Анализ данных ряда исследований показал, что при рентгенографии с целью выявления рака легкого чувствительность составила 20 %, специфичность — 63 %, в то время как при томосинтезе эти показатели достигли 46 и 84 % соответственно. То есть чувствительность томосинтеза в 2,3 раза, а специфичность — в 1,3 раза выше, чем аналогичные показатели при рентгенографии.

Довольно высокую эффективность продемонстрировала методика и в визуализации очаговых образований легких, подозрительных на метастатическое поражение, у больных раком МЖ. В исследовании Левитова А.А. с соавт. (2013) у 47 пациенток с гистологически верифицированным раком МЖ различной стадии были проведены цифровая рентгенография и томосинтез легких. При цифровой рентгенографии органов грудной клетки только у 8,5 % пациенток были выявлены очаговые образования в легких, подозрительные на метастатическое поражение, против 29,8 % при использовании методики томосинтеза. Иными словами, эффективность томосинтеза в данном исследовании превышала информативность цифровой рентгенографии в 3,5 раза. Авторы считают целесообразным использование томосинтеза как более эффективной методики рентгенодиагностики очаговых образований в легких у больных раком МЖ в сравнении с цифровой рентгенографией.

По данным ряда авторов, с помощью методики томосинтеза можно визуализировать большинство узловых злокачественных новообразований легких размером свыше 5 мм [Kyung H.L. et al., 2015; Söderman C. et al., 2015]. При этом Hwang H.S. с соавт. (2013) обращают внимание на то, что кроме более высокой

чувствительности томосинтеза в выявлении узловых образований в легких доза облучения по сравнению с МСКТ была на 67 % меньше. Следует отметить, что на возможности выявления узловых образований в легких с помощью томосинтеза оказывают влияние их размеры и локализация, т. е. те же факторы, что и при рентгенографии органов грудной клетки [Yamada Y. et al., 2011].

В своей работе Нечаев В.А. и соавт. (2015) пришли к выводу, что томосинтез несколько уступает МСКТ, но может дополнить алгоритм исследования больных с патологией органов грудной клетки. Авторы обследовали 120 пациентов с патологией органов грудной клетки, проведя всем пациентам стандартную цифровую рентгенографию и дополнительно томосинтез, в ряде случаев для уточнения характера патологических изменений также была проведена МСКТ. Томосинтез позволил выявить мелкие (до 3 мм) полости распада в 27,8 % случаев, связь с «дренирующим» бронхом в 22,2 % и мелкоочаговую диссеминацию в 11,1 %. Данные МСКТ позволили дополнительно определить признаки гидроторакса в 37,5 %, связь полости распада с бронхом в 25 %. При этом авторы рекомендуют с целью повышения качества цифровых томограмм для диагностики заболеваний дыхательных путей использовать при реконструкции изображений алгоритм FBP.

Важное значение методика томосинтеза имеет в дифференциальной диагностике туберкулеза и рака легких. По данным Никитина М.М. и Ратобыльского Г.В. (2014), данная методика позволяет в большинстве случаев верифицировать диагноз и соответственно выбрать адекватную тактику лечения.

Имеется и опыт применения томосинтеза для визуализации изменений в легочной ткани у детей с муковисцидозом. Авторы ряда исследований подчеркивают, что его информативность в данном случае превосходит цифровую рентгенографию и сопоставима с МСКТ при более низкой лучевой нагрузке [von Steyern K.V. et al., 2014]. В частности, указывается на лучший обзор бронхиального дерева. Кроме того, исследователи акцентируют внимание на том, что по сравнению с процедурой цифровой рентгенографии томосинтез занимает лишь на 1 минуту больше, но является гораздо более информативным. Интерпретация снимков, полученных с помощью методики томосинтеза, занимает меньше времени по сравнению с компьютерными томограммами, поскольку в данном случае необходимо анализировать меньшее количество снимков. Все эти доводы позволяют авторам публикации прийти к выводу, что томосинтез можно рекомендовать для мониторинга пациентов детского возраста с муковисцидозом. Однако они рекомендуют использовать его не в качестве основной диагностической методики, а лишь в дополнение к МСКТ. Кроме того, они признают необходимость дальнейшего изучения возможностей томосинтеза —

в частности, его места и роли в динамическом наблюдении за пациентами с муковисцидозом.

Также обращает на себя внимание работа Нечаева В.А. (2015) о применении томосинтеза при неотложных состояниях у пациентов с заболеваниями и повреждениями органов грудной клетки. В ней автор приходит к выводу, что в 92% случаев данные, полученные с помощью томосинтеза, были подтверждены и дополняли исследование, выполненное с помощью стандартной цифровой рентгенографии. Однако проведение МСКТ позволило в 16% случаев получить дополнительные данные.

Резюмируя вышесказанное, можно согласиться с рядом авторов, которые полагают, что в настоящее время томосинтез в пульмонологии занимает место между рентгенографией и МСКТ — эта методика более чувствительна, чем рентгенография, и менее чувствительна по сравнению с МСКТ, хотя ее специфичность весьма близка к МСКТ. Очевидно, в будущем она получит более широкое распространение в пульмонологии ввиду более низкой дозы облучения и невысокой стоимости по сравнению с МСКТ, а также меньшим временем обследования [Нечаев В.А., 2015; Asplund S.A. et al., 2014; Båth M. et al., 2014; Galea A. et al., 2014; Quaia E. et al., 2014; Zhang Y. et al., 2014]. В то же время приходится признать справедливым мнение некоторых авторов о том, что эффективность томосинтеза в пульмонологии во многом зависит от опыта и квалификации специалиста, который его проводит [Asplund S. et al., 2014].

В последние годы отмечаются преимущества томосинтеза в визуализации кальцификации аорты перед рентгенографией. Авторы провели сравнительный анализ результатов таких методик исследования, как МСКТ, томосинтез и рентгенография, у 100 пациентов с участками обызвествления дуги аорты. В результате было выявлено, что точность определения кальцификации стенок дуги аорты с помощью томосинтеза достигало 94%, что гораздо выше, чем при использовании рентгенографии (71%). Диагностическая ценность томосинтеза у данного контингента пациентов, по данным авторов, приближается к таковой у МСКТ [Kim E.Y. et al., 2012].

В своей работе Цыбульская Ю.А. с соавт. (2014) отмечают, что томосинтез должен быть включен в комплекс современных методов лучевой диагностики при диагностике туберкулеза, так как разрешающая способность томосинтеза (особенно при визуализации легочной и костной ткани) приближается к МСКТ, а доза облучения пациента по сравнению с МСКТ меньше. В частности, на клиническом материале 20 пациентов с гистологически подтвержденным туберкулезным поражением позвоночника коллектив авторов продемонстрировал, что томосинтез позволяет с высокой точностью визуализировать костно-деструктивные изменения позвоночника и является в ряде случаев заменой МСКТ. Авторы также обраща-

ют внимание на высокую информативность полученных изображений при меньшей дозе излучения по сравнению с КТ. Однако на МСКТ лучше визуализируются изменения в паравертебральных мягких тканях.

Кроме того, методика томосинтеза может с успехом применяться для диагностики туберкулезного процесса внелегочной локализации — в частности, генитального туберкулеза. По мнению Цыбульской Ю.А. с соавт. (2015), эта методика позволяет выявлять внелегочный туберкулез на ранних стадиях, что, в свою очередь, способствует снижению риска развития возможных осложнений.

О возможностях применения методики томосинтеза в урологии свидетельствует и клинический случай, описанный Никитиным М.М. и Ратобыльским Г.В. (2014). Они сообщают об эффективности томосинтеза в диагностике туберкулеза мочевыводящих путей у пациента, результаты экскреторной урографии у которого были неинформативны из-за его неадекватной подготовки.

В публикации зарубежных урологов подчеркивается, что томосинтез полностью соответствует потребностям и особенностям урологического обследования, процедура комфортна для пациентов, обеспечивает широкое поле обзора, высокое качество изображений. Авторы подчеркивают что методика весьма перспективна для более широкого применения в урологии [Sugiyama T., 2014].

В последние годы томосинтез начал применяться и в оториноларингологии. В частности, авторы ряда публикаций указывают на эффективность данной методики при установке и контроле за кохлеарными имплантатами у пациентов с нарушением слуха. Они подчеркивают преимущества томосинтеза перед обычной рентгенографией, которая не может обеспечить столь же точного контроля над позиционированием имплантата после его установки [Hirano H., 2013; Takei M., 2014].

Machida H. с соавт. (2013) в своей работе продемонстрировали возможности томосинтеза в визуализации околоносовых пазух. Первоначально авторы провели исследование на фантоме и доказали, что визуализация пазух с помощью томосинтеза сопровождается гораздо меньшей лучевой нагрузкой на хрусталик — она составляет 1/300 по сравнению с дозой, получаемой пациентом при МСКТ. На втором этапе была оценена диагностическая ценность томосинтеза в сравнении с МСКТ уже на клиническом материале 21 пациента с синуситами. Установлено, что томосинтез не уступал МСКТ по частоте выявления патологических изменений в околоносовых пазухах. Таким образом, авторы резюмируют, что вышеперечисленные характеристики позволяют считать томосинтез весьма перспективной методикой обследования пациентов с подозрением на синусит. Помимо самостоятельного диагностического значения полученных с помощью дан-

ной методики результатов применение томосинтеза может стать первым шагом в диагностическом алгоритме у кандидатов на функциональное эндоскопическое вмешательство на околоносовых пазухах [Machida H. et al., 2013].

Вызывают интерес возможности применения томосинтеза в гастроэнтерологии. В работе Omori T. et al. (2013) описан опыт применения методики для точной локализации эндоскопической капсулы, причем авторы указывают, что помимо точной визуализации томосинтез имеет преимущество перед стандартной рентгенографией в виде более низкой дозы облучения.

В настоящее время активно обсуждается возможность применения томосинтеза в ортопедии и травматологии. В большинстве случаев зарубежные публикации представляют собой лишь описания ряда клинических случаев с применением методики томосинтеза, практически без их анализа [Lacout A. et al., 2013; Xia W., 2013]. Клиническое применение томосинтеза показало эффективность его использования в травматологии и ортопедии, например, при выявлении вдавленных переломов субхондральных замыкательных пластинок. Чувствительность и специфичность томосинтеза при выявлении поднадкостничных переломов без смещения отломков существенно превосходят все виды пленочной и цифровой рентгенографии [Uchida Y., 2014].

В госпитале Mitsubishi Kioto ежемесячно выполняется около 17 процедур томосинтеза, т. е. не менее 200 в течение года. При этом применяются два режима томосинтеза — FBP (фильтрованная боковая проекция) и IR (итеративная реконструкция). Последний режим имеет то преимущество, что позволяет исключить металлические артефакты и получить более тонкие срезы. Это помогает детализировать костные структуры, линии перелома, трабекулы. В результате режим IR наиболее часто используется у пациентов с заболеваниями костно-суставной системы для артрографии и контроля вживления металлических имплантатов. Однако врачи указывают и на недостатки этого режима томосинтеза — более длительное время реконструкции, сложный процесс выбора металлического фильтра, а также недостаточная контрастность изображений. В этой связи у пациентов с костно-суставной патологией применяется и режим FBP для получения более контрастных изображений [Uchida Y., 2014].

Проблема подбора фильтров для процедуры томосинтеза подробно освещена в работе Kuzuwa T. с соавт. (2013). Исследователи указывают, что система T-smart, являющаяся частью установки для томосинтеза, вычленяет изображения металлических включений из оригинального снимка и проводит аппроксимацию окончательного варианта изображения. Система включает в себя 10 фильтров — в зависимости от количества и размера металлических включений у пациента. Однако

при этом возникает проблема: до проведения первого снимка зачастую бывает весьма сложно определить характеристики включений и заранее выбрать фильтр. Авторы указывают, что по мере накопления опыта эта проблема решается все легче, но предлагают для ее устранения разработать специальные индексы оценки металлических включений для подбора фильтров на основании предварительно сделанного рентгеновского снимка. Кроме того, они акцентируют внимание на том, что подобные включения могут на снимках перекрывать линию перелома, что приводит к диагностическим ошибкам. Поэтому они рекомендуют у пациентов с металлическими включениями в костной ткани и подозрением на перелом применять специальные укладки с целью визуализации линии перелома. В заключение они обозначают основные направления применения томосинтеза в ортопедии — это контроль за имплантированными металлическими конструкциями у пациентов, оценка линии перелома, если она не визуализируется на рентгенограмме, диагностика компрессионных переломов позвонков. При этом они подчеркивают, что методика томосинтеза не может заменить МСКТ, однако представляет собой новый и весьма полезный диагностический инструмент в ортопедии.

В публикации Iwama M. et al., 2013, подчеркивается, что томосинтез более эффективен в диагностике синостозов, чем стандартная рентгенография, более точен и сопровождается меньшей лучевой нагрузкой в сравнении с МСКТ.

На широкие возможности методики в области ортопедии указывается и в публикации Gen H. et al., 2014. Ее автор подчеркивает, что снимки, сделанные с помощью методики томосинтеза, позволяют визуализировать переломы костей, формирование костной мозоли, состояние синостоза, контролировать остеосинтез, а также отчетливо видеть структуры костей и суставов.

На возможности визуализации костных структур при томосинтезе указывают и авторы другого исследования [Göthlin J.H., Geijer M., 2013]. Они провели сравнительный анализ диагностических возможностей томосинтеза и рентгенографии у пациентов с металлическими протезными конструкциями в головке и шейке бедренной кости. В результате было показано, что в 72 % случаев оценка возможностей дифференциальной диагностики очагов деминерализации и остеолизиса в области протеза была у обоих методов сопоставимой. В остальных 28 % случаев томосинтез продемонстрировал превосходство над рентгенографией. Кроме того, диагностическая ценность томосинтеза была выше в диагностике перелома шейки бедренной кости.

В то же время авторы другого исследования указывают на то, что МСКТ в настоящее время превосходит томосинтез в плане оценки костных структур, хотя в ряде случаев методика томосинтеза может быть полезной для ди-

агностики формирования костной мозоли [Roth E.S. et al., 2015]. К подобным же выводам пришли и На A.S. с соавт. (2015), которые рекомендуют использовать томосинтез в процессе динамического наблюдения за пациентами с переломами, причем не только запястья, но и других локализаций.

Применять томосинтез для оценки динамики репаративных процессов в послеоперационном периоде у пациентов с патологией костно-мышечной системы рекомендует Horitake S. (2015). Исследователь указывает на то, что томосинтез позволяет выявить изменения в костной ткани и оценить процессы фиксации после тотального эндопротезирования тазобедренного сустава гораздо раньше, чем при использовании рентгенографии. Кроме того, применение фильтров и системы T-smart позволяет устранить влияние металлических артефактов и обеспечивает четкую визуализацию костных структур.

Авторы другого исследования обращают внимание на то, что в современной литературе практически отсутствуют сведения об использовании томосинтеза у пациентов с повреждением позвоночника [Ohno S. et al., 2013]. Они приводят результаты собственного сравнительного анализа эффективности томосинтеза и МСКТ в оценке эффективности остеосинтеза в поясничном отделе позвоночника. В результате было установлено, что цифровые томограммы по сравнению с МСКТ легче оценивать (благодаря исключению металлических артефактов). Кроме того, при сопоставимой информативности процедура томосинтеза требует меньше времени, сопровождается меньшей лучевой нагрузкой (примерно 1/10 от МСКТ). Авторы полагают, что благодаря этим достоинствам томосинтез в будущем может заменить МСКТ.

Высокую чувствительность продемонстрировал метод томосинтеза в диагностике изменений в мелких суставах у пациентов с остеоартритом. С помощью томосинтеза выявили больше остеоартритических изменений, чем при использовании рентгенографии и даже МСКТ [Martini K. et al., 2016].

Несколько иные данные были получены коллективом исследователей, изучавших возможности томосинтеза в выявлении тофусов у пациентов с подагрой [Dalbeth N. et al., 2014]. На клиническом материале 36 пациентов с подагрой они показали, что в выявлении тофусов у данного контингента пациентов томосинтез не имеет существенных преимуществ перед рентгенографией и существенно уступает МСКТ.

Смердин С.В. с соавт. (2014) предлагают использовать томосинтез для диагностики туберкулезного поражения позвоночника. Данные собственных исследований позволили авторам прийти к выводу, что томосинтез позволяет с высокой точностью визуализировать костно-деструктивные изменения при туберкулезе позвоночника и заменить в некоторых случаях КТ. Томосинтез также позволяет получить цифровые рент-

геновские изображения высокой информативности при меньшей дозе излучения по сравнению с КТ, но последняя позволяет лучше визуализировать изменения в паравертебральных мягких тканях.

Несмотря на явные преимущества томосинтеза перед цифровой рентгенографией, а в ряде случаев — МСКТ и МРТ, методика еще не получила достаточного распространения в педиатрической практике. В доступной литературе имеются лишь единичные сообщения о его применении в диагностике патологии у детей. Так, Pelc N.J. с соавт. (2012) по результатам сравнительного анализа эффективности различных методик визуализации костей лицевого скелета у детей пришли к выводу о том, что томосинтез превосходит по эффективности цифровую рентгенографию и в большинстве случаев дает достаточно информации, что позволяет избежать необходимости дополнительного применения МСКТ.

При анализе современной литературы, посвященной вопросу использования томосинтеза в медицинской практике, обращает на себя внимание, что более широкому применению данной методики препятствует недостаточная разработка практических аспектов его использования. Часто в научных исследованиях не уточнены роль и место данной методики в алгоритме лучевой диагностики различных заболеваний, не изучены вопросы семиотики, не раскрыты потенциальные возможности данной технологии для динамического наблюдения за пациентами. В то же время еще остается потребность в разработке новых алгоритмов реконструкции изображения, позволяющих нивелировать артефакты от движений, а также от металлических конструкций, ускорить время постпроцессорной обработки, снизить дозовую нагрузку для пациентов.

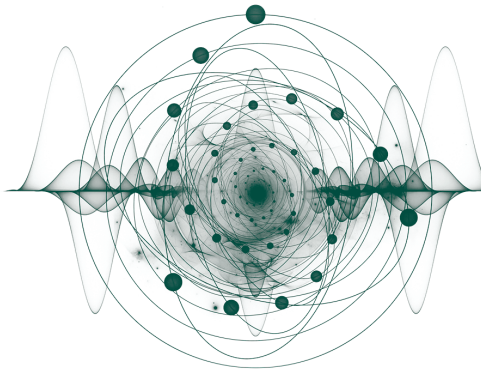
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гринберг М.В., Харченко Н.В., Кунда М.А., Запиров М.М.* Дигитальный томосинтез — новая технология в диагностике непальпируемого рака молочной железы // Вестник РУДН, серия Медицина. — 2015. — № 3. — С. 46–60.
2. *Левитов А.А., Краснюк В.И., Ситникова Е.В. и др.* Эффективность рентгеновского цифрового линейного томосинтеза в визуализации очаговых образований легких, подозрительных на метастатическое поражение, в сравнении с цифровой рентгенографией у больных раком молочной железы // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2013. — Т. 58, № 2. — С. 46–52.
3. *Нечаев В.А., Бажин А.В., Новоселова Е.В.* Применение томосинтеза в диагностике заболеваний органов грудной клетки // Радиология — практика. — 2015. — № 5. — С. 14–21.
4. *Никитин М.М., Ратобыльский Г.В.* Современные рентгенологические методы в выявлении и дифференциальной диагностике туберкулеза различных органов и систем // Поликлиника. — 2014. — № 3. — С. 33–35.

5. *Павлова Т.В., Васильев А.Ю.* Возможности и преимущества цифрового томосинтеза в дифференциальной диагностике непальпируемых образований молочных желез // Радиология — практика. — 2015. — Т. 49., № 1. — С. 21–29.
6. *Смердин С.В., Цыбульская Ю.А., Шутихина И.В. и др.* Возможности лучевой диагностики туберкулезного спондилита // Туберкулез и болезни легких. — 2014. — Т. 7 — С. 65–70.
7. *Солодкий В.А., Рожкова Н.И., Мазо М.Л.* Первый опыт томосинтеза для повышения диагностической эффективности заболеваний молочной железы // Лечащий врач. — 2012. — № 11. — С. 25–27.
8. *Цыбульская Ю.А., Грабарник А.Е., Шутихина И.В. и др.* Многосрезовая линейная рентгеновская томография (ТС) в диагностике генитального туберкулеза // Туберкулез и болезни легких. — 2015. — № 5. — С. 188–189.
9. *Asplund S., Johnsson A., Vikgren J. et al.* Effect of radiation dose level on the detectability of pulmonary nodules in chest tomosynthesis // Eur. Radiol. — 2014. — V. 24, No. 7. — P. 1529–1536.
10. *Bath M., Soferman C., Svalkvist A.* A simple method to retrospectively estimate patient dose-area product for chest tomosynthesis examinations performed using VolumeRAD // Med. Phys. — 2014. — V. 41, No. 10. — P. 101905.
11. *Chou S.H., Kicska G.A., Pipavath S.N. et al.* Digital tomosynthesis of the chest: current and emerging applications // Radiographics. — 2014. — V. 34, No. 2. — P. 359–372.
12. *Dalbeth N., Gao A., Roger M.* Digital tomosynthesis for bone erosion scoring in gout: comparison with plain radiography and computed tomography // Rheumatology. — 2014. — V. 53. — No. 9. — P. 1712–1713.
13. *Galea A., Durran A., Adlan T. et al.* Practical applications of digital tomosynthesis of the chest // Clin. Radiol. — 2014. — V. 69. — No. 4. — P. 424–430.
14. *Gen H.* Usefulness of tomosynthesis for orthopedics // Medical Now. — 2014. — No. 76. P. 189–92.
15. *Gothlin J. H., Geijer M.* The utility of digital linear tomosynthesis imaging of total hip joint arthroplasty with suspicion of loosening: a prospective study in 40 patients // Biomed. Res. Int. — 2013. — V. 2013. — Article ID 594631. — 6 p.
16. *Ha A.S., Lee A.Y., Hippe D.S. et al.* Digital tomosynthesis to evaluate fracture healing: prospective comparison with radiography and CT // AJR. — 2015. — V. 2015. — No. 1. — P. 135–141.
17. *Hirano H.* Usage experience in the otolaryngological field (cochlear implants) // Innervision. — 2013. — V. 28, No. 12. — P. 1–3.
18. *Horitake S.* Use of tomosynthesis radiography for total hip arthroplasty (THA) at Iida hospital // Medical Now. 2015. — No. 77. — P. 1–5.
19. *Hwang H.S., Chung M.J., Lee K.S.* Digital Tomosynthesis of the Chest: Comparison of Patient Exposure Dose and Image Quality between Standard Default Setting and Low Dose Setting // Korean. J. Radiol. — 2013. — V. 14, No. 3. — P. 525–531.
20. *Iwama M., Takehara K., Anraku K.* Use of tomosynthesis in the Aizawa Hospital. // Medical Now. — 2013. — No. 75. P. 209–211.
21. *Johnsson A.A., Vikgren J., Bath M.* Chest tomosynthesis: technical and clinical perspectives // Semin. Respir. Crit. Med. — 2014. — V. 35, No. 1. — P. 17–26.
22. *Kim E.Y., Chung M.J., Choe Y.H. et al.* Digital tomosynthesis for aortic arch calcification evaluation: performance comparison with chest radiography with CT as the reference

standard // Acta. Radiol. — 2012. — V. 52, No. 1. — P. 17–22.

23. *Kuzuwa T., Izumi M., Yoshimitsu S. et al.* Experience using tomosynthesis (T-smart) at Nara City Hospital // Medical Now. — 2013. — No. 74.
24. *Lacout A., Thariat J., Fohlen A. et al.* Tomosynthesis: A new chest imaging technique // Diagn. Interv. Imaging. — 2012. — V. 93, No. 1. — P. 72–74.
25. *Machida H., Yuhara T., Ueno E. et al.* Detection of paranasal sinus opacification with digital tomosynthesis radiography: a clinical pilot study // J. Comput. Assist. Tomogr. — 2013. — V. 37, No. 2. — P. 252–256.
26. *Martini K., Becker A.S., Guggtnberger R.* Value of tomosynthesis for lesion evaluation of small joints in osteoarthritic hands using the OARSI score // Osteoarthritis Cartilage. — 2016. V. 24. — No. 7. — P. 1167–1171.
27. *Nechaev V.A., Vasiliev A.Yu.* Capabilities of tomosynthesis in diagnosing chest diseases and injuries. // Sovremennye tehnologii v medicine. — 2016. —V. 8. — №. 2. — P. 59–65. Doi: 10.17691/stm2016.8.2.08.
28. *Ohno S.* How tomosynthesis changes the evaluation of PLIF bone union // Medical Now. 2013. — No. 74. — P. 1–4.
29. *Omori T.* Current status and future possibilities of gastrointestinal tract patency evaluation using patency capsules // Medical Now. — 2013. — No. 74.
30. *Quaia E., Baratella E., Poillucci G. et al.* Digital Tomosynthesis as a Problem-Solving Imaging Technique to Confirm or Exclude Potential Thoracic Lesions Based on Chest X-Ray Radiography // Acad. Radiol. — 2013. — V. 20, No. 5. — P. 546–553.
31. *Roth E.S., Ha A.S., Chew F.S.* Demystifying the status of fracture healing using tomosynthesis: a case report // Radiol. Case Rep. — 2015. — V. 10. — No. 3. — P. 22–26.
32. *Soderman C., Johnsson A.A. Vikgren J. et al.* Evaluation of accuracy and precision of manual size measurements in chest tomosynthesis using simulated pulmonary nodules // Acad. Radiol. — 2015. — V. 22, No. 4. — P. 496–504.
33. *Sugiyama T.* Experiences using the SONIALVISION G4 in the field of urology // Medical Now. — 2014. — No. 75. P. 1–4.
34. *Takei M.* Experiences with cochlear implant examination using tomosynthesis // Special Reports. — 2014.
35. *Terzi A., Bertolaccini L., Viti A. et al.* Lung cancer detection with digital chest tomosynthesis: baseline results from the observational study SOS // J. Thorac. Oncol. — 2013. — V. 8, No. 6. — P. 685–692.
36. *Uchida Y.* Using the SONIALVISION safire series tomosynthesis application // Medical Now. — 2014. — No. 76.
37. *Vult von Steyern K., Bjorkman-Burtscher I.M., Weber L. et al.* Effective dose from chest tomosynthesis in children // Radiat. Prot. Dosimetry. — 2014. — V. 158, No. 3. — P. 290–298.
38. *Xia W., Yin X.R., Wu J.T. et al.* Comparative study of DTS and CT in the skeletal trauma imaging diagnosis evaluation and radiation dose // Eur. J. Radiol. — 2013. — V. 82, No. 2. — P. e76–e80.
39. *Yamada Y., Jinzaki M., Hasegawa I. et al.* Fast scanning tomosynthesis for the detection of pulmonary nodules // Invest. Radiol. — 2011. — V. 46, No. 8. — P. 471–477.
40. *Zhang Y., Li X., Segars W.P. et al.* Comparison of patient specific dose metrics between chest radiography, tomosynthesis, and CT for adult patients of wide ranging body habitus // Med. Phys. — 2014. — V. 41, No. 2. — P. 023901.



3 ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

Молочная железа (glandula mamma) — парный железистый орган, расположенный на передней поверхности грудной стенки, являющийся производным потовых желез. Но даже с учетом поверхностного расположения и, как следствие, доступности лучевой визуализации диагностика патологических изменений МЖ не всегда проста. К основным факторам, затрудняющим рентгенологическую диагностику патологических образований МЖ, относятся плотность ткани и эффект суперпозиции тканевых структур.

Томосинтез МЖ представляет собой модификацию цифровой маммографии, позволяющую с использованием вращающейся по С-дуге трубки и рентгеновских лучей получать срезы МЖ, которые впоследствии можно преобразовывать в объемное изображение. Срезы, полученные под разными углами наклона рентгеновской трубки, в дальнейшем с помощью математических алгоритмов преобразуются в объемную картину и в значительной степени устраняют эффект наложения тканевых структур.

К сожалению, на территории РФ томосинтез МЖ представляет собой методику, ограниченно внедренную в повседневную практику врача-рентгенолога. Далеко не все цифровые маммографические системы, оснащенные функцией томосинтеза, способны реконструировать синтетические обзорные маммограммы из низкодозовых томосинтетических изображений. До сих пор мировая научная общественность ведет споры о роли и месте томосинтеза в диагностике патологических состояний МЖ.

Для пациентки процедура томосинтеза отличается от рутинной маммографии лишь незначительным увеличением времени ее проведения и меньшей компрессией МЖ.

3.1. СИСТЕМА BI-RADS

Система BI-RADS (система интерпретации и протоколирования визуализации МЖ) разработана Американским радиологическим колледжем для стандартизации интерпретации результатов маммографического обследования. Первое издание вышло в 1992 году и было посвящено только маммографии — основному на тот момент методу обследования МЖ. В 2003 году в четвертое издание BI-RADS вошли ультразвуковой метод и метод магнитно-резонансной томографии. В 2013 году вышло последнее, пятое издание BI-RADS. Система интерпретации и протоколирования визуализации МЖ (BI-RADS) ставит перед собой следующие задачи:

— стандартизация интерпретации результатов обследования МЖ (ММГ, УЗИ, МРТ);

— упрощение языка общения диагностов и клиницистов (в том числе разных стран);

— указание дальнейшего конкретного плана ведения пациента;

— мониторинг результатов обследования.

В таблице 3.1 показаны категории оценки визуализации МЖ с применением маммографии, ультразвукового исследования и магнитно-резонансной томографии.

Таблица 3.1

Категории оценки по системе BI-RADS и соответствующие им рекомендации

Категория BI-RADS	Рекомендации	Вероятность рака
0 (требуется дополнительная визуализация)	Лучевое дообследование: дополнительные проекции, прицельная МГ, УЗИ, МРТ	?
1 (без узловой патологии)	Наблюдение согласно возрастным рекомендациям	0 %
2 (доброкачественные изменения)	Наблюдение согласно возрастным рекомендациям	0 %
3 (вероятно доброкачественные изменения)	Повторное обследование через короткий интервал времени (6 мес.)	> 0 % и ≤ 2 %
4a (малоподозрительные в отношении РМЖ изменения)	Биопсия (при отсутствии морфологических признаков злокачественности — контроль через 3–6 месяцев)	Вероятность злокачественности > 2 % и ≤ 10 %
4b (подозрительные в отношении РМЖ изменения)	Биопсия (при отсутствии патологии — контроль по назначению врача-радиолога)	Вероятность злокачественности > 10 % и ≤ 50 %
4c (крайне подозрительные в отношении РМЖ изменения)	Биопсия	Вероятность злокачественности > 50 % и ≤ 95 %
5 (характерные для РМЖ изменения)	Биопсия	> 95 %
6 (верифицированный РМЖ)	Дальнейшие действия определяет клиницист (онколог)	Злокачественность доказана

Категории оценки по системе BI-RADS и соответствующие им рекомендации

Термины, которыми описываются маммографические изменения в ткани МЖ, можно также применять для интерпретации данных, полученных при проведении методики томосинтеза.

3.2. ПЛОТНОСТЬ ТКАНИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

Существует большое количество научных работ, доказывающих, что высокая рентгеновская плотность в значительной степени влияет непосредственно на риск развития РМЖ и относится к одному из факторов, затрудняющих своевременную диагностику патологических состояний (образований) МЖ. Также известно, что на плотность паренхимы МЖ влияют такие факторы, как прием тамоксифена и некоторых других лекарственных препаратов, заместительная гормональная терапия, изменения индекса массы тела и алиментарный фактор. Поэтому одна и та же женщина может иметь различающуюся маммографическую картину с интервалом в год.

В последнем, на сегодняшний момент, пятом издании BI-RADS претерпел изменение критерий оценки плотности ткани МЖ. Принятое ранее разделение соотношения жировой и фиброгландулярной (фиброзно-железистой) тканей в процентном соотношении (a — менее 25 %, b — 25–50 %, c — 51–75 % и d — свыше 75 %) было признано субъективным и не всегда точным. В связи с этим был скорректирован подход в оценке плотности структуры МЖ, представленный в таблице № 3.2.

Таблица 3.2

Категории плотности ткани молочных желез по данным пятого издания BI-RADS ACR

Категория	Соотношение
A	Структура МЖ практически полностью представлена жировой тканью
B	В структуре МЖ определяются отдельные участки фиброгландулярной (фиброзно-железистой) ткани
C	Плотность МЖ повышена из-за большого количества фиброгландулярной (фиброзно-железистой) ткани
D	МЖ практически полностью представлены фиброгландулярной (фиброзно-железистой) тканью
Имплантаты в МЖ указываются отдельно	

Следует помнить, что диагностические возможности обзорной маммографии заметно снижаются в МЖ с плотностью «C» (плотные) и «D» (очень плотные) по классификации ACR BI-RADS. По данным Makboon K. et al., 2015, чувствительность маммографии у пациенток с плотной тканью МЖ колеблется в интервале 30–64,4 %. В МЖ высокой плотности наиболее часто встречается эффект суперпозиции тканевых структур (наложение теней) и, как следствие, значительно увеличивается процент как ложноотрицательных, так и ложноположительных результатов. У таких пациентов диагностируется большое количество интервальных раков (РМЖ выявляется на следующем после предшествующего маммографического скрининга обследовании). Поэтому пациенткам с плотностью паренхимы МЖ «C» и «D» показаны более короткие скрининговые исследования и дообследование с применением дополнительных методов и методик визуализации.

3.3. КЛИНИКО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ОРИЕНТИРЫ, ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

Томосинтез целесообразно назначать пациенткам с рентгенологически плотным фоном МЖ и при выявлении по данным обзорной маммографии или других методов лучевой диагностики патологических состояний категорий BI-RADS 0, 3, 4 и 5. В этих случаях методика томосинтеза поможет подтвердить или опровергнуть выявленные изменения, а также улучшит визуализацию основных семиотических признаков находки (контуры, структура, размер, состояние окружающих тканей).

Абсолютные противопоказания для назначения томосинтеза МЖ отсутствуют.

Поскольку методика томосинтеза является разновидностью цифровой маммографии, то и проводится она с соблюдением стандартных правил рентгенологического обследования МЖ. У женщин репродуктивного возраста с плотным рентгенологическим фоном скрининговый томосинтез МЖ проводится с 5 по 12 день менструального цикла. Диагностический томосинтез МЖ при категориях BI-RADS 0 и 3 выполняется также в фазу пролиферации. Если же по данным рентгеновской маммографии и/или ультразвукового исследования МЖ выявлены изменения категорий BI-RADS 4 и 5, по возможности методика проводится в тот же день. Методику томосинтеза МЖ можно выполнять в одной конкретной проекции, однако следует знать, что ее диагностическая точность возрастает при выполнении в двух стандартных проекциях.

3.4. МЕТОДОЛОГИЯ ТОМОСИНТЕЗА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Методика проведения томосинтеза МЖ в прямой (кранио-каудальной) и косой (медио-латеральной) проекциях:

- идентификация пациента (уточнение ФИО, сверка данных паспорта с медицинской документацией);
- получение информированного согласия пациента на проведение рентгеновского исследования, которое сопровождается лучевой нагрузкой;
- ввод данных пациента (ФИО, возраст, сторона и проекция) на рабочей станции рентгенолаборанта;
- подготовка пациента к исследованию, предоставление средств индивидуальной защиты;
- инструктаж (разъяснение пациенту цели и основных этапов предстоящего исследования);
- укладка;
- проведение томосинтеза (экспозиция) с реконструкцией изображений на рабочей станции рентгенолаборанта;
- постпроцессинговая обработка и анализ изображений на рабочей станции врача-рентгенолога;
- оформление протокола и заключения по результатам исследования (при выявлении патологического очага обязательно указываются проекция и номер среза, на котором он максимально четко визуализируется);
- заполнение протокола исследования эффективной эквивалентной дозы (используя рассчитанные таблицы или другие источники) в листе или талоне учета дозовой нагрузки;
- выдача заключения с выставлением категории BI-RADS (с дальнейшими рекомендациями) и полученных рентгенологических изображений МЖ (на цифровом носителе).

Томосинтез в прямой (кранио-каудальной) проекции

При проведении томосинтеза МЖ в прямой (кранио-каудальной) проекции пациентка находится в вертикальном положении (стоя или сидя) лицом к рентгеновскому аппарату, опустив руки вниз (рис. 23). Высота приемника изображения регулируется таким образом, чтобы МЖ удобно размещалась на его поверхности. Наружный край приемника изображения должен располагаться на уровне нижнего отдела МЖ и плотно прилегать к грудной клетке. МЖ укладывается по центру маммографической платформы, сосок выводится на контур. Далее проводится компрессия МЖ прозрачной компрессионной пластиной, при этом руки пациентки

отводятся несколько вперед, чтобы избежать образования кожных складок. Центральный луч проходит сверху вниз через центр МЖ.



Рис. 23. Положение пациентки при проведении томосинтеза МЖ в прямой проекции

Томосинтез в косой (медио-латеральной) проекции

Во время проведения методики томосинтеза правой или левой МЖ в косой (медио-латеральной) проекции рентгеновская трубка должна быть установлена так, чтобы приемник изображения был перпендикулярен большой грудной мышце обследуемой. Пациентку разворачивают лицом к рентгеновскому аппарату на расстоянии приблизительно 10 см от съемочного стола и просят положить руку на поручень. МЖ укладывают в медио-латеральной проекции, выводят на контур сосок и производят компрессию (рис. 24). Центральный луч направляется от верхне-медиальной к нижне-латеральной зоне МЖ.

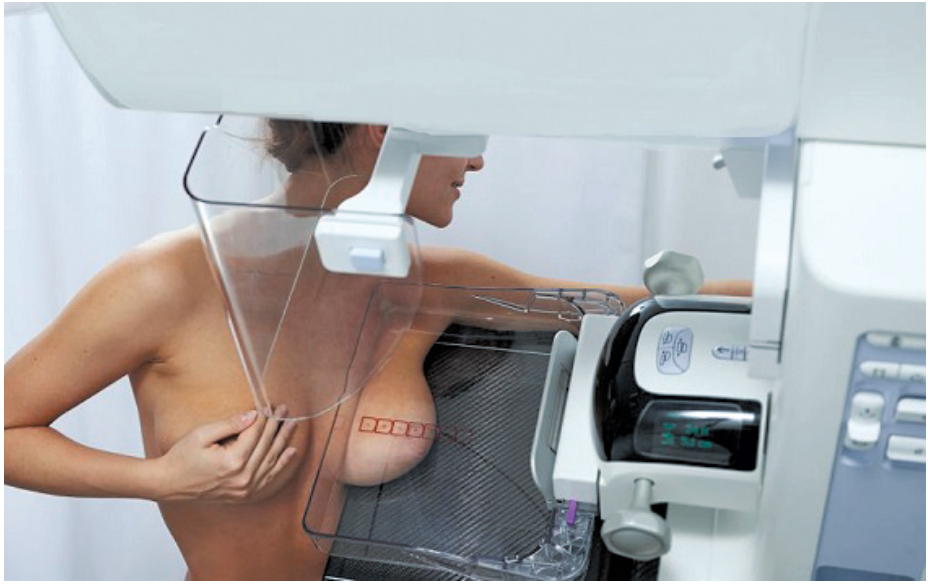


Рис. 24. Положение пациентки при проведении томосинтеза МЖ в косой (медио-латеральной) проекции

Важным моментом при выполнении томосинтеза МЖ является укладка органа. При анализе обработанных компьютерной программой изображений оценивается качество томограмм. На полученных последовательных срезах МЖ должны прослеживаться все анатомические структуры: кожа, сосок, выведенный на контур, паренхима, пре- и ретромаммарная клетчатка (рис. 25).

Итогом технического проведения томосинтеза МЖ получаются срезы под разными углами наклона рентгеновской трубки, которые в дальнейшем с помощью математических алгоритмов на рабочей станции врача-рентгенолога преобразуются в объемную картину. Шаг срезов обычно равен 1 мм, а их количество колеблется от 11 до 25 в зависимости от объема МЖ и фирмы-производителя цифровой маммографической системы.

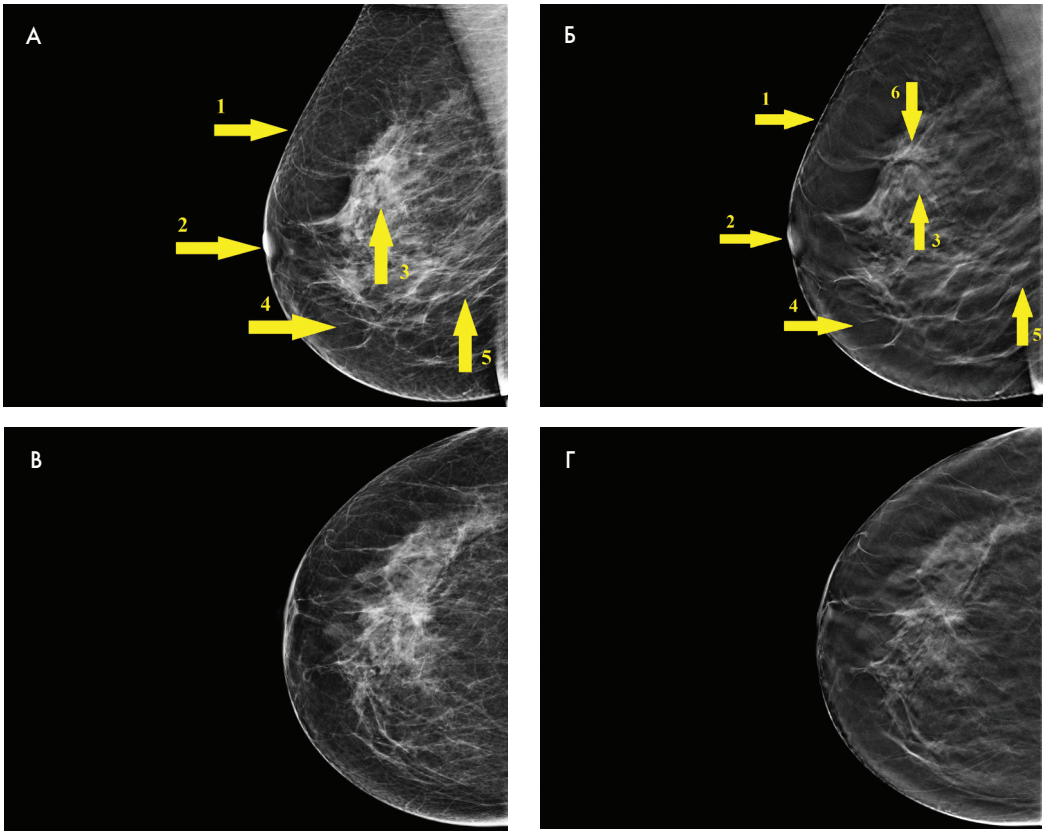


Рис. 25. А — маммограмма правой МЖ в косой проекции, Б — томограмма правой МЖ в косой проекции; В — маммограмма правой МЖ в прямой проекции, Г — томограмма правой МЖ в прямой проекции: 1 — кожа; 2 — сосок; 3 — паренхима; 4 — премаммарная клетчатка; 5 — ретромаммарная клетчатка; 6 — узловое образование *(стрелки)*

3.5. ПРОТОКОЛ ОПИСАНИЯ ТОМОГРАММ

Протокол описания томограмм, как и маммограмм, должен включать в себя следующую информацию:

1. Показание к проведению (скрининговое, диагностическое или контрольное исследование).
2. Оценка качества томограмм (укладка, резкость, контрастность, отсутствие артефактов, в том числе и двигательных).
3. Оценка плотности ткани (структуры) МЖ (ACR BI-RADS, 2013, 5 пересмотр) (табл. 3.2).
4. Описание патологических находок или признаков с использованием международной терминологии BI-RADS (локализация, форма, контур, плотность, размер, нарушение архитектоники, асимметрия, кальцинаты, сопутствующие признаки, с указанием среза, на котором четче всего визуализируется патология) (табл. 3.1).
5. Сравнение с предыдущими исследованиями (при наличии).
6. Заключение с выставлением итоговой категории по шкале BI-RADS;
7. Дальнейшие рекомендации.

В случае если выявленные или подтвержденные по данным методики томосинтеза узловые образования относятся к категории BI-RADS 4 или BI-RADS 5, пациентка направляется на трепанобиопсию.

3.6. ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

1. Повышение диагностической точности лучевого исследования молочных желез при незначительном увеличении времени и эффективной дозы.
2. Улучшение визуализации имеющегося в действительности узлового образования (семиотические признаки).
3. Сокращение количества подозрительных в отношении РМЖ узловых образований.
4. Выявление узловых образований, не определяющихся при обзорной маммографии (в том числе мультифокальное или мультицентрическое поражение при РМЖ).
5. Уменьшение количества прицельных снимков и случаев короткого (6 месяцев) динамического контроля.
6. Снижение необходимости в использовании других методов лучевой диагностики.
7. Уменьшение количества диагностических пункционных биопсий.
8. Меньшая компрессия органа во время проведения исследования, что делает его более комфортным для пациентки.

3.7. НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА

1. Увеличение времени интерпретации исследования.
2. Большая нагрузка на глаза врача-рентгенолога.
3. Меньшая, чем у цифровой маммографии, чувствительность в отношении микрокальцинатов, обусловленная, вероятнее всего, особенностями получения томосинтетического (послойного) изображения.

3.8. ВОЗМОЖНОСТИ ТОМОСИНТЕЗА В ДИАГНОСТИКЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ

На клинических наблюдениях рассмотрим практическое применение и пользу от использования методики томосинтеза в практике врача-рентгенолога.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 1

Пациентка Г., 44 лет, была направлена на плановое обследование МЖ. Последняя маммография была выполнена по месту жительства 2 года назад. На момент настоящего осмотра пациентка жалоб не предъявляла. Семейный онкологический анамнез отягощен: у бабушки и тети по материнской линии в анамнезе РМЖ. Гинекологический статус: эндометриоз. При пальпации узловые образования не определялись.

По данным обзорной цифровой маммографии определялся «В» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS). На границе верхних квадрантов левой МЖ определялся участок очагового фиброза (стрелка). Микрокальцинаты в описанной зоне не визуализировались. Предварительное заключение по данным маммографии — участок очагового фиброза левой МЖ (BI-RADS 3) (рис. 26 А, Б).

По данным УЗИ МЖ на фоне фиброзно-железистой ткани узловые образования четко не определялись, визуализировались выраженные связки Купера (BI-RADS 1) (рис. 26 Д). В системе классификации BI-RADS по данным ММГ и УЗИ выявленные изменения были отнесены к 3-й категории.

После проведения дообследования с применением методики томосинтеза на границе верхних квадрантов левой МЖ выявлено узловое образование неправильной формы, изоденсное, с тяжистыми контурами. Размер узлового образования 0,4х0,3 см *(стрелки)*. Микрокальцинаты не определялись (рис. 26 В, Г).

Предварительное заключение по данным томосинтеза: высоко подозрительное в отношении РМЖ узловое образование (BI-RADS 5).

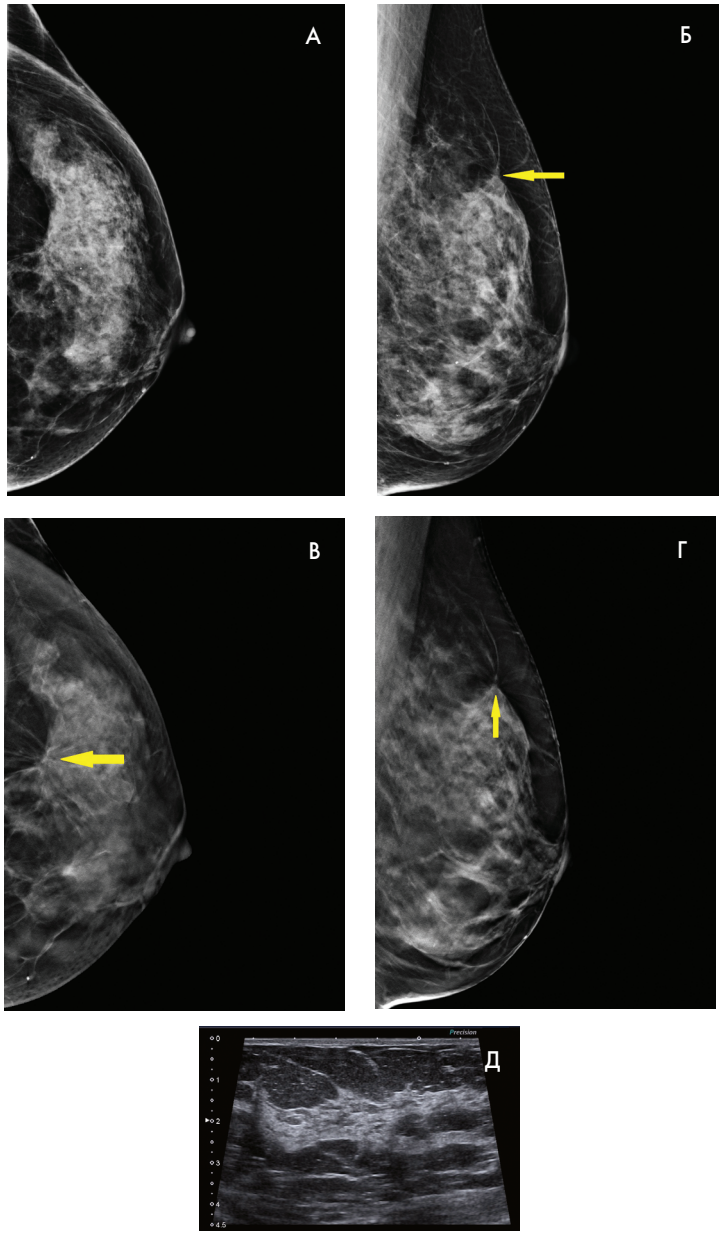


Рис. 26. Обзорные цифровые маммограммы, томограммы (томосинтез) и эхограмма левой МЖ пациентки Г., 44 лет: А, Б — стандартные маммограммы в прямой и косой проекциях; в верхнем отделе участок очагового фиброза *(стрелка)*; В, Г — томограммы (томосинтез) в прямой и косой проекциях; на границе верхних квадрантов узловое образование неправильной формы, средней степени интенсивности, с тяжистыми контурами, размером 0,4х0,3 см *(стрелки)*; Д — эхограмма: узловые образования в зоне интереса не определялись

Под рентгенологическим контролем была выполнена стереотаксическая трепанобиопсия, по результатам которой верифицирован инфильтративный рост аденогенного рака первой степени анаплазии по Elston, люминальный тип А.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 2

Пациентка Д., 65 лет, была направлена на плановое обследование МЖ. Последняя маммография была выполнена по месту жительства 2,5 года назад. На момент настоящего осмотра пациентка предъявляла жалобы на болезненные ощущения в наружных отделах МЖ. Семейный онкологический анамнез не отягощен. Гинекологический статус: постменопауза.

При пальпации узловые образования не определялись. По данным обзорной цифровой маммографии определялся «С» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS); узловые образования четко не визуализировались. Предварительное заключение по данным маммографии — умеренно выраженная диффузная фиброзно-кистозная мастопатия (BI-RADS 2) (рис. 27 А, Б).

По данным ультразвукового исследования МЖ на фоне умеренно выраженной диффузной фиброзно-кистозной мастопатии на границе верхних квадрантов правой МЖ определялась зона сниженной эхогенности, без четких контуров, с включением расширенных протоков (BI-RADS 3) (рис. 27 Д). По данным обзорной цифровой маммографии и ультразвукового исследования выявленные изменения были классифицированы в системе BI-RADS как 3 категория.

После проведения дообследования с применением томосинтеза на границе верхних квадрантов правой МЖ было выявлено узловое образование неправильной формы, гиперденсное, с тяжистыми контурами. Размер узлового образования 0,3х0,3 см *(стрелки)*. Отмечались единичные микрокальцинаты. Предварительное заключение по данным томосинтеза: высоко подозрительное в отношении РМЖ узловое образование (BI-RADS 5) (рис. 27 В, Г).

Под рентгенологическим контролем была выполнена трепанобиопсия, по результатам которой верифицирован инфильтративный рост долькового рака второй степени анаплазии по Elston, классический HER2 neu позитивный тип.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 3

Пациентка Д., 59 лет, была направлена на плановое обследование МЖ. Последняя маммография была выполнена по месту жительства 1,5 года назад. На момент настоящего осмотра пациентка жалоб не предъявляла. Семейный онкологический анамнез не отягощен. Гинекологический статус: постменопауза, миома матки.

По данным пальпации узловые образования не определялись.

Выполнены обзорные цифровые маммограммы: «В» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS). В наружном отделе правой МЖ визуализируется участок асимметрии. Микрокальцинаты в описанном очаге не определяются.

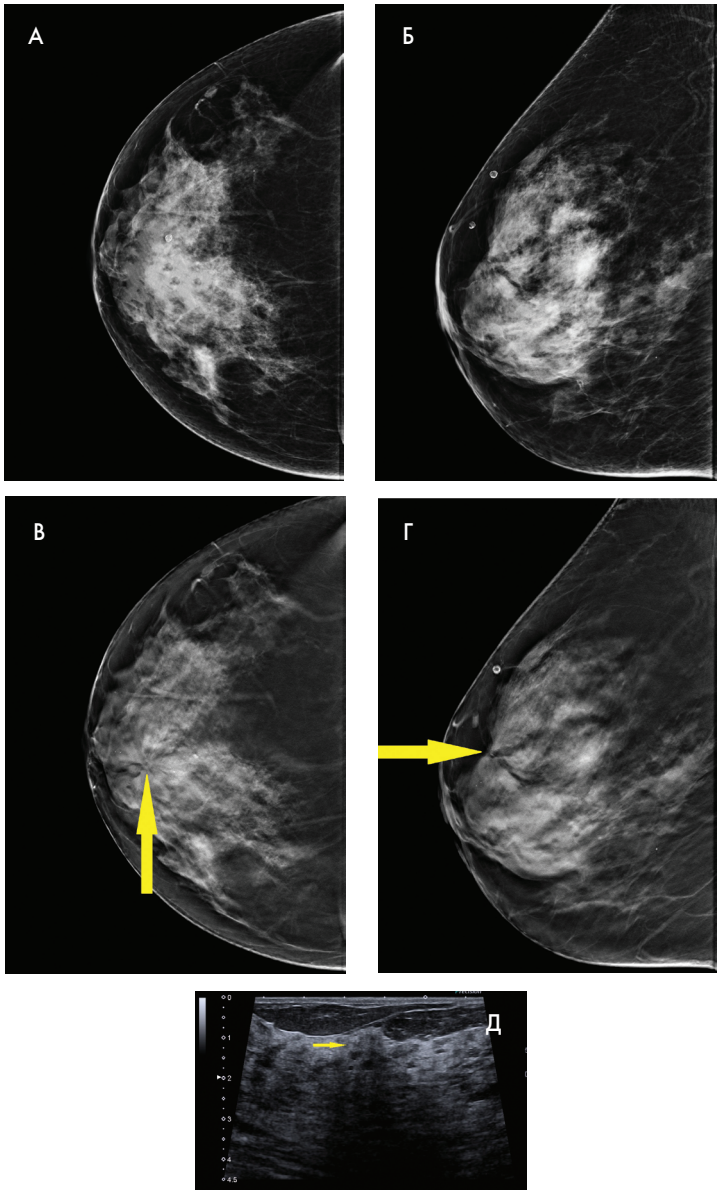


Рис. 27. Обзорные цифровые маммограммы, томограммы (томосинтез) и эхограмма правой МЖ пациентки Д., 65 лет: А, Б — обзорные цифровые маммограммы в прямой и косой проекциях, по данным которых узловые образования не определяются; Д — эхограмма: на границе верхних квадрантов определяется зона сниженной эхогенности, без четких контуров, с включением расширенных протоков *(стрелка)*; В, Г — томограммы (томосинтез) в прямой и косой проекциях: на границе верхних квадрантов узловое образование неправильной формы, гиперденсное, с тяжистыми контурами и единичными микрокальцинатами размером 0,3х0,3 см *(стрелки)*

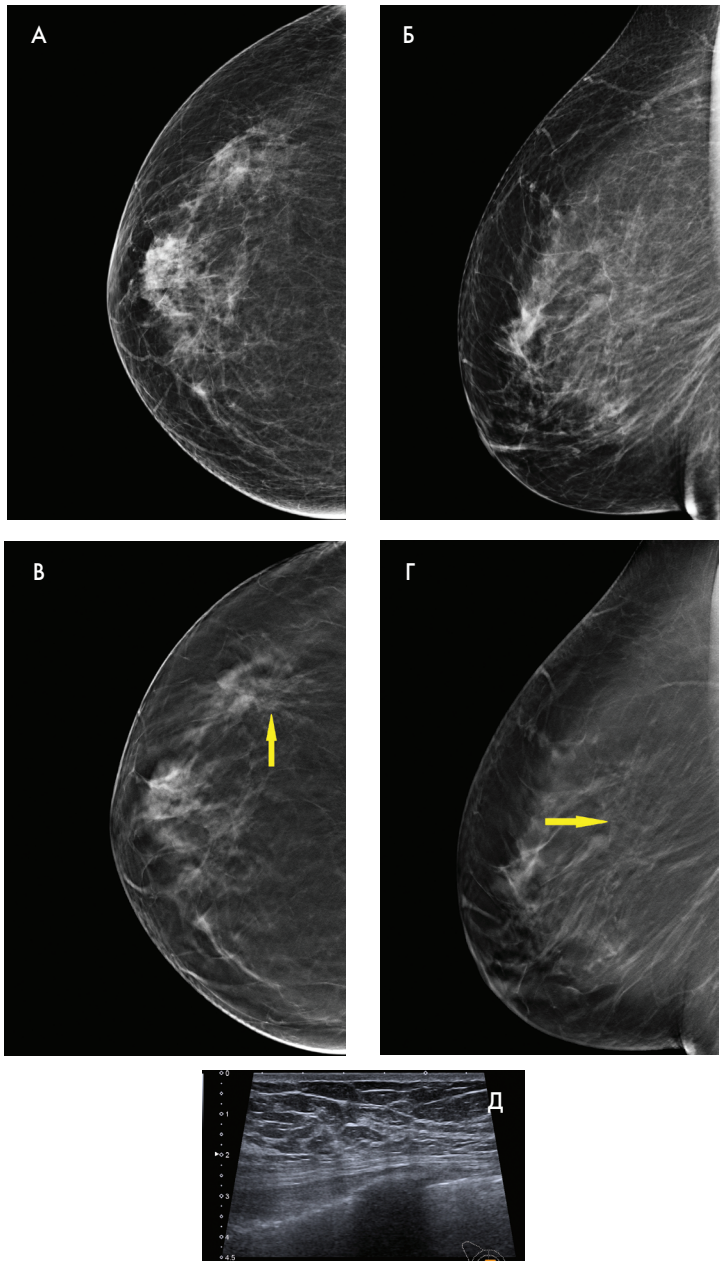


Рис. 28. Обзорные цифровые маммограммы, томограммы (томосинтез) и эхограмма правой МЖ пациентки Д., 56 лет: А, Б — стандартные обзорные маммограммы в прямой и косой проекциях; В, Г — томограммы (томосинтез) в прямой и косой проекциях; в верхне-наружном квадранте определяется узловое образование размером 0,9х0,6 см с неровными контурами, вокруг которого визуализируется участок перестройки структуры ткани *(стрелки)*; Д — эхограмма: узловые образования в зоне интереса не определялись

Предварительное заключение по данным обзорной цифровой маммографии — узловая форма фиброзно-кистозной мастопатии правой МЖ (BI-RADS 3) (рис. 28 А, Б).

По данным УЗИ МЖ узловые образования отсутствовали (рис. 28 Д). В системе классификации BI-RADS по данным ММГ и УЗИ выявленное узловое образование относилось к 3-й категории.

После проведения методики томосинтеза в верхне-наружном квадранте правой МЖ было выявлено узловое образование неправильной формы, повышенной интенсивности, со спикулообразными контурами и нарушением архитектоники. Размер узлового образования 0,5х0,4 см. Микрокальцинаты не определялись (рис. 28 В, Г).

Предварительное заключение по данным томосинтеза: высоко подозрительное в отношении РМЖ узловое образование (BI-RADS 5).

Проведена горизонтальная трепанобиопсия под рентгенологическим контролем, по результатам которой был верифицирован РМЖ второй степени анаплазии по Elston, люминальный тип В.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 4

Пациентка А., 39 лет, обратилась для получения справки об отсутствии противопоказаний к проведению процедуры экстракорпорального оплодотворения со стороны МЖ. Жалоб не предъявляла. Беременностей в анамнезе не было. Никогда ранее обследования МЖ не проводились.

По данным физикального осмотра и пальпации узловые образования в МЖ выявлены не были. По данным обзорной цифровой маммографии в двух стандартных проекциях отмечался высокий рентгенологический фон МЖ, соответствующий категории «D» (ACR BI-RADS) (паренхима МЖ представлена преимущественно фиброгландулярной тканью). Визуализировался участок очаговой асимметрии в нижнем отделе левой МЖ, классифицированный как BI-RADS 3 (рис. 29).

При выполнении ультразвукового исследования в В-режиме (датчик линейного сканирования частотой 15–6 МГц) на фоне гетерогенной структуры в нижне-наружном квадранте левой МЖ визуализировалось узловое образование неправильной формы, непараллельной ориентации, с нечеткими краями, гипоэхогенное, аваскулярное, размером 0,8×0,5 см, категории BI-RADS 4 (рис. 30).

При проведении методики томосинтеза, выполненной в диагностическом режиме, в нижне-наружном квадранте левой МЖ лоцировалось узловое образование размером 0,8×0,6 см, неправильной формы, с четкими, лучистыми контурами, гиперденсной плотности, с включением сгруппированных плеоморфных кальцинатов (рис. 31, 32).

Предварительное заключение по данным методики томосинтеза: крайне подозрительное в отношении РМЖ узловое образование (BI-RADS 5).

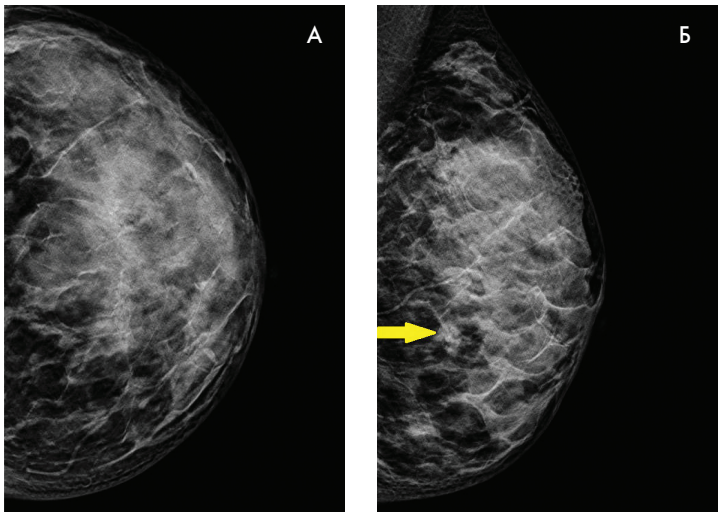


Рис. 29. Обзорные цифровые маммограммы левой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция. Участок очаговой асимметрии в нижнем отделе категории BI-RADS 3 *(стрелка)*

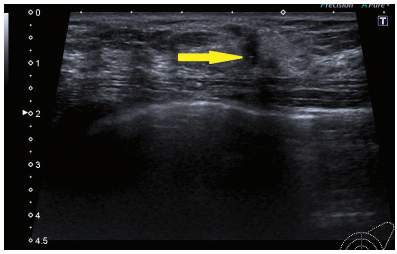


Рис. 30. Эхограмма левой МЖ в В-режиме: узловое образование в нижне-наружном квадранте, имеющее эхографические признаки категории BI-RADS 4 *(стрелка)*

Пациентке была выполнена стереотаксическая вертикальная трепанобиопсия узлового образования левой МЖ с забором двух образцов ткани. По данным гистологического исследования № 40958–60 морфологическая картина внутрипротоковой карциномы in situ (рис. 33).

При проведении иммуногистохимического исследования признаки инвазии опухоли отсутствовали (рис. 34).

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 5

Пациентка Н., 49 лет, была направлена на обследование МЖ. В 2010 г. пациентка была прооперирована по поводу узловой формы фиброзно-кистозной мастопатии левой МЖ. Последняя маммография была выполнена по месту жительства 4 года назад, перед оперативным вмешательством. На момент осмотра пациентка жалоб не предъявляла. Се-

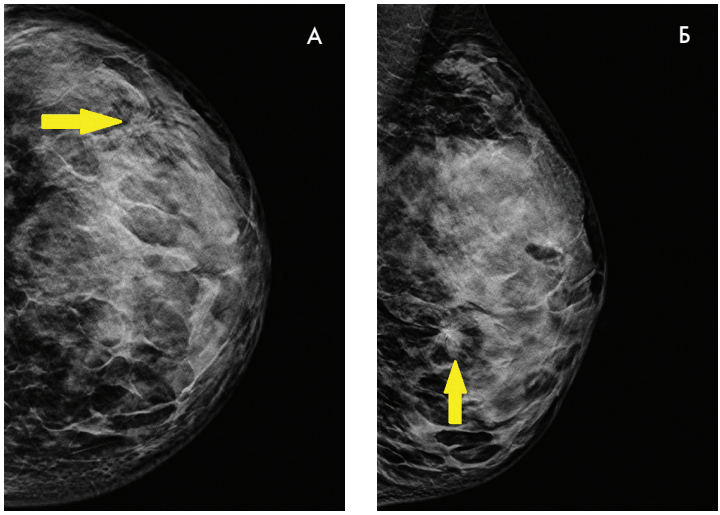


Рис. 31. Томограммы левой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция; узловое образование в нижне-наружном квадранте категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

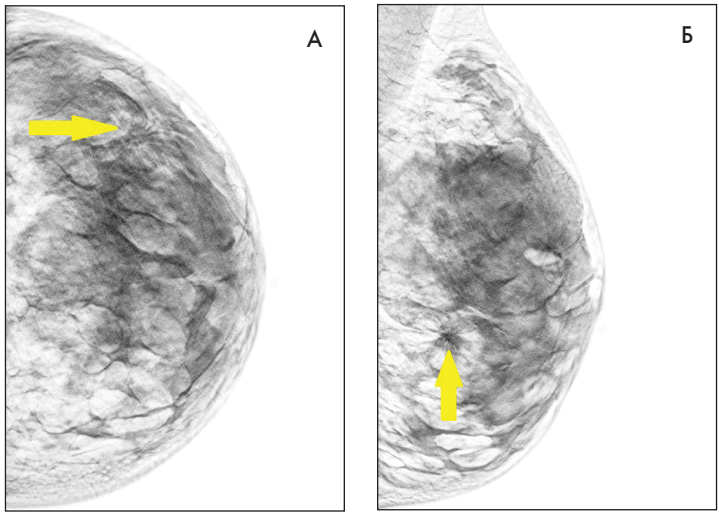


Рис. 32. Томограммы левой МЖ в режиме инверсии изображения: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция; узловое образование в нижне-наружном квадранте категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

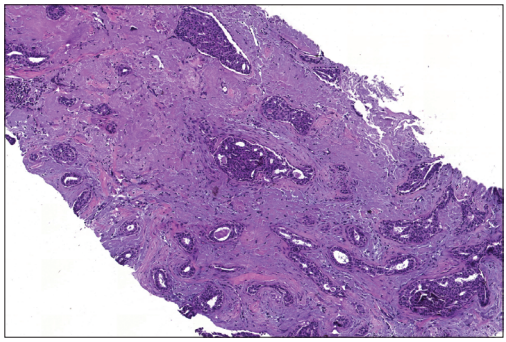


Рис. 33. Гистологическая картина внутрипротоковой карциномы in situ: внутрипротоковые солидные и криброзные структуры из однотипных эпителиальных клеток (окраска гематоксилином и эозином; увеличение х 100)

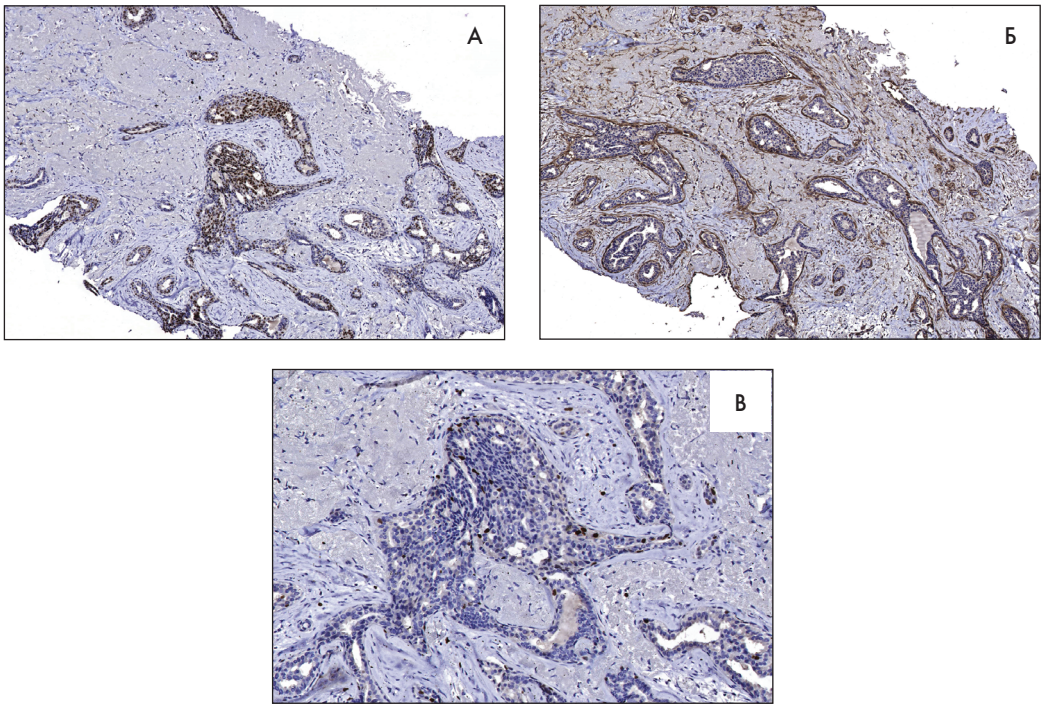


Рис. 34. Иммуногистохимическая картина в МЖ: А — реакция с антителами к рецептору эстрогена: выраженная диффузная экспрессия эстрогена в клетках опухолевых структур (увеличение х 100);
Б — реакция с антителами к гладкомышечному актину: четкие границы базальных мембран, окружающих «ин ситовые» структуры — отсутствие признаков инвазии (увеличение х 100); В — реакция с антителами к Ki-67: экспрессия маркера пролиферации в единичных клетках новообразования (увеличение х 200)

мейный онкологический анамнез не отягощен. Гинекологический статус: перименопауза, эндометриоз. По данным физикального осмотра узловые образования не определялись. Область послеоперационного рубца слева без особенностей.

При проведении обзорных цифровых маммограмм определялся «В» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS). На границе верхних квадрантов левой МЖ визуализировалось узловое образование неправильной формы с нечеткими, неровными контурами, неоднородной структуры, гиперденсное, размером 1,0х0,8 см с выраженной перестройкой структуры вокруг. Микрокальцинаты не определялись (рис. 35). Предварительное заключение по данным обзорной цифровой маммографии — BI-RADS 4с (подозрительное в отношении РМЖ узловое образование).

По данным ультразвукового исследования в зоне послеоперационного рубца слева визуализировалась акустическая тень; узловые образования четко не определялись (рис. 37). В системе классификации BI-RADS выявленное узловое образование было отнесено к категории 4а.

После проведения методики томосинтеза на границе верхних квадрантов левой МЖ в проекции послеоперационного рубца визуализировалось узловое образование округлой формы, гиподенсное, с ровными контурами и наличием тонкой кальцинированной капсулы. Размер узлового образования 0,8х0,7 см (рис. 36).

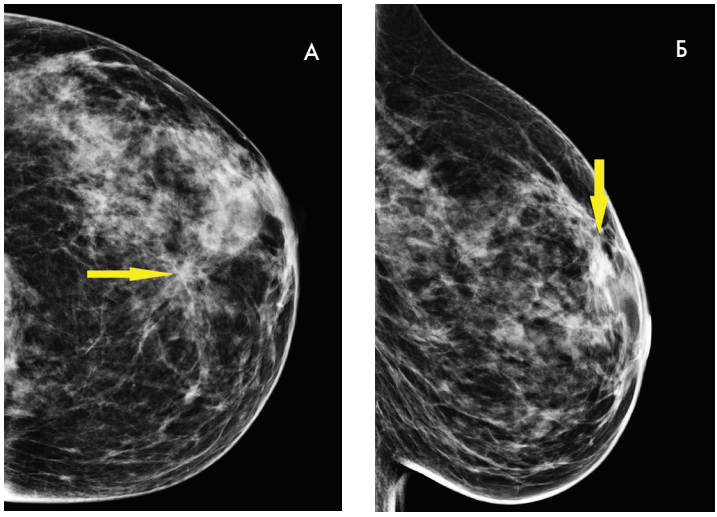


Рис. 35. Обзорные цифровые маммограммы левой МЖ: А — прямая проекция; Б — косая проекция: на границе верхних квадрантов визуализируется узловое образование повышенной интенсивности, с четкими неровными контурами, размером 1,0х0,8 см *(стрелки)*

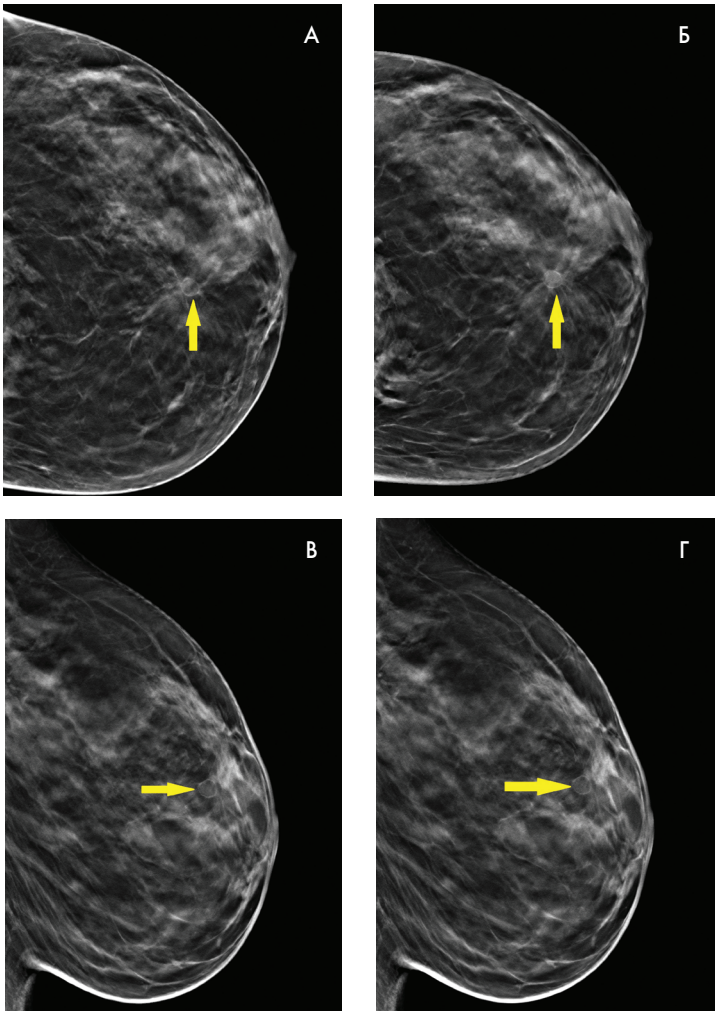


Рис. 36. Томограммы (томосинтез) левой МЖ: А, Б — томограммы в прямой проекции; В, Г — томограммы в косой проекции. На границе верхних квадрантов определяется узловое образование размером 0,8х0,7 см с четкими, ровными контурами, с кальцинированной капсулой *(стрелки)*

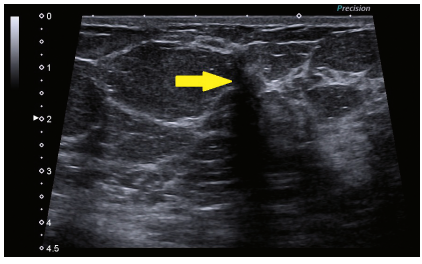


Рис. 37. Эхограмма левой МЖ: определяется акустическая тень без четкого узлового образования *(стрелка)*

Предварительное заключение по данным томосинтеза: олеогранулема левой МЖ (BI-RADS 2).

Проведена вертикальная стереотаксическая биопсия. По данным морфологического заключения признаков атипического роста не выявлено.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 6

Пациентка О., 44 лет, наблюдалась с диагнозом «поликистоз МЖ». Раз в два года проходила обзорную маммографию и каждые полгода — ультразвуковое исследование МЖ. Аспирация кист проводилась по показаниям. На момент осмотра предъявляла жалобы на болезненное образование в левой МЖ. Гинекологический статус: эндометриоз, кисты яичников. Семейный онкологический анамнез не отягощен. По данным пальпации в верхненаружном квадранте левой МЖ пальпировалось подвижное узловое образование около 2,0 см, кожные симптомы отрицательные, предположительно киста.

По данным плановой обзорной маммографии в двух стандартных проекциях были выявлены кисты обеих МЖ (BI-RADS 2). Определялся «С» тип плотности ткани (ACR BI-RADS) (рис. 38).

С учетом выявленных образований и плотности ткани назначено ультразвуковое исследование.

При выполнении ультразвукового исследования в В-режиме (датчик линейного сканирования частотой 15–6 МГц) на фоне гетерогенной структуры с двух сторон визуализировались множественные жидкостные образования от 0,5 до 2,2 см в максимальном измерении. В верхне-наружном квадранте левой МЖ определялось узловое образование неправильной формы, непараллельной ориентации, с нечет-

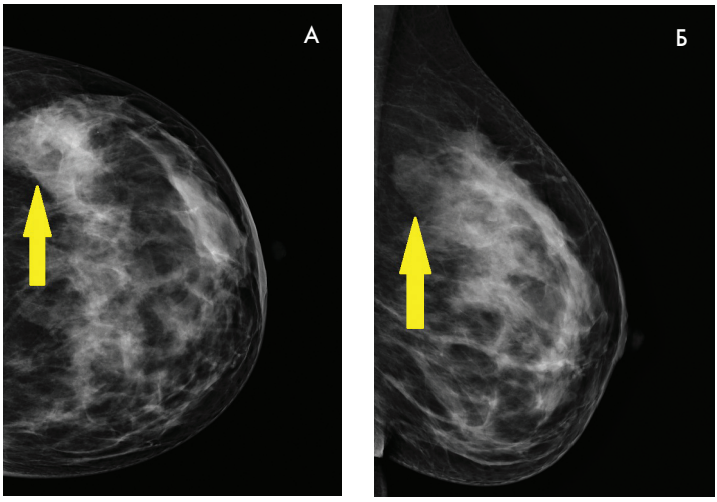


Рис. 38. Обзорные цифровые маммограммы левой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция. В верхне-наружном квадранте овальной формы узловое образование 2,0–1,4 см *(стрелки)*

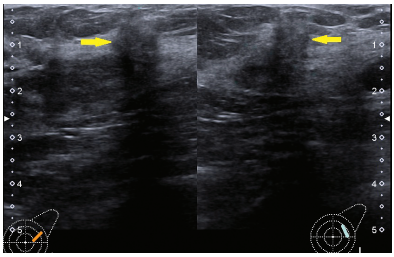


Рис. 39. Эхограмма левой МЖ в В-режиме: узловое образование в верхне-наружном квадранте, имеющее эхографические признаки категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

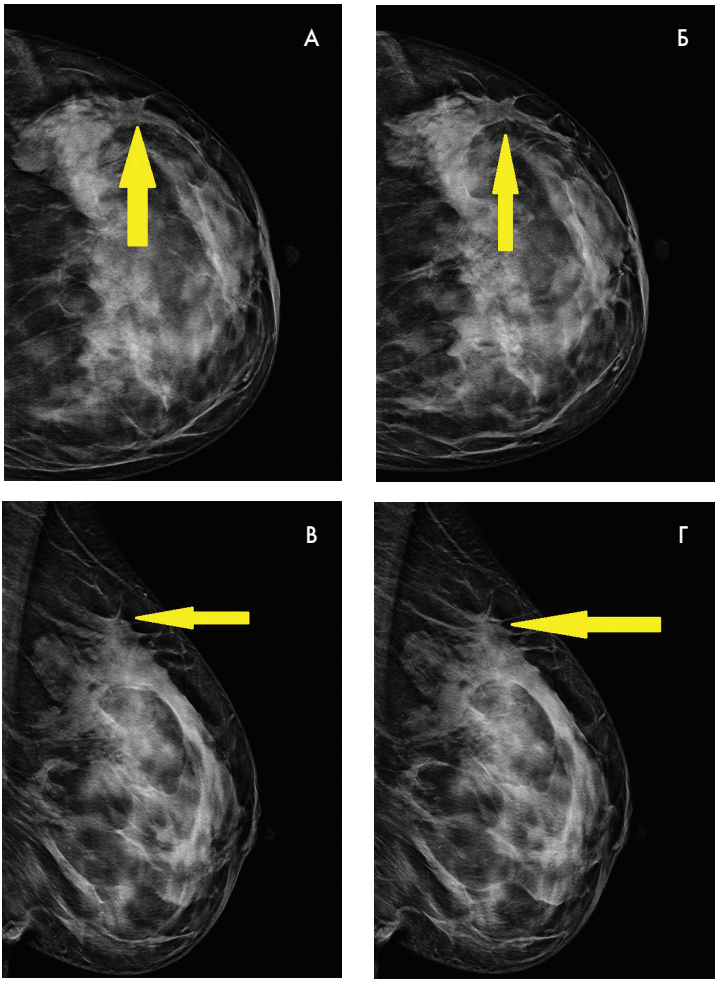


Рис. 40. Томограммы (томосинтез) левой МЖ: А, Б — томограммы в прямой проекции; В, Г — томограммы в косой проекции. В верхне-наружном квадранте определяется узловое образование размером 2,1х1,5 см неправильной формы, с четкими, лучистыми контурами, гиперденсной плотности *(стрелки)*

кими краями, гипоэхогенное, размером 1,9×1,4×1,7 см, с интранодулярным кровотоком, категории BI-RADS 5 (рис. 39).

При проведении методики томосинтеза левой молочной МЖ в верхне-наружном квадранте лоцировалось узловое образование размером 2,1×1,5 см, неправильной формы, с четкими, лучистыми контурами, гиперденсной плотности (рис. 40).

Проведена трепанобиопсия узлового образования левой МЖ под УЗ-контролем. Верифицирован РМЖ 3-й степени анаплазии по Elston, тройной негативный тип.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 7

Пациентка Ф., 63 лет, обратилась с болями в МЖ. Из анамнеза известно, что в 1978 году перенесла секторальную резекцию правой МЖ по поводу узловой формы фиброзно-кистозной мастопатии. Гинекологический статус: надвлагалищная ампутация матки с придатками по поводу множественных миом в 1993 году. Семейный онкологический анамнез: у матери РМЖ. Объективно узловые образования не пальпировались, зона послеоперационного рубца без особенностей. По данным обзорной цифровой маммографии отмечался «С» тип плотности ткани (ACR BI-RADS). Узловые образования четко не визуализировались (BI-RADS 2) (рис. 41).

При проведении методики томосинтеза обеих МЖ, выполненной с согласия пациентки, справа определялись два патологических участка: в верхне-наружном квадранте гиперденсное образование с четкими спикулообразными контурами, размером 1,4×1,0 см с микрокальцинатами внутри; граница наружных квадрантов 1,2×0,9 см также неправильной формы с тяжистыми контурами и микрокальцинатами.

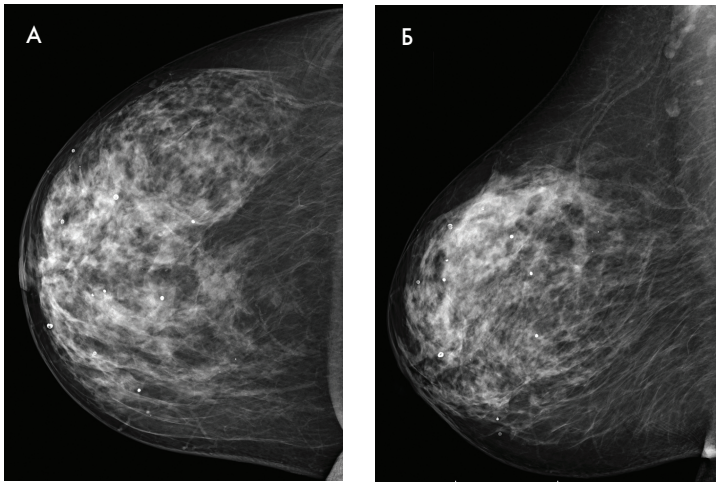


Рис. 41. Обзорные цифровые маммограммы правой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция. Узловые образования не визуализируются

Предварительное заключение по данным методики томосинтеза: крайне подозрительные в отношении рака узловые образования правой МЖ (BI-RADS 5 мультицентрическое поражение) (рис. 42, 43).

Проведена стереотаксическая трепанобиопсия узловых образований правой МЖ. В обоих случаях верифицирован РМЖ первой степени анаплазии по Elston, люминальный тип А.

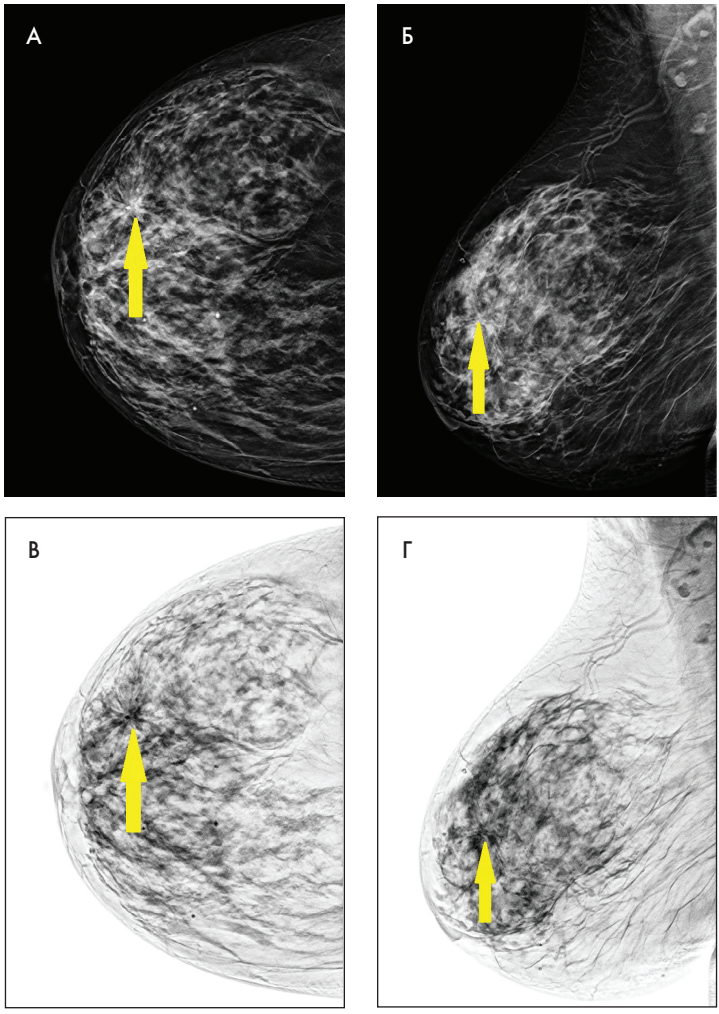


Рис. 42. Томограммы (томосинтез) правой МЖ: А, Б — томограммы в прямой и косой проекции; В, Г — томограммы в прямой и косой проекции в режиме инверсии изображения. В верхне-наружном квадранте определяется узловое образование размером 1,4х1,0 см с четкими спикулообразными контурами *(стрелки)*

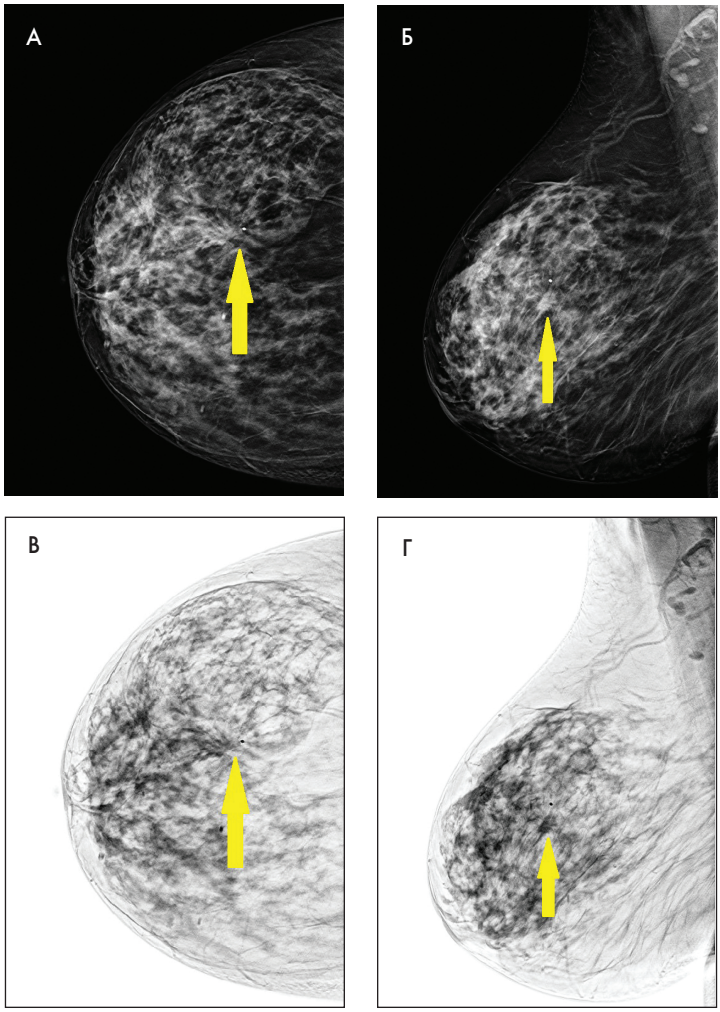


Рис. 43. Томограммы (томосинтез) правой МЖ: А, Б — томограммы в прямой и косой проекции; В, Г — томограммы в прямой и косой проекции в режиме инверсии изображения. На границе наружных квадрантов определяется узловое образование размером 1,2х0,9 см с четкими тяжистыми контурами *(стрелки)*

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 8

Пациентка Г., 65 лет, обратилась на плановое ежегодное маммографическое обследование. Предъявляла жалобы на периодические боли в левой верхней конечности. Из анамнеза известно: в 2000 году проходила комплексное лечение по поводу рака правой МЖ. Гинекологический статус: хирургическая менопауза. По данным пальпации зона послеоперационного рубца справа без особенностей. В левой МЖ отмечались явления дольчатости, узловые образования отсутствовали.

По данным обзорной цифровой маммографии левой МЖ определялся «С» тип плотности (ACR BI-RADS). В верхне-наружном квадранте визуализировался крупный кальцинат (возможно, инволютивная фиброаденома) BI-RADS 2 (рис. 44).

По данным ультразвукового исследования левой МЖ, выполненного в стандартном В-режиме, определялись мелкие кисты, в верхне-наружном квадранте визуализировался крупный кальцинат с «выраженной» акустической тенью позади. Убедительных

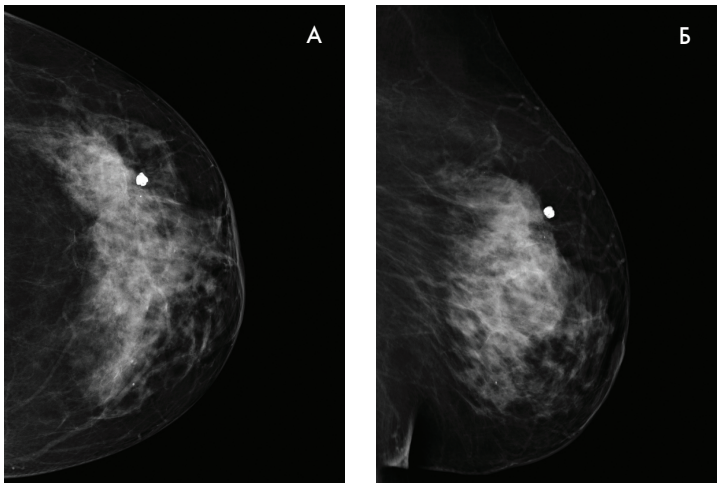


Рис. 44. Обзорные цифровые маммограммы левой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция. Узловые образования не визуализируются

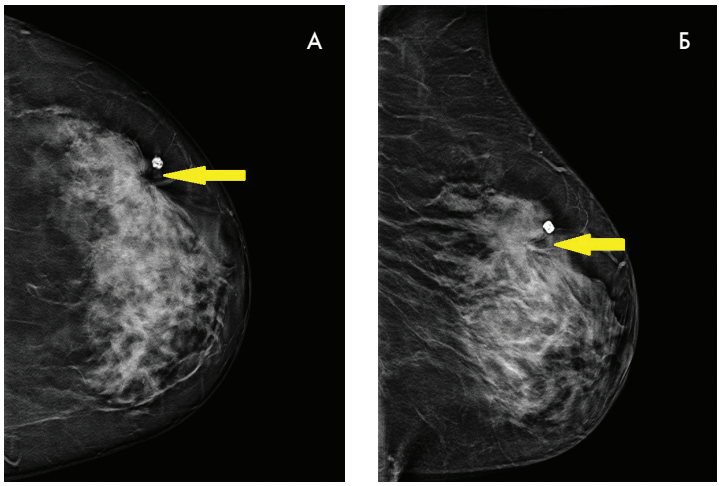


Рис. 45. Томограммы левой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция; узловое образование в верхне-наружном квадранте категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

эхографических данных за наличие узловых образований выявлено не было (BI-RADS 2).

При выполнении методики томосинтеза левой МЖ в верхне-наружном квадранте выявлено узловое образование, гиперденсное, с четкими, спикулообразными контурами размером 2,0×1,3 см. Предварительное заключение по данным методики томосинтеза: крайне подозрительное в отношении РМЖ узловое образование (BI-RADS 5) (рис. 45, 46).

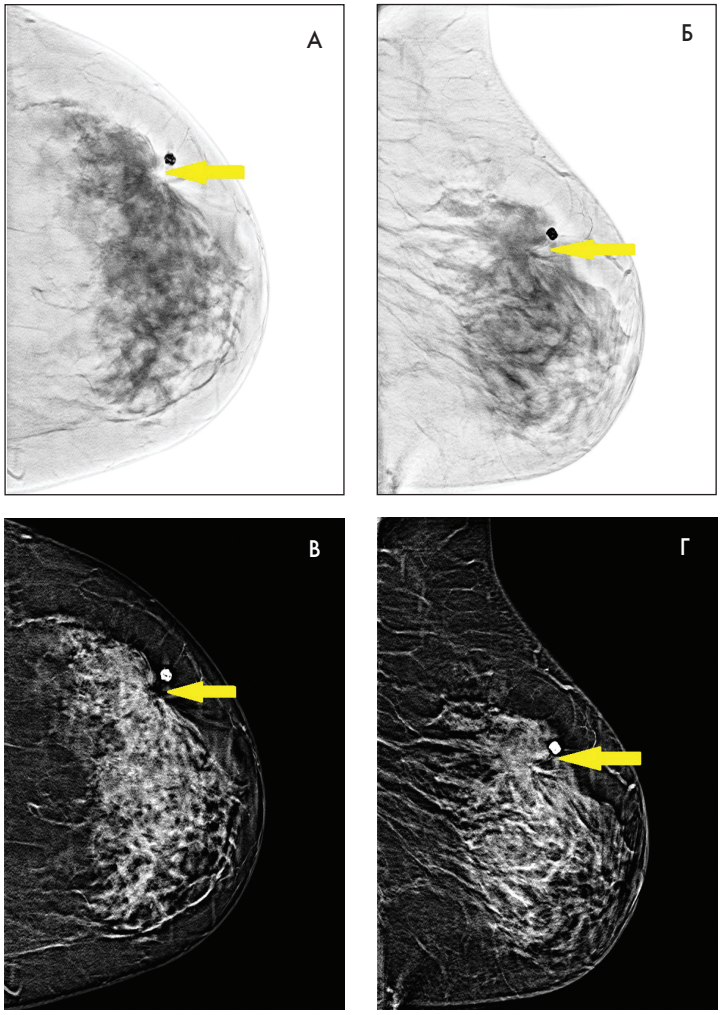


Рис. 46. Томограммы (томосинтез) левой МЖ: А, Б — томограммы в прямой и косой проекции в режиме инверсии изображения; В, Г — томограммы в прямой и косой проекции в режиме повышенной жесткости. Узловое образование в верхне-наружном квадранте категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

Рекомендовано проведение стереотаксической биопсии патологического участка левой МЖ.

По данным гистологического и иммуногистохимического исследований верифицирован РМЖ 2-й степени анаплазии по Elston, люминальный тип В.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 9

Пациентка Ш., 39 лет, обратилась с жалобами на боли в МЖ, связанные с менструальным циклом. Гинекологический статус: первичное бесплодие (4 попытки ЭКО в анамнезе), эндометриоз. Семейный онкологический анамнез не отягощен. По данным физикального осмотра на фоне общей дольчатости узловые образования в МЖ не определялись. Пациентке была назначена обзорная маммография.

По данным обзорной цифровой маммографии определялся «D» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS). Узловые образования отчетливо не визуализировались (BI-RADS 2) (рис. 47).

При выполнении ультразвукового исследования МЖ в В-режиме отмечалась дуктоэктазия с обеих сторон и мелкие кисты.

С согласия пациентки проведен томосинтез обеих МЖ, при анализе срезов центрально, в 2,5 см от соска, визуализировалось узловое образование 0,3×0,3 см с тяжистыми контурами и выраженным нарушением архитектоники ткани вокруг (BI-RADS 5) (рис. 48).

Проведена стереотаксическая трепанобиопсия (горизонтальная) узлового образования правой МЖ.

По данным гистологического и иммуногистохимического исследования верифицирован РМЖ 2-й степени анаплазии по Elston, люминальный тип В.

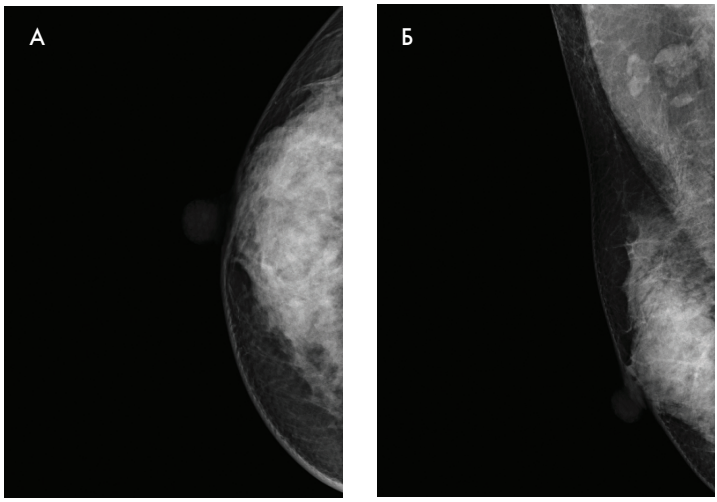


Рис. 47. Обзорные цифровые маммограммы правой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медиолатеральная проекция. Узловые образования не визуализируются

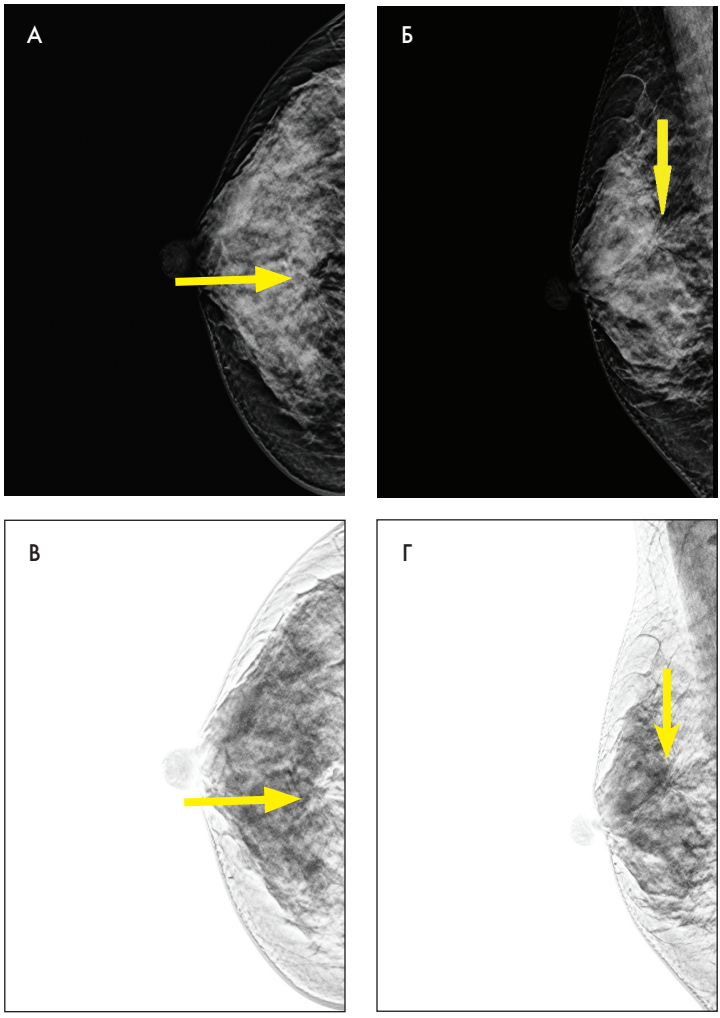


Рис. 48. Томограммы (томосинтез) правой МЖ: А, Б — томограммы в прямой и косой проекции; В, Г — томограммы в прямой и косой проекции в режиме инверсии изображения. Центрально определяется узловое образование размером 0,3х0,3 см с четкими тяжистыми контурами *(стрелки)*

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 10

Пациентка Т., 45 лет, обратилась для получения заключения маммолога при оформлении санаторно-курортной карты. Гинекологический статус: 1 роды, аденомиоз. В анамнезе у пациентки рак почки (10 лет назад). По данным физикального осмотра узловые образования в МЖ не определялись. Пациентке была назначена обзорная маммография в двух стандартных проекциях.

По данным обзорной цифровой маммографии определялся «В» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS). В наружном отделе правой МЖ определялся участок асимметричного уплотнения (BI-RADS 3) (рис. 49).

При выполнении прицельной маммографии с прямым увеличением в наружном отделе правой МЖ визуализировалось узловое образование округлой формы с четкими, местами неровными контурами, изоденсное (BI-RADS 4а) (рис. 50).

С информированного согласия пациентки проведен томосинтез правой МЖ в двух стандартных проекциях. Анализ срезов показал наличие узлового образования в верхне-наружном квадранте правой МЖ размером 0,9×0,7 см, гиперденсного, со спикулообразными контурами (BI-RADS 5) (рис. 51, 52).

Проведена стереотаксическая трепанобиопсия (вертикальная) узлового образования правой МЖ.

По данным гистологического и иммуногистохимического исследования верифицирован РМЖ 1-й степени анаплазии по Elston, люминальный А тип.

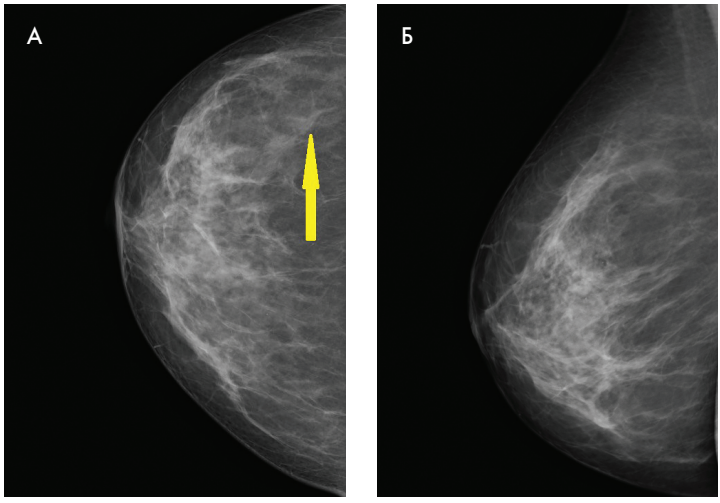


Рис. 49. Обзорные цифровые маммограммы правой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медиолатеральная проекция: участок асимметричного уплотнения *(стрелка)*

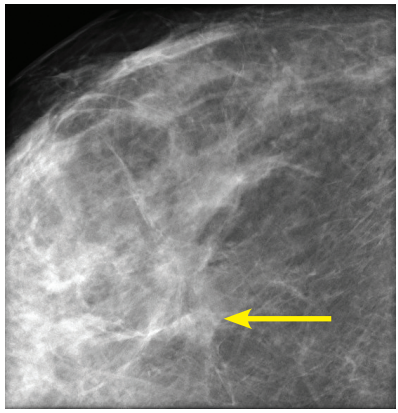


Рис. 50. Прицельная маммограмма правой МЖ с прямым увеличением: узловое образование округлой формы с четкими, местами неровными контурами, изоденсное *(стрелка)*

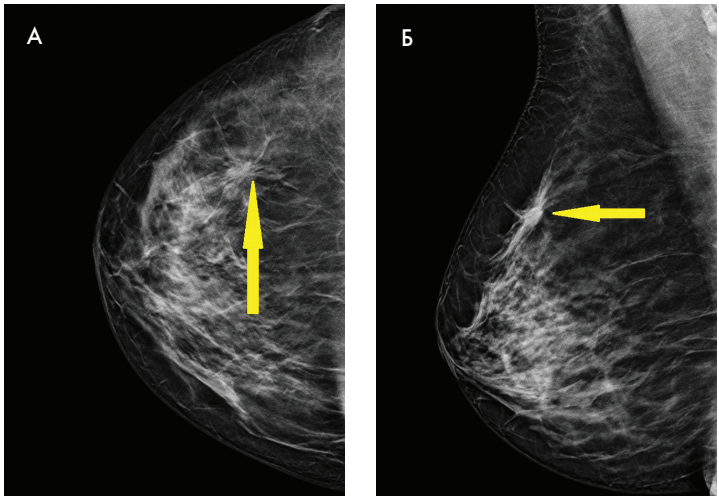


Рис. 51. Томограммы правой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медио-латеральная проекция; в верхне-наружном квадранте гиперденсное узловое образование со спикулообразными контурами размером 0,9х0,7 см, категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

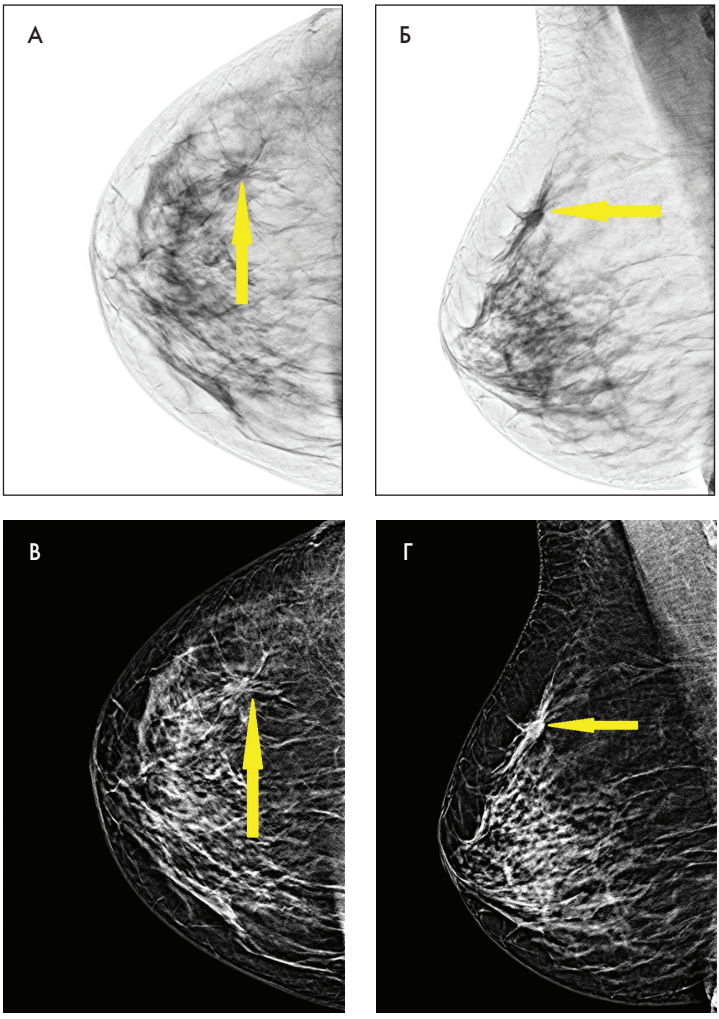


Рис. 52. Томограммы (томосинтез) правой МЖ: А, Б — томограммы в прямой и косой проекции в режиме инверсии изображения; В, Г — томограммы в прямой и косой проекции в режиме увеличенной жесткости. Узловое образование в верхне-наружном квадранте категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ 11

Пациентка Т., 48 лет, направлена из районной поликлиники после впервые проведенной обзорной маммографии с направительным диагнозом «узловая фиброзно-кистозная мастопатия» левой МЖ. Гинекологический статус: роды-2, надвлагалищная ампутация матки в 2011 году. Заболевания щитовидной железы и семейный онкологический анамнез отрицала. По данным физикального осмотра узловые образования в МЖ не определялись. После анализа выполненных по месту жительства маммограмм определялся «С» тип плотности МЖ (ACR BI-RADS). На косом снимке левой МЖ определялся участок асимметричного гиперденсного уплотнения 1,2×0,8 см (BI-RADS 3) (рис. 53). Пациентке было назначено проведение уточняющей диагностики с использованием методики томосинтеза.

С согласия пациентки проведена методика томосинтеза левой МЖ в прямой и косой проекциях, по данным которой подтверждено наличие узлового образования ближе к границе наружных квадрантов размером 1,9×1,3 см, гиперденсное, со спикулообразными контурами и включением точечных аморфных кальцинатов (BI-RADS 5) (рис. 54).

Проведена стереотаксическая трепанобиопсия (вертикальная) узлового образования левой МЖ.

По данным гистологического и иммуногистохимического исследования верифицирован РМЖ 2-й степени анаплазии по Elston, классический HER 2 позитивный тип.

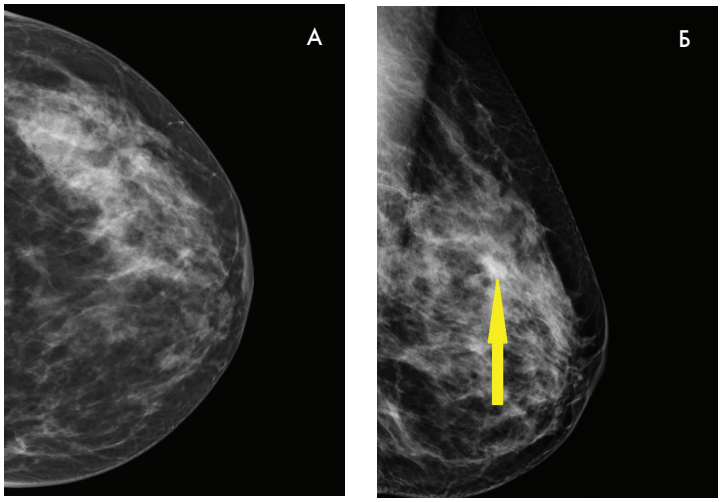


Рис. 53. Обзорные цифровые маммограммы левой МЖ: А — кранио-каудальная проекция; Б — медиолатеральная проекция: участок асимметричного уплотнения *(стрелка)*

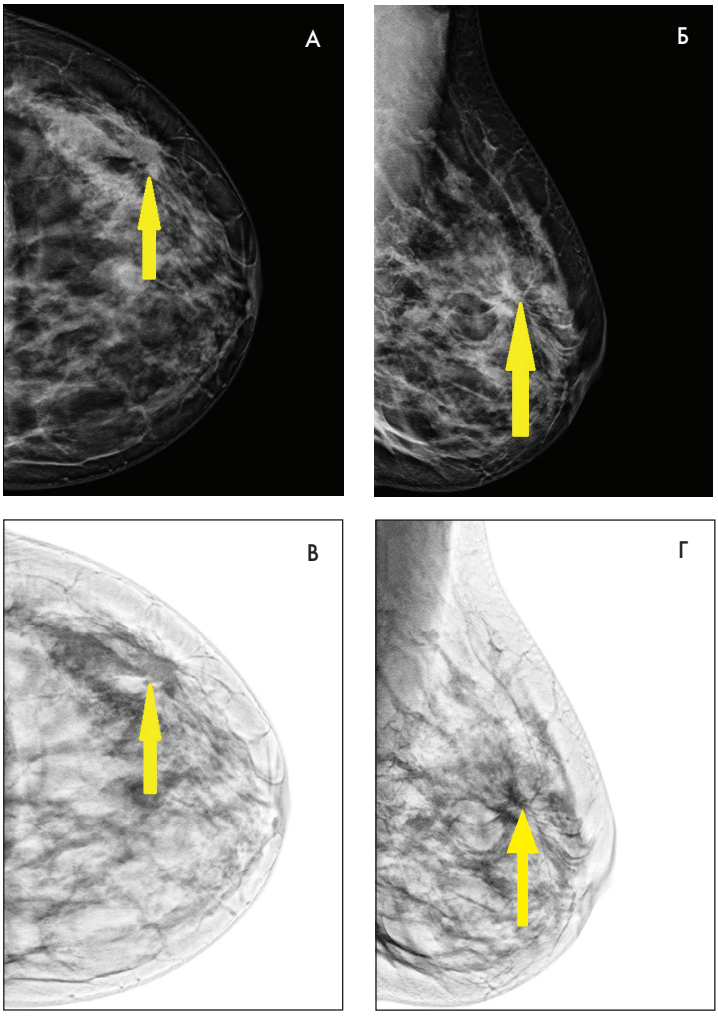
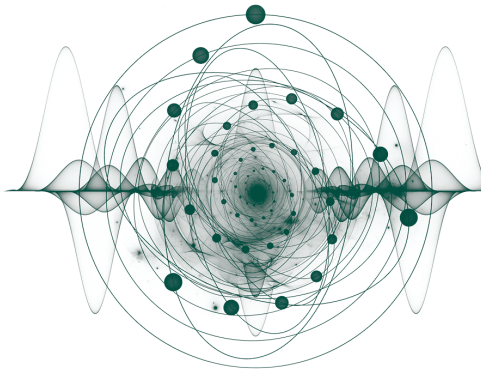


Рис. 54. Томограммы (томосинтез) левой МЖ: *А, Б* — томограммы в прямой и косой проекции в стандартном режиме; *В, Г* — томограммы в прямой и косой проекции в режиме инверсии изображения. Узловое образование размером 1,9х1,3 см на границе наружных квадрантов категории BI-RADS 5 *(стрелки)*

Таким образом, применение методики томосинтеза в комплексной и дифференциальной диагностике образований МЖ, в том числе и у пациенток с высокой плотностью ткани, значительно расширяет возможности лучевых методов обследования. С использованием томосинтеза повышаются показатели чувствительности и специфичности рентгеновского метода обследования МЖ, снижается количество ложноположительных, ложноотрицательных результатов, «необоснованных» биопсий и стрессовых ситуаций у пациенток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солодкий В.А.* Первый опыт томосинтеза для повышения диагностической эффективности заболеваний молочной железы / В.А. Солодкий, Н.И. Рожкова, М.Л. Мазо // Лечащий врач. — 2012. — № 11. — С. 25–27.
2. *Alakhras M.* Digital tomosynthesis: a new future for breast imaging? / M. Alakhras, R. Bourne, M. Rickard [et al.] // Clin. Radiol. — 2013. — Vol. 68 (5). — P. e223–224. *Vecchio S.* A novel approach to digital breast tomosynthesis for simultaneous acquisition of 2D and 3D images / S. Vecchio, A. Albanese, P. Vignoli [et al.] // Eur. Radiol. — 2011. — Vol. 21 (6). — P. 1207–1213.
3. *D'Orsi C.J.* Stereoscopic digital mammography: improvedspecificity and reduced rate of recall in a prospective clinical trial / C.J. D'Orsi, D.J. Getty, R.M. Pickett [et al.] //Radiol. — 2013. — Vol. 266. P. 81–88.
4. *Destounis S.* Using volumetric breast density to quantify the potential masking risk of mammographic density / S. Destounis, L. Johnston, R. Highnam [et al.] // Am. J. Roentgenol. — 2017. — Vol. 208. P. 222–227.
5. *Emaus M.J.* MR imaging as an additional screening modality for the detection of breast cancer in women aged 50–75 years with extremely dense breasts: the DENSE trial study design / M.J. Emaus, M.F. Bakker, P.H. Peeters [et al.] // Radiol. — 2015. — Vol. 277(2). P. 527–537.
6. *Freer P.E.* Clinical implementation of synthesized mammography with digital breast tomosynthesis in clinical practice / P.E. Freer, J. Riegert, L. Eisenmenger [et al.] // Breast Cancer Res. Treat. — 2017. — Vol. 166. P. 501–509.
7. *Horvath E.* Parallel artery and vein: sign of benign nature of breast masses /E. Horvath, C. Silva, G. Fasce [et al.] // AJR Am. J. Roentgenol. — 2012. — Vol. 198 (1). — P. 76–82.
8. *Lee J.* Practical and illustrated summary of updated BI-RADS for —ultrasonography / J. Lee // Ultrasonography. — 2017. — Vol. 36(1). P. 71–81.
9. *Makboon K.* Association between high-sensitivity C-reactive protein (hsCRP) and change in mammographic density over time in the SWAN mammographic density subcohort / K. Makboon, E.B. Gold, D.J. Harvey [et al.] // Cancer Causes and Control. — 2015. — Vol. 26(3). P. 431–442.
10. *Rodriguez-Ruiz A.* How does wide-angle breast tomosynthesis depict calcifications in comparison to digital mammography? / A. Rodriguez-Ruiz, E. Ruben van Engen, Michielsen K. // Proc. SPIE 10718, 14th International Workshop on Breast Imaging (IWBI 2018), 107181T (6 July 2018); doi: 10.1117/12.2318054; https://doi.org/10.1117/12.2318054
11. *Vecchio S.* A novel approach to digital breast tomosynthesis for simultaneous acquisition of 2D and 3D images / S. Vecchio, A. Albanese, P. Vignoli [et al.] // Eur. Radiol. — 2011. — Vol. 21 (6). — P. 1207–1213.



4 ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

4.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТОМОСИНТЕЗА ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Томосинтез ОГК возможно проводить в положении пациента стоя или лежа в зависимости от эксплуатируемого аппарата. Так, при наличии рентгенодиагностического комплекса с телеуправляемым столом-штативом исследование возможно выполнить в обоих положениях, а при проведении исследования на специализированном усовершенствованном флюорографическом аппарате лишь в положении стоя. Выбор положения исследования зависит от состояния пациента и наличия у него сопутствующей патологии, которые не позволяют принять ему вертикальное положение. При возможности следует отдавать предпочтение исследованию пациента стоя.

Методика проведения томосинтеза ОГК состоит из нескольких этапов:

1. Перед началом пациенту или его законному представителю предоставляется полная информация о предстоящем исследовании, и он дает согласие/отказ относительно его проведения.
2. Производится инструктаж и укладка пациента.
3. Выполняется томосинтез.
4. Производится реконструкция изображений на рабочей станции рентгенолаборанта.
5. Осуществляется постпроцессорная обработка и анализ изображений на рабочей станции врача-рентгенолога.
6. Оформляется протокол и заключение исследования.
7. Производится выдача реконструкций, полученных изображений при томосинтезе на цифровых носителях и ряда актуальных для диагностики срезов в распечатанном на пленке виде для лечащего врача (при необходимости).

Инструктаж пациента заключается в разъяснении ему основных этапов предстоящего исследования, необходимости находиться в неподвижном состоянии и задержать дыхание во время движения рентгеновской трубки (от 5 до 12 с в зависимости от аппарата).

Перед началом исследования на рабочей станции рентгенолаборанта вводится информация о пациенте и выбирается методика и область исследования. После этого рентгенолаборант производит автоматическую центрацию рентгеновской трубки таким образом, что срединный пучок рентгеновского излучения попадает в центр приемника. Далее приступает к укладке пациента, которая состоит из двух частей.

1. Установка пациента.

а. В положении стоя на всех общих рентгенодиагностических аппаратах больной равномерно и плотно прижимается спиной к детектору, руки его опущены, расслаблены, голова смотрит вперед; руки не отводятся; верхний

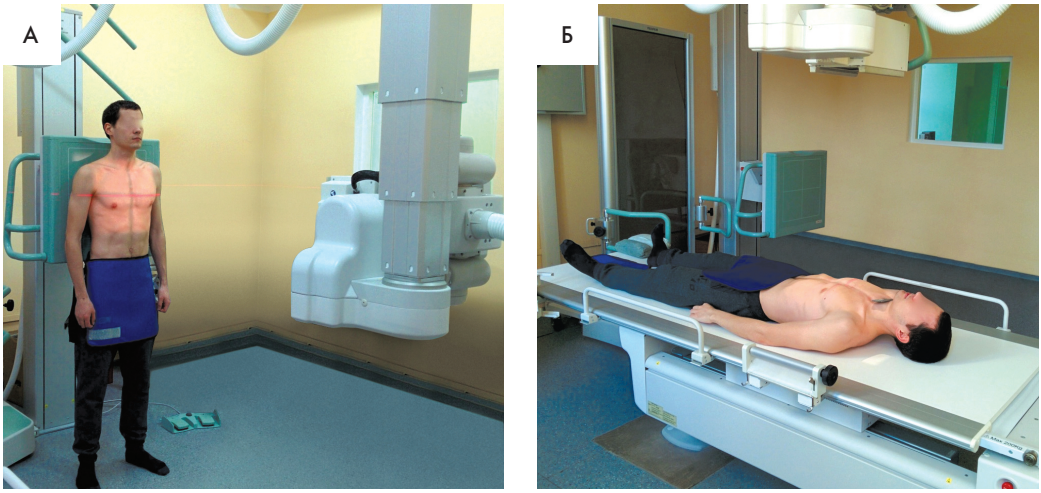


Рис. 55. Положение пациента при проведении томосинтеза органов грудной клетки в прямой проекции в положении стоя (А) и лежа (Б)

край детектора располагается на 1 см выше надплечья; срединный пучок рентгеновского излучения направляется в центр приемника по срединной линии тела больного. Далее производится диафрагмирование области интереса (рис. 55 А). На аппарате ФлюороПро-Граф-РП укладка пациента выполняется так же как, при прямой обзорной рентгенограмме: лицом к экрану с отведением лопаток и расположением подбородка на подставке. Диафрагмирование на флюорографе не производится.

б. Пациент располагается на столе лежа на спине, руки расслабленно лежат вдоль туловища, голова смотрит вперед. Срединный пучок рентгеновского излучения также направляется в центр приемника по срединной линии тела больного в область средней трети тела грудины и выполняется диафрагмирование (рис. 55 Б).

2. Независимо от положения пациента рентгеновскую трубку располагают в наклонном положении с заранее выбранным углом: от 30° до 45° (в зависимости от производителя).

Исследование проводится после глубокого вдоха во время задержки дыхания при неподвижности пациента.

Стоит обратить внимание на важность правильной укладки пациента и диафрагмирования области исследования для того, чтобы на конечных изображениях отображались все интересующие анатомические образования. Учитывая разные антропометрические параметры пациентов, необходимым условием является корректировка положения источника и приемника рентгеновского излучения. Если не провести корректировку, то конечные изображения будут «обрезаны» и их диагностическая ценность сведена к минимуму.

Также при выполнении томосинтеза стоит обратить внимание на правильность выбора технических условий съемки. В таблице 4.1 приведены параметры аппаратов, на которых возможно провести томосинтез органов грудной клетки. Однако если конституциональные особенности отличаются от приведенных выше, например, пациент с большой массой тела, то следует увеличить напряжение на рентгеновской трубке.

Таблица 4.1

Физико-технические параметры томосинтеза органов грудной клетки

Параметры	Shimadzu	FujiFilm	Рентгенпром	МТЛ	Электрон
Фокусное расстояние, см	110	100–180	120	110–150	100–150
Угол движения трубки, град.	8–40	10–40	30	20–60	20–60
Интервал, мм	0,5	5	1–10	1–5	1–10
Режим реконструкции	FBP / T-smart	FBP	авторский (АО «Рентгенпром»)	FBP	итерационный
Напряжение на трубке, кВ	80–120	100	60–125	110–130	60–120
Время сканирования, с	2,5–5	4–12	16	2–10	2–8

В результате проведенного исследования получается серия «сырых данных», которая подвергается реконструкции на рабочей станции рентгенолаборанта и отправляется на рабочую станцию врача. В итоге за один проход рентгеновской трубки получается от 50 до 150 цифровых томограмм (зависит от выбранного угла движения трубки и интервала между срезами) органов грудной клетки во фронтальной плоскости. В среднем общее время обследования пациентов при проведении томосинтеза грудной клетки увеличивается до 4 минут по сравнению с проведением цифровой рентгенографии ОГК в двух проекциях. Большую часть времени занимают реконструкция «сырых данных» и передача информации на рабочую станцию врача-рентгенолога.

Анализ изображений проводится в следующей последовательности:

1) оценка качества томограмм (резкость, контрастность, отсутствие артефактов);

2) сравнительная оценка легочных полей (форма, размеры, прозрачность, наличие патологических элементов — при их обнаружении — подробное описание с указанием ведущего рентгеносемиотического признака, его локализации, формы, размеров, интенсивности, структуры, контуров);

3) состояние легочного рисунка;

4) характеристика корней легких (положение, форма, размеры, структура, контур, наличие дополнительных образований);

5) состояние средостения (положение, форма, ширина);

6) оценка костных элементов (положение, форма, размеры, структура);

7) состояние мягких тканей (дифференцировка, наличие инородных тел, свободного газа);

8) оформление протокола исследования с описанием выявленных изменений, заключением и рекомендациями по дальнейшему обследованию или верификации выявленных изменений.

4.2. НОРМАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОАНАТОМИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ ПРИ ТОМОСИНТЕЗЕ

На серии цифровых томограмм можно определить практически все структуры и образования органов грудной полости.

Снаружи ее покрывают мягкие ткани, которые на томограммах визуализируются в виде полосовидных теней средней интенсивности и вариабельной толщины вдоль боковых поверхностей грудной клетки, дифференцировать которые не представляется возможным (суммарно кожа и подкожно-жировая клетчатка) (рис. 56 А).

Аналогичные тени определяются параллельно верхним краям ключиц, соответствующие кожным складкам надключичных ямок. Параллельно вертикальной оси шейного отдела позвоночника располагается наружный контур грудино-ключично-сосцевидной мышцы. Тени различной интенсивности, соответствующие большим грудным мышцам, располагаются на уровне нижних отделов 2–4-го межреберных промежутков.

Величина, расположение и интенсивность теней МЖ весьма вариабельны (рис. 56 Б). Стоит отметить, что тени грудино-ключично-сосцевидных, лестничных, больших и малых грудных мышц, а также МЖ и сосков, которые понижают прозрачность легочных полей на стандартных рентгенограммах и могут имитировать патологический процесс, в случае цифровых томограмм практически не оказывают влияния на оценку легочной ткани (рис. 56 А).

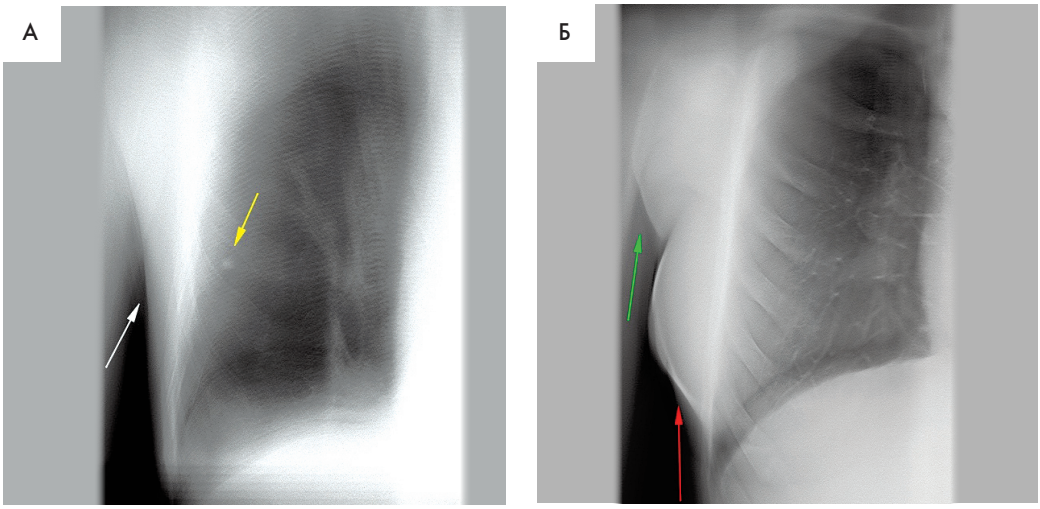


Рис. 56. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяются тень правого соска *(желтая стрелка)*, наружный контур мягких тканей грудной клетки *(белая стрелка)*, тень МЖ *(красная стрелка)* и тень большой грудной мышцы *(зеленая стрелка)*

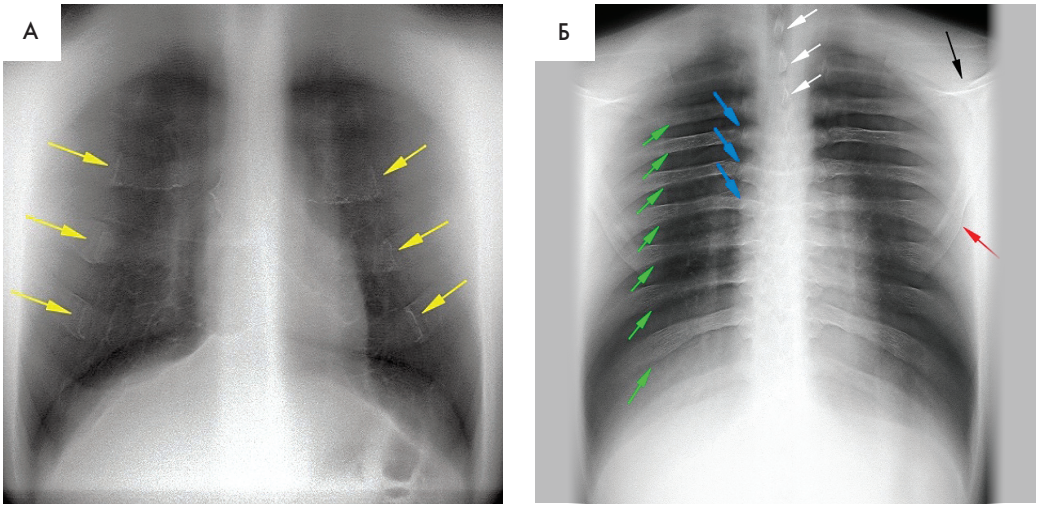


Рис. 57. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяются замыкательные пластинки ребер *(желтые стрелки)* при переходе костной их части в хрящевую, задние отрезки ребер *(зеленые стрелки)*, реберно-позвоночные сочленения *(синие стрелки)*, остистые отростки грудных позвонков *(белые стрелки)*, тело *(красная стрелка)* и ость *(черная стрелка)* лопатки

Скелет грудной клетки, представленный грудиной, ребрами, грудным отделом позвоночника, а также костями верхнего плечевого пояса — ключицей и лопаткой, хорошо визуализируется на цифровых томограммах. Можно оценить его положение, форму, структуру, состояние кортикальных пластинок. Цифровые томограммы позволяют проследить ход ребер от реберно-позвоночного сочленения до хрящевой его части. В месте перехода костной части ребра в хрящевую может определяться четкая косая интенсивная линия (или две параллельные друг другу), соответствующая замыкательной пластинке ребра (рис. 57 А). Реберные хрящи часто могут обызвествляться и имитировать очаговые тени в легких, особенно при глыбчатом характере кальцинации. Однако при томосинтезе возможно отличить псевдопоражение за счет наличия изображений на разных уровнях сканирования.

На томограммах могут визуализироваться лопатки в том случае, если они не отведены и оказываются в зоне исследования (рис. 57 Б). На срединных срезах возможно проследить ход, оценить состояние кортикальных пластинок и структуры ключиц.

При томосинтезе органов грудной клетки грудной отдел позвоночника чаще всего попадает в зону исследования, однако при необходимости есть возможность без повторного сканирования произвести вторичную реконструкцию изображений на рабочей станции рентгенолаборанта с измененными параметрами высоты, диапазона и интервала между срезами для более точной оценки его состояния. Хорошо дифференцируются тела позвонков, поперечные и остистые отростки, а также реберно-позвоночные суставы (рис. 58).

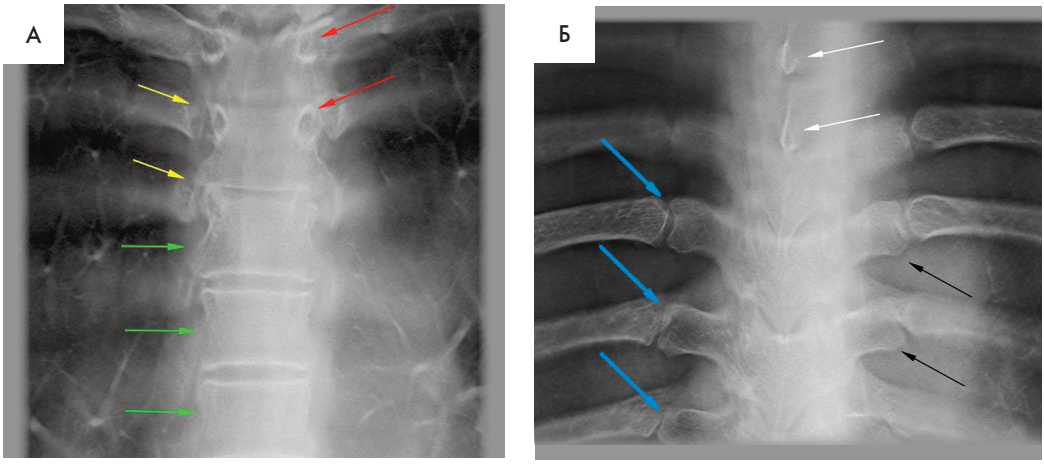


Рис. 58. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяются тела *(зеленые стрелки)*, дужки *(красные стрелки)*, остистые *(белые стрелки)* и поперечные *(черные стрелки)* отростки грудных позвонков. Также отмечаются реберно-поперечные *(синие стрелки)* и суставы головок ребер *(желтые стрелки)*

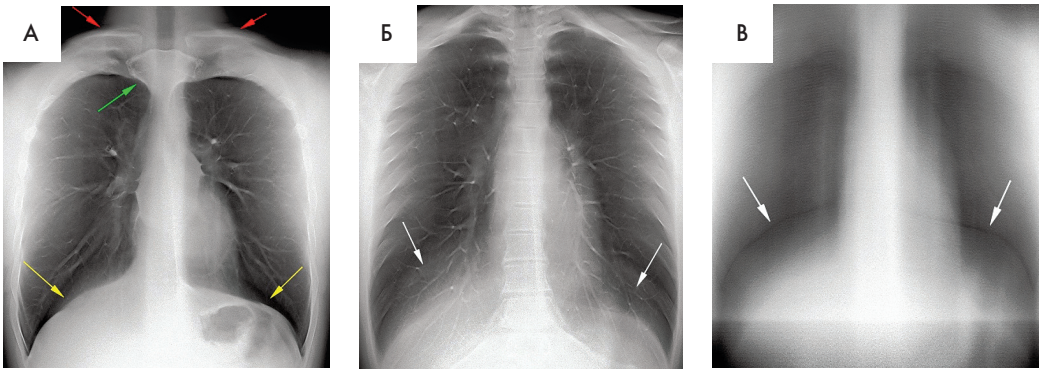


Рис. 59. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б, В) ОГК. Определяется четкий контур диафрагмы *(желтые стрелки)* на том уровне, где она занимает наивысшее положение. Отмечается размытость и дополнительный контур куполов диафрагмы *(белые стрелки)*. Определяется рукоятка грудины с четкими интенсивными замыкательными пластинками *(зеленая стрелка)*. Полосовидная тень средней интенсивности, идущая параллельно ключице, соответствует кожной складке (*красные стрелки)*

В меньшей степени удается проанализировать структуру грудины, которая может не определяться за счет краевого снижения пространственного разрешения, однако четко визуализируются ее кортикальные замыкательные пластинки в виде интенсивного подчеркнутого контура (рис. 59 А).

На цифровых томограммах диафрагма отчетливо определяется лишь на срезах, на которых она находится в наивысшем положении в виде высокоинтенсивного куполообразного контура (рис. 59 А). На передних и задних срезах относительно наивысшего положения купол диафрагмы кажется размытым и дает дополнительный контур и тень на выше и ниже расположенных срезах. Это связано с неполным вращением излучателя и приемника вокруг тела пациента (используется только часть окружности сканирования в отличие от КТ, при которой она была бы полной) (рис. 59 Б, В).

Между реберной поверхностью грудной клетки и диафрагмой определяются различной глубины острые реберно-диафрагмальные углы, которые соответствуют одноименным синусам. Передние и задние реберно-диафрагмальные синусы достоверно не определяются. Между тенью сердца и куполами диафрагмы отмечаются кардиодиафрагмальные синусы.

На серии томограмм отчетливо определяются воздухопроводящие пути: трахея и бронхи. Могут визуализироваться кольца трахеи в зависимости от степени их обызвествления. На фоне средостения отчетливо определяется бифуркация трахеи, где начинаются правый и левый главные бронхи.

Бронхи визуализируются также в виде полос просветления с четкими ровными контурами и прослеживаются вплоть до субсегментарного уровня. Их кольца тоже могут обызвествляться, что отражается на томограммах. В случае ортогонального их сечения они могут выглядеть в виде кольцевидного просветления с четкими ровными контурами (рис. 60). Размеры рентгенологического отображения бронхов зависят от их калибра.

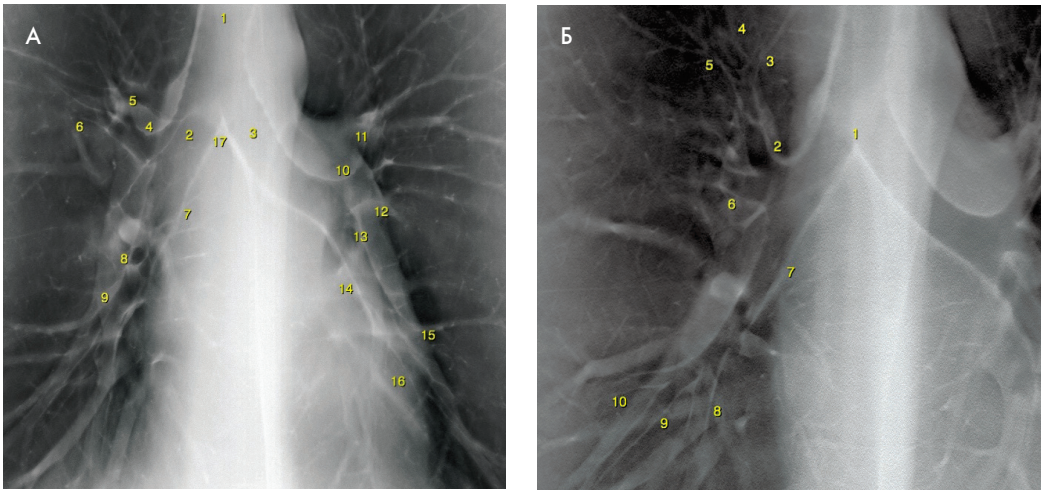


Рис. 60. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. На томограмме А отмечается: 1 — трахея; 2 — правый главный бронх; 3 — левый главный бронх; 4 — правый верхнедолевой бронх; 5 — правый верхушечный бронх; 6 — правый передний бронх; 7 — промежуточный бронх; 8 — правый верхний бронх; 9 — правый нижнедолевой бронх; 10 — левый верхнедолевой бронх; 11 — левый верхушечно-задний бронх; 12 — язычковый бронх; 13 — левый верхний бронх; 14 — левый нижнедолевой бронх; 15 — левый передне-базальный бронх; 16 — левый латерально-базальный бронх; 17 — бифуркация трахеи. На томограмме Б определяется: 1 — бифуркация трахеи; 2 — правый задний сегментарный бронх; 3 — правый верхушечный бронх; 4 — правый задний бронх; 5 — правый передний бронх; 6 — правый передний сегментарный бронх; 7 — правый нижнедолевой бронх; 8 — правый медиально-базальный бронх; 9 — правый передне-базальный бронх; 10 — правый латерально-базальный бронх

Плевра визуализируется в виде интенсивной линии с четкими ровными контурами, но, как и на стандартных рентгенограммах, лишь при совпадении плоскости ее хода с ходом центрального пучка излучения (рис. 61).

На серии цифровых томограмм в прямой проекции по визуализации хода долевых и сегментарных бронхов и сосудов, а также междолевых борозд в большинстве случаев возможно определить как долевое, так и сегментарное

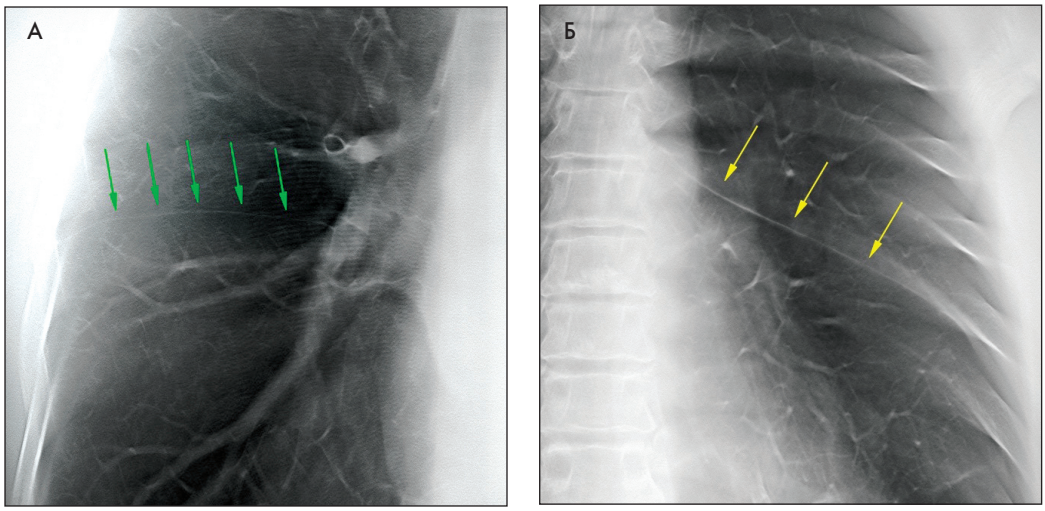


Рис. 61. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяется ход главной (Б) *(желтые стрелки)* и дополнительной (А) *(зеленые стрелки)* междолевых щелей

строение легких. Однако стоит отметить, что в связи с непостоянным определением междолевой плевры, а также с отсутствием анатомических границ между сегментами точно выделить долю или сегмент на цифровой томограмме бывает затруднительно, особенно при наличии патологических изменений.

На рисунке 62 представлено долевое строение легких на серии цифровых томограмм, которое можно проследить по ходу междолевых борозд.

Параллельно ходу бронхов визуализируются средней интенсивности с ровными четкими контурами структуры, соответствующие легочным сосудам,

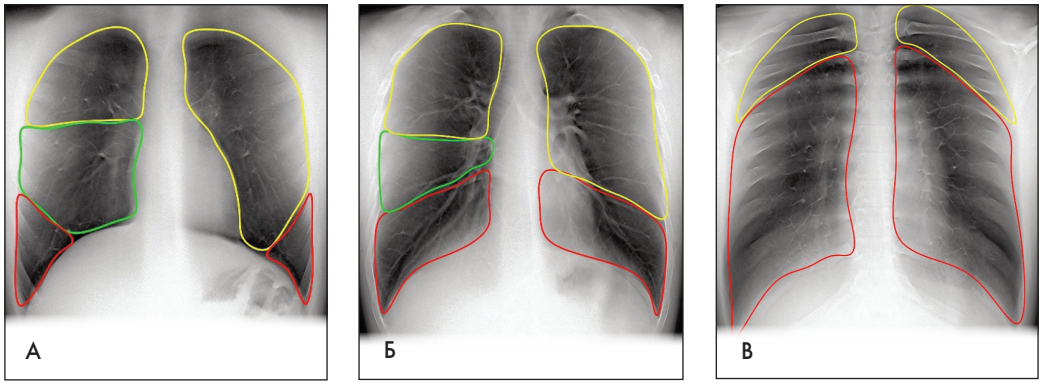


Рис. 62. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б, В) ОГК. Схематическое выделение верхних *(желтое)*, средней *(зеленое)* и нижних *(красное)* долей

которые могут определяться при ортогональном сечении в виде округлых или овальных очаговых теней с ровными четкими контурами средней интенсивности (рис. 63 А).

При томосинтезе, так же как и при ЦР, место деления легочного ствола на правую и левую ветви и проксимальные отделы легочных артерий не определяется, т. к. визуализация органов средостения затруднена. Однако на цифровых томограммах возможно проследить ход легочных артерий вплоть до сегментарных ветвей (рис. 63 Б).

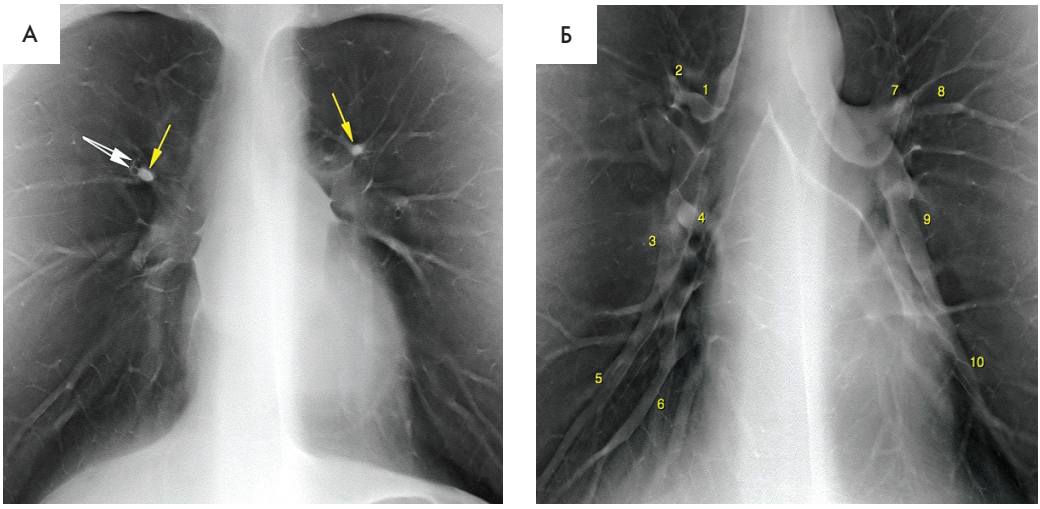


Рис. 63. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяются очаговые тени с четкими ровными контурами *(желтые стрелки)*, соответствующие ортогональным сечениям сосудов. Рядом с ним отмечается поперечное сечение субсегментарных бронхов *(белые стрелки)*. На изображении Б отмечаются: 1 — правая верхнедолевая легочная артерия; 2 — верхушечная ветвь правой легочной артерии; 3 — правая легочная артерия; 4 — ортогональное сечение верхней ветви нижней доли правой легочной артерии; 5 — передняя ветвь нижней доли правой легочной артерии; 6 — латеральная ветвь нижней доли правой легочной артерии; 7 — задняя ветвь верхней доли левой легочной артерии; 8 — верхние и нижние передние ветви верхней доли левой легочной артерии; 9 — левая легочная артерия; 10 — задняя ветвь нижней доли левой легочной артерии

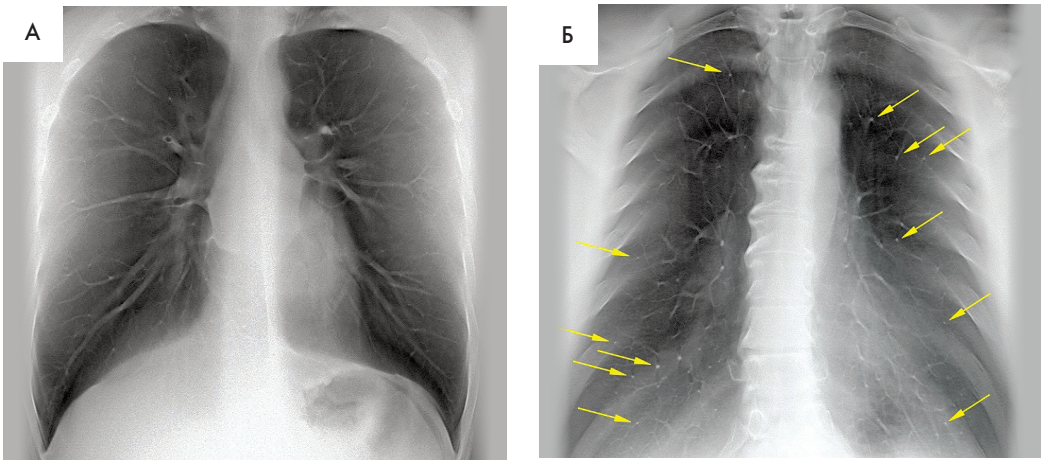


Рис. 64. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяются неизмененный легочный рисунок (А) и ортогональное сечение легочных сосудов *(стрелки)*

Сосуды малого круга кровообращения, формирующие легочный рисунок, на томограммах веерообразно распространяются от корней легких в виде тяжистых теней, постепенно уменьшаясь в калибре, и не доходят до реберного края около 1 см (рис. 64 А).

В связи с томографическим сечением может определяться ортогональное сечение сосудов в периферических отделах, дающих картину очаговоподобных теней. Дифференцировать их можно, просмотрев выше- и нижележащие срезы и отметив продолжение их в линейные тени сосудов (рис. 64 Б).

Легочные вены, так же как и артерии, на томограммах визуализируются в виде структур средней интенсивности с ровными четкими контурами (рис. 65 А). Отличить их от артерий возможно по характерному расположению: они находятся каудальнее по отношению к одноименной сегментарной артерии. Также в верхне-медиальных отделах легких вены определяются кнаружи и книзу от одноименных артерий, в средних отделах практически горизонтально под ними, а в нижне-медиальных — книзу и кнутри от артериальных сосудов (рис. 65 Б). Субсегментарные венозные сосуды неотличимы от артериальных.

Как и на рентгенограммах, при томосинтезе не представляется возможным определить бронхиальные артерии и вены, неувеличенные лимфатические узлы и сосуды, а также нервы.

На серии томограмм появляется возможность более детально оценить структуру корней легких, а также их положение, форму, контур, наличие дополнительных образований. Явным преимуществом томосинтеза является визуализация области корней легких, которые перекрыты срединной тенью, что невозможно произвести на цифровых рентгенограммах (рис. 66).

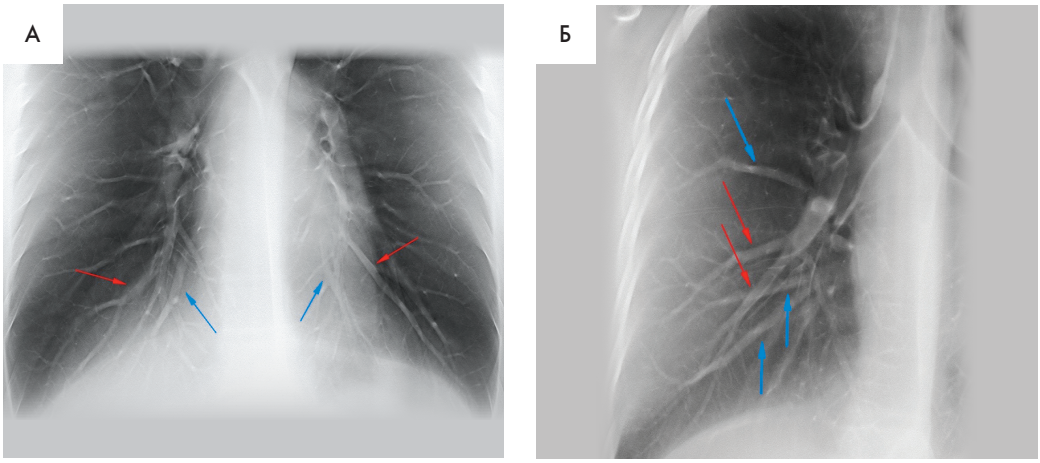


Рис. 65. Цифровые томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Определяются неизмененные артериальные *(красные стрелки)* и венозные *(синие стрелки)* сосуды

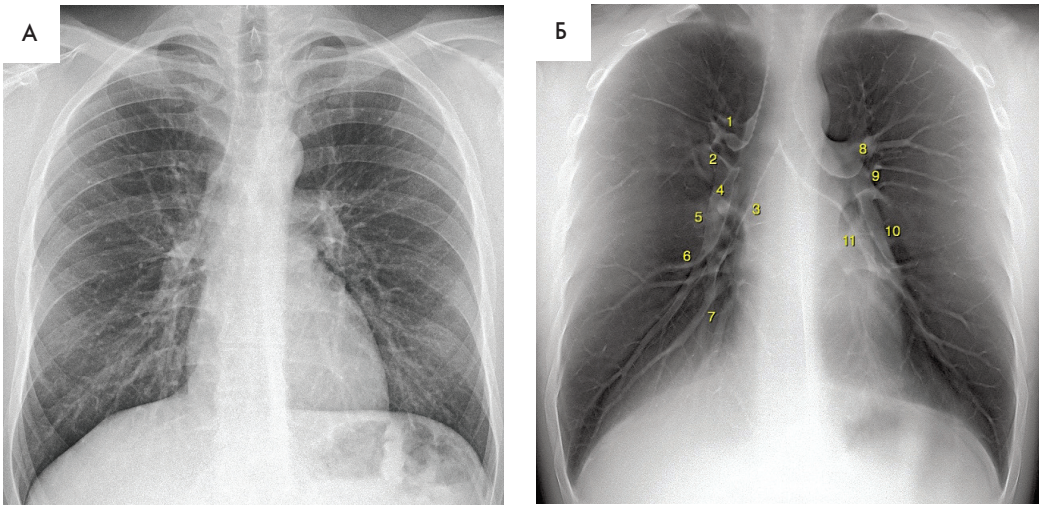


Рис. 66. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На томограмме возможна более детальная визуализация структур корней легких, чем на рентгенограмме: 1 — правая верхнедолевая легочная артерия; 2 — правый верхнедолевой бронх; 3 — промежуточный бронх; 4 — ортогональное сечение верхней ветви легочной артерии правой нижней доли; 5 — правая легочная артерия; 6 — ветви правого нижнедолевого бронха; 7 — правая латеральная ветвь нижней доли; 8 — левая верхнедолевая ветвь легочной артерии; 9 — левый верхнедолевой бронх; 10 — левая легочная артерия; 11 — левый нижнедолевой бронх

Так же как и на стандартных рентгенограммах, на цифровых томограммах не представляется возможным дифференцировать органы средостения — они предстают одним комплексом в виде однородного затемнения, у которого можно определить лишь выступающие контуры и незначительно проследить ход анатомических образований.

Выделяют правый и левый контуры сердечно-сосудистой тени. По правому можно отметить контур левого предсердия и восходящей части аорты (рис. 67 А). В левом контуре сверху вниз следуют контуры дуги аорты, левой легочной артерии, ушка левого предсердия и левого желудочка (рис. 67 Б).

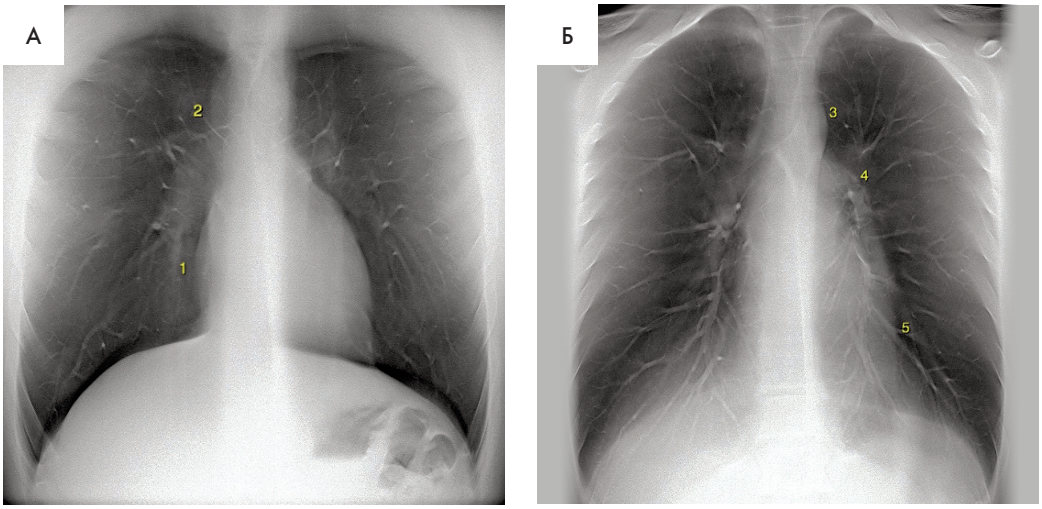


Рис. 67. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. 1 — контур левого предсердия; 2 — контур восходящей части аорты; 3 — контур дуги аорты; 4 — левая легочная артерия; 5 — контур левого желудочка

4.3. ВОЗМОЖНОСТИ ТОМОСИНТЕЗА В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ПОВРЕЖДЕНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Можно выделить основные показания к проведению томосинтеза ОГК:

— уточняющая методика исследования после проведенной стандартной рентгенографии с целью подтверждения или исключения выявленных изменений на цифровых рентгенограммах, а также уточнения локализации, распространенности, структуры и контуров патологического процесса;

— методика динамического наблюдения как альтернатива МСКТ;

— дополнительная методика исследования взамен ЦР в боковой проекции.

Основными преимуществами ЦР являются скорость получения изображений и меньшая лучевая нагрузка, поэтому томосинтез ОГК пока не может полностью заменить стандартную рентгенографию и его необходимо использовать в качестве уточняющей методики исследования.

Ряд авторов предлагают применять томосинтез всем пациентам после ЦР ОГК в прямой проекции без выполнения дополнительной боковой проекции. Данный подход, возможно, оправдан, но только на тех аппаратах, где лучевая нагрузка томосинтеза ОГК сопоставима с таковой при ЦР ОГК в боковой проекции. Так, наиболее часто приводимое значение лучевой дозы в литературе — 0,13 мЗв, что в два раза выше, чем при ЦР. Однако некоторые авторы сообщают о применении низкодозового томосинтеза, при котором величина лучевой нагрузки достигает 0,05 мЗв.

Помимо этого, томосинтез можно применять при динамическом наблюдении, когда необходимо проводить многократные рентгенологические исследования, например, при контроле лечения деструктивной пневмонии, муковисцидоза или у пациентов с очаговым поражением легких.

Основными противопоказаниями к проведению томосинтеза ОГК являются:

1. Тяжелое состояние пациента, требующее проведения реанимационных мероприятий.
2. Выраженная одышка.
3. Наличие металлоконструкций в области сканирования.

Тяжелое состояние пациента, требующее проведения реанимационных мероприятий, можно отнести к абсолютным противопоказаниям, в то время как наличие выраженной одышки и металлоконструкций в области сканирования — к относительным. Одышка не позволяет пациенту задержать дыхание на продолжительное время (5–12 сек.), что приводит к появлению артефактов от дыхательных движений на цифровых томограммах, затрудняющих их анализ (рис. 68). Тем самым целесообразность проведения дополнительного исследования в данном случае отсутствует.

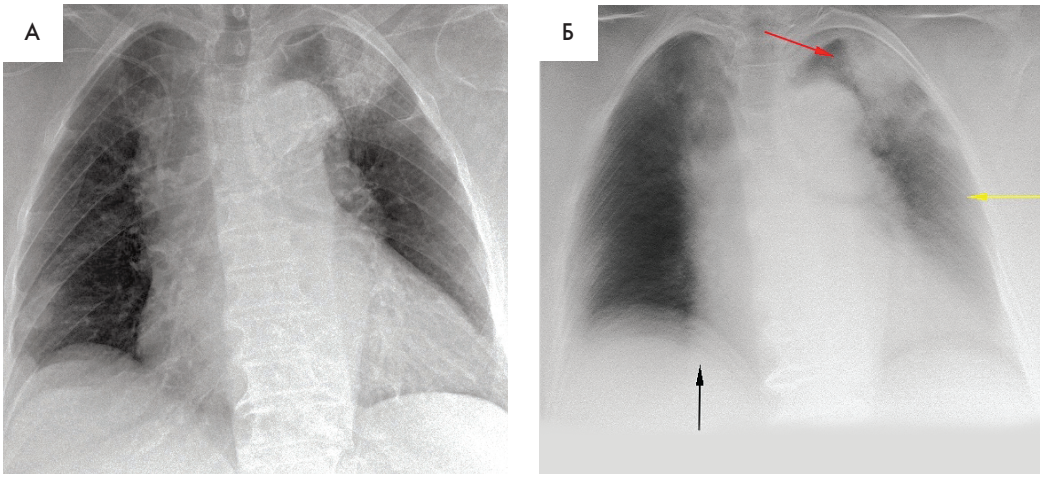


Рис. 68. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. В верхних отделах левого легочного поля визуализируется ограниченное затемнение с нечеткими неровными контурами. На томограмме отмечаются артефакты от дыхания в виде нескольких контуров куполов диафрагмы *(черная стрелка)*, ребер *(желтая стрелка)* и самого затемнения *(красная стрелка)*

Наличие в зоне сканирования металлоконструкций приводит к появлению артефактов от них на соседних срезах, что затрудняет оценку структуры костной ткани на данном уровне, а также окружающих анатомических и патологических образований (рис. 69).

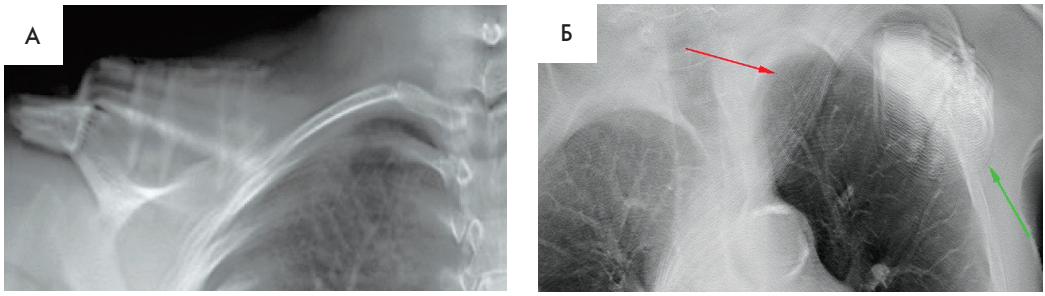


Рис. 69. Цифровые томограммы во фронтальной плоскости (А, Б) ОГК. Отмечаются артефакты от металлоконструкции (А), электрокардиостимулятора *(Б, зеленая стрелка)* и электродов *(Б, красная стрелка)*

Однако стоит отметить, что некоторые производители на новых аппаратах вместо алгоритма реконструкции методом «обратных фильтрованных проекций» (FBP) начинают применять итеративные реконструкции изображений, что приводит к подавлению и снижению такого вида артефактов.

Клиническое применение современных рентгенодиагностических аппаратов с функцией томосинтеза началось с начала 2000-х годов. В первую очередь авторы обратили внимание на преимущества томосинтеза перед ЦР в выявлении и лучшей визуализации небольших очаговых изменений в легких, что связано с отсутствием «эффекта суммации» на цифровых томограммах.

Тем самым в настоящее время наиболее широко освещены возможности томосинтеза в диагностике солидных очаговых изменений в легких: начиная от исследований с антропометрическими фантомами, имитацией очагов различных размеров и до клинического применения. Данные изменения на диагностических изображениях характеризуются локальным уплотнением легочной ткани округлой формы разной степени плотности с различными контурами (рис. 70).

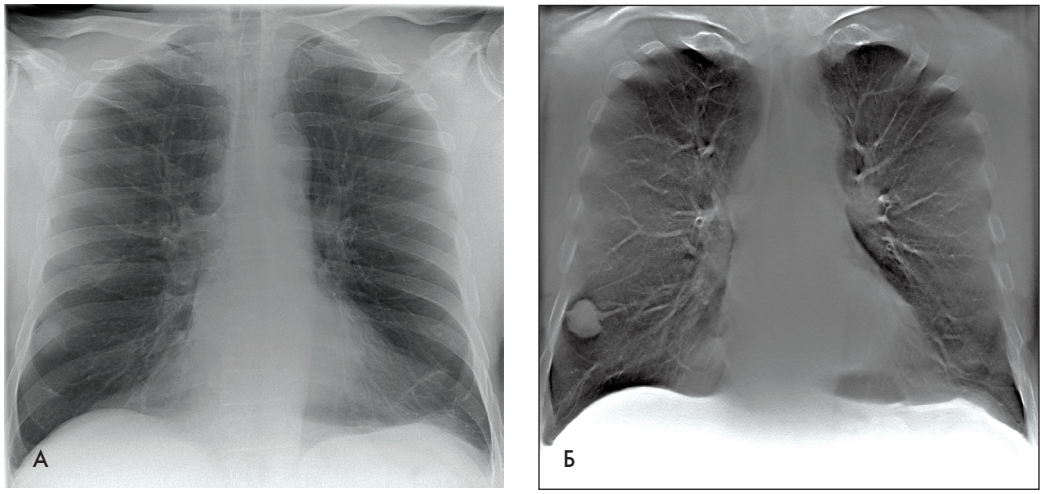


Рис. 70. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На цифровой томограмме отчетливо визуализируется округлой формы очаг в S4 правого легкого средней интенсивности с неровными, четкими контурами диаметром до 16 мм

Подавляющее большинство публикаций показывает, что чувствительность томосинтеза в выявлении очагов в легких превышает соответствующий показатель при стандартной рентгенографии, особенно это касается очагов от 4 до 10 мм (табл. 4.2). Томосинтез позволяет визуализировать очаговые изменения, которые не определяются на рентгенограммах (рис. 71). В то же время чем меньше размер очага (чаще <4 мм), тем меньше чувствительность томосинтеза относительно МСКТ.

Таблица 4.2

Чувствительность цифровой рентгенографии и томосинтеза в выявлении очагов в легких

Исследование	ЦР	Томосинтез	МСКТ
James T. D. et al., 2008	22 %	70 %	n = 175, 100 %
Vikgren J. et al., 2008	16 %	56 %	n = 131, 100 %
Yamada Y. et al., 2011	37 %	79 %	n = 117, 100 %
Jung H. N. et al., 2012	27 %	83 %	n = 237, 100 %

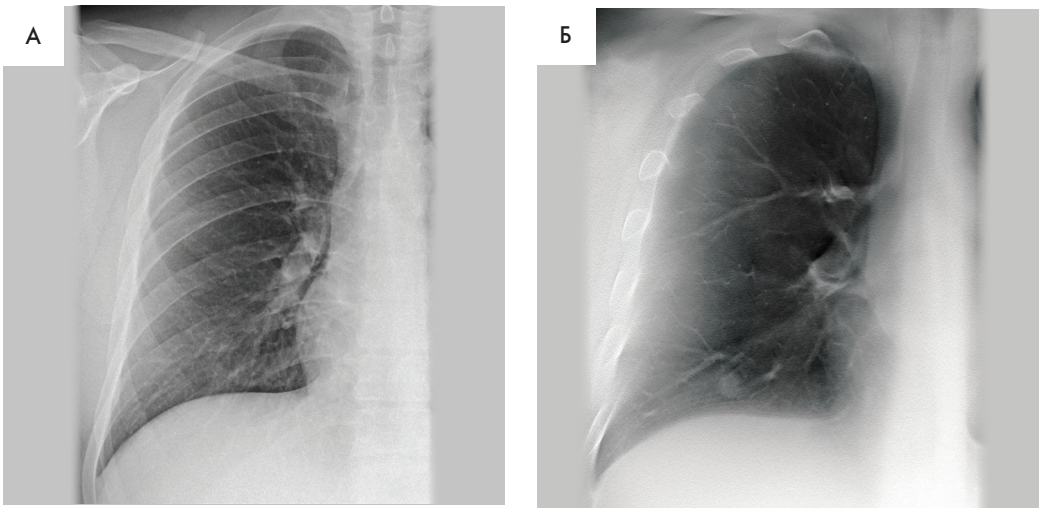


Рис. 71. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. Дополнительно выявляется округлая тень в S8 справа средней интенсивности с ровными, четкими контурами диаметром до 9 мм

Большее количество определяемых очагов при томосинтезе по сравнению с ЦР связано с отсутствием суммационного эффекта на цифровых томограммах и как следствие возможность визуализации изменений более малых размеров, которые не определяются на рентгенограммах на фоне тени ребер, корней легких, сердца (рис. 72).

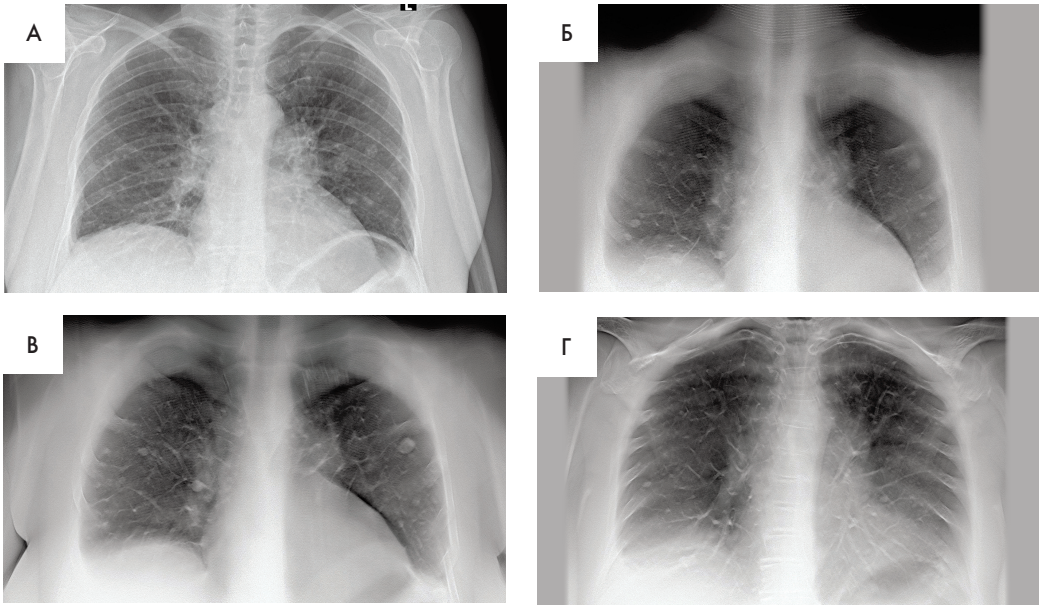


Рис. 72. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограммы (ТС) (Б, В, Г) во фронтальной плоскости (Г) ОГК. На рентгенограмме на фоне обогащенного легочного рисунка по всем легочным полям, преимущественно слева, определяются округлой формы очаговые тени средней интенсивности с ровными нечеткими контурами размерами от 3 до 10 мм. На цифровых томограммах подтверждается наличие очагов с четкими ровными контурами, дополнительно выявляются изменения размерами от 2 мм в средней и нижних долях, которые не визуализировались ранее

С помощью томосинтеза возможно уточнить структуру очага: наличие в нем участка обызвествления или полости распада. Лучшая визуализация структуры по сравнению с ЦР достигается за счет разницы плотностных характеристик, например, на фоне участка уплотнения — полость распада (рис. 73). По той же причине на цифровых томограммах лучше визуализируются более плотные структуры — кальцинаты (рис. 74).

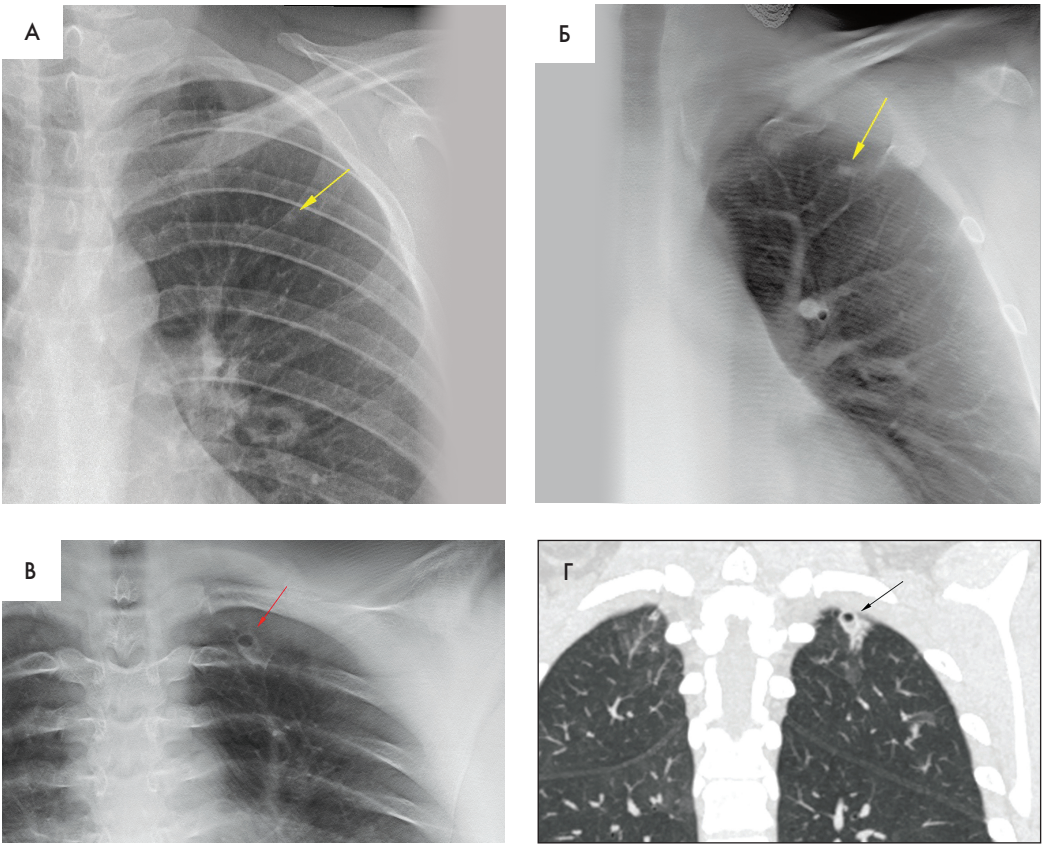


Рис. 73. Цифровые рентгенограмма в прямой проекции (А), томограммы (томосинтез) (Б, В) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (Г) органов грудной клетки. На рентгенограмме в верхнем отделе левого легочного поля определяется округлой формы очаговая тень средней интенсивности с неровными нечеткими контурами диаметром 4 мм (желтая стрелка). На цифровых томограммах в S3 левого легкого подтверждается наличие вышеописанного очага *(желтая стрелка)*, дополнительно в S1+2 слева отмечается образование неправильной формы размерами 7х10 мм неоднородной структуры за счет наличия полости распада *(красная стрелка)*, что также определяется на компьютерной томограмме *(черная стрелка)*

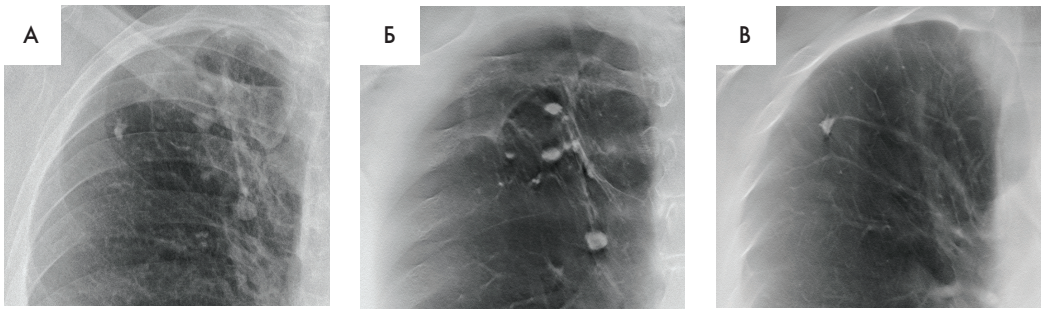


Рис. 74. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, В) ОГК. На рентгенограмме в верхушке правого легкого отмечаются множественные очаговые тени средней и высокой интенсивности с ровными четкими контурами размерами от 3 до 8 мм. На цифровых томограммах отмечаются высокоинтенсивные и неоднородные по структуре очаги за счет наличия обызвествлений

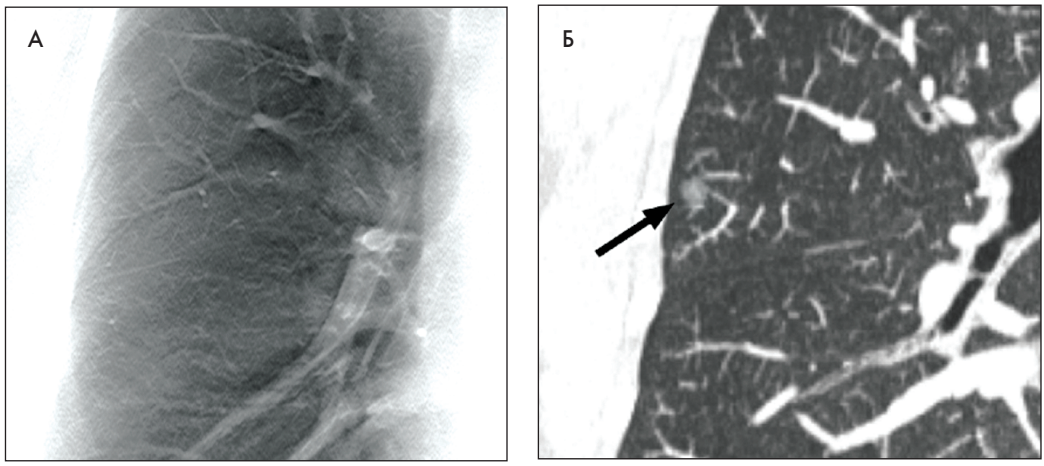


Рис. 75. Цифровая томограмма (томосинтез) (А) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На компьютерной томограмме в верхней доле правого легкого определяется очаг плотностью по типу матового стекла диаметром 7 мм *(черная стрелка)*, который не визуализируется на цифровой томограмме

Источник: Lee K. H., Goo J. M., Lee S. M. et al. Digital Tomosynthesis for evaluating metastatic lung nodules: nodule visibility, learning curves, and reading times // Korean. J. Radiol. — 2015. — V. 16, No. 2. — P. 430–439.

При этом высокие статистические показатели томосинтеза отмечаются в выявлении лишь солидных очагов в легких, которые хорошо дифференцируются на фоне пневматизированной легочной ткани. Выделяют очаги по типу «матового стекла», плотность которых варьируется в среднем от –630 HU до –800 HU, на их фоне отчетливо визуализируются контуры сосудов и стенки бронхов, элементы легочного интерстиция. Как известно, такие очаги весьма неспецифичны, наблюдаются при воспалительных процессах, атипичной аденоматозной гиперплазии, но могут быть одним из первых признаков злокачественного заболевания. Поэтому весьма важно выявить такие изменения на ранней стадии развития патологического процесса для своевременного выбора метода лечения. При томосинтезе возможно визуализировать очаги по типу «матового стекла», однако размер их должен превышать 10 мм. В выявлении очагов меньших размеров томосинтез существенно не превосходит ЦР и значимо уступает МСКТ (рис. 75).

Помимо характеристик самого очага важно оценить состояние окружающей паренхимы легкого и взаимоотношение с другими анатомическими структурами. Выявление определенных изменений помогает в дифференциальной диагностике очаговых поражений легких. Так, например, связь очага с мелким легочным сосудом может быть характерна для гематогенного метастаза — так называемый симптом питающего сосуда (рис. 76).

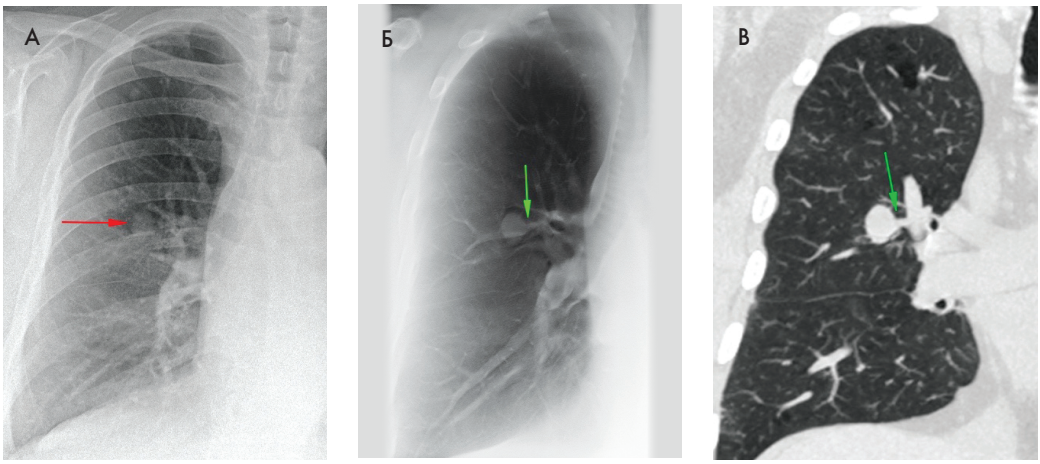


Рис. 76. Цифровые рентгенограмма в прямой проекции (А), томограмма (томосинтез) (Б) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (В) органов грудной клетки. На рентгенограмме в средних отделах правого легочного поля отмечается округлая тень средней интенсивности с ровными четкими контурами диаметром 12 мм *(красная стрелка)*. На томограммах определяется питающая очаг ветвь легочной артерии и место ее вхождения в него (симптом «питающего сосуда») *(зеленая стрелка)*

Зачастую после проведения ЦР ОГК врач-рентгенолог сообщает о наличии сомнительных или неоднозначных результатов, которые могут быть вызваны легочными или внелегочными поражениями, а в ряде случаев даже так называемыми псевдопоражениями. Истинные легочные поражения — легочные очаги — могут трудно дифференцироваться от псевдопоражений из-за их частых небольших размеров (<10 мм в диаметре) и плохой визуализации на фоне окружающих анатомических структур. Псевдопоражениями можно назвать затемнения, не являющиеся результатом истинного легочного или внелегочного поражения, а результатом наложения нормальных анатомических структур: сосудистых, костных, кожных и др. (рис. 77). Это представляет собой важную клиническую проблему, поскольку около 20 % предполагаемых легочных очагов на ЦР оказываются псевдопоражениями.

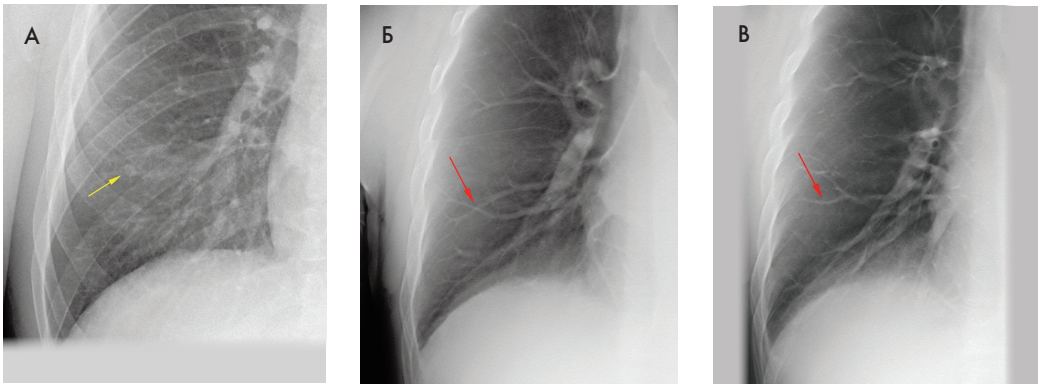


Рис. 77. Цифровые рентгенограмма в прямой проекции (А), томограммы (томосинтез) (Б, В) во фронтальной плоскости (В) органов грудной клетки. На рентгенограмме в нижних отделах правого легочного поля отмечается округлая тень средней интенсивности с ровными четкими контурами диаметром 7 мм *(желтая стрелка)*. На томограммах исключено наличие очага, отмечаются перекрещивающиеся сосуды на данном уровне *(красная стрелка)*

В таких случаях для дифференциальной диагностики проводят МСКТ, при которой выявленные изменения характеризуются как доброкачественные, внелегочные или псевдопоражения. Однако томосинтез также обеспечивает высокую диагностическую точность и достоверность в подтверждении или исключении легочных поражений, выявленных при ЦР (рис. 78). По данным Quaia E. et al. (2013), томосинтез позволяет исключить легочные поражения у 75 % пациентов, которым необходимо выполнение МСКТ. С учетом того, что функция томосинтеза реализована на рентгенологических системах, на которых проводится непосредственно ЦР, соответственно уточняющая ме-

тодика — томосинтез — может выполняться сразу после оценки рентгенограмм, в одном и том же кабинете. Это приводит к уменьшению количества ненужных направлений на МСКТ, снижая нагрузку на КТ-кабинет.

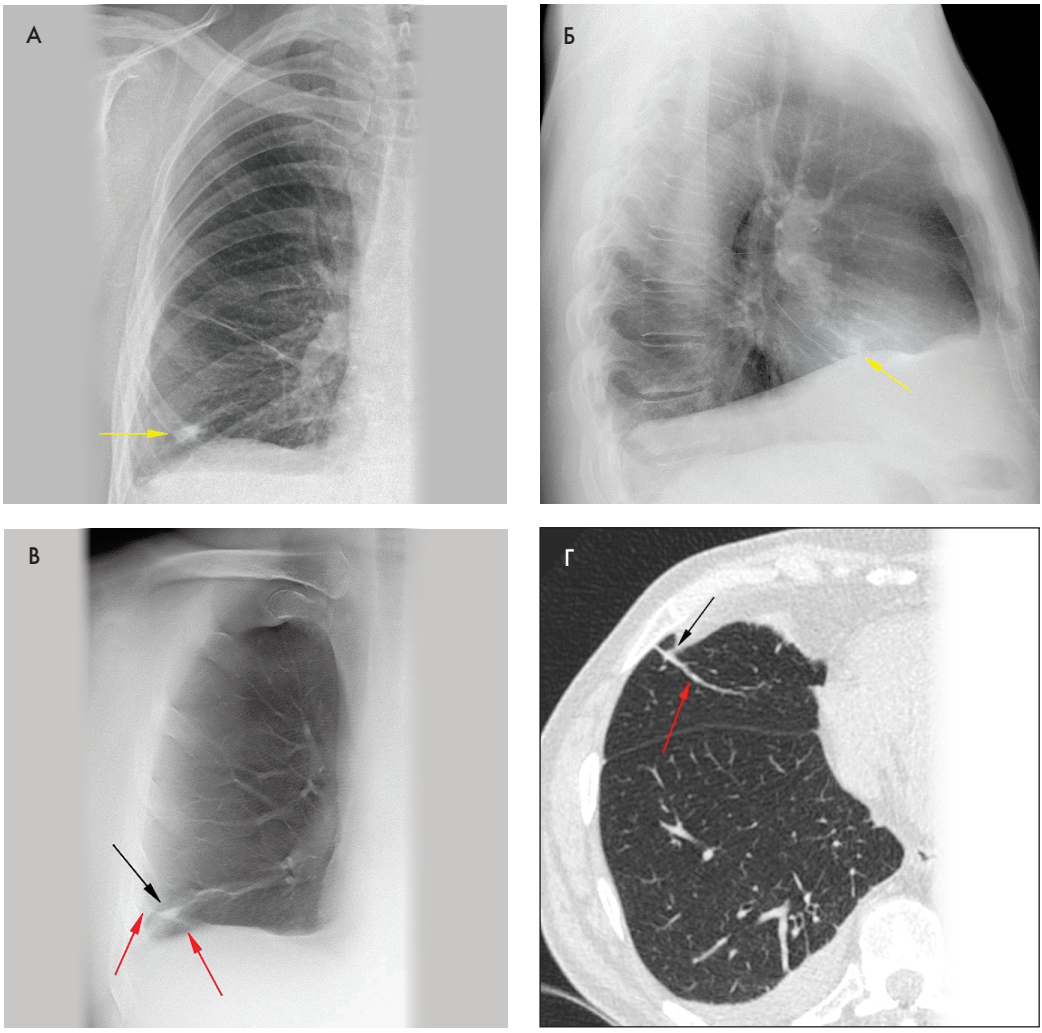


Рис. 78. Цифровые рентгенограммы в прямой (А) и боковой (Б) проекциях, томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (В) и компьютерная томограмма в аксиальной плоскости (Г) ОГК. На рентгенограммах в S5 правого легкого определяется неправильной формы очаговая тень средней интенсивности с неровными нечеткими контурами размерами 5–7 мм *(желтая стрелка)*. На томограммах в месте предполагаемого очага определяется высокоинтенсивная тень *(черная стрелка)*, продолжающаяся в фиброзные тяжи *(красные стрелки)*

К преимуществам томосинтеза перед ЦР можно отнести возможность дифференциальной диагностики внутрилегочных поражений от внелегочных (рис. 79). Особенно это актуально при исследовании пациентов в положении лежа, когда выполнение рентгенограммы в боковой проекции невозможно в связи с сопутствующей патологией пациента.

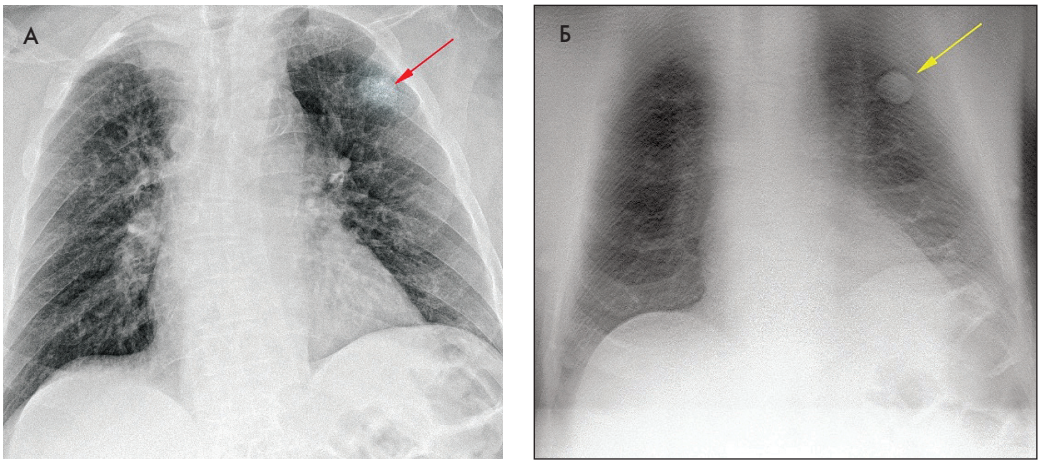


Рис. 79. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК, выполненные в положении лежа. На рентгенограмме отмечается овальная очаговая тень средней интенсивности с ровными четкими контурами размерами 15–18 мм *(красная стрелка)*. На цифровой томограмме выявленное образование (липома) отмечается в мягких тканях по передней поверхности грудной стенки *(желтая стрелка)*

К сожалению, в диагностике очаговых изменений в легких с помощью томосинтеза есть некоторые ограничения. Отмечаются сложности с выявлением и уточнением характеристик патологических изменений, расположенных субплеврально и наддиафрагмально, которые в ряде случаев визуализируются лишь ретроспективно по данным МСКТ (рис. 80). Это связано с неполным вращением излучателя и приемника вокруг тела пациента (используется только часть окружности сканирования, которая могла бы быть полной при МСКТ). Также снижение качества визуализации легочной ткани наблюдается в непосредственной близости с передними и задними частями ребер, особенно за тенями частично кальцинированных хрящей первых ребер, над куполами диафрагмы, рядом с тенью сердца и крупных сосудов средостения (рис. 81).

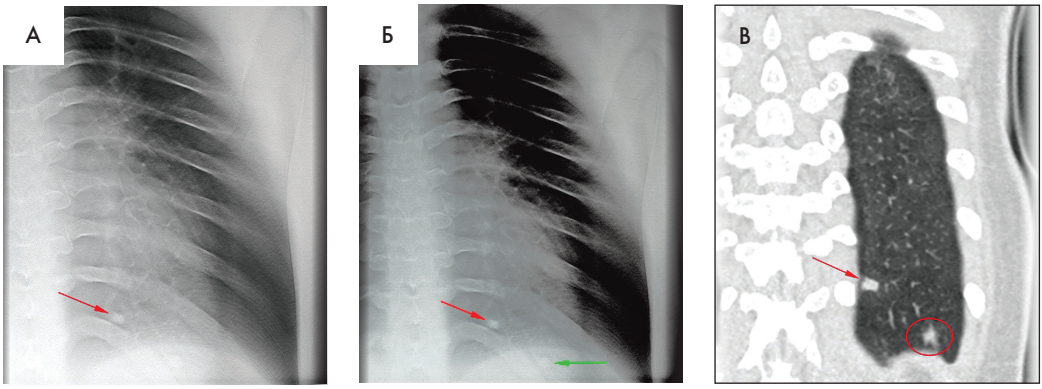


Рис. 80. Цифровые (А, Б) и компьютерная (В) томограммы во фронтальной плоскости ОГК. В S10 левого легкого отмечается овальная тень с неровными контурами размерами 6–7 мм *(красная стрелка)*. На компьютерной томограмме в том же сегменте левого легкого дополнительно выявляется неправильной формы образование размерами 4,5–5,5 мм *(красный кружок)*, которое ретроспективно визуализируется на цифровой томограмме *(зеленая стрелка)*

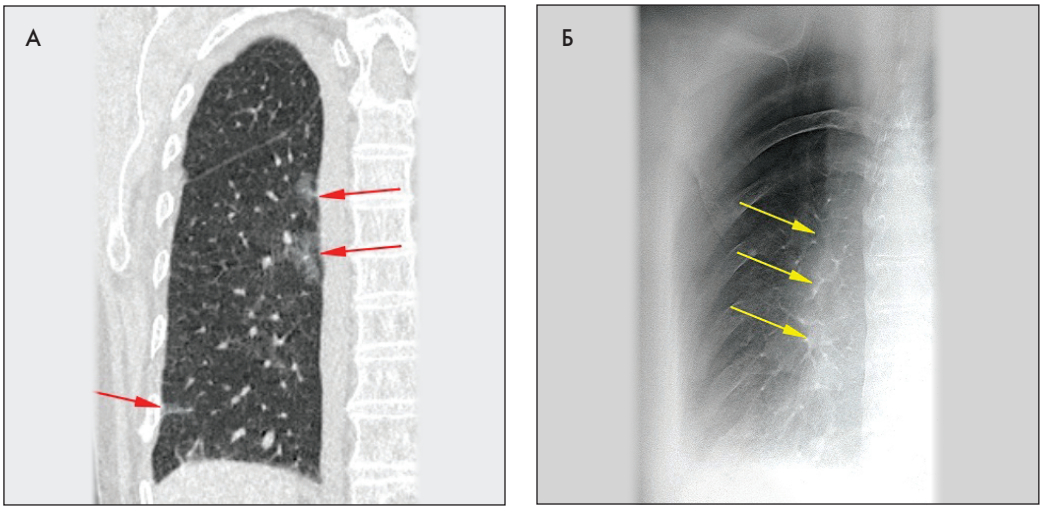


Рис. 81. Компьютерная (А) и цифровая (Б) томограммы (ТС) во фронтальной плоскости ОГК. На компьютерной томограмме визуализируются участки по типу «матового стекла» *(красные стрелки)*, которые не определяются на цифровой томограмме. Отмечается проекционная тень средостения на месте вышеописанных участков *(желтые стрелки)*

Как известно, в мире рак легкого занимает одно из ведущих мест среди причин смертности у онкологических больных. Программы скрининга рака легкого посредством стандартной рентгенографии показали свою неэффективность, поскольку они не приводили к снижению смертности. Выполнялись исследования по применению низкодозовой КТ в качестве методики скрининга. Согласно результатам программы National Lung Screening Trial (NLST), использование НДКТ снижает смертность от рака легких на 20 % по сравнению с применением стандартной рентгенографии [The NLST Research Team, 2011].

В связи с более высокой чувствительностью томосинтеза в выявлении очагов в легких по сравнению с ЦР некоторые авторы предлагают использовать томосинтез в качестве методики скрининга рака легкого. Первые результаты исследований применения томосинтеза в ранней диагностике рака легкого показали сопоставимые данные с частотой выявления данной патологии при использовании НДКТ. С учетом более низкой лучевой нагрузки и стоимости исследования авторы предполагают, что томосинтез может стать первым этапом в скрининге рака легкого у пациентов с высоким риском, тем самым заменив НДКТ. Однако стоит отметить, что проведенное исследование было выполнено с выборкой чуть менее 2000 человек, тем самым рано окончательно ставить точку в этом вопросе [Bertolaccini L. et al., 2015].

Как известно, для оценки патологического очага важную, если не главную, роль играет его размер. Существует несколько рекомендаций по оценке впервые выявленных очагов, основанных именно на его размерах, от чего зависит дальнейшая тактика ведения таких пациентов, например, рекомендации Fleischner Society и LungRads. Поэтому к методике, оценивающей данный показатель, должны предъявляться повышенные требования.

Был проведен ряд работ, посвященных точности томосинтеза в оценке размеров очагов в легких, в сравнении с возможностями МСКТ, чаще используя фантомы с заранее расставленными в нем объектами различных размеров [Johnsson A.A. et al., 2010; Meltzer C.E., 2014; Shim S.S. et al., 2014; Soderman C. et al., 2015]. Результаты проведенных исследований не показали значимого различия в точности измерений между двумя сравниваемыми методиками, тем самым доказывая высокую точность измерений при томосинтезе (рис. 82).

По последним рекомендациям Fleischner Society 2017 года, наибольшее клиническое значение имеют очаги размерами более 6 мм, которые хорошо визуализируются на цифровых томограммах. С учетом того, что томосинтез обладает высокой точностью в измерении таких очагов, данную методику возможно использовать в качестве метода динамического контроля, оценивая степень прогрессии очага.

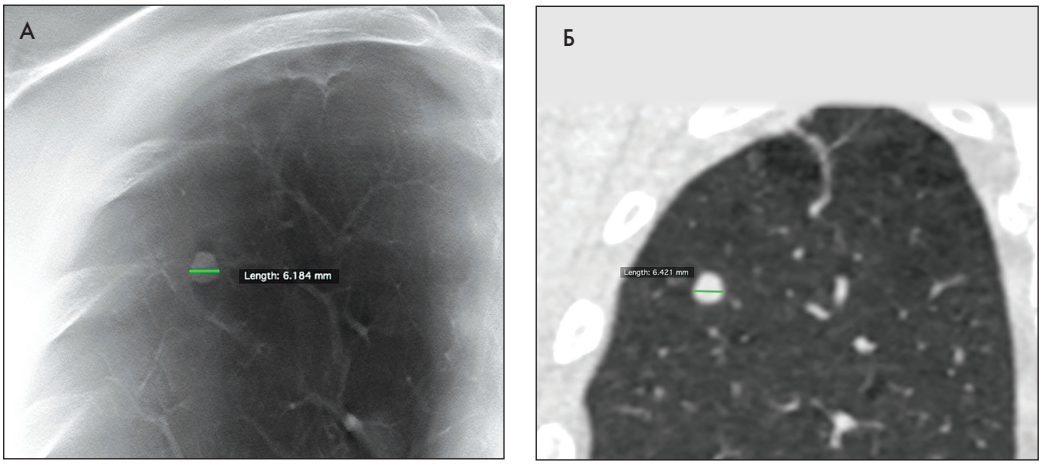
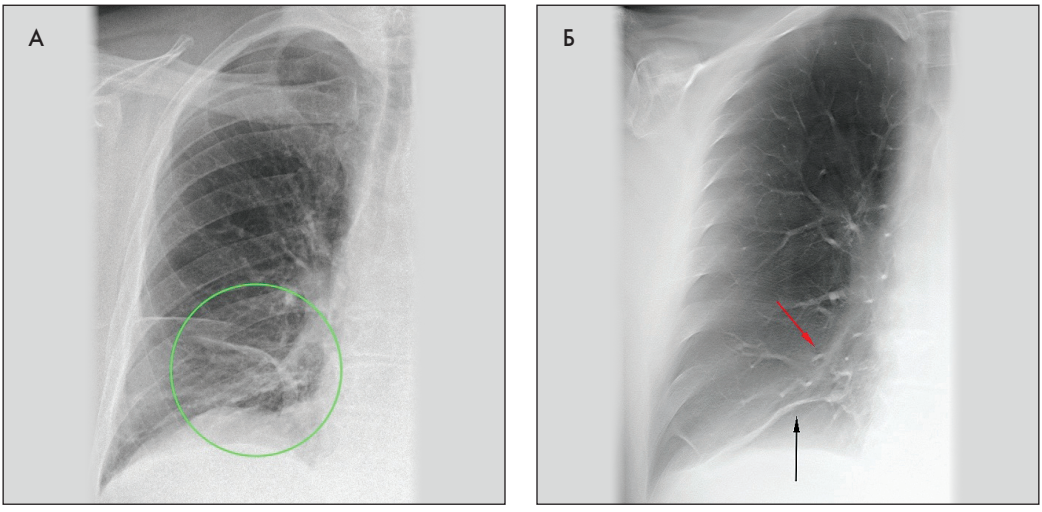


Рис. 82. Цифровая томограмма (ТС) (А) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (Б) ОГК. В верхней доле правого легкого определяется очаг округлой формы с четкими ровными контурами диаметром около 6 мм. Как видно, измерения при ТС и МСКТ сопоставимы между собой

У пациентов с подозрением на воспалительные изменения легких томосинтез также позволяет подтвердить или исключить наличие патологических изменений, уточнить их локализацию, структуру, распространенность и контуры. В случаях, когда при томосинтезе не подтверждается наличие инфильтративных изменений, за них на рентгенограммах чаще всего принимаются обогащенный легочный рисунок, фиброзные изменения или их сочетание (рис. 83).



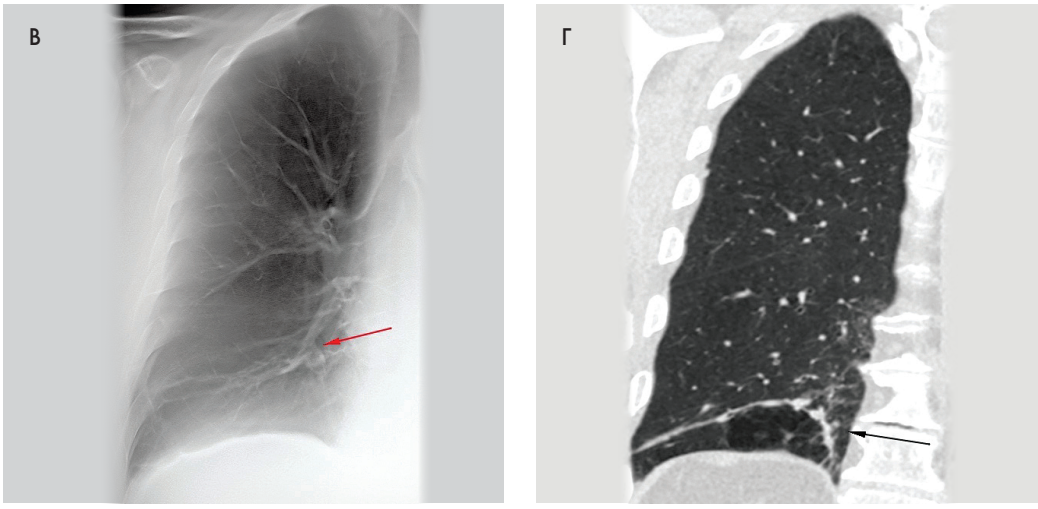


Рис. 83. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограммы (ТС) (Б, В) и компьютерная томограмма (Г) во фронтальной плоскости ОГК. На рентгенограмме в нижних отделах правого легкого отмечается понижение прозрачности легочной ткани *(зеленый круг)*. На томограммах в области предполагаемых инфильтративных изменений легочной ткани отмечаются сосудистый компонент *(красная стрелка)* и фиброзные изменения *(черная стрелка)*, что подтверждается на компьютерной томограмме

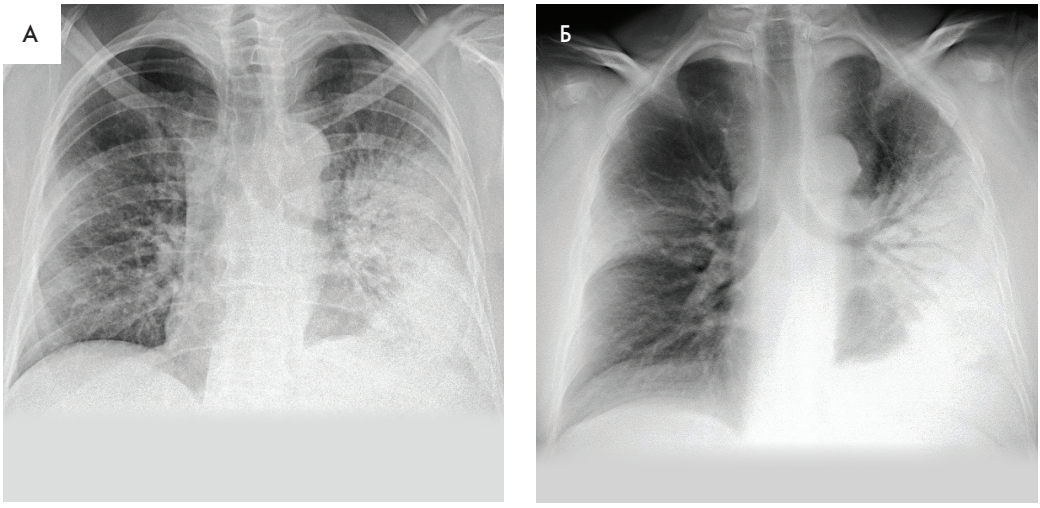


Рис. 84. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и цифровая томограмма (ТС) (Б) во фронтальной плоскости ОГК. На цифровой томограмме отчетливо определяется симптом «воздушной бронхографии» на фоне участка консолидации легочной ткани

В литературе описано три типа воспалительной инфильтрации в легких: плевропневмонический, бронхопневмонический и интерстициальный. Плевропневмонический тип инфильтрации характеризуется наличием участка консолидации в легочной ткани однородной структуры чаще с неровными нечеткими контурами, на фоне которого прослеживаются воздухосодержащие просветы бронхов — симптом «воздушной бронхографии». Благодаря разной плотности участка консолидации и воздушных просветов бронхов, а также послойному сканированию при томосинтезе отчетливо визуализируется данный симптом (рис. 84).

В ряде случаев по данным ЦР бывает сложно дифференцировать воспалительные изменения и ателектаз сегмента или доли легкого. Томосинтез позволяет уточнить контуры патологических изменений, их структуру и дополнительно выявить характерный для ателектаза симптом «ампутации бронха» (рис. 85).

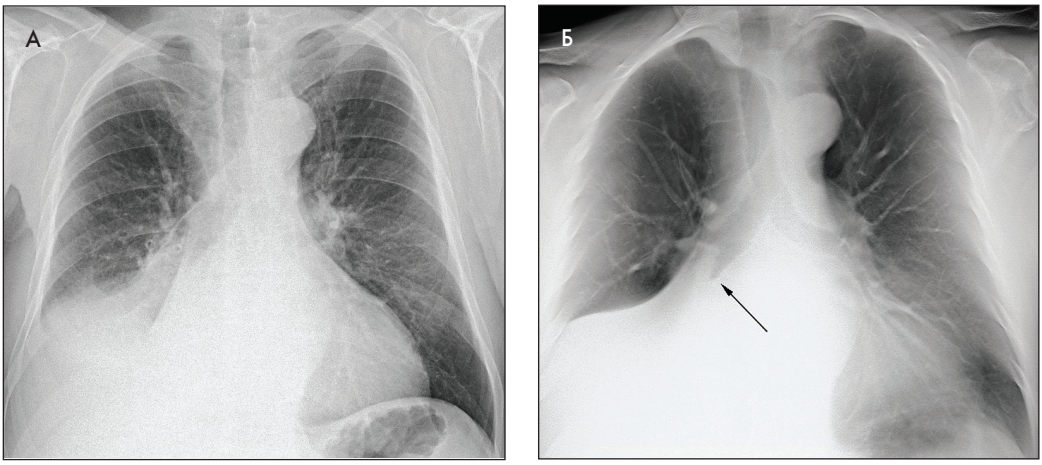


Рис. 85. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. В нижних отделах правого легочного поля отмечается однородное затемнение с четкими ровными контурами. На томограмме дополнительно определяется симптом ампутации бронха *(черная стрелка)*

Томосинтез позволяет уточнить структуру участка консолидации, определить на его фоне, например, признаки деструктивных изменений, проявляющиеся в виде полостей распада легочной ткани с наличием в них воздуха (рис. 86).

Бронхопневмонический тип инфильтрации характеризуется наличием в легком участка уплотнения неоднородной структуры, состоящего из многочисленных, преимущественно центрилобулярных очагов, с нечеткими контурами, кото-

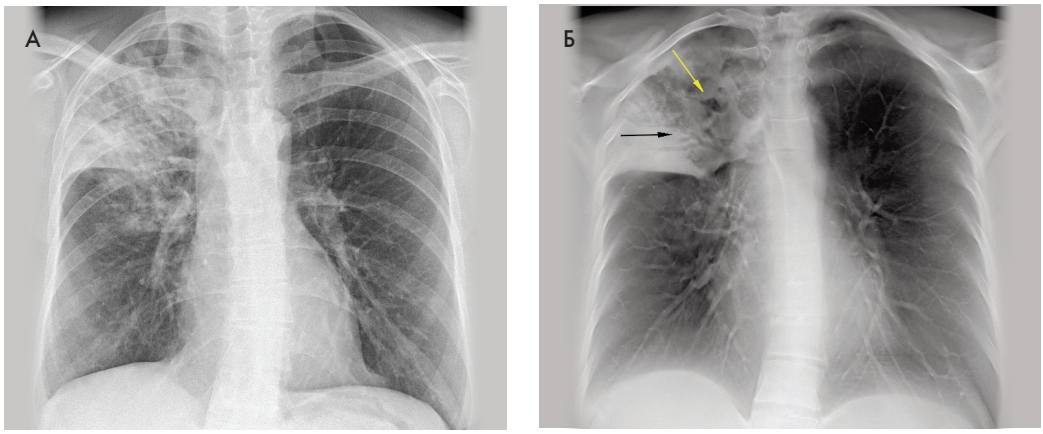


Рис. 86. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На рентгенограмме в верхней доле отмечается неоднородное затемнение легочного фона с нечеткими неровными контурами. На томограмме подтверждается наличие консолидации легочной ткани, дополнительно определяются симптом воздушной бронхографии *(черная стрелка)* и полость распада *(желтая стрелка)*

рые могут сливаться между собой. Очаги группируются перибронхиально и могут занимать несколько анатомических областей. Томосинтез позволяет подтвердить и детально оценить бронхопневмонический тип инфильтрации (рис. 87).

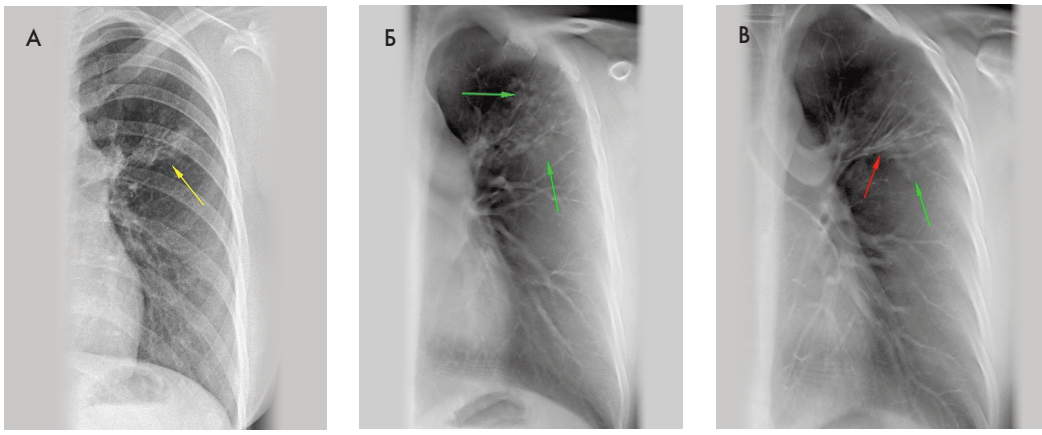


Рис. 87. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, В) ОГК. На рентгенограмме в верхних отделах левого легкого отмечается неоднородный участок инфильтрации легочной ткани с нечеткими неровными контурами *(желтая стрелка)*. На томограммах отмечаются множественные мелкие очаги с нечеткими контурами *(зеленые стрелки)* и симптом воздушной бронхографии *(красная стрелка)*

Интерстициальный тип инфильтрации при ЦР характеризуется патологией легочного рисунка, в первую очередь проявляющийся в виде усиления и/ или его деформации. При МСКТ же в паренхиме легких определяются участки по типу «матового стекла», отличительной особенностью которых от участков консолидации является то, что на фоне уплотнения легочной ткани прослеживаются как просветы бронхов, так и сосуды малого круга кровообращения. Томосинтез может подтвердить наличие интерстициального типа инфильтрации, при этом дополнительной информации в большинстве случаев получено не будет (рис. 88). Стоит помнить, что понижение прозрачности по типу «матового стекла» является неспецифичным признаком и может отмечаться при большом количестве заболеваний не только воспалительного характера, но и, например, при отеке легких, легочном кровотечении, пневмонитах, легочном фиброзе и других. В целом возможности томосинтеза в диагностике интерстициальных заболеваний легких недостаточно изучены, поэтому предпочтение в таких случаях необходимо отдавать МСКТ и КТ высокого разрешения.

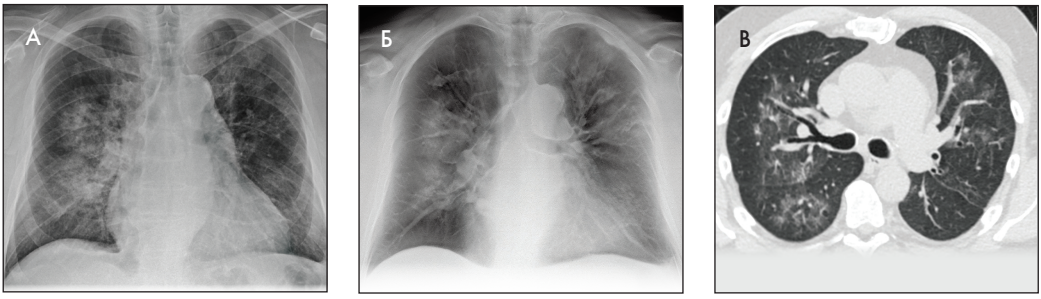


Рис. 88. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограмма (ТС) (Б) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (В) ОГК. Определяется интерстициальный тип инфильтрации в виде участков по типу «матового стекла»

Если чувствительность томосинтеза в выявлении участков консолидации легочной ткани сопоставима с таковой при ЦР, то в визуализации деструктивных изменений томосинтез превосходит ЦР. За счет послойного исследования и разности плотностных характеристик на серии цифровых томограмм убедительно определяются полости распада на фоне уплотнения легочной ткани (рис. 89).

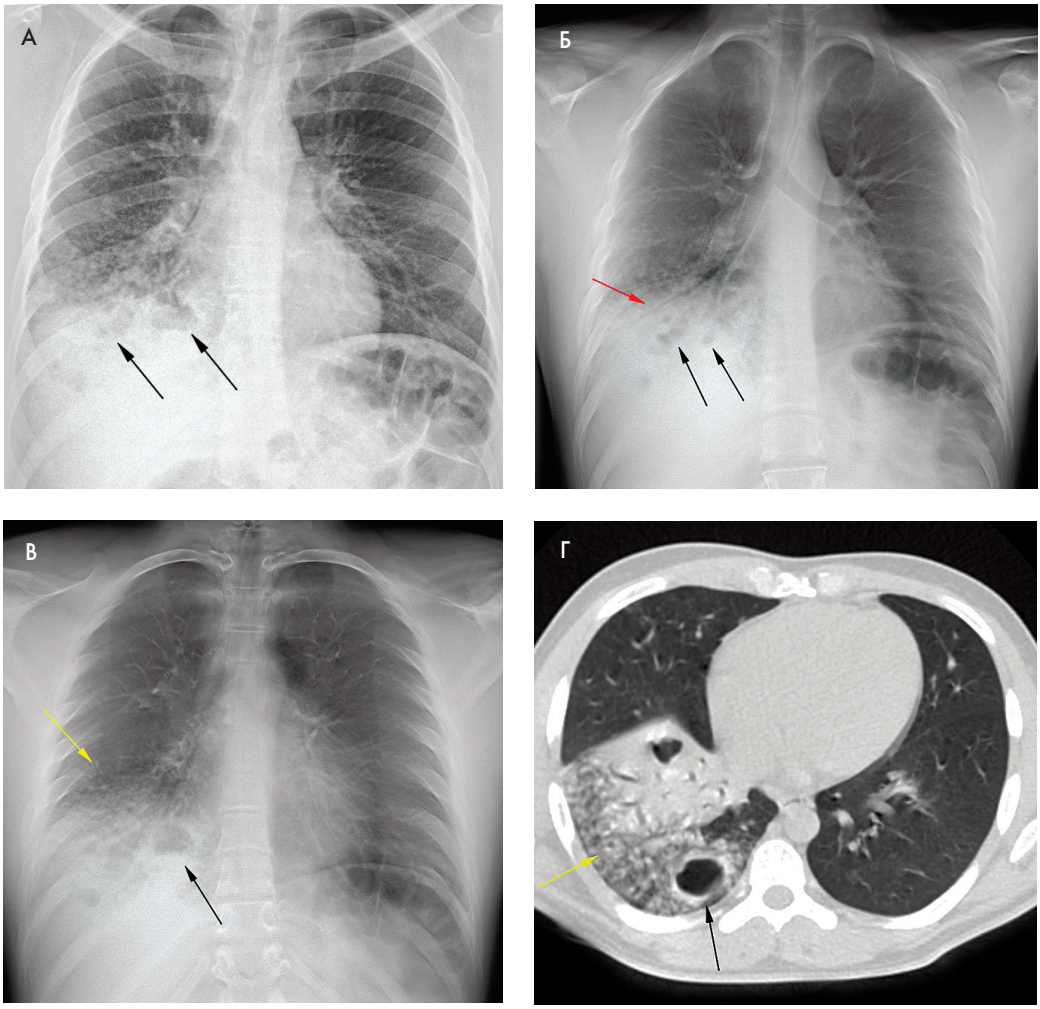


Рис. 89. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, В) и компьютерная томограмма в аксиальной плоскости (Г) ОГК. В базальных сегментах правого легкого на фоне консолидации легочной ткани отмечаются полости распада *(черные стрелки)*. Дополнительно на томограммах выявляются симптом «воздушной бронхографии» *(красная стрелка)* и мелкоочаговая диссеминация *(желтая стрелка)*

Это преимущество томосинтеза можно применять во фтизиатрической практике: для выявления туберкулезных очаговых изменений в легких у лиц из группы риска по контакту с больными туберкулезом, для детальной оценки распространенности патологического процесса (каверны, деформация дренирующих стенок бронхов, очаги бронхогенного отсева и др.) и корректной установки фазы его течения. Томосинтез позволяет уточнить патологические изменения на фоне фиброзных изменений в легких при фиброзно-кавернозном туберкулезе (рис. 90).

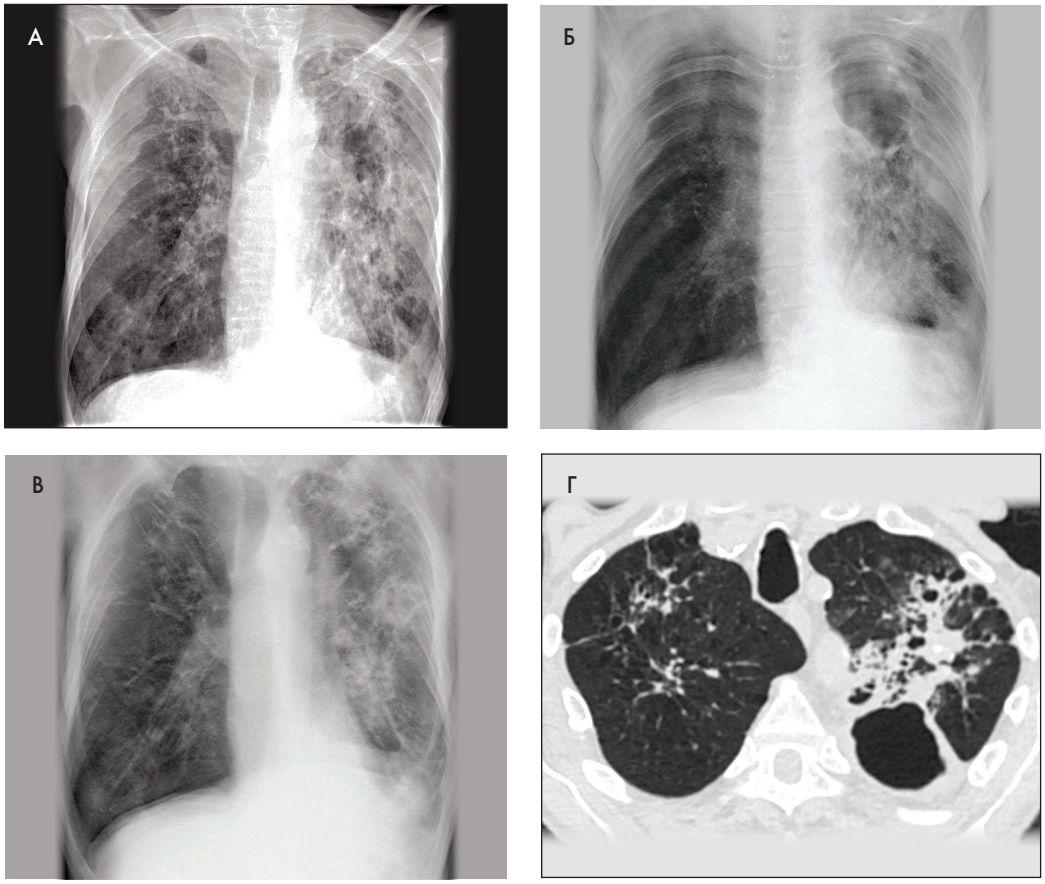


Рис. 90. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, В) и компьютерная томограмма (Г) в аксиальной плоскости ОГК. На рентгенограмме в обоих легких (больше слева) отмечается понижение прозрачности легочной ткани неправильной формы неоднородной структуры, на фоне чего нельзя исключить наличие полостей распада. На томограммах в левом легком на фоне инфильтративных изменений определяются каверны, а также очаги бронхогенного отсева в правом легком, что подтверждается на компьютерной томограмме

Отдельно стоит упомянуть, что в связи с относительно невысокой лучевой нагрузкой и более высокой информативностью томосинтез может применяться в качестве первичной методики динамического контроля лечения пациентов с туберкулезом легких без использования ЦР (рис. 91, 92).

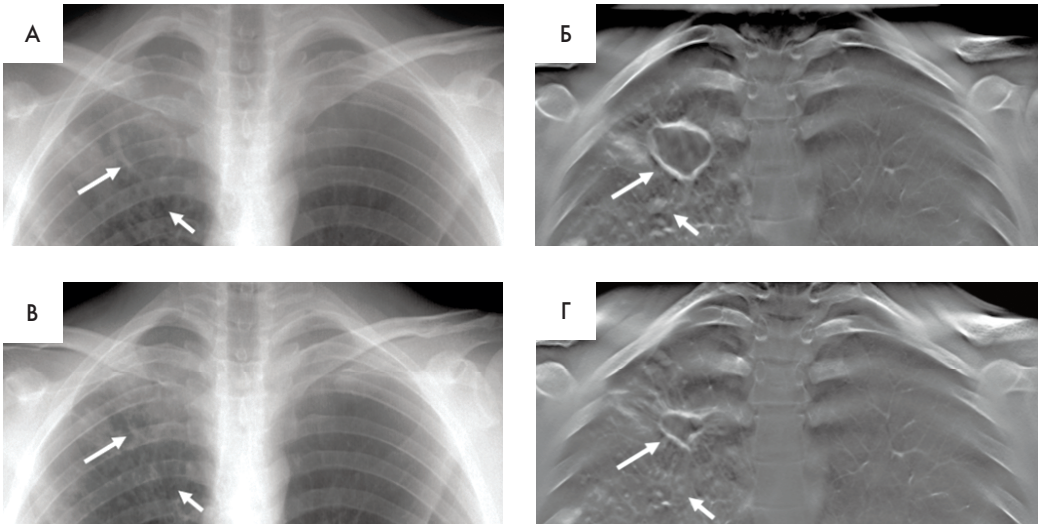


Рис. 91. Цифровые рентгенограммы в прямой проекции (А, В), томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, Г) ОГК. Фиброзно-кавернозный туберкулез S2 правого легкого в фазе инфильтрации и обсеменения, МБТ+. На рентгенограмме до лечения (А) определяется кольцевидная тень в проекции верхней доли правого легкого *(длинная стрелка)*, окружающая ткань с множественными очагами отсева *(короткая стрелка)*. На томограмме до лечения (Б) на фоне фиброзных изменений в S2 правого легкого определяются тонкостенная каверна *(длинная стрелка)* и множественные очаги отсева в окружающей ткани *(короткая стрелка)*. На рентгенограмме (В) после лечения через 2 месяца размеры кольцевидной тени значительно уменьшились *(длинная стрелка)*, достоверная оценка пневматизации окружающей легочной ткани затруднена за счет фиброзных изменений (короткая стрелка). На томограмме после лечения (Г) определяется выраженная положительная динамика в виде уменьшения размеров каверны *(длинная стрелка)*, частичного рассасывания и уплотнения перикавитарных очагов *(короткая стрелка)*.
Источник: Никитин М.М. Цифровой томосинтез в диагностике и контроле эффективности лечения туберкулеза органов дыхания: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.13 / М.М. Никитин. – М., 2018. – С. 136.

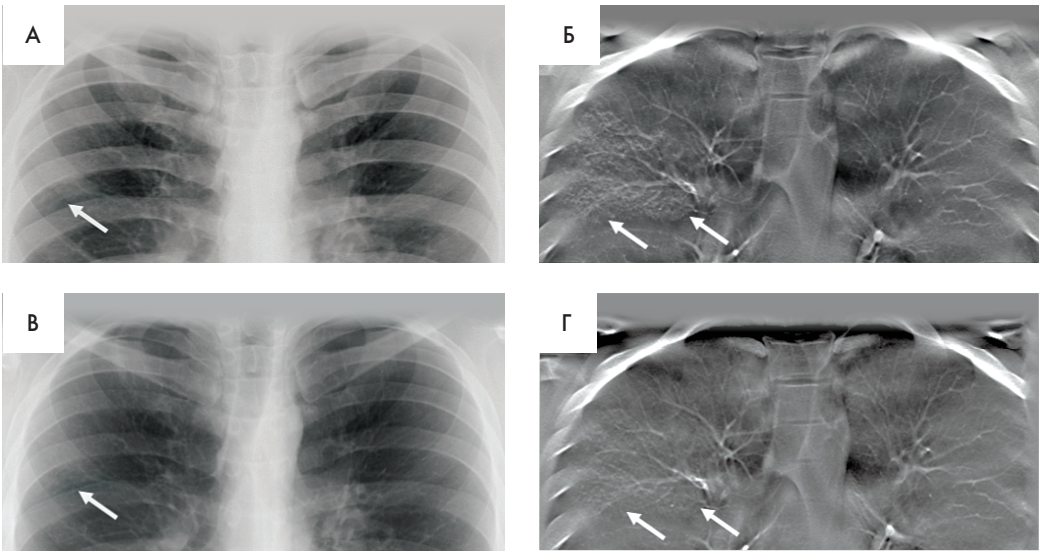


Рис. 92. Цифровые рентгенограммы в прямой проекции (А, В), томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, Г) ОГК. Инфильтративный туберкулез верхней доли правого легкого, МБТ. На рентгенограмме до лечения (А) определяются мелкие единичные очаговые тени низкой интенсивности в проекции верхней доли правого легкого *(стрелка)*, незначительное усиление легочного рисунка в окружающей ткани за счет интерстициального компонента. На томограмме до лечения (Б) – интерстициальная мелкоочаговая диссеминация в S1,2 справа *(стрелки)*, большая часть которой не видна на рентгенограмме. На рентгенограмме (В) после лечения через 2 месяца – без динамики. На томограмме (Г) после лечения – положительная динамика в виде уменьшения количества и размеров мелкоочаговой диссеминации в S1,2 правого легкого *(стрелки)* за счет частичного рассасывания.
Источник: Никитин М.М. Цифровой томосинтез в диагностике и контроле эффективности лечения туберкулеза органов дыхания: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.13 / М.М. Никитин. – М., 2018. – С. 136.

Диагностика абсцесса легкого на рентгенограммах зачастую не представляет особенных трудностей, когда он находится в стадии дренирования. На рентгенограмме и томограммах его характерным признаком является наличие полости распада с наличием горизонтального уровня жидкости (гноя). Томосинтез позволяет подтвердить наличие абсцесса и уточнить некоторые его характеристики, однако достоверно оценить его стенку, например, при наличии перифокальных изменений затруднительно. В некоторых случаях на томограммах удается определить бронх,

который подходит к полости распада (т. н. дренирующий бронх), — на фоне затемнения легочной ткани он хорошо визуализируется в виде полосы просветления, достигающей полость абсцесса (рис. 93).

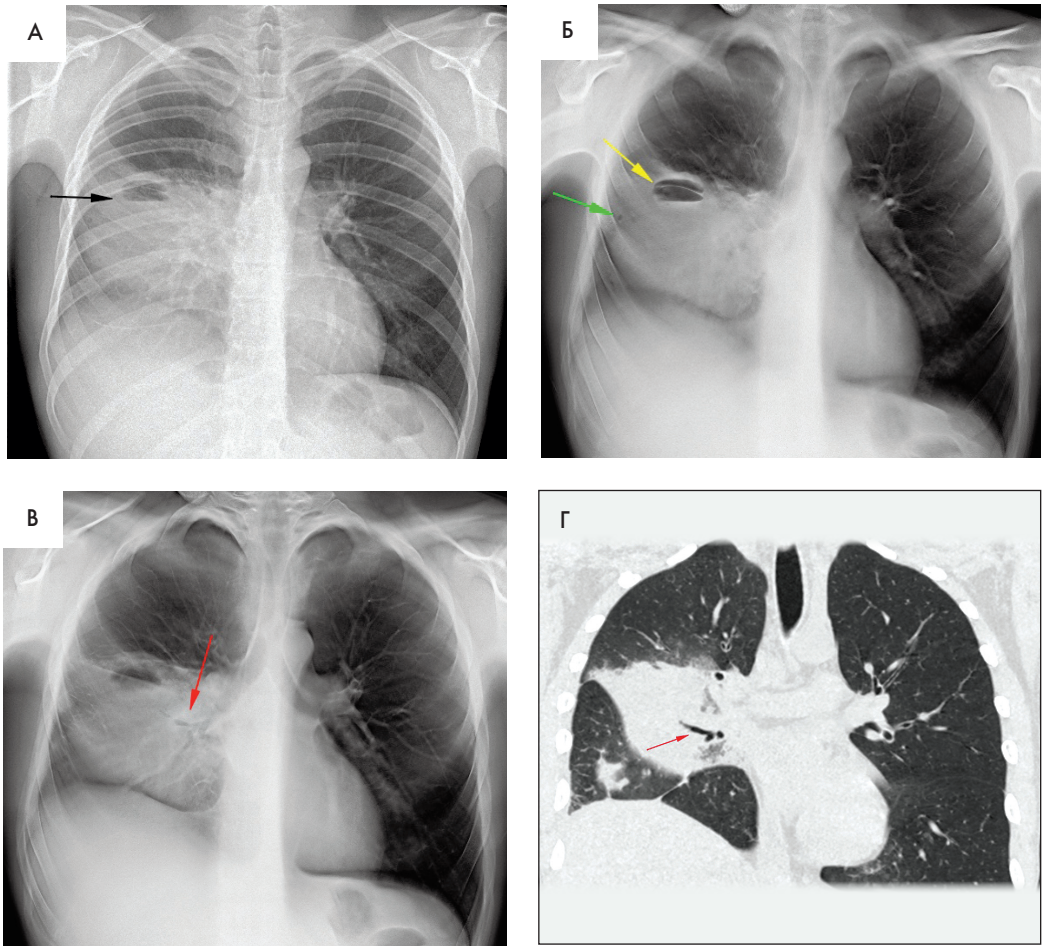


Рис. 93. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограммы (ТС) (Б, В) и компьютерная томограмма (Г) во фронтальной плоскости ОГК. На рентгенограмме в средней доле правого легкого на фоне затемнения легочной ткани отмечается полость распада с горизонтальным уровнем жидкости *(черная стрелка)*. На томограммах определяются дополнительные пузырьки газа *(зеленые стрелки)*, перегородка в полости *(желтая стрелка)* и визуализируется дренирующий сегментарный бронх *(красная стрелка)*, что подтверждается компьютерной томограммой

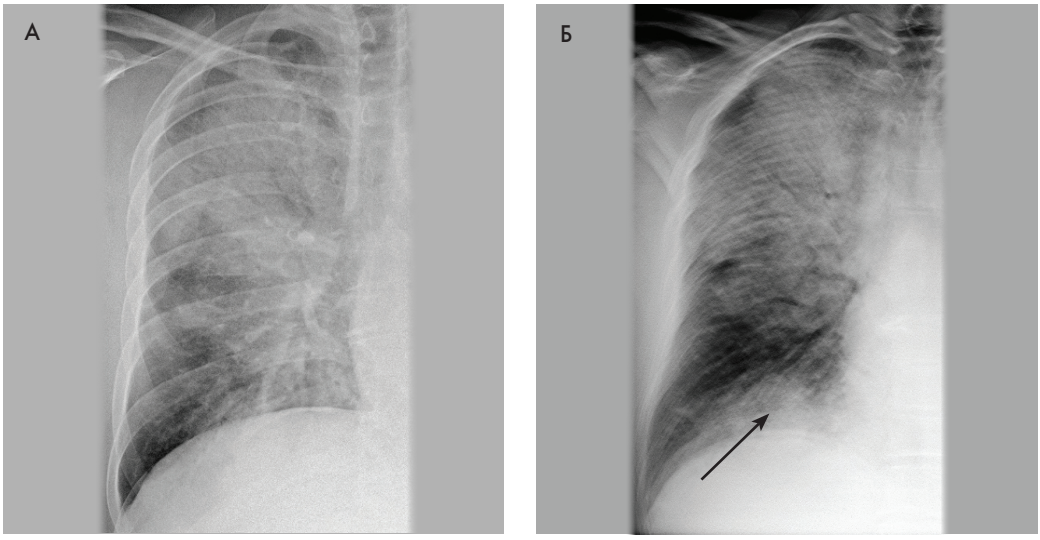


Рис. 94. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На томограмме в S10 правого легкого на фоне артефактов от дыхания отмечается округлой формы образование (абсцесс в стадии инфильтрации) *(черная стрелка)*, определяющийся ретроспективно на рентгенограмме за тенью диафрагмы

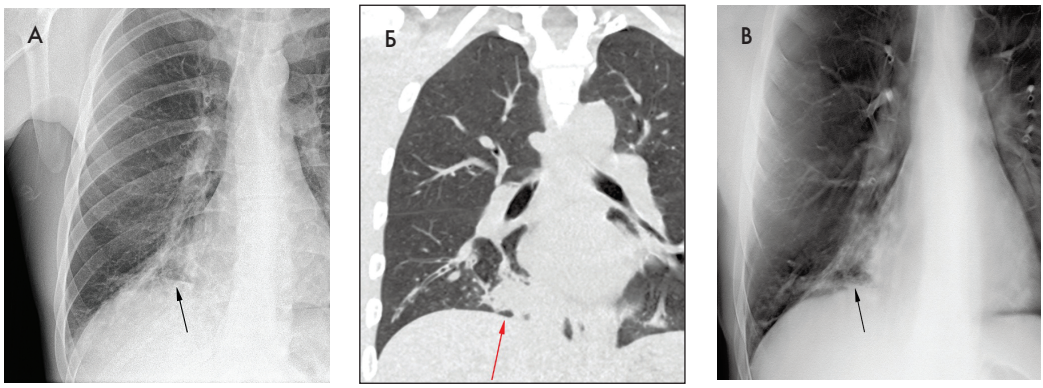


Рис. 95. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограмма (ТС) (Б) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (В) ОГК. На цифровой рентгенограмме и томограмме на фоне участка консолидации отмечается полость распада *(черная стрелка)*. На компьютерной томограмме определяется участок уплотнения легочной ткани. Интактная легочная ткань, ограниченная с одной стороны куполом диафрагмы, а с другой — инфильтрацией, имитирует деструктивные изменения *(красная стрелка)*

Однако до вскрытия абсцесса (в стадии инфильтрации) достаточно сложно дифференцировать его от объемного образования (рис. 94). В таких случаях в первую очередь выявленные изменения необходимо сопоставлять с клинико-лабораторными данными. Однако при выявлении признаков деструктивных изменений при томосинтезе могут отмечаться ложноположительные результаты, особенно если патологические изменения визуализируются в наддиафрагмальных областях (рис. 95).

Характерным признаком гидроторакса при ЦР является наличие гомогенного затемнения легочного поля с верхним косым уровнем. Томосинтез позволяет лишь подтвердить наличие затемнения, дополнительной информации при наличии лишь симптомов гидроторакса получено не будет (рис. 96).

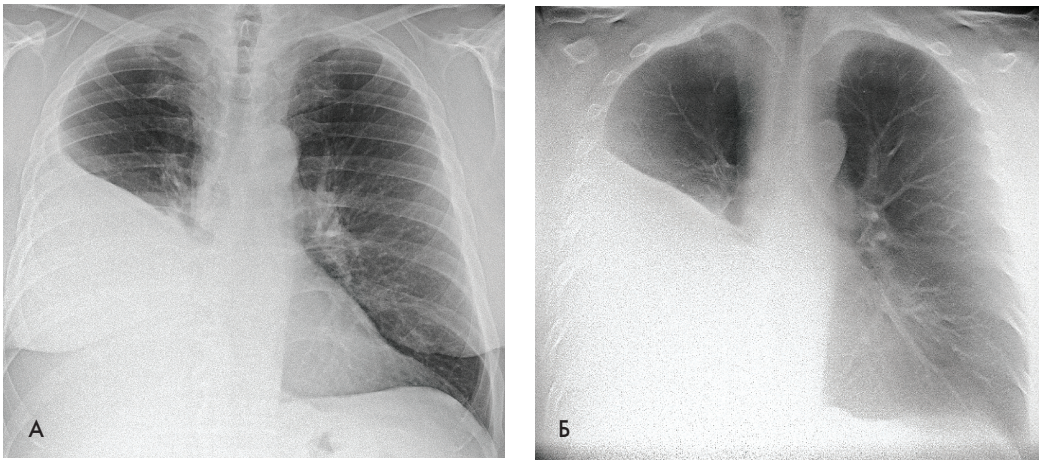


Рис. 96. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На томограмме подтверждается наличие правостороннего гидроторакса, дополнительной информации не получено

При наличии свободного газа в плевральной полости томосинтез позволяет более точно определить и проследить край спавшегося легкого, тем самым подтвердить наличие пневмоторакса, дополнительно выявить патологические изменения в легочной ткани, которые не визуализируются на рентгенограммах за счет суммационного эффекта (рис. 97).

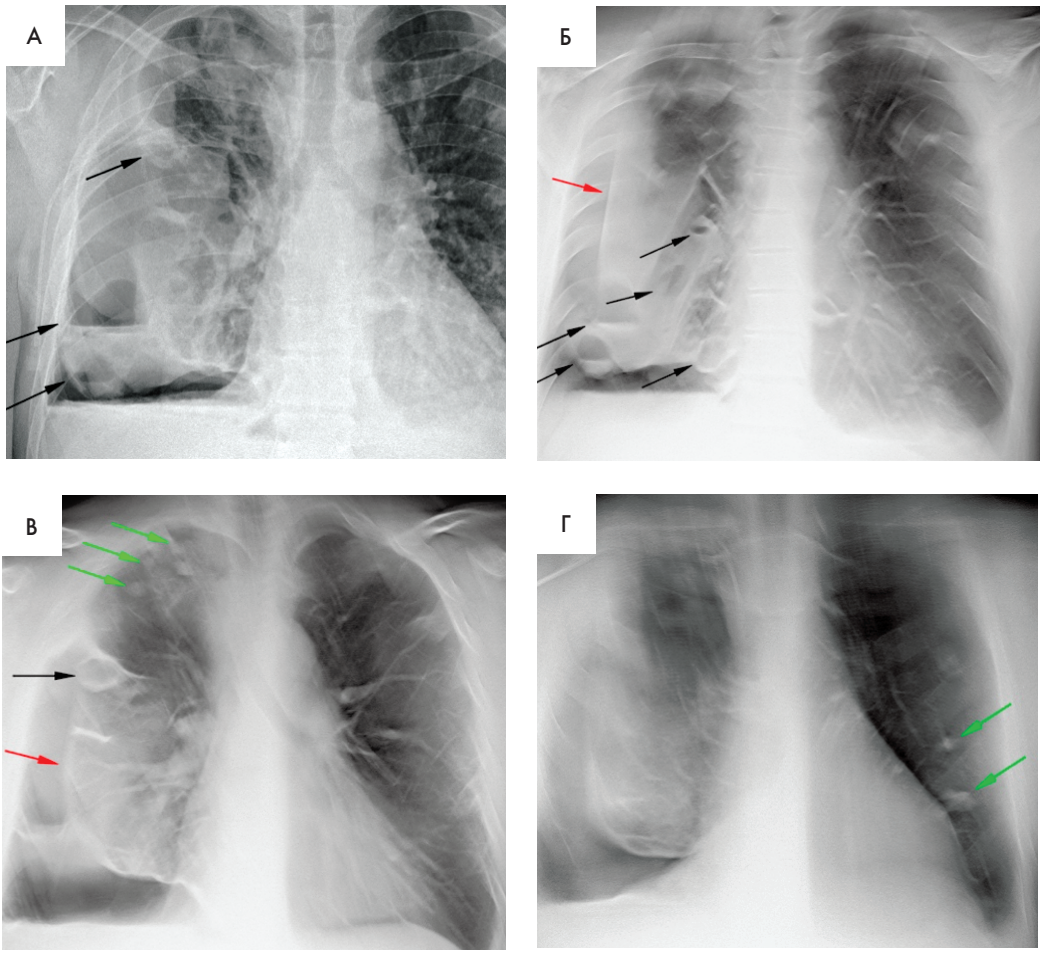


Рис. 97. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (Б, В, Г) ОГК, выполненные в вертикальном положении. На рентгенограмме наряду с признаками правостороннего гидропневмоторакса определяются полости распада легочной ткани *(черные стрелки)*. На томограммах более отчетливо и в большем количестве отмечаются полости распада *(черные стрелки)*, визуализируется край спавшегося легкого *(красные стрелки)* и очаговые тени *(зеленые стрелки)*

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) является одним из наиболее распространенных заболеваний легких и занимает первые места в структуре заболеваемости и смертности среди легочной патологии. Основой диагностики ХОБЛ является функциональный тест — спирометрия. Рентгенологические методики применяются в первую очередь для исключения других заболеваний. Несмотря на то что результаты лучевых методов

не учитываются при выставлении степени тяжести заболевания, с помощью них возможно выявить некоторые проявления ХОБЛ, например, признаки эмфиземы.

На цифровых томограммах, так же как и на рентгенограммах, можно визуализировать неспецифические признаки эмфиземы, такие как неравномерное повышение прозрачности легочного поля, обеднение легочного рисунка, уплощение куполов диафрагмы и увеличение межреберных промежутков. Однако чувствительность томосинтеза в выявлении признаков эмфиземы значительно выше, чем при ЦР. На цифровых томограммах более отчетливо отмечаются эмфизематозные буллы, особенно если они расположены субплеврально и у них имеется уплотненная стенка. Однако проявления центрилобулярной эмфиземы достаточно малых размеров без выраженного утолщения окружающего интерстиция визуализируются лишь ретроспективно по результатам МСКТ либо не определяются вовсе (рис. 98).

Несомненным преимуществом томосинтеза перед ЦР является возмож-

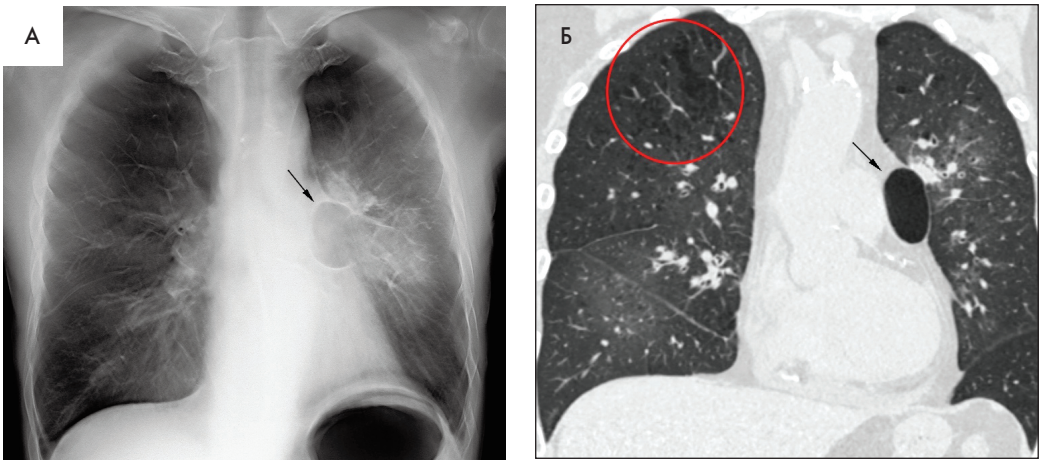


Рис. 98. Цифровая томограмма (ТС) (А) и компьютерная томограмма (Б) во фронтальной плоскости ОГК. На цифровой томограмме парамедиастинально в левой верхней доле визуализируется эмфизематозная булла *(черная стрелка)*. На компьютерной томограмме подтверждается ее наличие, дополнительно определяются участки центрилобулярной эмфиземы в верхней доле правого легкого *(синий круг)*

ность более детальной оценки трахеобронхиального дерева и, в частности, диагностики бронхоэктазов. На серии цифровых томограмм могут определяться основные их признаки, а именно расширение просвета бронха, отсутствие равномерного его сужения по направлению к периферическим отделам и видимость просветов бронхов в субплевральных отделах. Однако послед-

ний признак бывает трудно различим, особенно при малых объемах поражения. Помимо этого при томосинтезе могут отмечаться утолщенные стенки бронхов, неровность наружных их контуров и наличие мешотчатых расширений, заполненных жидкостью или воздухом. В этом случае в просвете бронхов визуализируются горизонтальные уровни жидкости (рис. 99).

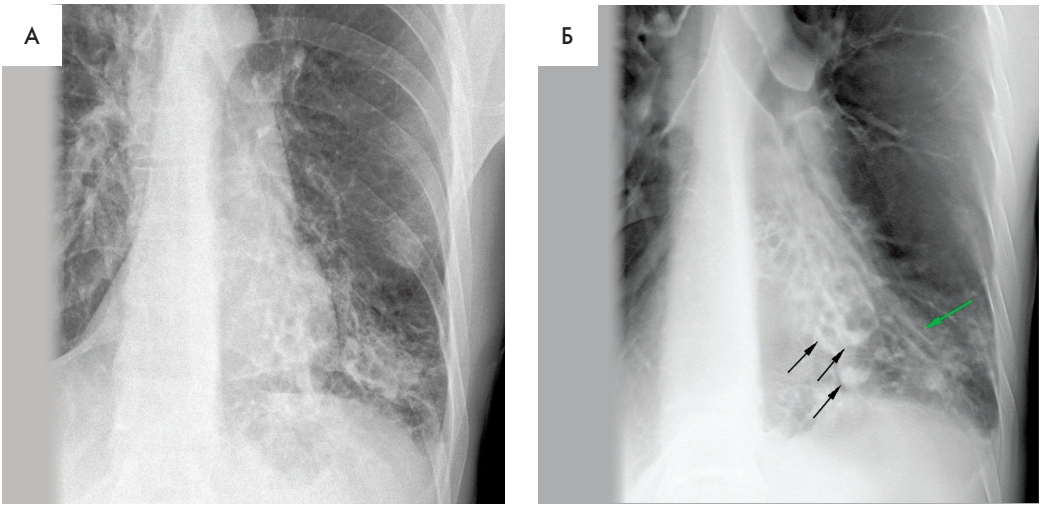


Рис. 99. Цифровая рентгенограмма во фронтальной проекции (А) и цифровая томограмма (Б) во фронтальной плоскости ОГК. На цифровой томограмме подтверждается наличие мешотчатых бронхоэктазов, дополнительно визуализируется жидкость в некоторых из них с формированием горизонтальных уровней *(черные стрелки)* и отмечаются утолщенные стенки бронхов *(зеленая стрелка)*

В связи с лучшей визуализацией бронхоэктазов при томосинтезе, чем при ЦР, некоторые авторы рекомендуют применять данную методику вместо МСКТ у пациентов с муковисцидозом, которым необходимо проводить рентгенологические исследования несколько раз в год для оценки динамики лечения. Особенно это актуально в педиатрической практике с целью снижения общей лучевой нагрузки.

Так же как и на стандартных рентгенограммах, на цифровых томограммах не представляется возможным дифференцировать органы средостения — они предстают единым комплексом в виде однородного затемнения, у которого можно определить лишь выступающие контуры и незначительно проследить ход анатомических образований. Дополнительной информации после проведения томосинтеза в случаях расширения тени средостения получено не будет, необходимо проводить МСКТ (рис. 100).

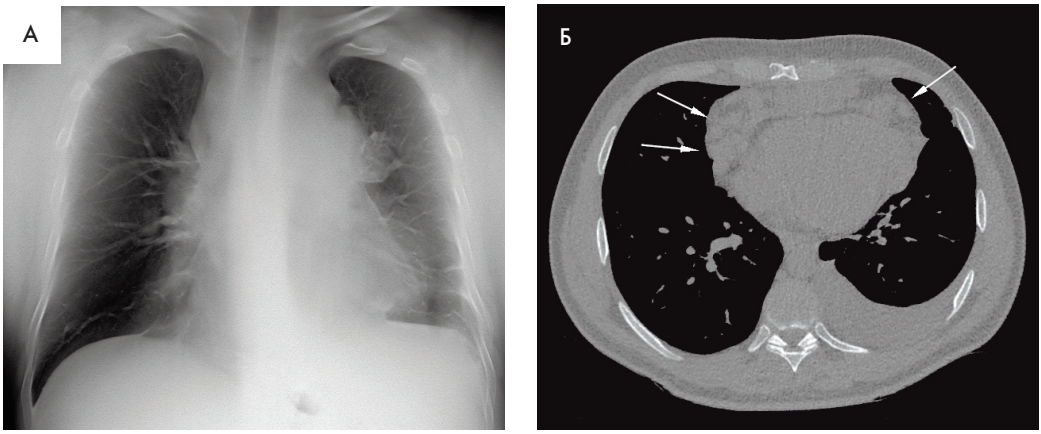


Рис. 100. Цифровая томограмма (А) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На цифровой томограмме отмечается расширенная в поперечнике тень средостения. На компьютерной томограмме перикардиально определяются конгломераты увеличенных лимфатических узлов *(белые стрелки)*

Томосинтез позволяет уточнить характеристики корней легких, например, в случаях, когда при ЦР они были перекрыты расширенной тенью средостения, и достоверно установить проходимость трахеобронхиального дерева, исключить наличие патологических изменений внутри его просвета (рис. 101).

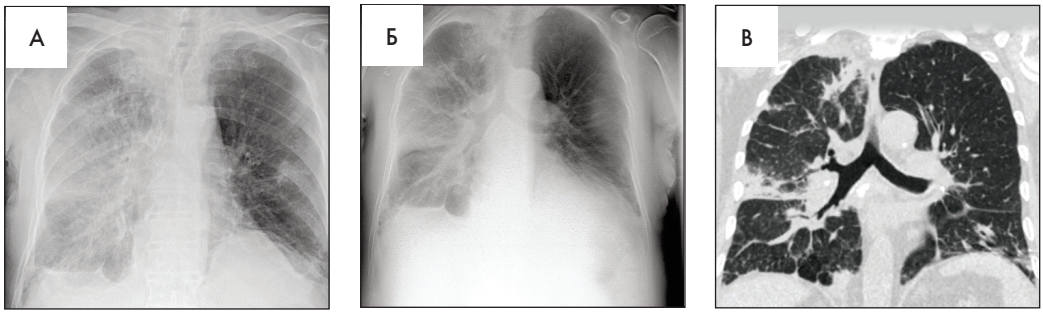


Рис. 101. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А), томограмма (ТС) (Б) и компьютерная томограмма во фронтальной плоскости (В) ОГК. На рентгенограмме на фоне затемнения правого легочного поля корень правого легкого не визуализируется. На цифровой и компьютерной томограммах определяются структурные и несколько расширенные корни легких

Томосинтез обладает более высокой чувствительностью в определении участков обызвествления по сравнению с ЦР, в том числе во внутригрудных лимфатических узлах, в стенках крупных сосудов средостения, например, грудного отдела аорты (рис. 102).

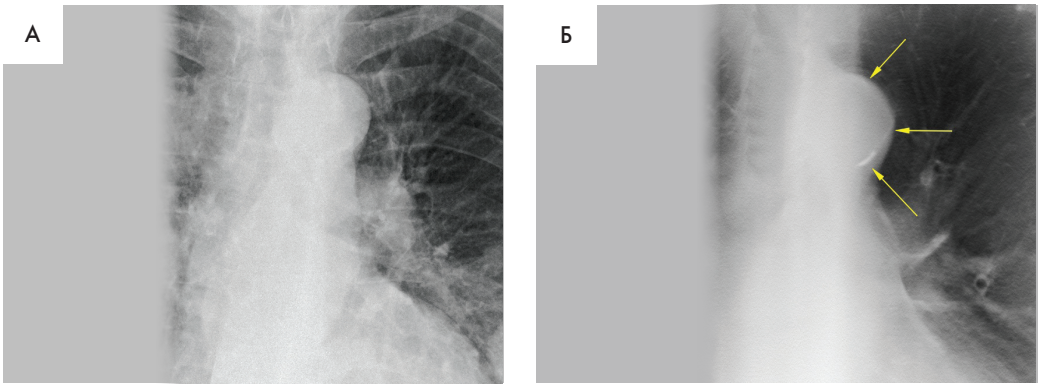


Рис. 102. Цифровая рентгенограмма в прямой проекции (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На цифровой томограмме определяются признаки обызвествления дуги аорты *(желтые стрелки)*, которые достоверно не отмечались на рентгенограмме

Томосинтез позволяет визуализировать все костные элементы грудной клетки, уточнить их форму, размеры, контуры, подтвердить внутрикостную локализацию, а в ряде случаев и структуру костной ткани (рис. 103).

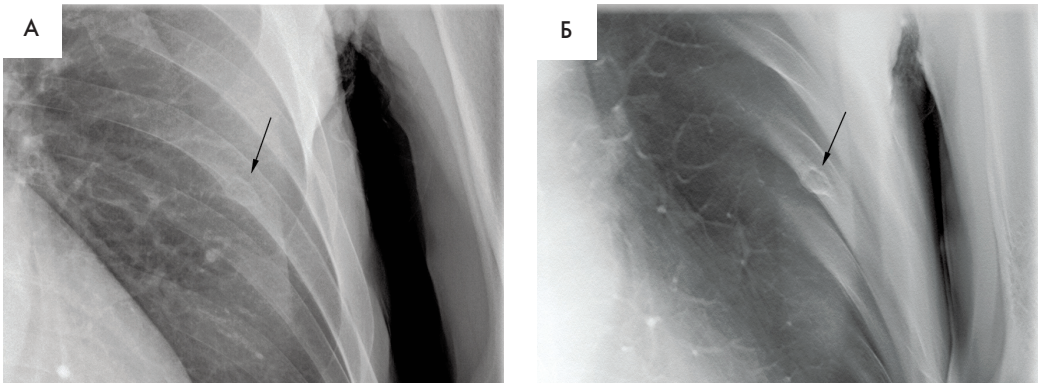


Рис. 103. Цифровая рентгенограмма во фронтальной проекции (А) и цифровая томограмма (Б) во фронтальной плоскости ОГК. На цифровой томограмме подтверждается наличие участка деструкции костной ткани в заднем отрезке 7-го ребра слева *(стрелка)*

При переломах ребер со смещением, которые отмечаются при ЦР, проведение томосинтеза в большинстве случаев не даст дополнительной информации. Однако в случаях, когда на рентгенограмме костных травматических изменений не определяется, а клиническая картина достаточно выражена, томосинтез может быть полезен (рис. 104).

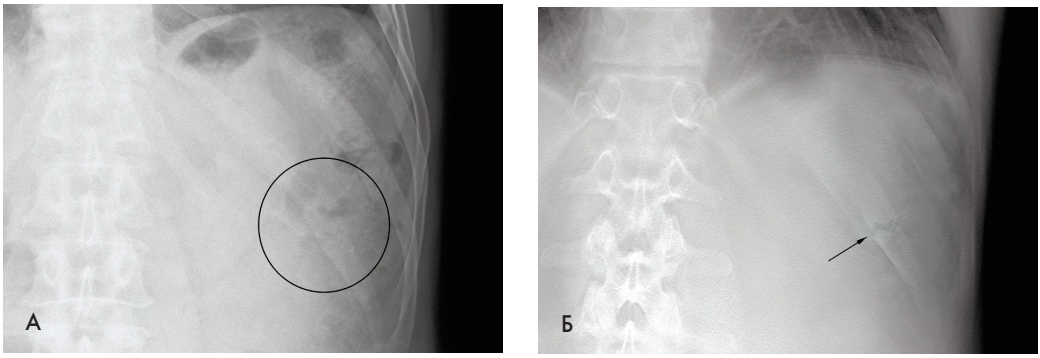
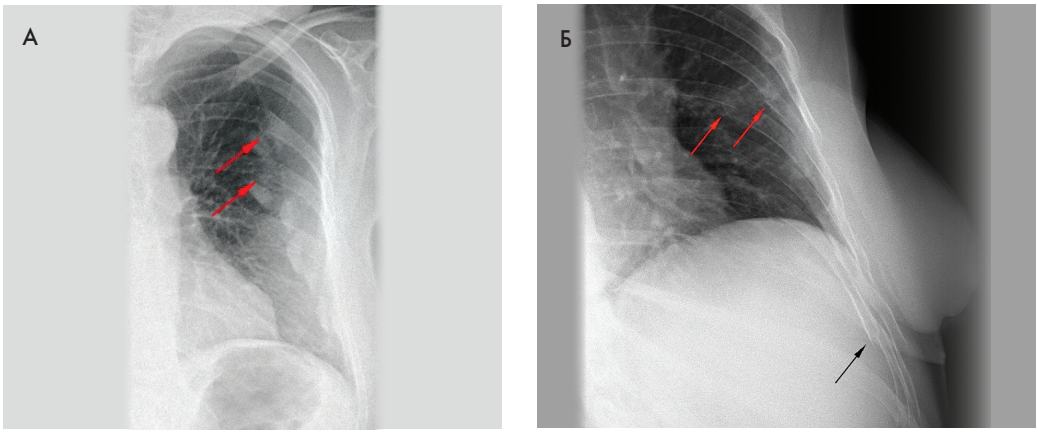


Рис. 104. Цифровая рентгенограмма (А) и томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (Б) ОГК. На цифровой томограмме определяется поперечный перелом 11-го ребра слева по лопаточной линии с диастазом между отломками до 2 мм *(черная стрелка)*, который не визуализировался на рентгенограмме на фоне скопления газа в кишечнике *(черный круг)*

В то же время при томосинтезе могут возникнуть трудности с визуализацией переломов ребер по средней подмышечной линии, вероятно, за счет краевого снижения пространственного разрешения в данной области. В таких случаях следует проводить рентгенографию в дополнительных косых проекциях или МСКТ (рис. 105).



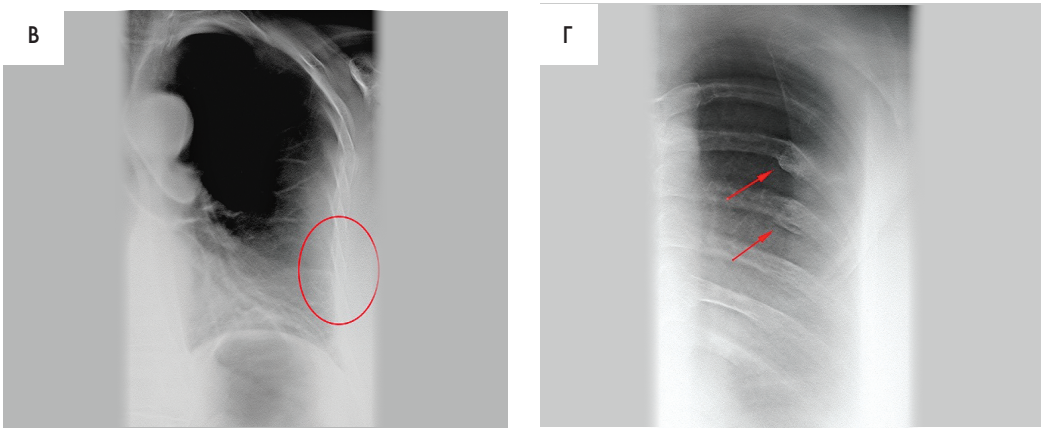


Рис. 105. Цифровые рентгенограммы в прямой (А) и косой (Б) проекциях, томограммы (ТС) во фронтальной плоскости (В, Г) ОГК. Определяются консолидированные переломы 6-го, 7-го ребер по лопаточной линии *(красные стрелки)*. На рентгенограмме в косой проекции отмечается косой перелом 8-го ребра по средней подмышечной линии со смещением отломков *(черная стрелка)*, который не визуализируется на томограмме *(красный круг)*

При проведении томосинтеза ОГК в зону исследования попадает грудной отдел позвоночника, что позволяет оценить и его целостность. На серии цифровых томограмм может визуализироваться снижение высоты тела позвонка, смещение отломков, однако в большинстве случаев на рентгенограмме грудного отдела позвоночника в боковой проекции патологические изменения также будут определяться (рис. 106). Томосинтез можно проводить пациентам с подозрением на компрессионный перелом тел позвонков в боковой проекции для лучшей детализации патологии, особенно когда визуализация позвоночного столба снижена за счет наложения мягких тканей.

Таким образом, томосинтез является дополнительной методикой исследования ОГК, позволяющей подтвердить или исключить наличие патологии, а также уточнить характер изменений, выявленных при ЦР, и в ряде случаев отказаться от проведения МСКТ. В то же время томосинтез не в состоянии полностью заменить МСКТ, которая является золотым стандартом в исследовании патологии легких.

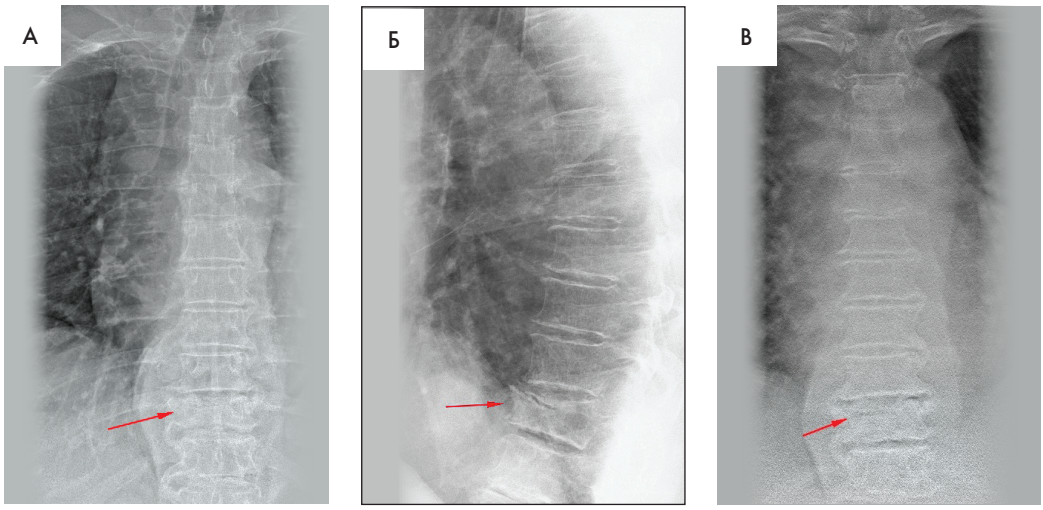
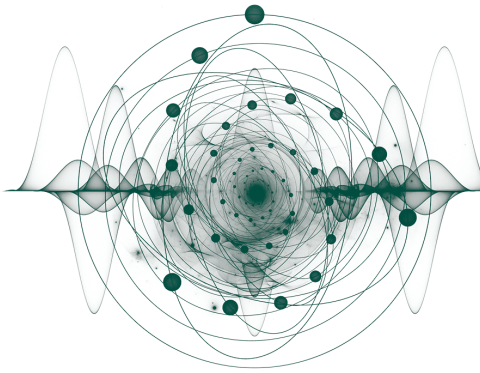


Рис. 106. Цифровые рентгенограммы в прямой (А) и боковой (Б) проекциях, томограмма (ТС) во фронтальной плоскости (В) ОГК. Отмечается компрессионный перелом тела Th_{10} *(красная стрелка)*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев А.Ю., Нечаев В.А.* Томосинтез в диагностике заболеваний органов грудной клетки (обзор литературы) // Радиология — практика. — 2015. — № 6. — С. 59–68.
2. *Васильев А.Ю., Нечаев В.А., Блинов Н.Н., Садиков П.Н., Новоселова Е.В.* Томосинтез в диагностике заболеваний органов грудной клетки: учебное пособие. — М., 2017. — С. 35
3. *Нечаев В.А.* Применение томосинтеза при неотложных состояниях у пациентов с заболеваниями и повреждениями органов грудной клетки // Мед. вестн. МВД. — 2015. — Т. 78, № 4. — С. 66–67.
4. *Нечаев В.А., Бажин А.В., Новоселова Е.В.* Применение томосинтеза в диагностике заболеваний органов грудной клетки // Радиология — практика. — 2015. — № 5. — С. 14–21.
5. *Bertolaccini L., Viti A., Tavella C. et al.* Lung cancer detection with digital chest tomosynthesis: first round results from the SOS observational study // Ann. Transl. Med. — 2015. — V. 3, No. 5. — P. 67.
6. *Dobbins III J.T., McAdams H.P.* Chest Tomosynthesis: Technical Principles and Clinical Update // Eur. J. Radiol. — 2009. — V. 72, No. 2. — P. 244–251.
7. *Ferrari A., Bertolaccini L., Solli P. et al.* Digital chest tomosynthesis: the 2017 updated review of an emerging application // Ann. Transl. Med. — 2018. V. 6, No. 5. P. 91.
8. *Galea A., Durran A., Adlan T. et al.* Practical applications of digital tomosynthesis of the chest // Clin. Radiol. — 2014. — V. 69, No. 4. — P. 424–430.

9. *Johnsson A.A., Vikgren J., Bath M.* Chest tomosynthesis: technical and clinical perspectives // Semin. Respir. Crit. Med. — 2014. — V. 35, No. 1. — P. 17–26.
10. *Kim E.Y., Chung M.J., Lee H.Y. et al.* Pulmonary mycobacterial disease: diagnostic performance of low-dose digital tomosynthesis as compared with chest radiography // Radiology. — 2010. — V. 257, No. 1. P. 269–277.
11. *Lee K.H., Goo J.M., Lee S.M. et al.* Digital Tomosynthesis for evaluating metastatic lung nodules: nodule visibility, learning curves, and reading times // Korean. J. Radiol. — 2015. — V. 16, No. 2. — P. 430–439.
12. *Nechaev V.A., Vasiliev A.Yu.* Capabilities of tomosynthesis in diagnosing chest diseases and injuries. // Sovremennye tehnologii v medicine. — 2016. —V. 8, No. 2. — P. 59–65.
13. *Quaia E., Baratella E., Poillucci G. et al.* Digital Tomosynthesis as a Problem-Solving Imaging Technique to Confirm or Exclude Potential Thoracic Lesions Based on Chest X-Ray Radiography // Acad. Radiol. — 2013. — V. 20, No. 5. — P. 546–553.
14. *Soderman C., Johnsson A.A., Vikgren J. et al.* Evaluation of accuracy and precision of manual size measurements in chest tomosynthesis using simulated pulmonary nodules // Acad. Radiol. — 2015. — V. 22, No. 4. — P. 496–504.
15. *Yamada Y., Jinzaki M., Hashimoto M. et al.* Tomosynthesis for the early detection of pulmonary emphysema: diagnostic performance compared with chest radiography, using multidetector computed tomography as reference // Eur. Radiol. — 2013. — V. 23, No. 8. — P. 2118–2126.



5 ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ТУБЕРКУЛЕЗНОГО ПОРАЖЕНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА

Ведущую роль в диагностике костных деструктивных изменений при туберкулезном поражении позвоночника играют рентгеновские методики исследования. Точная оценка локализации и распространенности специфического спондилита важна для выбора правильной лечебной тактики. Стандартная рентгенография имеет ограничения в выявлении туберкулеза позвоночника, особенно на ранних этапах развития инфекционного процесса. *В настоящее время с развитием технической базы появилась возможность проводить томосинтез, при котором нивелируются все недостатки, характерные для стандартной рентгенографии.*

5.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ТОМОСИНТЕЗА ПОЗВОНОЧНИКА

Методика проведения томосинтеза позвоночника в прямой и боковой проекциях:

- идентификация пациента (уточнение ФИО, сверка данных паспорта с медицинской документацией);
- уточнение наличия противопоказаний;
- получение информированного согласия пациента на проведение рентгеновского исследования, которое сопровождается лучевой нагрузкой;
- подготовка пациента к исследованию, предоставление средств индивидуальной защиты;
- инструктаж (разъяснение пациенту основных этапов предстоящего исследования, необходимости находиться в неподвижном состоянии и задержать дыхание во время движения рентгеновской трубки (10–15 с в зависимости от аппарата);
- укладка;
- проведение томосинтеза с реконструкцией изображений на рабочей станции рентгенолаборанта;
- постпроцессорная обработка и анализ изображений на рабочей станции врача-рентгенолога;
- оформление протокола и заключения по результатам исследования;
- заполнение протокола исследования эффективной эквивалентной дозы (используя рассчитанные таблицы или другие источники) в листе или талоне учета дозовой нагрузки;
- выдача реконструкций, полученных изображений на цифровых носителях.

Укладка пациента при выполнении томосинтеза шейного отдела позвоночника в прямой проекции (рис. 107).

Больной располагается стоя спиной к детектору симметрично по отношению к средней линии стола. Руки расположены вдоль туловища. Голова несколько откинута назад, смотрит вперед. Срединная плоскость головы перпендикулярна плоскости стола. Центральный пучок рентгеновского излучения направляют в краниальном направлении на середине расстояния между верхним краем рукоятки грудины и щитовидным хрящом. Далее производится диафрагмирование области интереса.

Укладка пациента при выполнении томосинтеза шейного отдела позвоночника в боковой проекции (рис. 108).

С целью максимально возможного смещения плечевого пояса книзу оптимальным является положение пациента стоя или сидя. Центральный пучок рентгеновского излучения направляют в горизонтальной плоскости на середину вертикальной линии между верхушкой сосцевидного отростка и надключичной ямки. Далее производится диафрагмирование области интереса.



Рис. 107. Положение пациента при проведении томосинтеза шейного отдела позвоночника в прямой проекции



Рис. 108. Положение пациента при проведении томосинтеза шейного отдела позвоночника в боковой проекции

Укладка пациента при выполнении томосинтеза шейного отдела позвоночника с функциональными пробами в боковой проекции (рис. 109).

Снимки проводятся стоя или сидя у стойки. Выполняют исследование в боковой проекции и в условиях максимального сгибания и разгибания. Больной стоит, руки вытянуты вдоль туловища. С целью смещения плечевого пояса при сканировании в положении стоя целесообразно дать в руки небольшой груз (мешочки с песком). В положении сидя пациент может захватить кистями сиденье стула и сместить плечи вниз. Срединную сагиттальную плоскость головы и тела устанавливают параллельно плоскости стойки. Далее производится диафрагмирование области интереса.



Рис. 109. Положение пациента при проведении томосинтеза шейного отдела позвоночника в боковой проекции при сгибании *(а)* и разгибании *(б)*:

Укладка пациента при выполнении томосинтеза грудного отдела позвоночника в прямой проекции (рис. 110).

В положении лежа пациент располагается на столе, лежит на спине. Руки вытянуты вдоль туловища. Срединная сагиттальная плоскость тела перпендикулярна плоскости стола и соответствует его средней линии. Под голову подкладывают тонкую плоскую подушку. Срединный пучок рентгеновского излучения также направляется в центр приемника по срединной линии тела больного в область средней трети тела грудины, и выполняется диафрагмирование. Исследование проводится в момент задержанного вдоха.

В положении стоя пациент равномерно и плотно прижимается спиной к детектору, руки его опущены, расслаблены, голова смотрит вперед; руки не отводятся; верхний край детектора располагается на 1 см выше надплечья; срединный пучок рентгеновского излучения направляется на середину тела грудины. Далее производится диафрагмирование области интереса. Исследование проводится в момент задержанного вдоха.



Рис. 110. Положение пациента при проведении томосинтеза грудного отдела позвоночника в прямой проекции в положении лежа

Укладка пациента при выполнении томосинтеза грудного отдела позвоночника в боковой проекции (рис. 111).

В положении лежа пациент расположен на боку. Под голову положена небольшая плоская подушка или ладони пациента. Руки отведены вперед, подняты кверху и сомкнуты. Ноги согнуты в коленных и тазобедренных суставах. Фронтальная плоскость тела перпендикулярна плоскости стола, сагиттальная — параллельна ей. Задняя подмышечная линия соответствует средней линии деки стола. Если верхняя часть грудного отдела позвоночника расположена заметно выше, чем нижняя,



Рис. 111. Положение пациента при проведении томосинтеза грудного отдела позвоночника в боковой проекции в положении лежа

под поясницу целесообразно положить небольшой валик с целью выравнивания дуги грудного отдела позвоночника по отношению к плоскости стола. Исследование проводится в момент задержанного вдоха.

В положении стоя пациент равномерно и плотно прижимается спиной к детектору, руки его отведены вперед, подняты кверху и сомкнуты над головой. Задняя подмышечная линия соответствует средней линии деки стола. Исследование проводится в момент задержанного вдоха.

Укладка пациента при выполнении томосинтеза поясничного отдела позвоночника в прямой проекции (рис. 112).

Пациент лежит на спине. Срединная сагиттальная плоскость тела перпендикулярна плоскости стола и соответствует срединной линии его деки. Для выпрямления поясничного лордоза ноги согнуты в коленных и тазобедренных суставах. Пучок рентгеновского излучения центрируют на 3 см выше пупка, что соответствует уровню L3 позвонка. Исследование проводится без задержки дыхания. Исследование может быть выполнено и в вертикальном положении. Укладка пациента для выполнения томосинтеза аналогична при стандартной рентгенографии поясничного отдела позвоночника.

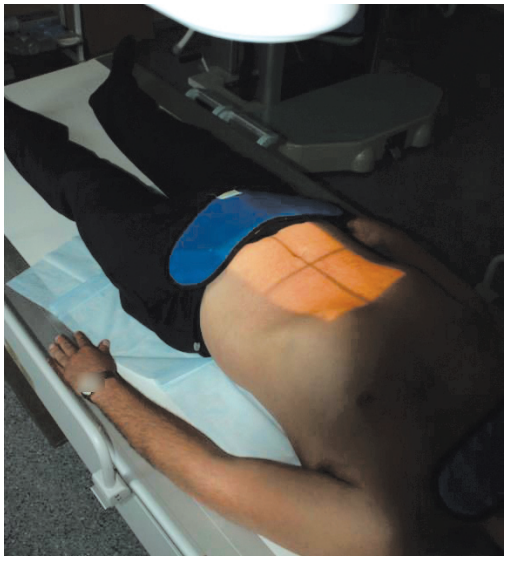


Рис. 112. Положение пациента при проведении томосинтеза поясничного отдела позвоночника в прямой проекции

Укладка пациента при выполнении томосинтеза поясничного отдела позвоночника в боковой проекции (рис. 113).

Пациент лежит на боку. Ноги согнуты в коленных суставах. Сагиттальная плоскость тела параллельна столу. Для выравнивания изгиба позвоночника необходимо подложить небольшую подушку или валик. Пучок рентгеновского излучения центрируют на уровне нижнего края реберной дуги, что соответствует уровню L3 позвонка. Исследование проводится без задержки дыхания.

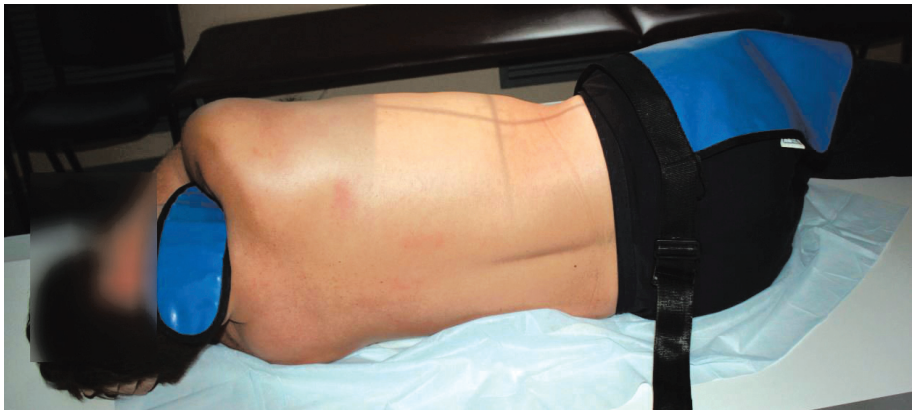


Рис. 113. Положение пациента при проведении томосинтеза поясничного отдела позвоночника в боковой проекции в положении лежа

Исследование может проводиться в вертикальном положении. Пациент стоит у стойки. Пучок рентгеновского излучения центрируют на уровне нижнего края реберной дуги, что соответствует уровню L3 позвонка. Исследование проводится без задержки дыхания.

При проведении томосинтеза отсутствуют ограничения по весу пациента и не требуется предварительная подготовка при обследовании пояснично-крестцового отдела позвоночника. Томосинтез позвоночника возможно проводить в положении стоя или лежа. Выбор положения исследования зависит от состояния больного и наличия у него сопутствующей патологии, которые не позволяют принять ему вертикальное положение.

Стоит обратить внимание на важность правильной укладки пациента и диафрагмирования области исследования для того, чтобы на конечных изображениях отображались все структуры позвонков (тело, поперечные и остистый отростки) и паравертебральные ткани на расстоянии 3–5 см от позвоночного столба. Учитывая разные антропометрические параметры пациентов, необходимым услови-

ем является корректировка положения источника и приемника рентгеновского излучения. Если не провести корректировку, то конечные изображения позвоночного столба будут «обрезаны» и их диагностическая ценность снижена.

В результате проведенного исследования получается серия «сырых данных», которая подвергается реконструкции на рабочей станции рентгенолаборанта и отправляется на рабочую станцию врача. В итоге за один проход рентгеновской трубки получается от 50 до 150 цифровых томограмм позвоночника с толщиной среза 2–3 мм (зависит от выбранного угла движения трубки и интервала между срезами).

Анализ изображений проводится в следующей последовательности:

- оценка качества томограмм (резкость, контрастность, отсутствие артефактов);
- оценка позвоночного столба (положение, форма, размеры, структура) на всем протяжении в выбранном сегменте, необходимо, чтобы зона сканирования охватывала полностью поперечные и остистые отростки с обеих сторон;
- оценка ребер и реберно-позвоночных сочленений;
- выявление патологических изменений (локализация, характер поражения и распространенность);
- состояние мягких тканей (дифференцировка, наличие абсцессов, инородных тел, свободного газа);
- изменения в паренхиме легких и средостении на уровне исследования;
- оформление протокола исследования с описанием выявленных изменений.

5.2. НОРМАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ АНАТОМИЯ ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ТОМОСИНТЕЗЕ

На серии цифровых томограмм в прямой и боковой проекциях можно определить все костные структуры позвоночника (рис. 114–116).

Независимо от принадлежности к какому-то определенному отделу позвоночного столба все позвонки (кроме первых двух шейных) имеют общий план строения. Позвонок состоит из тела и дуги. Тело обращено кпереди и служит его опорной частью. Дуга позвонка соединяется сзади с телом с помощью ножек дуги. Между телом и дугой располагается позвоночное отверстие. Совокупность всех отверстий образует позвоночный канал. От дуги позвонка отходят отростки, к которым прикрепляются фасции и мышцы. Кзади, по срединной плоскости, отходит непарный остистый отросток, справа и слева от дуги — поперечные отростки. Вверх и вниз от дуги — непарные верхние и нижние суставные

отростки. Основания суставных отростков ограничивают верхнюю и нижнюю позвоночные вырезки. При соединении смежных позвонков друг с другом верхняя и нижняя вырезки образуют межпозвонковые отверстия.

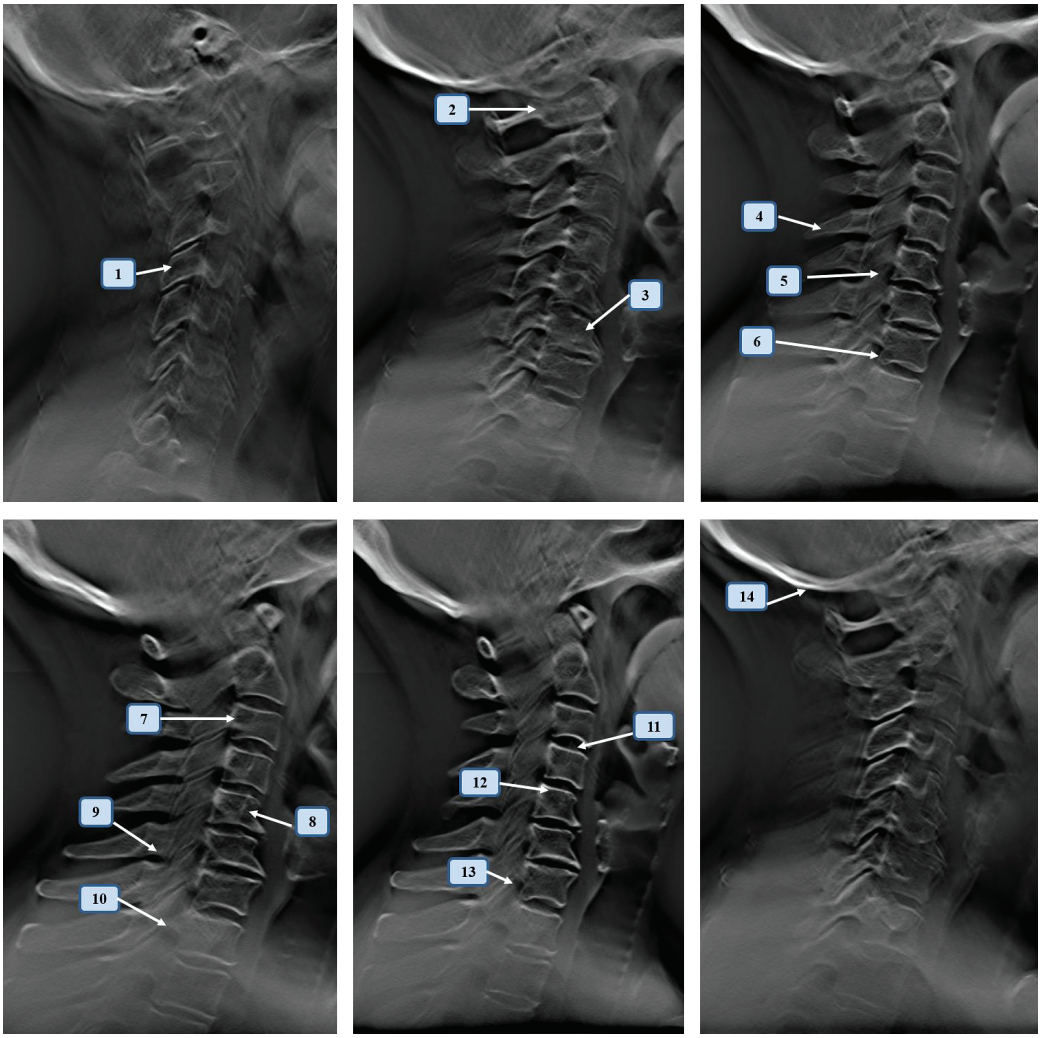


Рис. 114. Цифровые томограммы в боковой проекции. Анатомия шейного отдела позвоночника:
1 — поперечный отросток, 2 — атлант, 3 — тело позвонка, 4 — остистый отросток, 5 — верхний суставной отросток, 6 — верхняя позвоночная вырезка, 7 — задний край тела позвонка, 8 — передний край тела позвонка, 9 — нижний суставной отросток, 10 — нижняя позвоночная вырезка, 11 — межпозвонковый диск, 12 — замыкательная пластина, 13 — межпозвонковое отверстие, 14 — затылочная кость

Шейный отдел позвоночника состоит из 7 позвонков с формированием лордоза (рис. 114, 115). Высота тел С1–С7 наименьшая по сравнению с другими отделами позвоночного столба. Шейные позвонки имеют особенности строения.

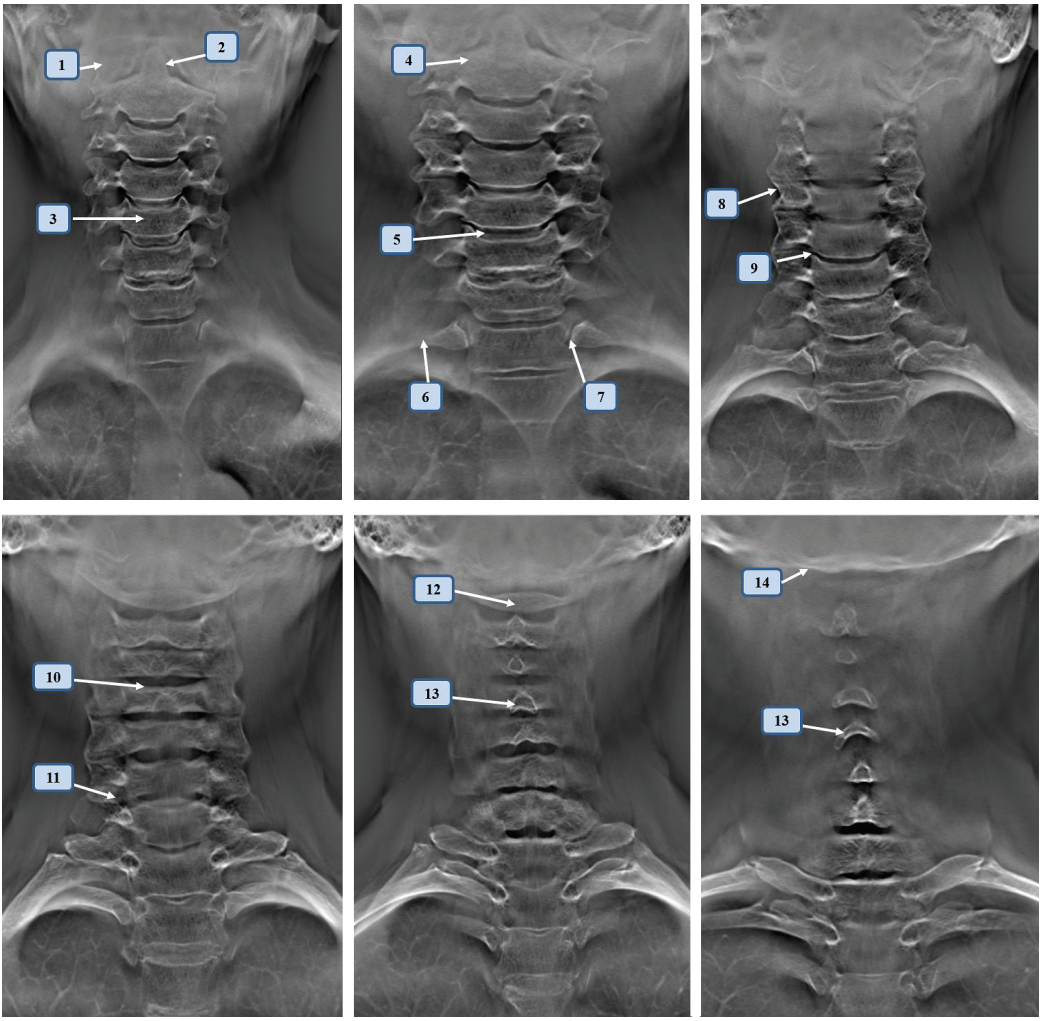


Рис. 115. Цифровые томограммы в прямой проекции. Анатомия шейного отдела позвоночника: 1 — атлант, 2 — зуб осевого позвонка, 3 — тело позвонка, 4 — боковая суставная поверхность осевого позвонка, 5 — межпозвонковый диск, 6 — ребро, 7 — реберно-позвоночное сочленение, 8 — поперечный отросток, 9 — унковертебральное сочленение, 10 — замыкательная пластина, 11 — межпозвонковое отверстие, 12 — задняя дуга атланта, 13 — остистый отросток, 14 — затылочная кость

Атлант (С1) не имеет тела и состоит из передней и задней дуги и латеральных масс. Осевой позвонок (С2) отличается наличием зуба. Остистый отросток С7 позвонка длиннее и толще, чем у рядом расположенных позвонков. С С2 по С7 по заднебоковым поверхностям смежных позвонков выявляются унковертебральные сочленения, сформированные краем верхней площадки нижележащего позвонка и боковыми поверхностями тела вышележащего позвонка. Эти небольшие суставы располагаются близко к межпозвоночным отверстиям и примыкают вплотную к фиброзному кольцу межпозвоночного диска.

С целью изучения межпозвонковых дисков и выявления патологической подвижности между смежными позвонками можно выполнить томосинтез с функциональными пробами (рис. 116). При этом производится исследование в выпрямленном положении больного стоя или лежа и сканирование при максимальном сгибании и разгибании. Функциональные исследования применяют для диагностики патологии в наиболее подвижных отделах позвоночника — шейном, нижнем грудном и поясничном.

При томосинтезе с функциональными пробами оцениваются:

- ось позвоночного столба (плавный переход ориентирующих линий, например, линий остистых отростков при боковых наклонах);
- патологические вентральные и дорсальные смещения (нестабильность, гипо- и гипермобильность сегментов, ступенеобразная деформация);
- равномерность снижения высоты межпозвонковых дисков (клиновидная деформация) в передних отделах при сгибании и в задних отделах при разгибании.

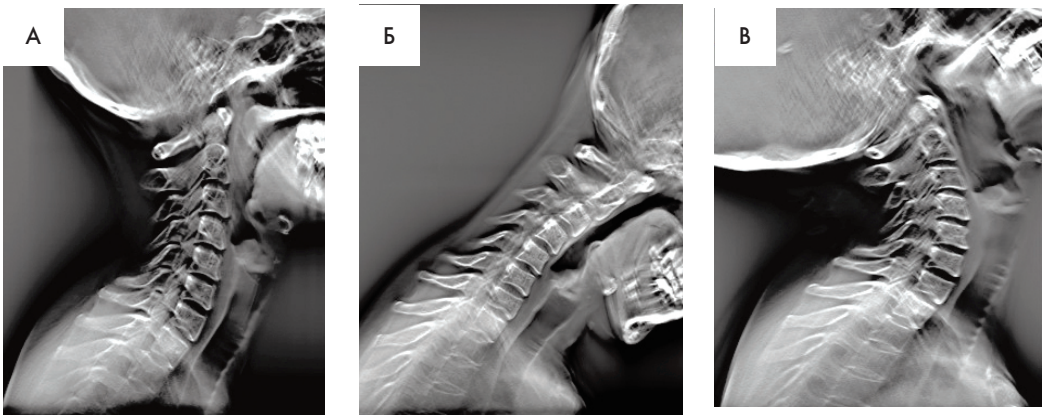


Рис. 116. Цифровые томограммы шейного отдела позвоночника в боковой проекции с функциональными пробами: А — выпрямленное положение, Б — сгибание, В — разгибание

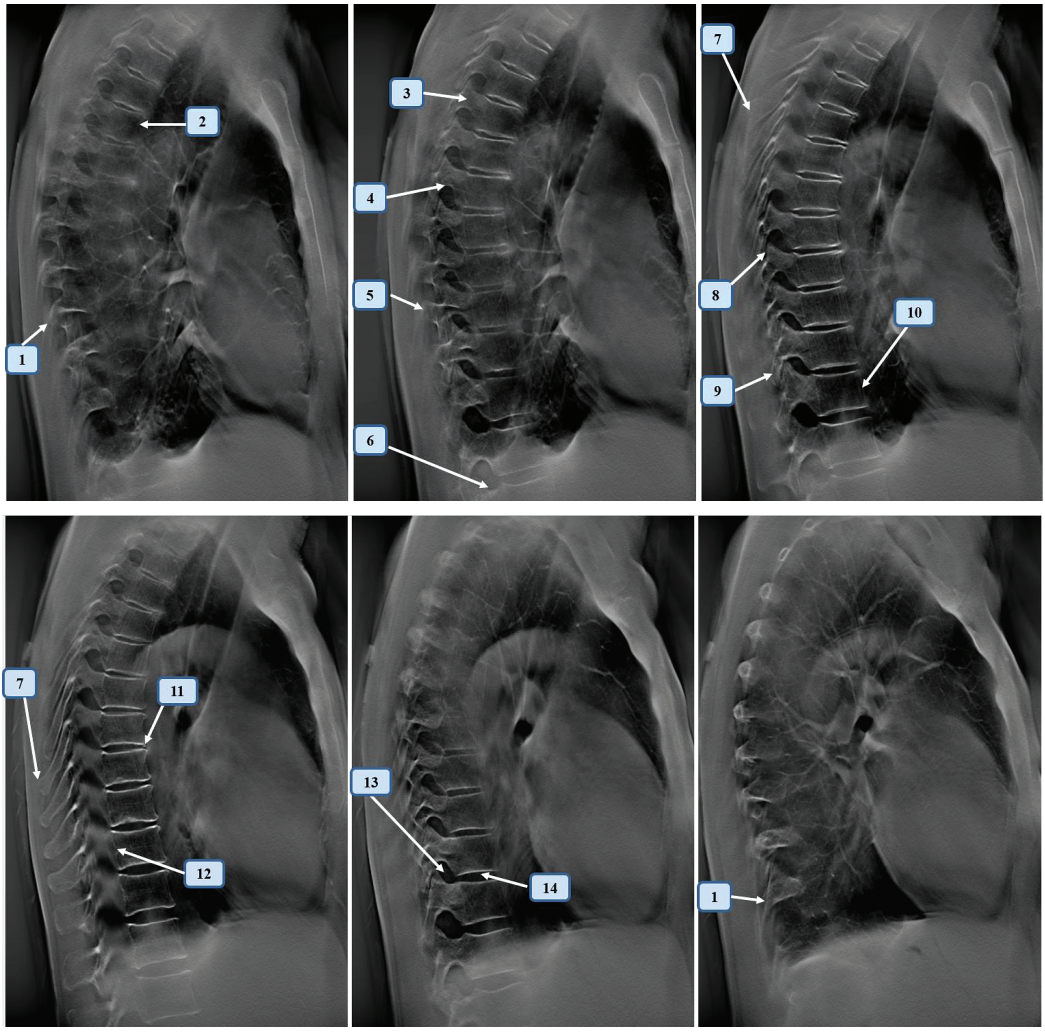


Рис. 117. Цифровые томограммы в боковой проекции. Анатомия грудного отдела позвоночника: 1 — ребро, 2 — тело позвонка, 3 — дуга позвонка, 4 — нижняя позвоночная вырезка, 5 — поперечный отросток, 6 — верхняя позвоночная вырезка, 7 — остистый отросток, 8 — верхний суставной отросток, 9 — нижний суставной отросток, 10 — передний край тела позвонка, 11 — замыкательная пластина, 12 — задний край тела позвонка, 13 — межпозвонковое отверстие, 14 — межпозвонковый диск

Грудной отдел позвоночника состоит из 12 позвонков с формированием кифоза (рис. 117, 118). Высота тел увеличивается в краниокаудальном направлении. Остистые отростки длинные, наклонены вниз, накладываются друг на друга. На уровне Th2–Th9 имеются верхняя и нижняя реберные ямки для сочленения с головками ребер. Поперечные отростки утолщены с наличием реберных ямок для сочленения с бугорком соответствующего ребра.

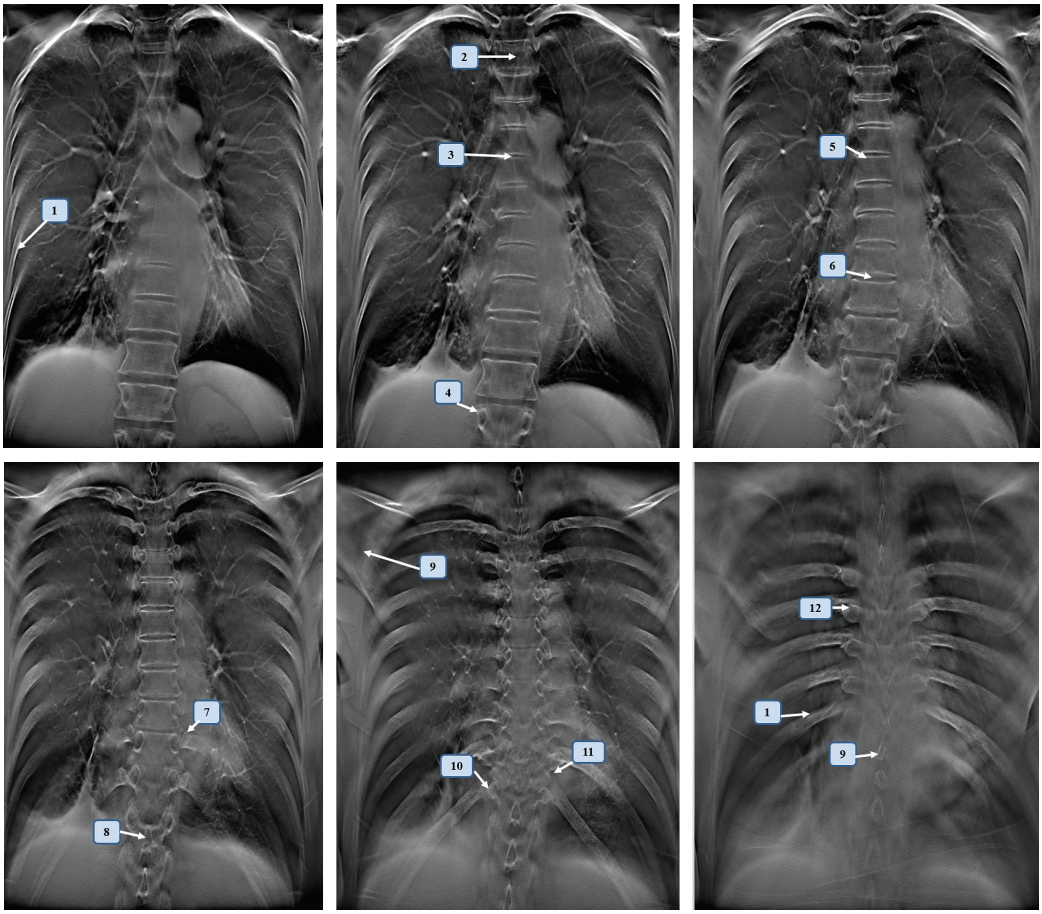


Рис. 118. Цифровые томограммы в прямой проекции. Анатомия грудного отдела позвоночника: 1 — ребро, 2 — тело позвонка, 3 — межпозвонковый диск, 4 — корень дужки позвонка, 5 — верхняя замыкательная пластина, 6 — нижняя замыкательная пластина, 7 — реберно-позвоночное сочленение, 8 — остистый отросток, 9 — лопатка, 10 — верхний суставной отросток, 11 — нижний суставной отросток, 12 — поперечный отросток

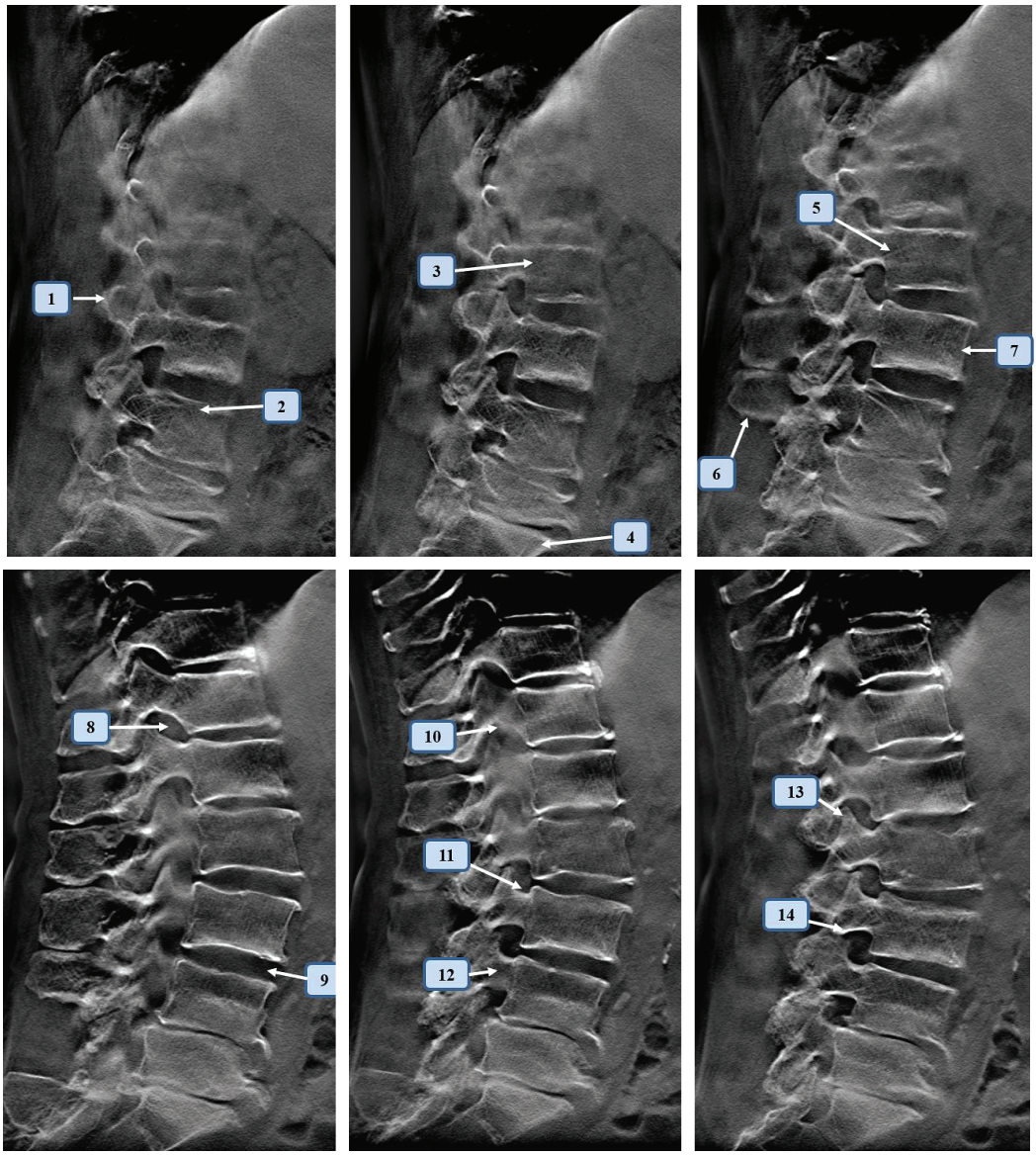


Рис. 119. Цифровые томограммы в боковой проекции. Анатомия поясничного отдела позвоночника: 1 — поперечный отросток, 2 — замыкательная пластина, 3 — тело позвонка, 4 — S1 позвонок, 5 — задний край тела позвонка, 6 — остистый отросток, 7 — передний край тела позвонка, 8 — межпозвонковое отверстие, 9 — межпозвонковый диск, 10 — нижняя позвоночная вырезка, 11 — верхняя позвоночная вырезка, 12 — дуга позвонка, 13 — верхний суставной отросток, 14 — нижний суставной отросток

Поясничный отдел позвоночника состоит из пяти позвонков с формированием лордоза (рис. 119, 120). Высота тела увеличивается в краниокаудальном направлении. Позвоночные отверстия крупные. Остистые отростки плоские, короткие.

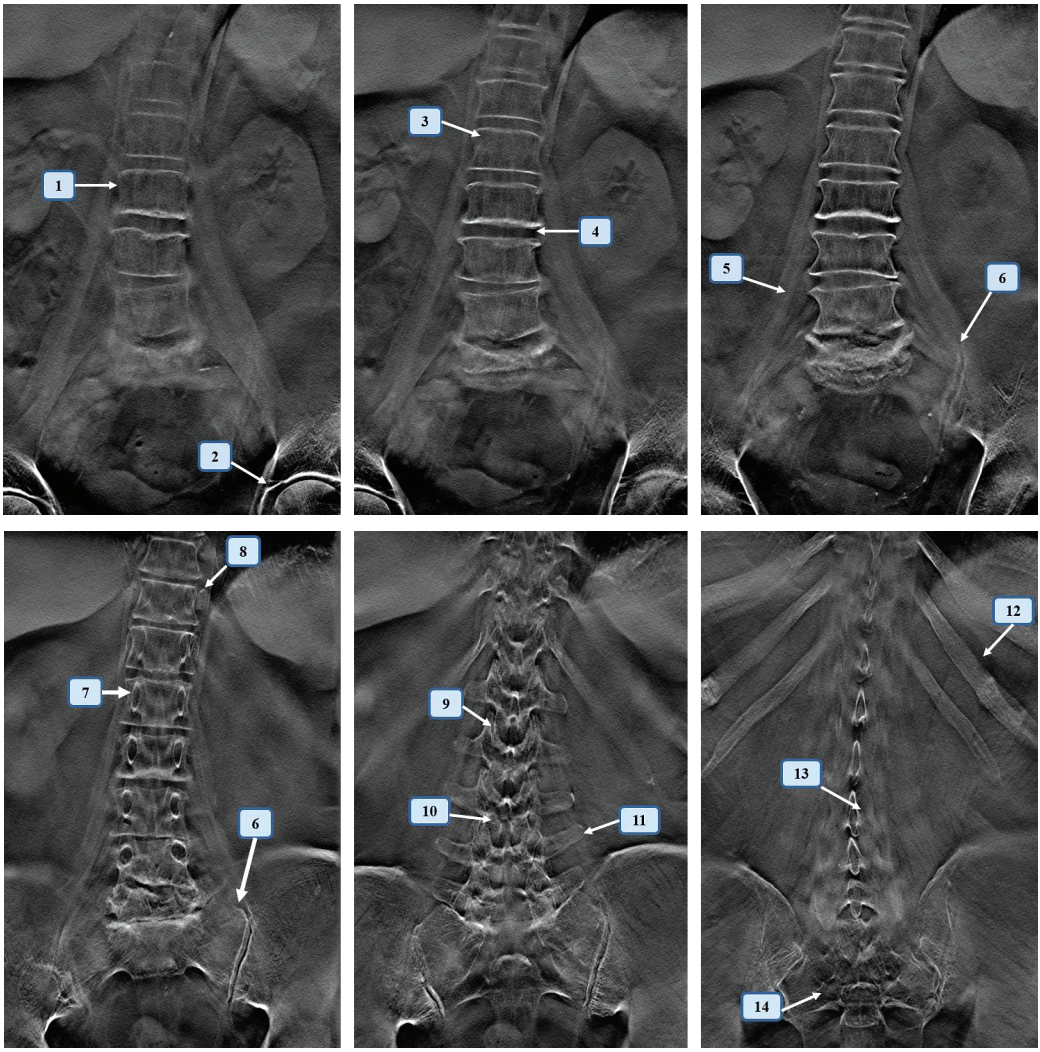


Рис. 120. Цифровые томограммы в прямой проекции. Анатомия поясничного отдела позвоночника: 1 — тело позвонка, 2 — тазобедренный сустав, 3 — замыкательная пластина, 4 — межпозвонковый диск, 5 — поясничная мышца, 6 — крестцово-подвздошное сочленение, 7 — корень дужки, 8 — реберно-позвоночное сочленение, 9 — верхний суставной отросток, 10 — нижний суставной отросток, 11 — поперечный отросток, 12 — ребро, 13 — остистый отросток, 14 — боковая масса крестца

5.3. ТОМОСИНТЕЗ В ДИАГНОСТИКЕ ТУБЕРКУЛЕЗА ПОЗВОНОЧНИКА

Туберкулез позвоночника, или туберкулезный спондилит, — инфекционное заболевание, вызываемое Micobacterium tuberculosis, для которого характерно образование специфической гранулемы и прогрессирующее разрушение кости, что приводит к выраженным органическим и функциональным нарушениям пораженного отдела скелета (рис. 121).

Проблема туберкулеза до сих пор остается актуальной, поскольку наиболее часто (62,2%) заболевают лица трудоспособного возраста от 18 до 45 лет. Также в последние годы отмечается значительно более тяжелое состояние госпитализируемых пациентов с экстрапульмональным туберкулезом в связи с увеличением количества случаев туберкулеза в сочетании с ВИЧ-инфекцией.

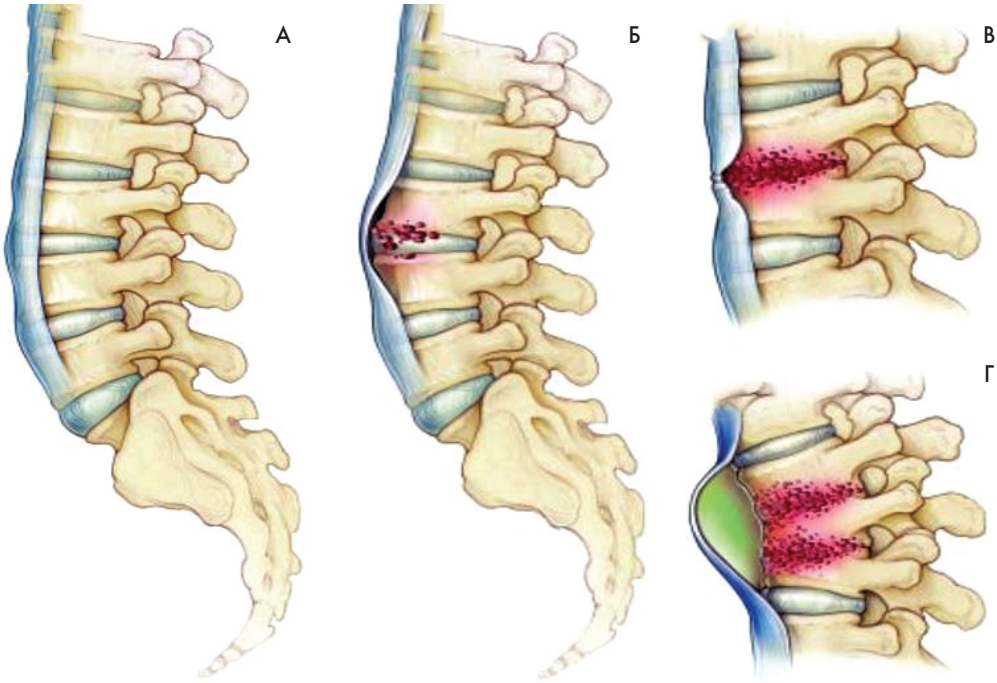


Рис. 121. Схематическое изображение развития туберкулезного спондилита (McLain, R. F. et al. 2004): А — неизмененный позвоночник; Б — поражение двух смежных тел позвонков; В — снижение высоты тел пораженных позвонков и вовлечение в туберкулезный процесс межпозвонкового диска; Г — формирование паравертебрального абсцесса под передней продольной связкой и необратимая клиновидная деформация пораженных позвонков на нескольких уровнях

Наиболее типичной локализацией внелегочного туберкулеза является костно-суставная форма, которая составляет 10–26 % от общего числа больных. Поражаются различные отделы скелета, но в 50 % — позвоночник. На первом месте по локализации поражения стоит грудной (50–60 %), на втором — поясничный (30–40 %) отделы позвоночника. Значительно в меньшей степени заинтересованы шейный и крестцовый отделы позвоночника.

Поражение одного позвонка при туберкулезе встречается редко (рис. 122). При выявлении деструкции замыкательной пластины необходимо в первую очередь исключать травматический генез или перелом на фоне снижения минеральной плотности кости.

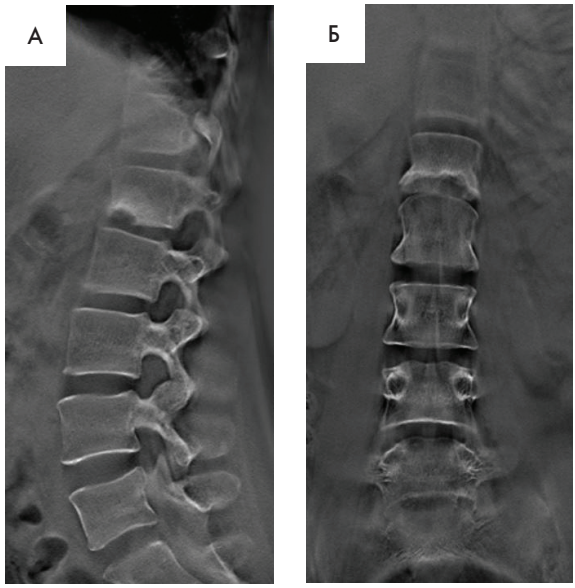


Рис. 122. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника в: А — боковой и Б — прямой проекциях. Туберкулез L1 позвонка: субхондральная деструкция нижней замыкательной пластины, неравномерно выраженный склероз в теле пораженного позвонка

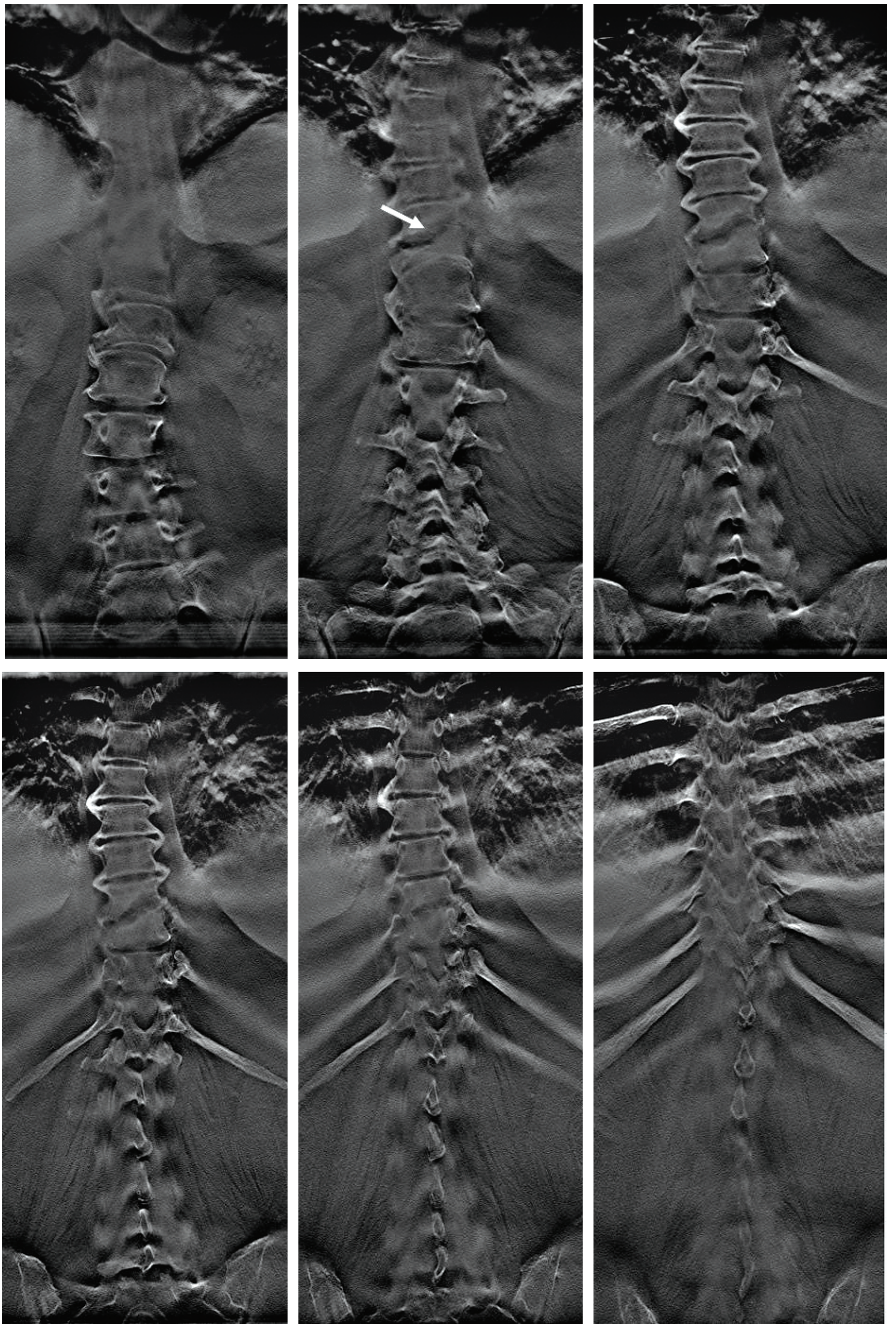


Рис. 123. Цифровая томограмма грудного отдела позвоночника, прямая проекция. Туберкулезный спондилит Th9, Th10 позвонков: литическая контактная деструкция смежных позвонков; неравномерный склероз замыкательных пластин

Поражение 2–3 тел позвонков у больных туберкулезным спондилитом обнаруживается в 65 % случаев (рис. 123).

Туберкулезный очаг, как правило, локализуется в смежных участках тел позвонков. Связано это с тем, что специфическая гранулематозная воспалительная реакция вызывает деструкцию замыкательной пластинки в пораженном позвонке и распространяется на соседний позвонок через пульпозное ядро (рис. 124).

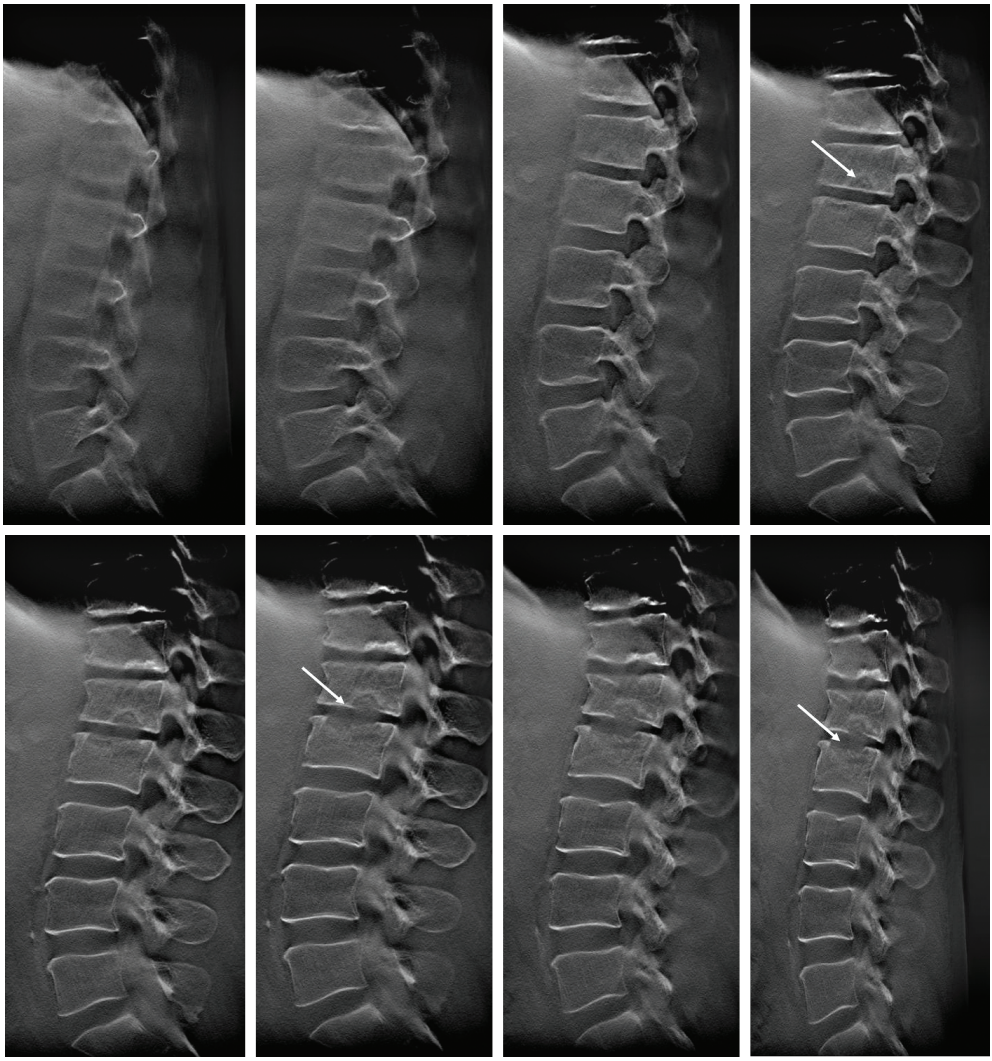


Рис. 124. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, боковая проекция. Туберкулезный спондилит L1, L2 позвонков: литическая контактная деструкция смежных позвонков; снижение высоты межпозвонкового диска за счет дегенеративных изменений

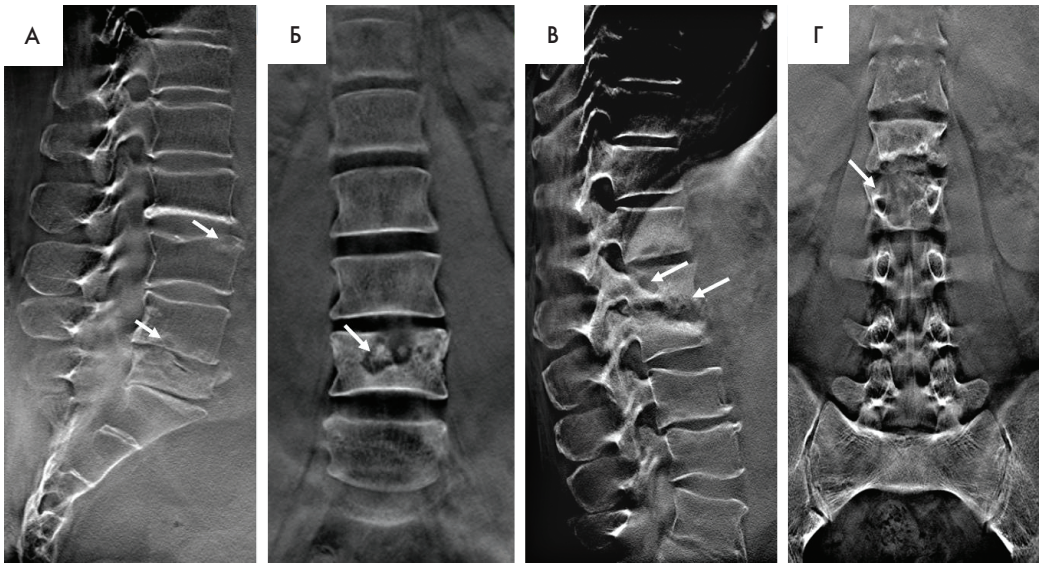


Рис. 125. Цифровая томограмма. Туберкулезный спондилит в поясничном отделе позвоночника: А — боковая проекция, субхондральная деструкция L3, L4, компрессия и клиновидная деформация L5 позвонка; Б — прямая проекция, очаговая деструкция L4 позвонка с формированием рядом расположенных секвестров; В — боковая проекция, смешанная деструкция в L1 и субхондральная деструкция в Th12, L2 позвонков; Г — прямая проекция, тотальная деструкция L2, субхондральная деструкция Th12, L1 позвонков

При туберкулезном спондилите можно выявить несколько вариантов деструкции (рис. 125):

— очаговая: один или несколько округлых участков лизиса и возможными плотными секвестрами внутри;

— субхондральная (контактная): плоскостная литическая, которая чаще затрагивает две смежные замыкательные пластины, без образования секвестров;

— смешанная: сочетание первых двух видов литической деструкции;

— тотальная: может развиться при любом типе деструкции и отражает агрессивность туберкулезного процесса и его длительность; тело позвонка необратимо разрушено и представлено в виде большого количества хаотично расположенных плотных костных фрагментов, часть которых может мигрировать в просвет позвоночного канала и прилежащие мягкие ткани.

С помощью томосинтеза удается более отчетливо визуализировать тип деструкции, ее границы и контуры, чем при стандартной рентгенографии. В 60–80 % случаев при туберкулезе отмечается смешанная или субхондральная (контактная) деструкция позвонков (рис. 126, 127).

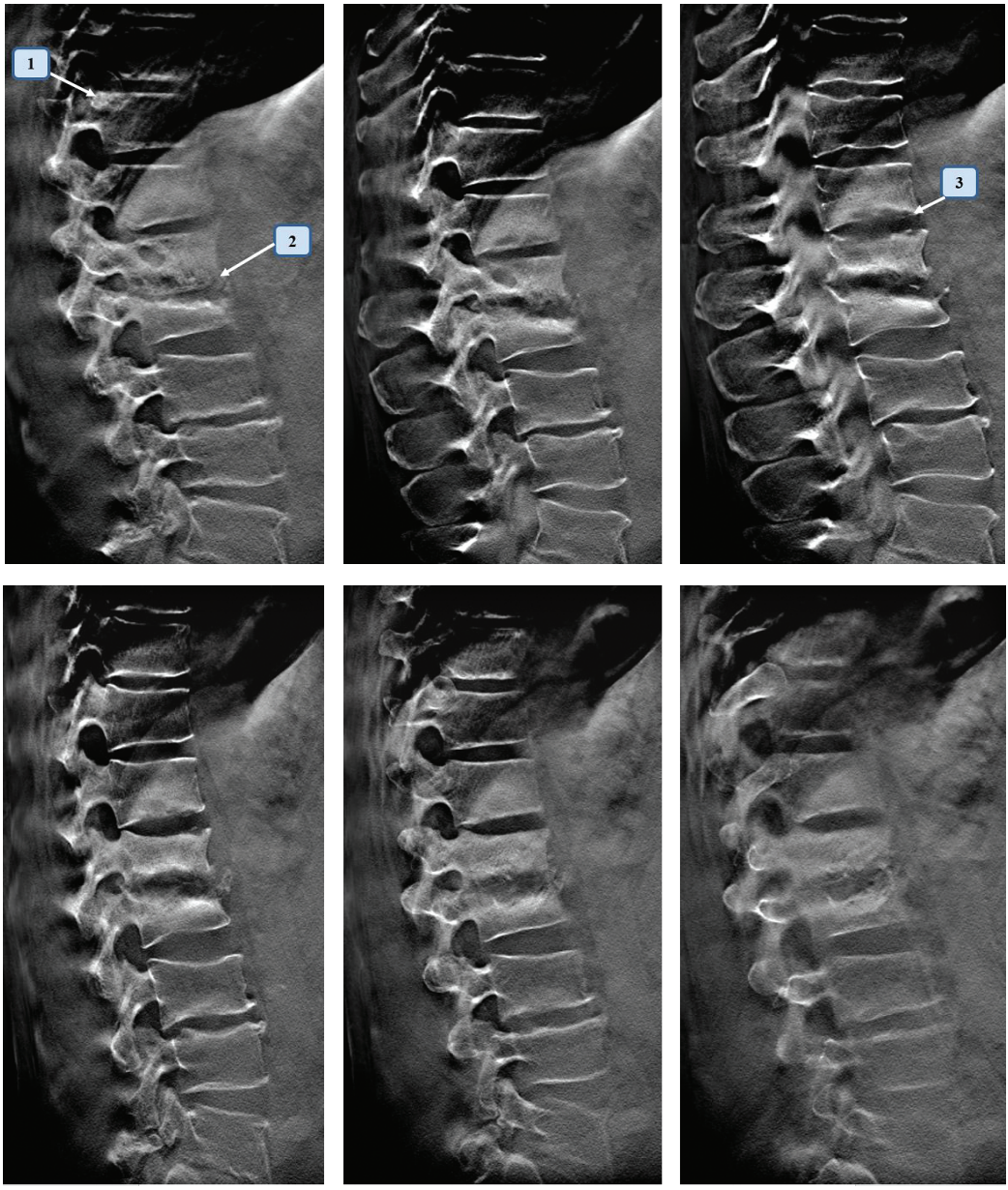


Рис. 126. Туберкулезный спондилит Th11–L2. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, боковая проекция. Очаговая деструкция в задних отделах Th11 позвонка (1). Спондилит на уровне L1–L2: смешанная литическая контактная деструкция смежных замыкательных пластин; снижение высоты тел и клиновидная деформация позвонков; неравномерный склероз замыкательных пластин (2). Деструкция нижней замыкательной пластины в Th12 (3)

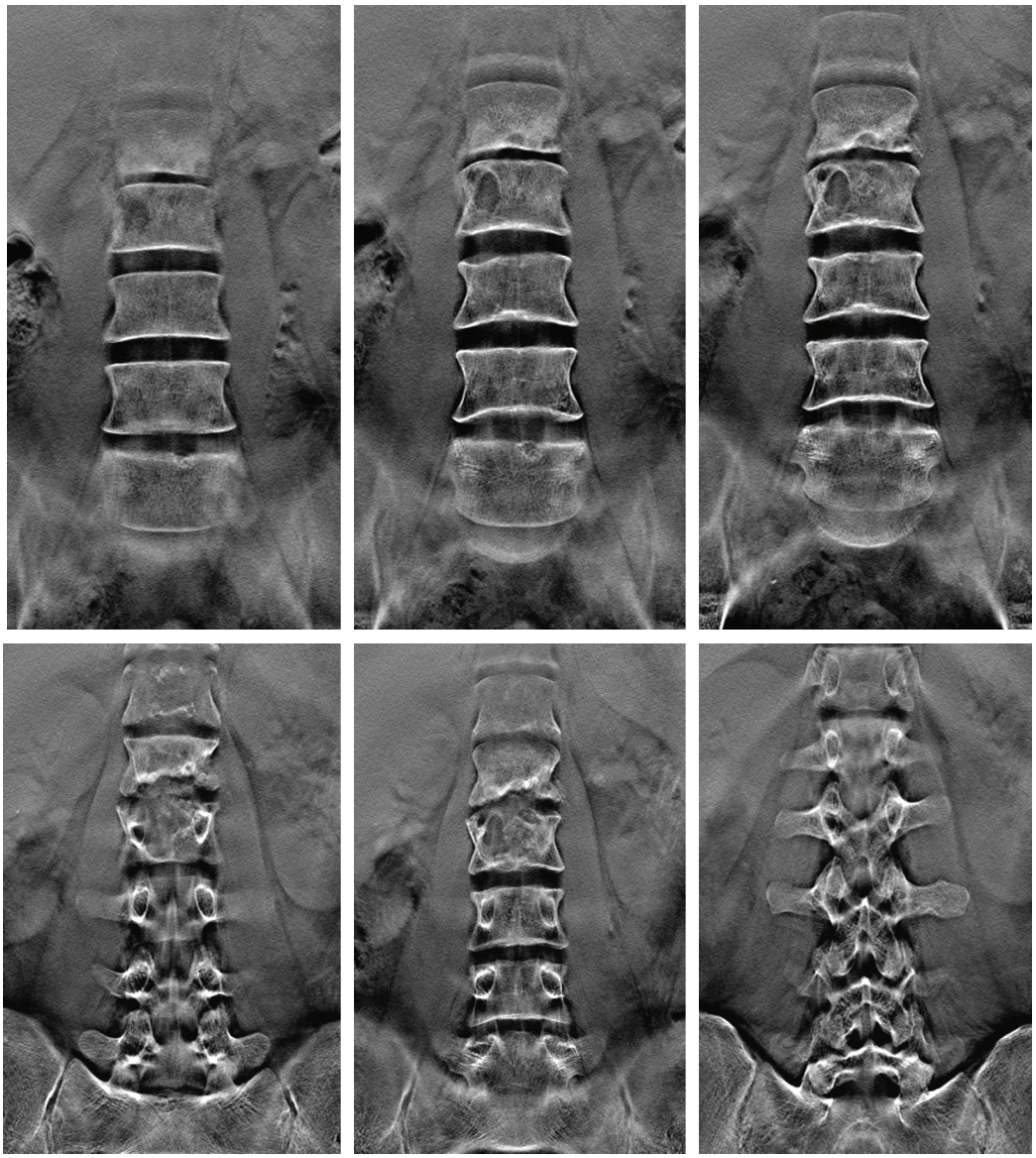


Рис. 127. Тот же пациент. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, прямая проекция. Туберкулезный спондилит: на уровне L1–L2 смешанная литическая контактная деструкция смежных замыкательных пластин; снижение высоты тел и клиновидная деформация позвонков; неравномерный склероз замыкательных пластин. Субхондральная деструкция нижней замыкательной пластины в Th12

Типичным признаком туберкулезного спондилита также является глубокая, тотальная деструкция смежных позвонков, т. к. часто пациенты на поздней стадии развития заболевания обращаются за медицинской помощью, когда формируется необратимая деформация позвоночного столба (рис. 128).



Рис. 128. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, боковая проекция. Туберкулезный спондилит Th12–L1: глубокая смешанная литическая деструкция смежных позвонков

При томосинтезе в боковой проекции отмечается неравномерное снижение межпозвонкового диска. Высота его снижена преимущественно в передних отделах, поскольку они нагружаются и разрушаются больше, чем задние. Тело пораженного позвонка в передних отделах компримируется, приобретает клиновидную форму, формируется типичная угловая деформация (рис. 129).

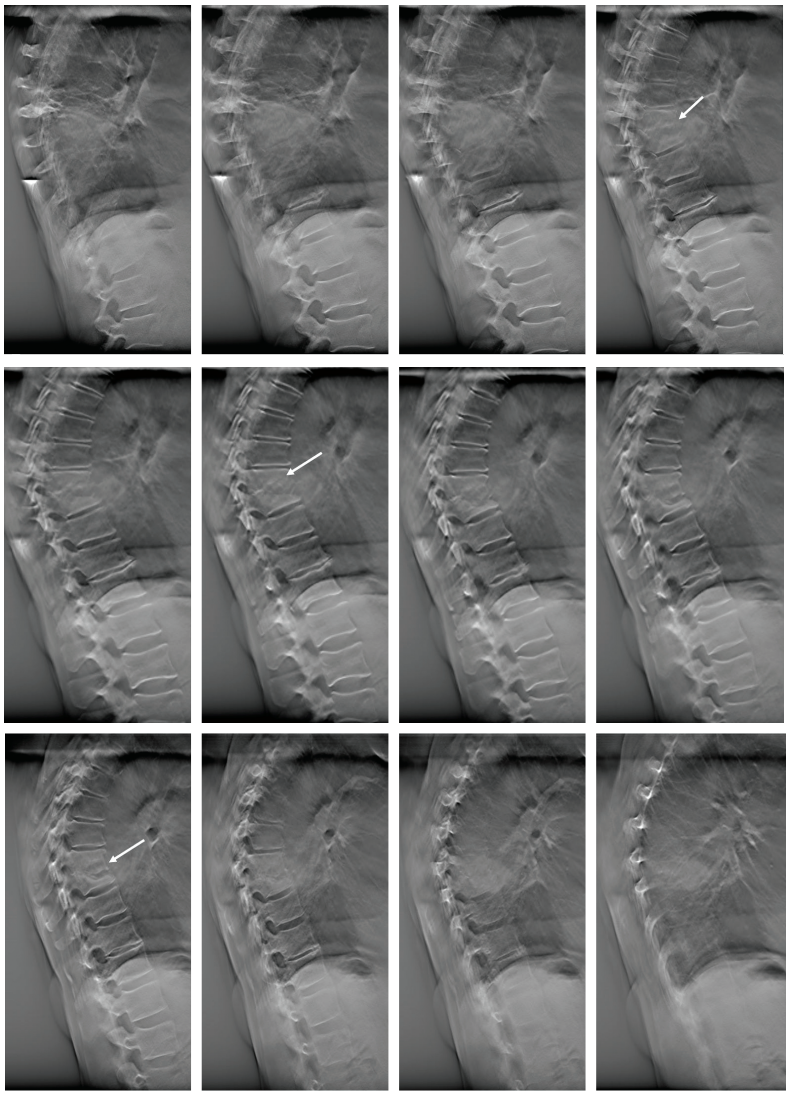


Рис. 129. Цифровая томограмма грудного отдела позвоночника, боковая проекция. Туберкулезный спондилит Th8, Th9 позвонков: литическая контактная деструкция и клиновидная деформация смежных позвонков; неравномерный склероз замыкательных пластин; снижение высоты межпозвонкового диска

Диагностические сложности на рентгенограммах до 20% случаев вызывают туберкулезные оститы, особенно при локализации в задних отделах позвоночного столба. Туберкулезный процесс редко локализуется в остистых отростках или в дугах и дугоотростчатых суставах, данный вид деструкции характерен для неспецифического бактериального остеомиелита. Например, переход процесса на дуги позвонков наблюдается редко, по данным ряда авторов, до 15% случаев.

Визуализация небольших очагов деструкции такой локализации при туберкулезе возможна только при применении посрезовых методик (томосинтез, КТ), при стандартном рентгеновском исследовании данная локализация затруднена для визуализации из-за суммации тканей (рис. 130). Вы-

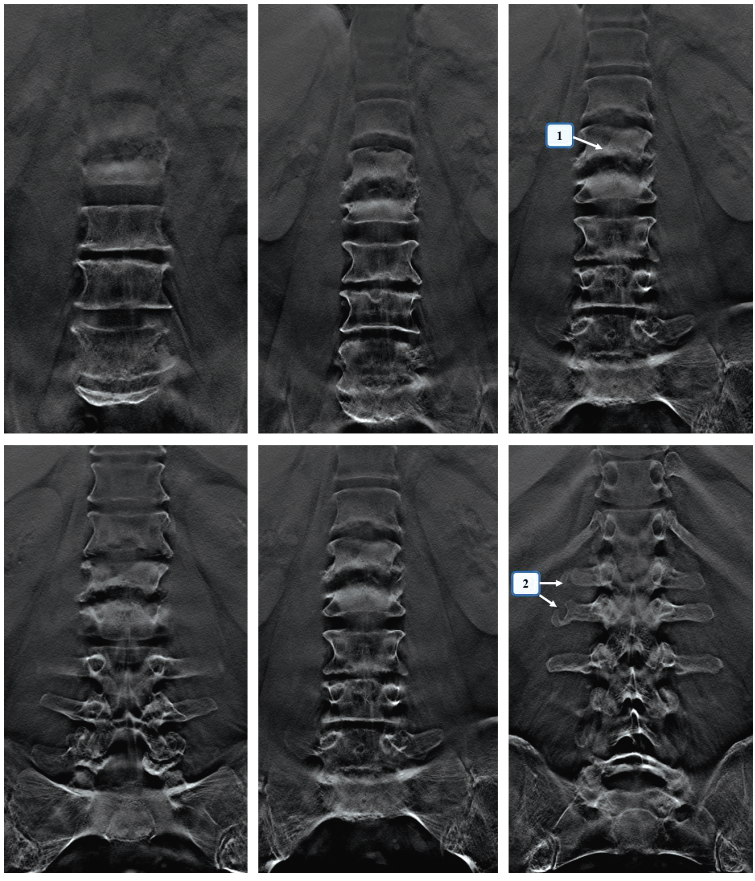


Рис. 130. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, прямая проекция. Туберкулезный спондилит на уровне L1–L2: литическая контактная деструкция смежных замыкательных пластин. Субхондральная деструкция нижней замыкательной пластины в Th12. Очаговая деструкция правых поперечных отростков L1, L2 позвонков. Интракорпоральные узлы Шморля в L4, L5 позвонках

явление изменений в элементах задней позвоночной колонны играет важную роль при проведении дифференциальной диагностики, т. к. характерно для неспецифического бактериального спондилита.

Помимо снижения высоты межпозвонкового диска и наличия очага деструкции в позвонке, ценным диагностическим критерием при туберкулезе позвоночника является наличие секвестра, который встречается от 20 до 89 % случаев. Секвестр при туберкулезе чаще имеет округлую форму, небольшие размеры и похож на «тающий кусочек сахара». На цифровых томограммах секвестр имеет неоднородную структуру: в центре расположен более темный участок некротического костного вещества, окруженный более светлой каймой грануляций или распада (рис. 131).

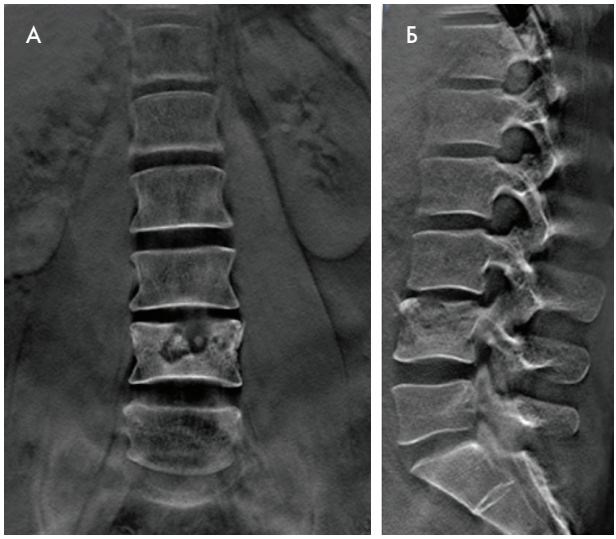


Рис. 131. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника: А — прямая и Б — боковая проекции. Очаговый тип литической деструкции в теле L4 позвонка с формированием секвестров. Высота L4 позвонка не снижена. Межпозвонковый диск в сегменте L4–L5 снижен по высоте за счет дегенеративных изменений

Такая рентгенологическая картина связана с тем, что в самом секвестре центральная масса костного вещества не разрушается, и только периферические его отделы рассасываются из-за грануляций, в то же время прилежащие костные стенки рассасываются и все больше и больше замещаются соединительной тканью и распадом. При туберкулезе позвоночника секвестр может целиком замещаться соединительной тканью с восстановлением нормальной костной структуры в отличие от остеомиелитического секвестра. Следова-

тельно, фрагментацию позвонков можно рассматривать как прогностически худший признак по сравнению с секвестрацией.

При стандартной рентгенографии существуют определенные технические трудности в выявлении небольших по размеру секвестров. Например, из-за суммации петель кишечника и тел позвонков при проведении рентгенографии пояснично-крестцового отдела. Данные недостатки нивелируются при проведении томосинтеза, который позволяет более точно определить наличие, положение, форму и размер секвестров (рис. 132).

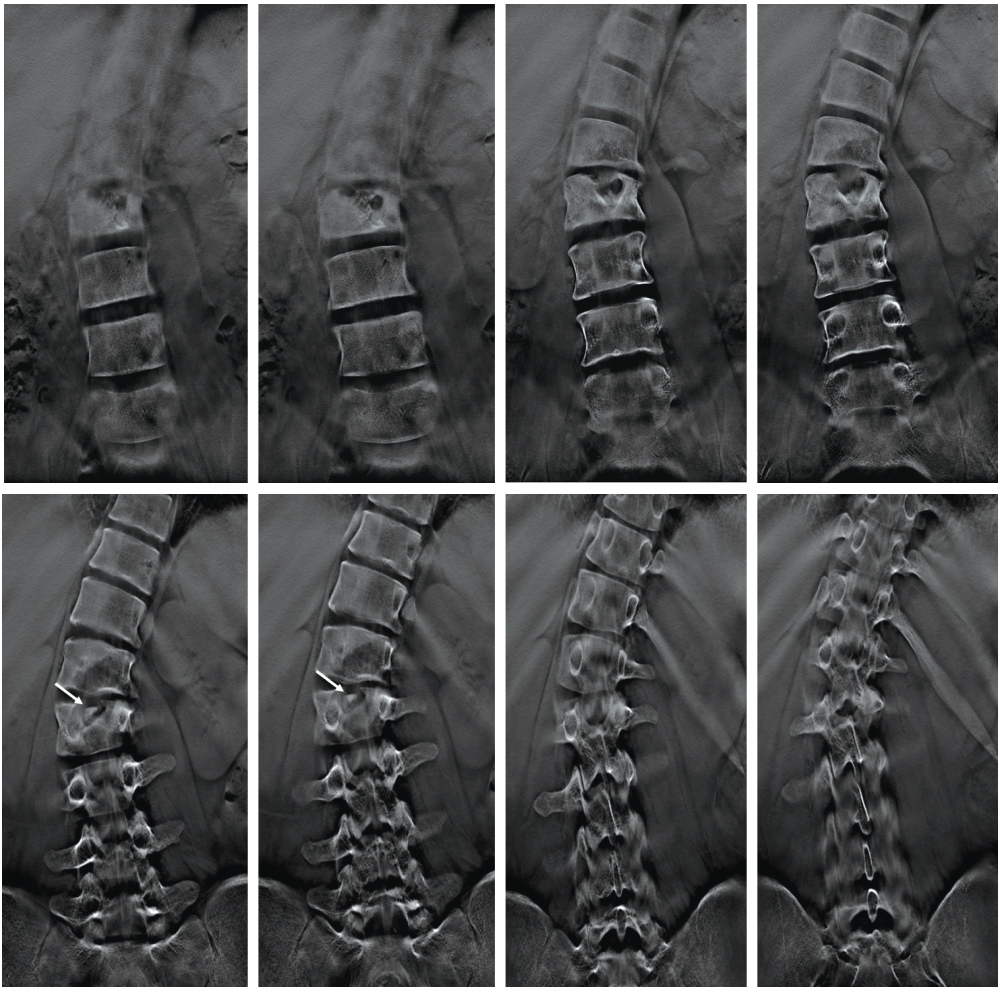


Рис. 132. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, прямая проекция. Туберкулезный спондилит: смешанный тип литической деструкции в телах L1, L2 позвонков с формированием секвестра в L2. Межпозвонковый диск в сегменте L1–L2 снижен по высоте

Томосинтез позволяет оценить костные деструктивные изменения с меньшей лучевой нагрузкой в 6–10 раз по сравнению с КТ и более высокой диагностической точностью по сравнению со стандартной рентгенографией (табл. 5.1). Показатели эффективности стандартной рентгенографии в выявлении туберкулеза позвоночника составляют: чувствительность — 82,2 %; специфичность — 76,1 %. КТ превосходит другие рентгеновские методы (чувствительность — 82,2 %; специфичность — 76,1 %). При томосинтезе чувствительность достигает 89,7 %, специфичность — 84,0 %. Показатели чувствительности и специфичности томосинтеза приближаются к показателям при КТ.

Таблица 5.1

Возможности различных рентгеновских методик в выявлении туберкулезного спондилита

Показатели (%)	Методы		
	Рентгенография	КТ	Томосинтез
Чувствительность	82,2	89,7	84,6
Специфичность	76,1	84,0	79,3
Прогностическая ценность положительного результата	69,1	76,5	78,6
Прогностическая ценность отрицательного результата	87,1	91,3	85,2
Точность	78,4	85,0	81,8

При активном распространении микобактерий из костных очагов в 60–65 % случаев формируются паравертебральные и эпидуральные абсцессы.

Туберкулезный абсцесс при рентгенологическом обследовании может быть лучше виден в том случае, если он окружен тканями, которые по своей плотности отличаются от содержимого «натечника». Например, наилучшая визуализация наблюдается при локализации в грудном отделе позвоночника, где паравертебральное воспаление ограничено с обеих сторон легочной паренхимой и может распространяться в легочную ткань или по межреберьям в мягкие ткани спины.

При томосинтезе картина туберкулезного абсцесса в грудном отделе позвоночника в большинстве случаев крайне характерна. При поражении средне-грудного отдела позвоночника воспалительный инфильтрат чаще всего дает веретенообразную тень, длинная ось которой совпадает с осью позвоночного столба (рис. 133).

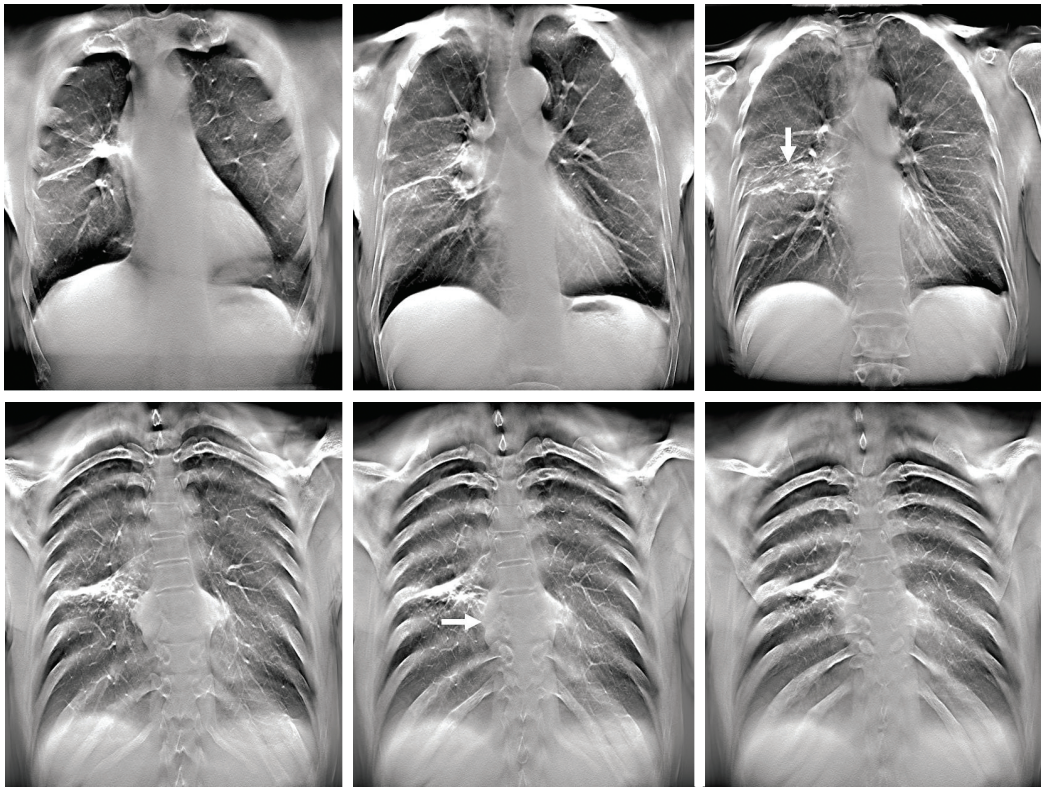


Рис. 133. Цифровая томограмма грудного отдела позвоночника, прямая проекция. Туберкулез Th8, Th9 позвонков, двусторонний паравертебральный абсцесс. Туберкулезные инфильтративные изменения в нижней доле правого легкого

Абсцесс может иметь правильную овальную или цилиндрическую форму. Также при томосинтезе можно выявить вытянутую грушевидную форму с распространением по обе стороны позвоночного столба. Тень абсцесса охватывает позвоночник симметрично или в большей степени пролабирует с правой стороны, так как слева распространению воспаления может препятствовать плотно фиксированная нисходящая грудная часть аорты.

При спондилитах нижнегрудных и поясничных позвонков нередко происходит

«продвижение» туберкулезной гранулемы в забрюшинное пространство с формированием воспаления по ходу большой поясничной мышцы (псоас-абсцессы). В поясничной области на наличие абсцесса указывает косвенный признак — дугообразное выпячивание наружного края поясничной мышцы (рис. 134, 135).

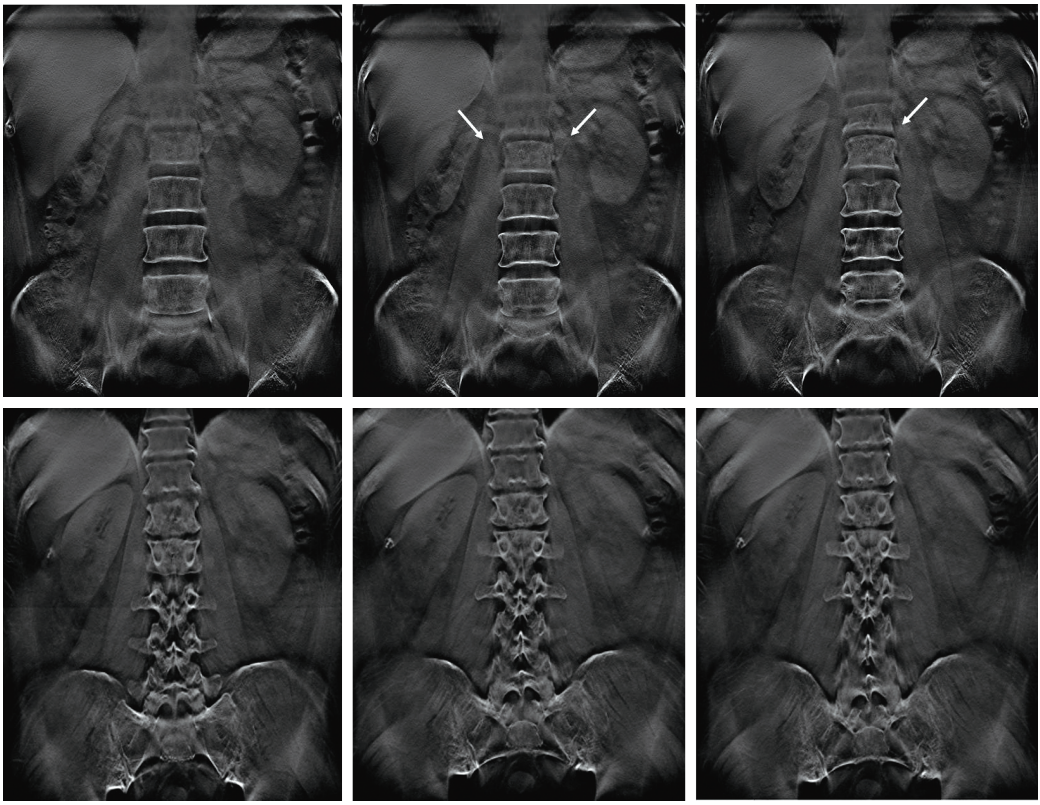


Рис. 134. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, прямая проекция. Туберкулезный спондилит в сегменте L1–L2: контактная деструкция замыкательных пластин с паравертебральным компонентом, неоднородность структуры m.psoas с обеих сторон

Специфический абсцесс в пояснично отделе позвоночника в большинстве случаев распространяется забрюшинно в толще m. Iliopsoas, образуя одно- или двусторонние скопления в пояснично-подвздошной области. При пояснично-крестцовой локализации туберкулезный абсцесс смещает переднюю продольную связку, образуя пресакральный абсцесс.

При небольших размерах контуры абсцессов и их соотношение с окру-

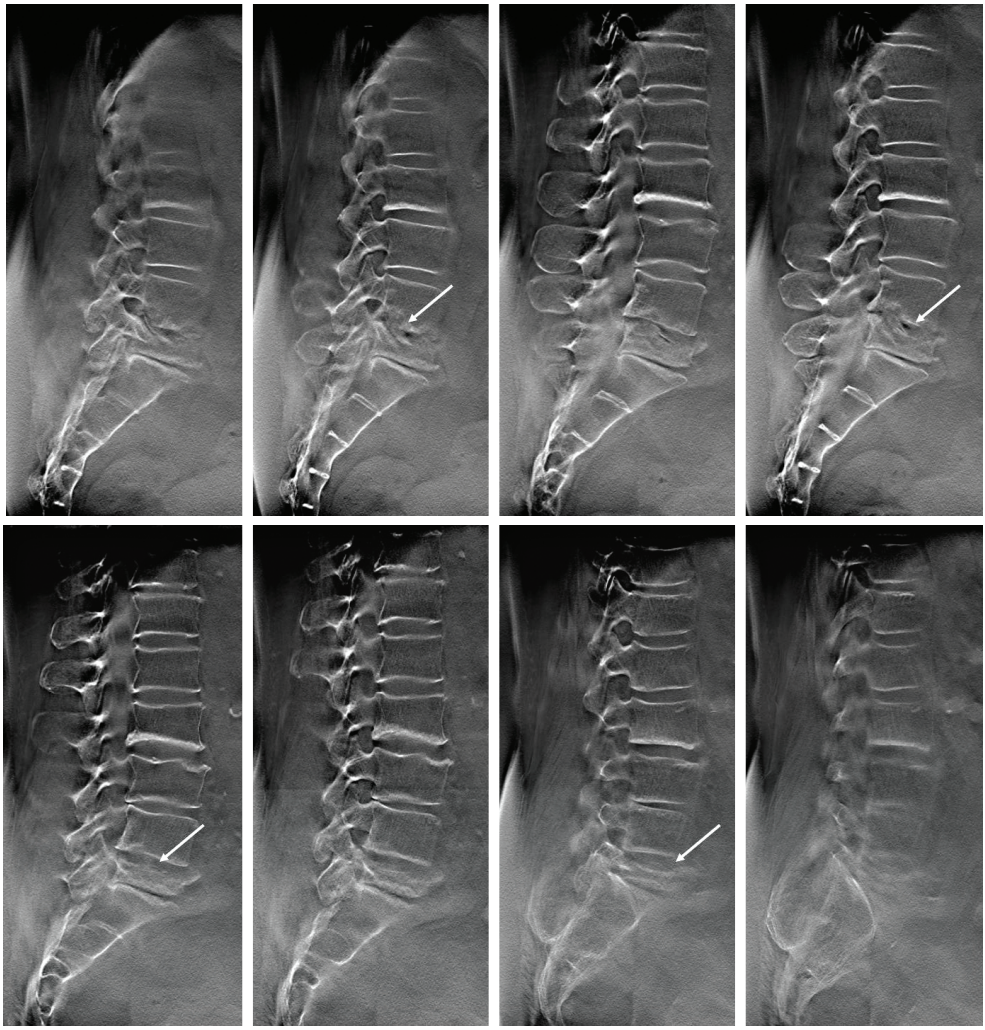


Рис. 135. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника, боковая проекция. Туберкулезный спондилит в сегменте L5–S1: контактная деструкция замыкательных пластин с паравертебральным компонентом

жающими органами при томосинтезе определить не удается. В шейном отделе диагностика туберкулезных изменений в паравертебральных мягких тканях при цифровой томографии также значительно затруднена. Оценить состояние спинного мозга и нервных корешков можно лишь по косвенным признакам при наличии обызвествленных казеозных масс и секвестров в просвете позвоночного канала. Ложноотрицательные результаты возникают при инфильтрации m.psoas, при которой воспаление имеет нечеткий контур и нет

отграниченного абсцесса. Ложноположительный результат может быть при одностороннем диффузном утолщении m.psoas по сравнению с контралатеральной стороной, на фоне жировой атрофии мышечных волокон (инволютивные изменения), когда нельзя достоверно высказаться о наличии дополнительных включений в толще мышцы.

При наличии активного туберкулезного спондилита с признаками нестабильности позвоночника, паравертебральными, эпидуральными, псоас-абсцессами, компрессией спинного мозга и выраженной кифотической деформацией проводится хирургическое лечение.

Операции на позвоночнике проводят с соблюдением принципов радикально-восстановительных вмешательств. Хирургия при туберкулезе позвоночника включает доступ, абсцессотомию и резекцию пораженных позвонков, декомпрессию спинного мозга, переднебоковой спондилодез аутотрансплантатами из ребра или крыла подвздошной кости либо комбинированными имплантатами (рис. 136).

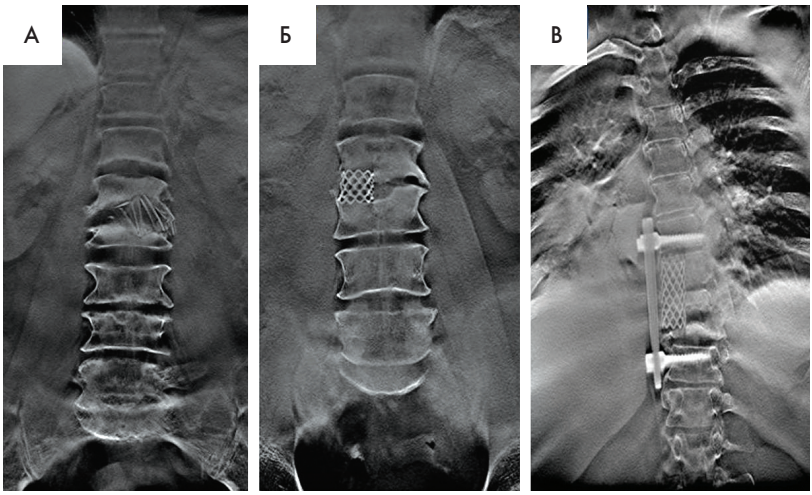


Рис. 136. Цифровая томограмма, прямая проекция. Туберкулезный спондилит, послеоперационные исследования. Спондилодез: А — аутотрансплантаты из ребра, Б — интракорпоральный кейдж SynMesh, В — комбинированная металлоконструкция

Наличие легочного туберкулеза или ВИЧ-инфекции не является противопоказанием для проведения операции. В послеоперационном периоде предпочтительно выполнение томосинтеза. Время выполнения исследования при этом не превышает время проведения стандартной рентгенографии, однако при многосрезовом сканировании можно более детально оценить костные структуры

и правильность установки фиксирующей металлоконструкции (рис. 137, 138).

При прогрессировании процесса и переходе на соседний позвонок клиническая картина усложняется и может напоминать самые разнообразные заболевания. Среди воспалительных заболеваний наибольшее сходство туберкулезный спондилит имеет с гематогенным неспецифическим остеомиелитом позвоночника.

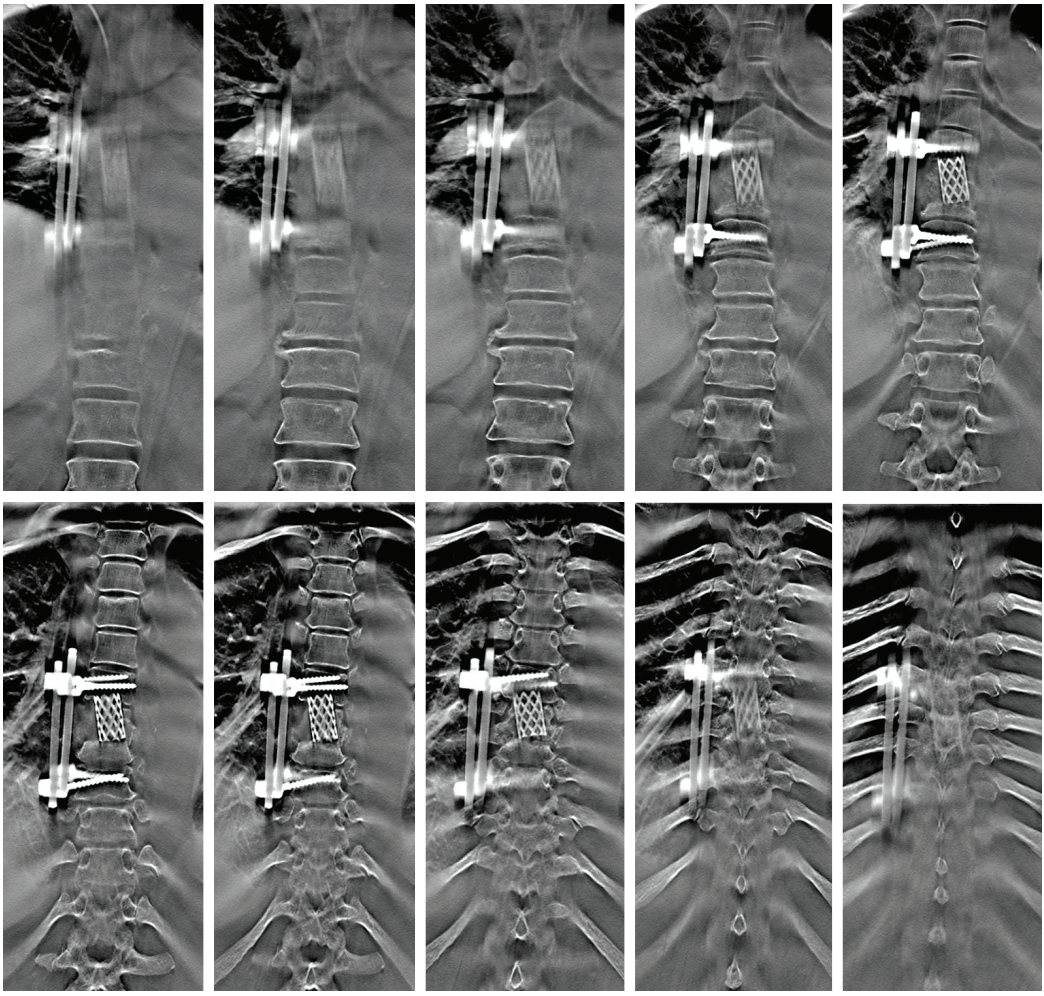


Рис. 137. Цифровая томограмма, прямая проекция. Туберкулезный спондилит грудного отдела позвоночника, послеоперационные исследования, спондилодез комбинированной металлоконструкцией на уровне Th6–Th9, интракорпоральный кейдж SynMesh на уровне Th7–Th8

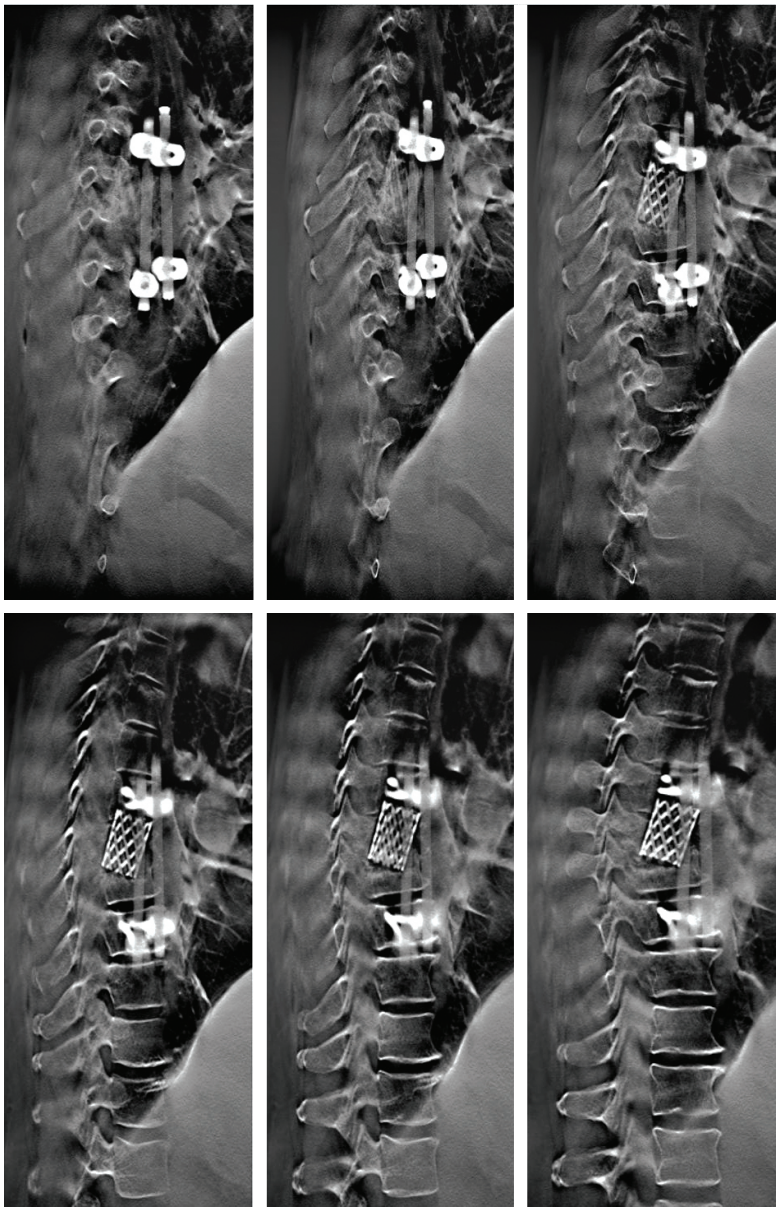


Рис. 138. Цифровая томограмма, боковая проекция. Туберкулезный спондилит грудного отдела позвоночника, послеоперационные исследования, спондилодез комбинированной металлоконструкцией на уровне Th6–Th9, интракорпоральный кейдж SynMesh на уровне Th7–Th8

Наиболее часто возбудителем остеомиелита является золотистый стафилококк. Обычными источниками инфекции являются мочеполовая система, операции на органах малого таза, тромбофлебит ног с хроническими язвами голеней, воспаление легких, стрептодермия, фурункулез, тонзиллит, одонтогенная инфекция. Симптомы интоксикации и неврологические нарушения при гематогенном остеомиелите возникают остро и быстро прогрессируют.

При лучевых методах обследования у пациентов с пиогенным остеомиелитом выявляется контактная деструкция сочленяющихся поверхностей смежных позвонков, окруженная зоной склероза, с разрушением межпозвонкового диска. Секвестры и абсцессы при остеомиелите встречаются реже, чем при туберкулезе.

Дополнительными диагностическими критериями при дифференциальной диагностике туберкулезного и неспецифического спондилитов являются отрицательные туберкулиновые пробы, низкая концентрация противотуберкулезных антител и IgA, обнаружение в пунктате костного мозга или абсцесса стафилококка, или другого неспецифического возбудителя.

Приводим два клинических примера, которые отображают проведение диагностического поиска при дифференциальной диагностике воспалительных изменений в позвоночнике.

ПРИМЕР № 1

Пациент Д., 62 лет, предъявлял жалобы на постоянную усиливающуюся боль в пояснице, которая появилась после травмы поясничного отдела позвоночника (падение с высоты), и на боль при дыхании в грудной клетке слева. За последние 5 лет профилактическое медицинское обследование (включая флюорографию) не проводилось. По месту жительства был поставлен диагноз «остеохондроз позвоночника». Рентгенологические исследования поясничной области и грудной клетки на данном этапе не проводились. Через две недели после неэффективного лечения по поводу остеохондроза была выполнена КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника. При КТ выявлена очаговая деструкция тел Th12, L1 позвонков с паравертебральным абсцессом (рис. 139).

С учетом жалоб, неврологического статуса, данных лучевых методов диагностики больной был госпитализирован в отделение костно-суставного туберкулеза УКБ фтизиопульмонологии. Диагноз при поступлении — «туберкулез Th12, L1 позвонков, спондилитическая фаза течения». При поступлении состояние больного средней тяжести, температура тела 37,5 °С. Сохранялась боль в поясничной области. Данных о туберкулезном контакте не выявлено. В клиническом анализе крови: эритроциты $3{,}59\times10^{12}$; гемоглобин 103 г/л; лейкоциты $17{,}7\times10^{9}$; палочкоядерные лейкоциты 12 %; эозинофилы 1 %; лим-

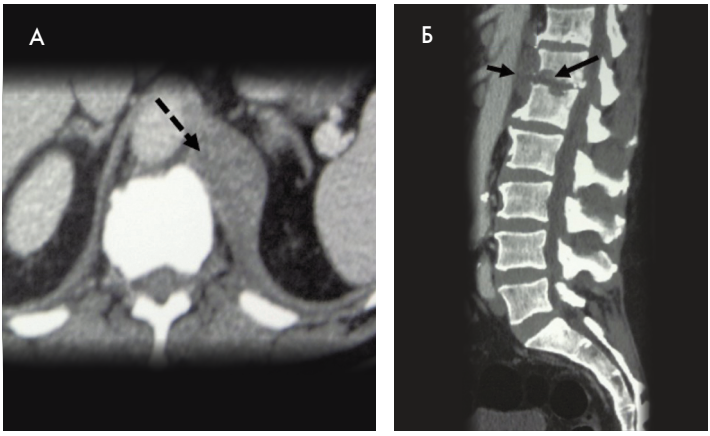


Рис. 139. Компьютерная томография поясничного отдела позвоночника: А —аксиальная проекция; Б — сагиттальная проекция (реконструкция). Отмечается очаговая с четким контуром литическая деструкция смежных замыкательных пластин на уровне Th12–L1 *(стрелка)*. Тело Th12 позвонка с передне-клиновидной деформацией на 1/3 его высоты. Тело L1 позвонка по высоте не снижено. Дуги, поперечные и остистые отростки не вовлечены в деструкцию. Секвестрация, фоновое разрежение костной структуры и зоны склероза в телах пораженных позвонков не определяются. Межпозвонковый диск в сегменте Th12–L1 снижен по высоте. По переднему контуру тел Th12, L1 позвонков выявляется утолщение превертебральных тканей *(короткая стрелка)* с четкими контурами, без обызвествления — абсцесс *(пунктирная стрелка)*

фоциты 9; нейтрофилы 86; моноциты 4; тромбоциты 470×10^9; СОЭ 59 мм/ч.

Так как ранее пациенту в течение длительного времени не проводилось рентгенологическое исследование легких, с диагностической целью была выполнена рентгенография грудной клетки в двух проекциях (рис. 140).

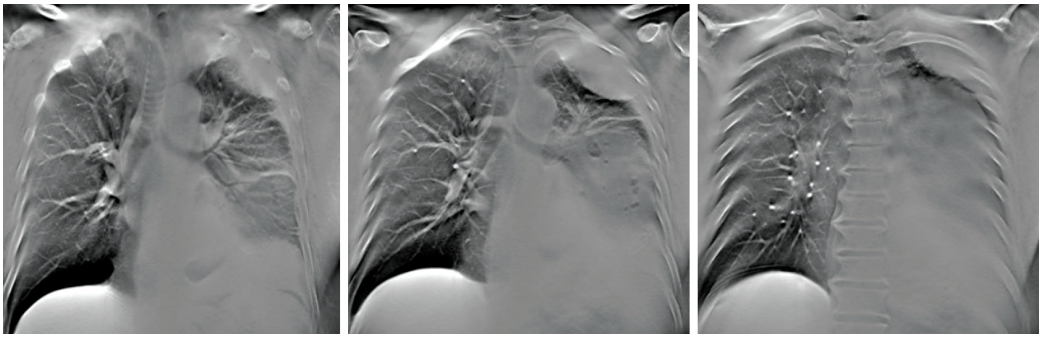


Рис. 140. Цифровая томограмма органов грудной клетки в прямой проекции: апикальный отграниченный плеврит и выпот плевральной полости слева. Очаговых и инфильтративных изменений в обоих легких не отмечено

При томосинтезе был выявлен левосторонний плеврит. Проведена пункция левой плевральной полости, эвакуировано ~ 700 мл жидкости. По данным бактериологического и цитологического анализа — плеврит туберкулезной этиологии.

На контрольной рентгенограмме грудной клетки отмечается значительное уменьшение признаков плеврита слева, сохраняются умеренные плевроко стальные наслоения и деформация контура левого купола диафрагмы. Снижена дифференциация левого бокового синуса.

С учетом выявленных изменений в поясничных позвонках, левой плевральной полости в стационаре была назначена противотуберкулезная терапия: изониазид 300 мг × 2 раза в сутки, рифампицин 450 мг × 1 раз в сутки, пиразинамид 1,5 г × 1 раз в сутки, стрептомицин 1,0 г × 1 раз в сутки, пиридоксин 20 мг × 2 раза в сутки.

На предоперационном этапе было решено выполнить томосинтез поясничного отдела позвоночника в двух проекциях для уточнения объема костных изменений и состояния пораженных тел позвонков на момент операционной подготовки. При томосинтезе отмечалось слабо выраженное нарастание передне-клиновидной деформации тела Th12 позвонка по сравнению с проведенной ранее КТ (рис. 141). Но-

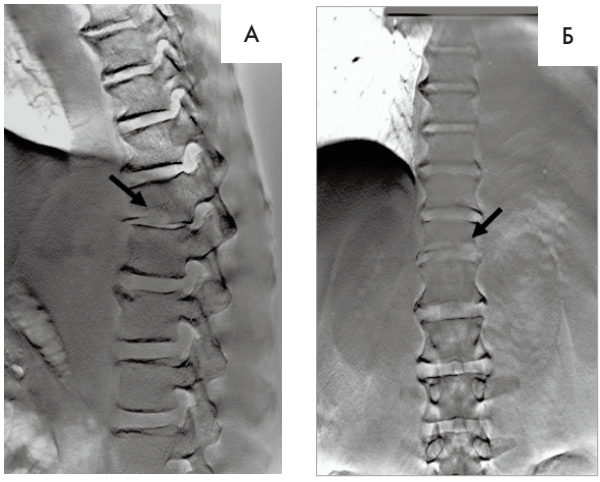


Рис. 141. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника; А — прямая проекция; Б — боковая проекция. Очаговая литическая деструкция смежных замыкательных пластин тел Th12, L1 *(стрелки)*. Контуры деструкции четкие. Передне-клиновидная деформация Th12 на 2/3 его высоты. Тело L1 позвонка по высоте не снижено, без клиновидной деформации. Дуги, поперечные и остистые отростки не вовлечены в деструкцию. Секвестрация, фоновое разрежение костной структуры и зоны склероза в телах пораженных позвонков не определяются. Снижение высоты межпозвонкового диска на уровне Th12–L1. По переднему контуру тел Th12, L1 позвонков выявляется околопозвоночный абсцесс, без обызвествления

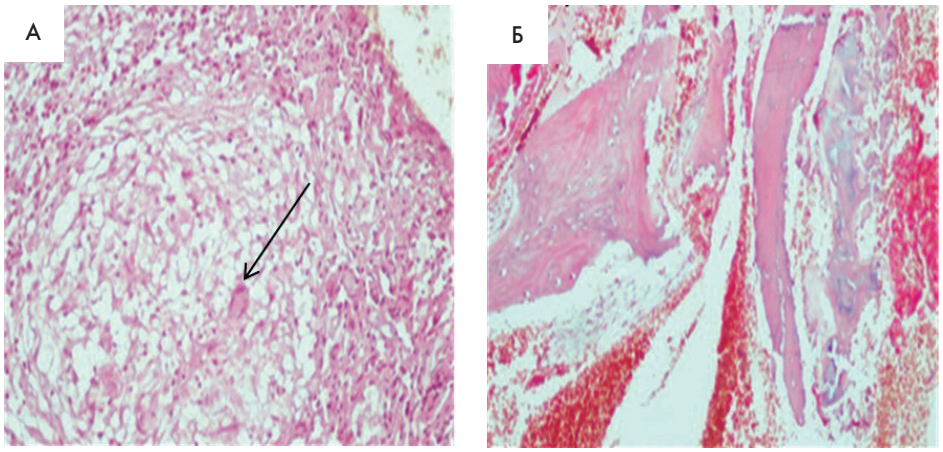


Рис. 142. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение х200: А — соединительная ткань с наличием туберкулезной гранулемы, содержащей гигантскую многоядерную клетку Пирогова — Лангханса (стрелка); Б — фрагменты костной ткани с признаками деструкции, полнокровие

вых очагов деструкции не было выявлено. Паравертебральные ткани слева слабо утолщены. Целесообразность повторного исследования поясничного отдела позвоночника была основана на том, что предыдущее исследование (КТ) было выполнено около трех месяцев назад.

С учетом результатов клинико-лабораторных и лучевых методов диагностики пациенту было проведено оперативное вмешательство в объеме резекции тел Th12, L1 позвонков, передне-бокового спондилодеза позвонков интракорпоральным кейджем SynMesh на опорных кольцах. Кейдж SynMesh заполнен костным аутотрансплантатом (резецированное XII ребро) и остеоматриксом. При хирургическом вмешательстве была проведена абсцессотомия слева.

Морфологическая верификация интраоперационного материала, включающего удаленные костные фрагменты и мягкие ткани, подтверждала диагноз «туберкулезный спондилит» (рис. 142).

После хирургического лечения на контрольной рентгенограмме поясничного отдела позвоночника положение интракорпорального кейджа SynMesh и аутотрансплантата удовлетворительное. На 17-е сутки после операции в клиническом анализе крови: эритроциты $4{,}03\times10^{12}$; гемоглобин 111 г/л; лейкоциты $6{,}7\times10^{9}$; палочкоядерные лейкоциты 1; эозинофилы 0; лимфоциты 36; нейтрофилы 54; моноциты 10; тромбоциты 318×10^{9}; СОЭ 57 мм/ч. Состояние больного улучшилось, боль в позвоночнике не беспокоит. Продолжена противотуберкулезная терапия.

Приведенный пример показывает необходимость комплексной диагностики пациентов с подозрением на туберкулезное поражение костно-суставной системы, т. к. изменения в позвоночнике произошли, вероятно, на фоне специфического процесса: туберкулезного плеврита левого легкого. Таким пациентам необходимо включать в обследование рентгеновское исследование грудной клетки для исключения туберкулезных изменений в легких, лимфатических узлах и плевральных полостях.

ПРИМЕР № 2

Пациентка К., 28 лет. Заболела остро на фоне ОРВИ, отмечала подъем температуры до 39 °С. Через несколько дней появилась умеренная периодическая боль в поясничном отделе позвоночника и правой ноге. Больная за медицинской помощью не обращалась, самостоятельно принимала жаропонижающие препараты и антибиотики широкого спектра действия в течение 10 дней, на фоне приема препаратов температура снизилась до 38 °С. Боль в позвоночнике нарастала, в связи с чем была проведена компьютерная томография (рис. 143).

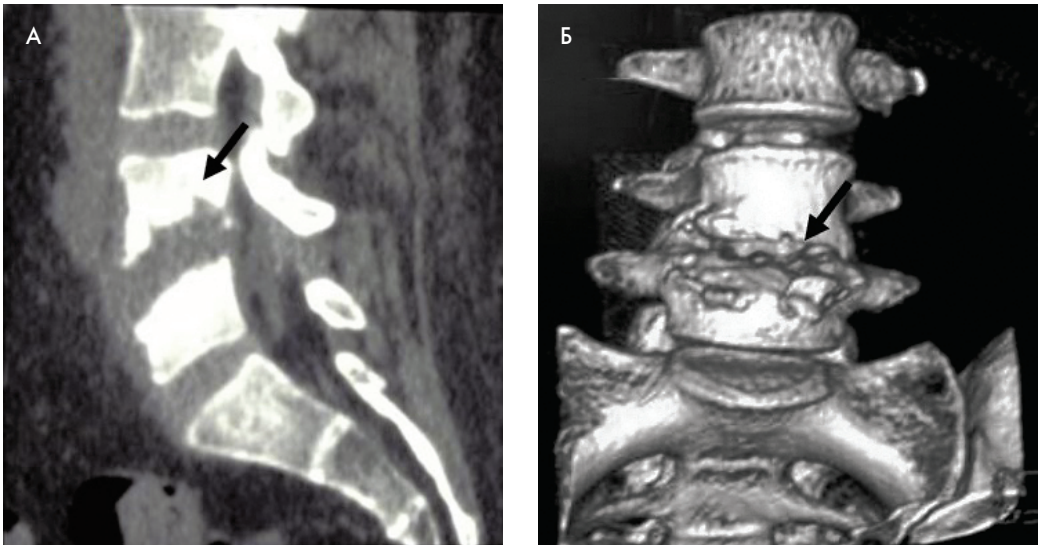


Рис. 143. Компьютерная томография поясничного отдела позвоночника: А — сагиттальная проекция, MIP реконструкция; Б — фронтальная проекция (3D реконструкция). Отмечается субхондральная с четким контуром литическая деструкция и умеренно выраженный склероз тел L4, L5 позвонков *(стрелки)*. Тело L5 позвонка с передне-клиновидной деформацией на 2/3 его высоты. Дуги, поперечные и остистые отростки не вовлечены в деструкцию. Секвестрация, фоновое разрежение костной структуры в телах пораженных позвонков не определяются. Межпозвонковый диск по высоте не снижен. По переднему контуру тел L4, L5 позвонков выявляется неравномерное утолщение паравертебральных тканей с нечеткими контурами, без обызвествления — инфильтрат

При КТ поясничного отдела позвоночника была выявлена субхондральная деструкция контактных замыкательных пластин L4, L5 позвонков с умеренно выраженным склерозом. Высота пораженных позвонков снижена на 2/3. По передней полуокружности тел позвонков отмечается уплотнение паравертебральных тканей без явных признаков наличия абсцесса.

С учетом жалоб, неврологического статуса, данных лучевых методов диагностики больная была госпитализирована. При поступлении состояние средней тяжести, температура тела 38,5 °С. Выраженная боль в поясничной области. Данных о туберкулезном контакте не выявлено. В клиническом анализе крови: эритроциты $4{,}11\times10^{12}$; гемоглобин 111 г/л; лейкоциты $6{,}2\times10^{9}$; палочкоядерные лейкоциты 1 %; эозинофилы 2 %; лимфоциты 39; нейтрофилы 48; моноциты 11; тромбоциты 196×10^{9}; СОЭ 39 мм/ч. У пациентки был выявлен лимфоцитоз и моноцитоз, остальные показатели были в пределах нормы.

С диагностической целью была выполнена рентгенография грудной клетки в двух проекциях. На рентгенограмме органов грудной клетки: легочные поля прозрачные. Корни легких структурны. Тень сердца не расширена. Синусы прослеживаются с обеих сторон.

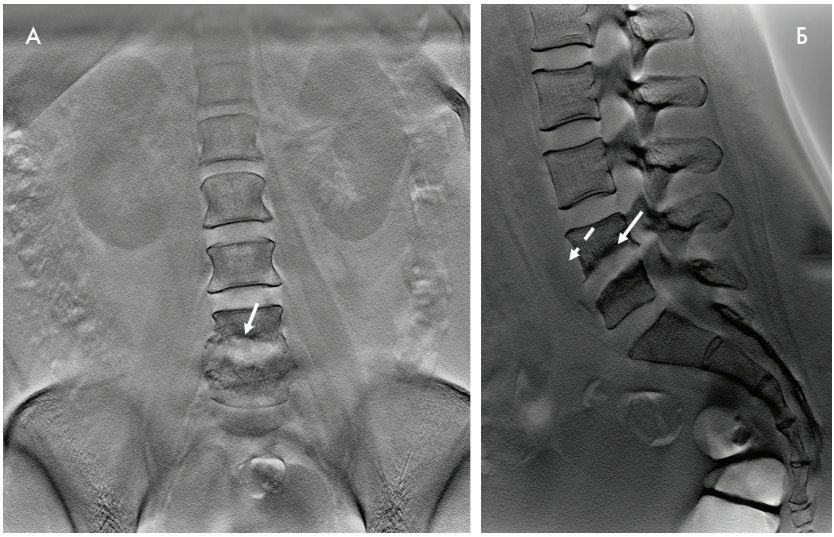


Рис. 144. Цифровая томограмма поясничного отдела позвоночника: А — прямая проекция; Б — боковая проекция. Субхондральная с четким контуром литическая деструкция и выраженный склероз тел L4, L5 позвонков *(стрелки)*. Тело L5 позвонка с передне-клиновидной деформацией на 2/3 его высоты. Дуги, поперечные и остистые отростки не вовлечены в деструкцию. Межпозвонковый диск в задних отделах незначительно снижен по высоте. По переднему контуру тел L4, L5 позвонков выявляется инфильтрат без обызвествления *(пунктирная стрелка)*

Перед проведением хирургического вмешательства выполнен томосинтез поясничного отдела позвоночника в двух проекциях для уточнения степени выраженности деструктивных изменений L4, L5 позвонков. На серии цифровых томограмм отмечалось сохранение передне-клиновидной деформации пораженных тел L4, L5 позвонков (рис. 144). Околопозвоночная тень расширена, что было принято за паравертебральный абсцесс. Высота межпозвонкового диска умеренно снижена.

С учетом результатов клинико-лабораторных и лучевых методов диагностики пациентке была назначена противовоспалительная терапия (цефтриаксон 2,0 г в/в 1 р/сут., амикацин 1,0 г в/м 1 р/сут., рифампицин 450 мг 1 р/сут. per os) и проведено оперативное вмешательство в объеме: резекция тел L4, L5 позвонков, переднее-боковой спондилодез L4–L5 SynMash с аутотрансплантатом. При оперативном вмешательстве не было подтверждено наличие паравертебрального абсцесса; ткани по передней полуокружности L4, L5 позвонков рубцово уплотнены, утолщены.

Морфологическая верификация интраоперационного материала, включающего удаленные костные фрагменты и мягкие ткани, подтверждала диагноз «остеомиелит позвоночника» (рис. 145).

После оперативного лечения на контрольной рентгенограмме поясничного отдела позвоночника положение интракорпорального кейджа SynMesh и аутотрансплантата удовлетворительное. Состояние больной улучшилось, боль в по-

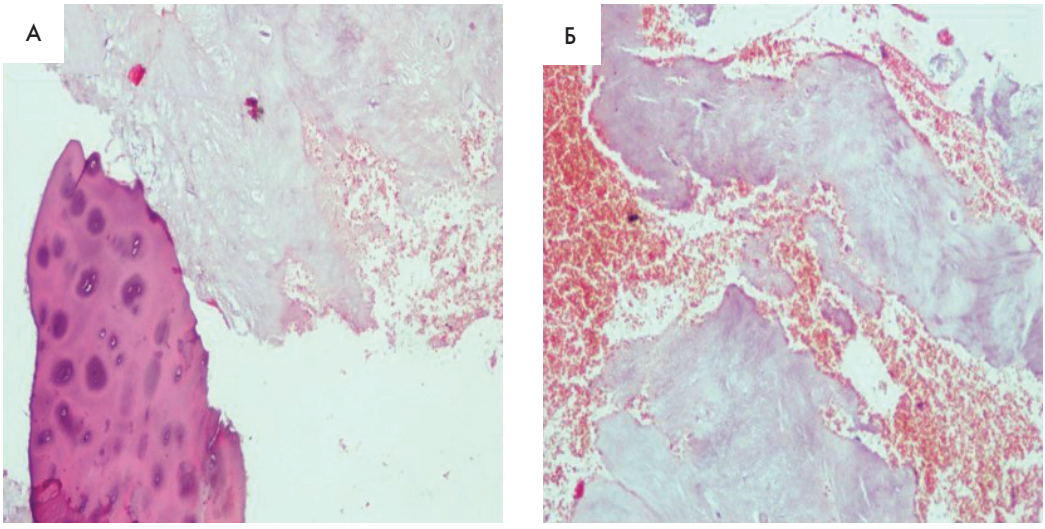


Рис. 145. Окраска гематоксилином и эозином; увеличение х400; А — обширный участок костной ткани с признаками некроза (в верхней части); Б — фрагменты некротизированных костных фрагментов, признаки полнокровия

звоночнике не беспокоит. Была продолжена противовоспалительная терапия.

Остеомиелит позвоночника может возникнуть на фоне снижения иммунной защиты организма у пациентов после оперативных вмешательств, вирусных или воспалительных заболеваний, особенно на фоне сахарного диабета. При наличии жалоб на боль в позвоночнике, температуру и общую слабость необходимо проводить лучевые исследования с целью исключения развития спондилита. Раннее выявление воспалительных изменений позвоночного столба позволит предотвратить распространенность процесса на околопозвоночные мягкие ткани и органы или спинной мозг.

5.4. ВЫВОДЫ

Томосинтез значительно улучшает диагностику туберкулезного спондилита, позволяя выявить и оценить глубину деструкции в «сложных» для рентгенологического исследования областях — в телах, дужках и поперечных отростках позвонков.

С широким внедрением в клиническую практику томосинтеза значительно расширились возможности раннего выявления туберкулезного поражения позвоночника, оценки распространенности воспалительного процесса и определения стадии заболевания.

Такие признаки, как объем литической деструкции, степень компрессии тел позвонков, наличие паравертебральных и эпидуральных абсцессов, выраженность сужения просвета позвоночного канала, имеют важное значение для врачей-фтизиатров при планировании терапевтической тактики, оперативного доступа и объема хирургического лечения.

Томосинтез имеет преимущества в выявлении при туберкулезном спондилите:

— деструкции в субокципитальной, шейно-грудной, крестцовой областей;

— слабо выраженной узурации замыкательных пластин позвонков;

— снижения высоты пораженных тел позвонков;

— поражения задних отделов позвоночного столба;

— локализации секвестра;

— снижения высоты межпозвонкового диска.

Томосинтез имеет ограничения в выявлении при туберкулезном спондилите:

— паравертебральных абсцессов, особенно при небольших размерах и локализации в шейной, поясничной областях;

— инфильтрации паравертебральных мышц;

— отека костного мозга;

— эпидуральных абсцессов;

— изменений структуры спинного мозга (ишемия, миеломаляция, отек сирингомиелия);

— компрессии спинного мозга и нервных корешков.

Показания к проведению томосинтеза при туберкулезе позвоночника:

— дообследование, более детальная оценка по сравнению со стандартной рентгенографией или линейной томографией:

- локализации;
- контуров очага деструкции;
- минимальной узурации замыкательных пластин;
- поражения задних отделов позвоночного столба;
- наличия секвестра;
- распространенности;

— альтернативная методика при отсутствии возможности проведения МСКТ;

— диагностика пациентов с большим весом (более 120 кг);

— динамическое наблюдение в процессе химиотерапии, на до- и послеоперационных этапах с более низкой лучевой нагрузкой по сравнению с МСКТ;

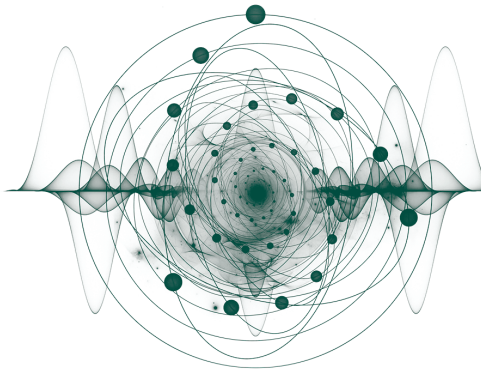
— контроль в ранний послеоперационный период (не требуется предварительная подготовка пациента).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баринов В.С.* Внелегочный туберкулез / В.С. Баринов, О.В. Мальченко. — СпБ: СпецЛит, 2013. — 395 с.
2. *Васильева И.А.* Заболеваемость, смертность и распространенность как показатели бремени туберкулеза в регионах ВОЗ, странах мира и в Российской Федерации. Часть 1. Заболеваемость и распространенность туберкулеза / И.А. Васильева, Е.М. Белиловский, С.Е. Борисов, С.А. Стерликов // Туб. и болезни легких. — 2017. — Т. 95, № 6. — С. 9–21.
3. *Галинская Л.А.* Туберкулез. Профилактика и лечение / Л.А. Галинская. — Ростов н/Д.: Феникс, 2013. — 188 с.
4. *Жарков П.Л.* Рентгенологические критерии затихания и полной ликвидации костно-суставного туберкулезного воспаления / П.Л. Жарков. — М.: Видар-М., 2007. — 104 с.
5. *Мушкин М.А.* Сравнительный рентгенологический анализ остеорепарации после радикально-восстановительных операций, проведенных с использованием различных пластических материалов у детей с деструктивными поражениями костей / М.А. Мушкин, А.А. Першин, Е.С. Кириллова, А.Ю. Мушкин // Гений ортопедии. — 2012. — № 1. — С. 102–105.
6. *Ратобыльский Г.В.* Клинико-лучевая диагностика туберкулеза позвоночника на современном этапе / Г.В. Ратобыльский, В.В. Ховрин, Ю.Р. Камалов, О.В. Батурин, К.Е. Флеров, Г.Н. Можокина // Диагности-

ческая и интервенционная радиология. — 2012. — № 6 (1). — С. 19–27.

7. *Решетнева Е.В.* Туберкулезный спондилит у больных ВИЧ-инфекцией и эффективность его хирургического лечения: автореф. дис.… канд. мед. наук: 14.00.22 / Е.В. Решетнева. — С.-Пб., 2015. — 22 с.
8. *Советова Н.А.* Туберкулезный спондилит у взрослых (клинико-лучевые проявления) / Н.А. Советова, Г.Ю. Васильева, Н.С. Соловьева, В.Ю., Журавлев, И.А. Баулин // Туберкулез и болезни легких. — 2014. — № 2. — С. 10–14.
9. *Труфанов Г.Е.* Лучевая диагностика инфекционных и воспалительных заболеваний позвоночника. / Г.Е. Труфанов, Т.Е. Рамешвили, Н.И. Дергунова, Г.М. Митусова. — СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2011. — С. 34–54.
10. *Цыбульская Ю.А.* Рентгеновские методы обследования в диагностике туберкулезного спондилита и гематогенного остеомиелита позвоночника / Ю.А. Цыбульская, И.В. Шутихина, Л.С. Коков, С.В. Смердин // Медицинская визуализация. — 2015. — № 5. — С. 113–122.
11. *Шутихина И.В.* Возможности совместного использования многосрезовой линейной цифровой рентгеновской томографии и ультразвукового исследования в диагностике туберкулезного поражения позвоночника / И.В. Шутихина, Ю.А. Цыбульская, Л.С. Коков, С.В. Смердин, Н.В. Селюкова, О.В. Батурин // Современные технологии в медицине. — 2016. — № 8 (4). — С. 82–91.
12. *Jain A.K.* Instrumented stabilization in spinal tuberculosis / A.K. Jain, S. Jain // Int Orthop. — 2012. — No36(2). — P. 285–292.
13. *McLain, R.F.* Spinal tuberculosis deserves a place on the radar screen / R. F. McLain, C. Isada //Cleveland Clinic Journal Of Medicine Volume. — 2004. —No71(7). — P.537–549.
14. *Mohammad R.* Rasouli Spinal tuberculosis: diagnosis and management / R. Rasouli Mohammad, Mirkoohi Maryam et al. // Asian Spine J. — 2012. — Vol. 6(4). — P. 294–308.
15. WHO Global tuberculosis report 2018. — 277 p. — [electronic resource]: https://www.who.int/tb/publications/global_report/en/



6 ТОМОСИНТЕЗ В ПЕДИАТРИИ

Первая публикация в РФ, посвященная использованию методики томосинтеза в педиатрии для диагностики ряда заболеваний дыхательной и опорно-двигательной систем, а также почек была опубликована в 2010 году (Боголепова Н.Н., Ростовцев М.В., 2010). С тех пор особого внимания методике не уделялось. Однако активное развитие рентгеновской техники для педиатрии и необходимость получения максимально эффективной диагностической информации при минимальных значениях лучевой нагрузки привели к возрождению интереса к методике.

6.1. ПОКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ТОМОСИНТЕЗА У ДЕТЕЙ

Основными показаниями к применению томосинтеза для обследования пациентов детского возраста следует считать следующие ситуации:

— недостаточная информативность выполненного рентгеновского снимка вследствие суммационного эффекта (низкодозовая альтернатива рентгеноскопии);

— необходимость детальной визуализации выявленных на рентгенограмме патологических изменений (низкодозовая альтернатива МСКТ).

6.2. ОГРАНИЧЕНИЕ МЕТОДИКИ ТОМОСИНТЕЗА У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА

Ввиду того что обследование методикой томосинтеза требует неподвижности в течение 5–12 с, исследование не рекомендовано детям раннего возраста, неспособным произвольно удерживать требуемую позу либо не дышать при исследовании ОГК в течение указанного времени. Недостаточное качество снимков, получаемых у пациентов младшего возраста, обусловлено появлением артефактов от дыхания и движения. Также нежелательно попадание в поле сканирования металлических конструкций и медицинских изделий из рентгеноконтрастных материалов, что бывает сложно избежать при небольших размерах тела пациента.

Как правило, получение томограмм достаточного качества возможно у детей с 3 лет; исключение могут составить ситуации, когда ребенок младше указанного возраста находится в состоянии седации либо малоподвижен ввиду тяжести состояния (рис. 146).

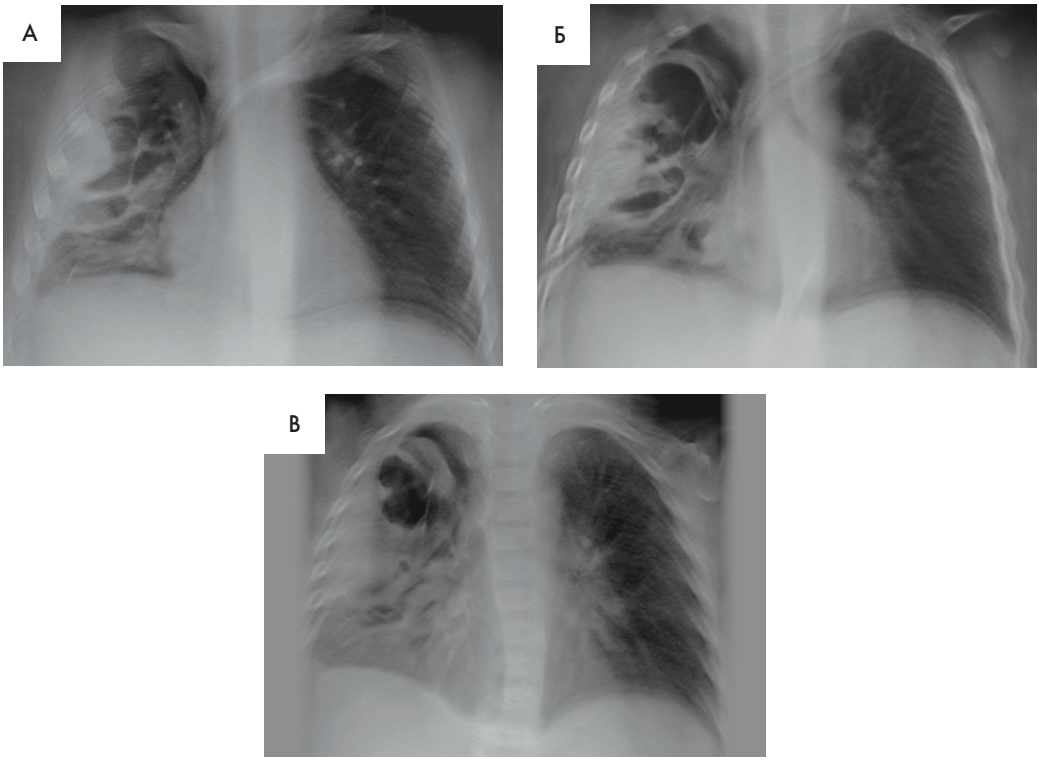


Рис. 146. Серия томограмм органов грудной клетки пациента в возрасте 1 года 7 мес. с правосторонней деструктивной пневмонией. Для получения изображений удовлетворительного качества, позволяющих детально визуализировать патологические очаги, потребовалось участие матери, поддерживавшей голову ребенка одной рукой и фиксировавшей защитный фартук другой

6.2.1. Особенности томосинтеза при обследовании детей

Перед проведением томосинтеза несовершеннолетнему пациенту и его законному представителю необходимо предоставить полную информацию о предстоящем исследовании, ответить на возникшие вопросы и получить письменное информированное добровольное согласие на его проведение (пациенты, достигшие 15-летнего возраста, могут самостоятельно давать согласие либо отказ на выполнение исследования). Далее необходимо принять решение о положении (стоя, лежа), в котором будет выполнен томосинтез, учитывая возраст, индивидуальные физические особенности и тяжесть состояния пациента. Для исследования позвоночника, органов грудной клетки, в том числе с функциональными пробами, следует при возможности отдавать

предпочтение исследованию пациента в положении стоя, а томосинтез костей конечностей целесообразно выполнять в положении лежа.

Из особенностей проведения исследования следует подчеркнуть следующие. С исследуемой области необходимо удалить одежду, снять украшения. У детей младше двух лет шея относительно короткая, поэтому при исследовании органов грудной клетки следует немного запрокинуть голову, чтобы на изображение интересующей области в проекции верхушек легких не наложились контуры нижней челюсти.

Перед приданием пациенту необходимого положения следует обеспечить защиту органов репродуктивной системы от рентгеновского излучения (надеть экранирующий фартук спереди, если предстоит укладка «на спине» или «стоя лицом к излучателю» и сзади, если выбрано положение «спиной к излучателю»). Если ребенок ввиду возраста или тяжести состояния не может самостоятельно поддерживать необходимое положение тела, экранирующий фартук также надевает ассистирующий (удерживающий ребенка в нужном положении) законный представитель.

В ходе инструктажа необходимо убедиться в том, что пациент (и/или ассистирующий при исследовании законный представитель) понимает данные разъяснения. Затем врач-рентгенолог и/или рентгенолаборант производит укладку ребенка. При необходимости обследовать в положении стоя ребенка ниже 120 см целесообразно применять устойчивые подставки с регулируемой высотой; в этом случае ассистирующий при исследовании взрослый фиксирует ребенка во избежание падения.

Учитывая значимые различия в антропометрических параметрах детей разного возраста, необходимым условием получения качественного изображения на серии томограмм, является обязательная корректировка положения рентгеновской трубки и приемника рентгеновского излучения в зависимости от конституциональных особенностей обследуемого. Без таковой получаемые изображения будут «обрезаны», а их диагностическая ценность сведена к минимуму. Непосредственно перед началом исследования пациента предупреждают о необходимости сохранения неподвижности и (при необходимости, а также по возможности с учетом его состояния) задержке дыхания.

Дальнейшие этапы исследования (непосредственное проведение исследования, реконструкция изображений, постпроцессорная обработка и анализ изображений, оформление протокола и выдача заключения и записей исследования) аналогичны таковым при обследовании взрослых.

6.2.3. Параметры сканирования костно-суставной системы у детей

Для томосинтеза костно-суставной системы ребенка определяют ряд параметров сканирования:

1. Фокусное расстояние — расстояние сканирования от рентгеновской трубки до приемника (от 100 до 130 см).

2. Угол отклонения трубки (в зависимости от аппарата).

3. Глубина центрального среза (измеряет лаборант, мм).

4. Высота сканируемого объекта (измеряет лаборант, мм).

5. Интервал между срезами — толщина среза в зависимости от области исследования и характера интересующих клинициста патологических изменений (мм).

6. Режим реконструкции.

Временной промежуток сканирования костной системы у детей и подростков составляет 3–7 секунд в зависимости от заданных параметров. Полученные «сырые данные» подлежат дополнительной обработке на рабочей станции рентгенолаборанта. В этот момент можно уточнить интервал между срезами и глубину центрального среза (в отдельных случаях позволяет улучшить визуализацию интересующего патологического очага), а также определить, сколько и какие именно срезы подлежат дальнейшему изучению и описанию.

Затем преобразованные данные поступают на рабочую станцию рентгенолога для последующего анализа, который включает оценку следующих параметров:

а) качество полученных изображений;

б) наличие или отсутствие артефактов от движения, дыхания, несъемных металлоконструкций и т. д.;

в) присутствие эффекта суммации теней;

г) качество отображения костно-трабекулярной структуры.

6.2.4. Параметры сканирования органов грудной клетки у детей

Для томосинтеза органов грудной клетки ребенка определяют следующие параметры сканирования:

1. Фокусное расстояние — 180 см в положении стоя, 130 см в положении лежа.

2. Угол отклонения трубки (в зависимости от аппарата).

3. Глубина центрального среза (измеряет лаборант, мм).

4. Высота сканируемого объекта (измеряет лаборант, мм).

5. Интервал между срезами — толщина среза в зависимости от области исследования и характера интересующих клинициста патологических изменений (1–2 мм).

6. Режим реконструкции.

Временной промежуток сканирования костной системы у детей и подростков составляет 5–12 секунд в зависимости от заданных параметров.

Перед началом исследования обязательна автоматическая центрация рентгеновской трубки таким образом, чтобы срединный пучок рентгеновского излучения попадал в центр приемника.

После этого выполняют укладку либо установку пациента, стараясь расположить пациента таким образом, чтобы центр приемника пришелся по срединной линии тела пациента, а верхний край детектора располагался на 1 см выше надплечья.

Важно обеспечить отведение лопаток для улучшения качества реконструкций изображений при томосинтезе, где свой негативный вклад могут внести любые плотные объекты в проекции легких. У детей 3–5 лет ассистент фиксирует максимально вытянутые над головой руки с кистями, сведенными тыльными сторонами друг к другу. Детей более старшего возраста просят запрокинуть руки за голову и сцепить руки в замок.

В положение лежа пациента укладывают на стол на спину, руки расслабленно лежат вдоль туловища, взгляд вперед. Срединный пучок рентгеновского излучения также направлен в центр приемника по срединной линии тела больного в область средней трети тела грудины, необходимо дополнительное диафрагмирование. Исследование проводят после глубокого вдоха, по возможности — во время задержки дыхания.

6.2.5. Рентгеноанатомические особенности костно-суставной системы у детей

Скелет человека развивается согласно закону трансформации. Внутренняя архитектоника костей изменяется под влиянием функциональных нагрузок. Дети до 12 месяцев не имеют дифференцированной костной структуры, так как функциональная нагрузка на костно-суставной аппарат незначительна.

В 12–24 месяца происходит формирование функциональных структур костной ткани, рентгенологически отображающихся расположением костных балок по ходу силовых линий. У ребенка 1–2 лет дифференцируется суставной хрящ, а также отмечается отграничение физарной пластины от хрящевой части эпифиза.

По данным Лагуновой И.Г., наиболее активно процесс перестройки костной ткани происходит в возрасте 3–4 и 12–14 лет. В этот период происходит замещение хрящевых структур костной тканью (кроме суставных поверхностей).

Костно-суставная система достигает полной дифференцировки к 18–20 годам, исключая процесс оссификации медиальных поверхностей лобковых костей. Показателями энхондрального костеобразования является синостозирование метаэпифизарных и апофизарных ростковых зон.

Из всех компонентов опорно-двигательного аппарата естественной рентгеновской контрастностью обладает только костная ткань. Хрящевая ткань «проницаема» для рентгеновских лучей. Вследствие данного факта на рентгенограммах костей и суставов детей и подростков не получает отображение ряд анатомических структур. На первом году жизни к таким объектам относятся эпифизы трубчатых костей, кости запястья и предплюсны, в более старшем возрасте — апофизы и бугристо-

сти костей. Кости отличаются при этом меньшими размерами и особой анатомической формой. Ростковые зоны имеют хрящевое строение, в силу чего эпифизы и метафизы трубчатых костей после появления ядер окостенения эпифизов, кости таза, тела позвонков и их дуги представляются на рентгенограмме разъединенными.

6.2.6. Рентгеноанатомические особенности органов грудной клетки у детей и подростков

Грудная клетка у детей раннего возраста относительно короткая, ход ребер почти горизонтальный, а их передние концы далеко отстоят от грудины. Ключицы расположены высоко и косо, вследствие чего прикрывают верхушки легких и препятствуют их детальному осмотру при анализе рентгенограммы в прямой проекции. В то же время при выполнении томосинтеза подобных ограничений визуализации в срезах, прошедших глубже залегания ключиц, не происходит.

А



Тень верхнего отдела средостения у детей от 3 до 18 лет заметно шире, чем у взрослых пациентов, из-за контура хорошо развитой вилочковой железы. В отдельных случаях при выраженной гиперплазии тимуса на рентгенограммах в прямой проекции вследствие суммационного эффекта наложения теней сложно провести дифференциальную диагностику между тимомегалией и другими причинами повышения рентгенографической плотности тени средостения, скрывающей за собой головки корней легких. При анализе серии томограмм в ходе дифференцированного изучения изображений на глубине, превышающей толщину тимуса и грудины, подобных сложностей не возникает.

На фоне срединной тени у детей раннего возраста при томосинтезе хорошо видны контуры трахеи (по срединной линии) и главных бронхов; бифуркация обычно проецируется на нижний край III грудного позвонка.

Бронхи визуализируются в виде полос просветления с ровными контурами и прослеживаются вплоть до субсегментарного уровня. Кольца трахеи и крупных бронхов могут быть видны при их обызвествлении, при попадании в срез бронхов в ортогональном сечении видны кольцевидные просветления с четкими контурами (рис. 147). Благодаря хорошей визуализации бронхиального дерева на серии томограмм метод может быть полезен в дифференциальной диагностике при подозрении на аспирацию ребенком инородного тела.

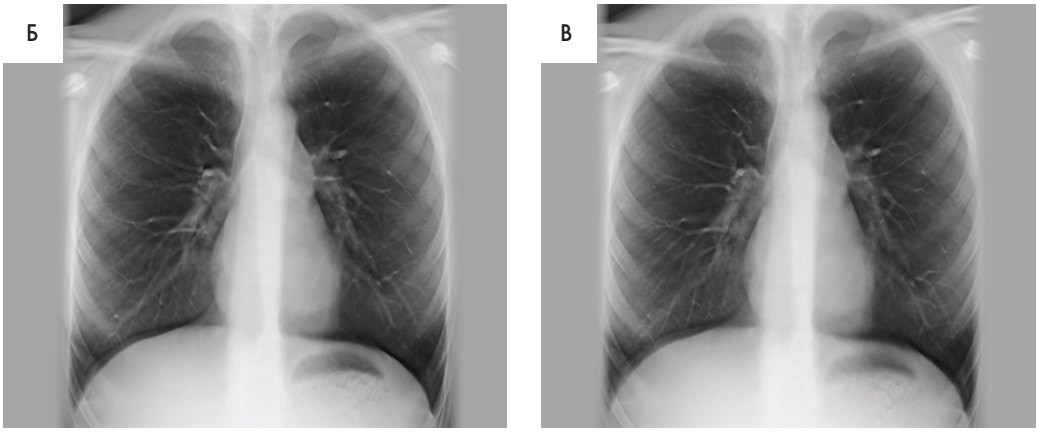


Рис. 147. Цифровые томограммы органов грудной клетки пациентки П., 12 лет, во фронтальной плоскости. Определяются очаговые тени с четкими ровными контурами, соответствующие ортогональным сечениям сосудов и поперечным сечениям субсегментарных бронхов

В отличие от взрослых, у которых корень левого легкого располагается на одно ребро выше корня правого легкого, у детей раннего возраста оба корня расположены на одной высоте и довольно хорошо визуализируются методикой томосинтеза.

Для детей дошкольного возраста в норме типичен весьма бедный легочный рисунок. Учитывая этот факт, следует тщательно изучать периферические отделы легочных полей для своевременной диагностики пневмоторакса, эмфизематозных изменений и т. д.

Диафрагма на серии томограмм отчетливо определяется лишь в наивысшем положении в виде высокоинтенсивного куполообразного контура (рис. 148 а). На томографических срезах (относительно наивысшего положения) купол диафрагмы кажется размытым и формирует дополнительный нечеткий контур. Это связано с неполным вращением излучателя и приемника вокруг тела пациента. У детей раннего возраста грудобрюшная преграда располагается на уровне V, у детей дошкольного возраста — VI ребра, ее правый и левый куполы в норме располагаются на одном уровне. Важно оценивать высоту ее стояния, целостность контуров и положение тени средостения для исключения диафрагмальных грыж.



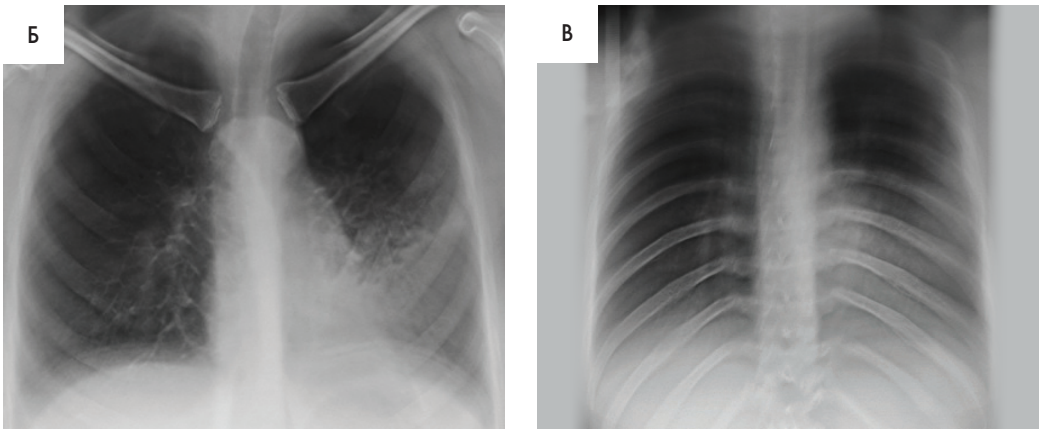
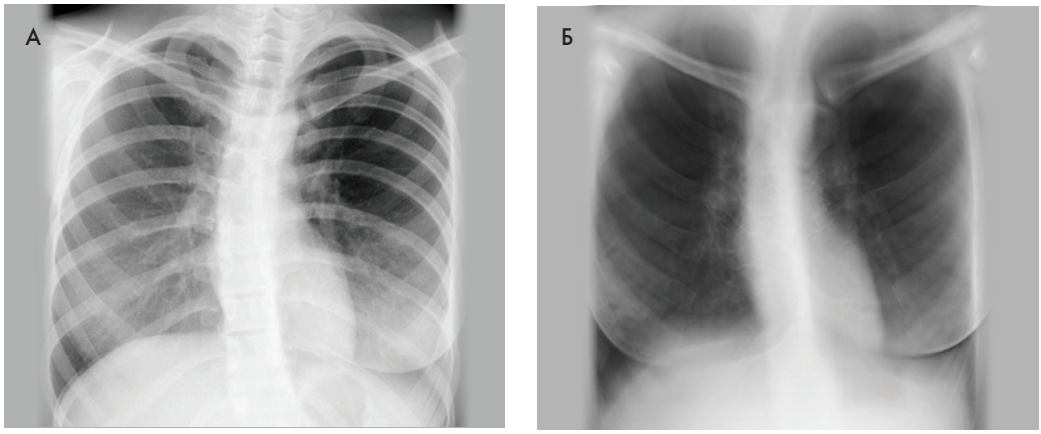


Рис. 148. На цифровых томограммах органов грудной клетки у подростка 12 лет во фронтальной плоскости виден четкий контур диафрагмы на том уровне, где она занимает наивысшее положение (А). Отмечается дополнительный контур (Б) и размытость (В) куполов диафрагмы на соседних срезах

Тени грудино-ключично-сосцевидных, лестничных, больших и малых грудных мышц, а также МЖ и сосков понижают прозрачность легочных полей на стандартных рентгенограммах в прямой проекции и могут имитировать патологический процесс. В то же время благодаря отсутствию суммационного эффекта наложения теней эти анатомические образования практически не оказывают влияния на оценку характеристик органов средостения и легочной ткани при томосинтезе. Учитывая значимую вариабельность анатомических характеристик МЖ (величина, расположение и рентгенологическая плотность), анализ серии томограмм обеспечивает убедительное преимущество при обследовании пациенток подросткового возраста (рис. 149).



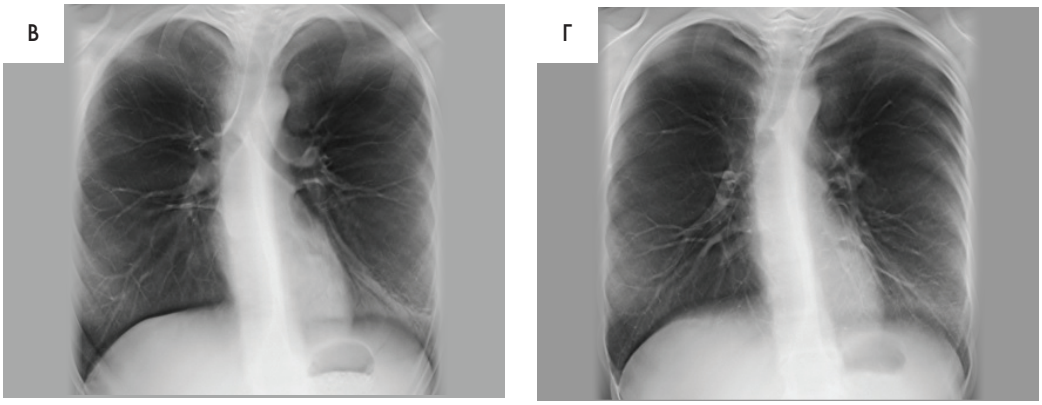


Рис. 149. На фоне усиления легочного рисунка в нижних долях явления левосторонней нижнедолевой пневмонии на рентгенограмме (А) оказались «замаскированы» наложением тени МЖ. Изучение серии томограмм (Б, В, Г) позволило детализировать патологические изменения в нижней доле левого легкого, после чего диагноз «острый бронхит» изменен на «левосторонняя нижнедолевая пневмония»

6.2.7. Возможности томосинтеза в диагностике заболеваний органов грудной клетки у детей и подростков

Применение томосинтеза для обследования органов грудной клетки у детей и подростков позволяет диагностировать такие патологические изменения, как, например, диафрагмальные грыжи, ателектазы и выраженные эмфизематозные изменения (рис. 150, 151).

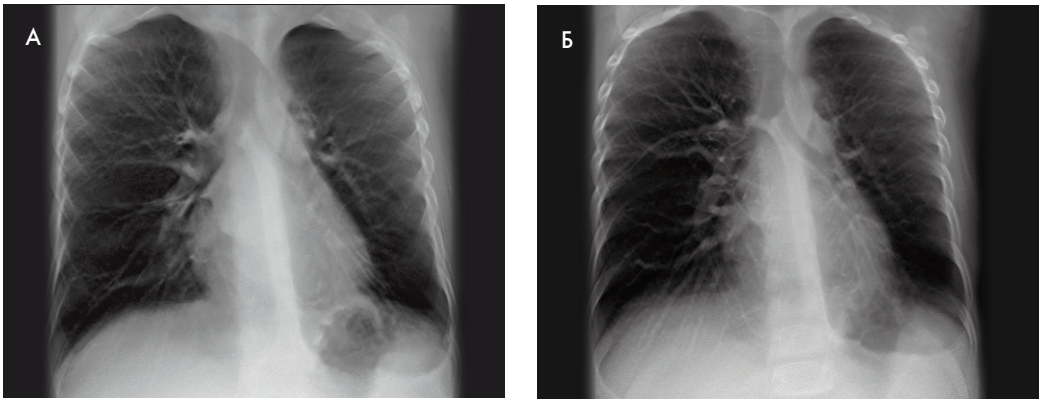




Рис. 150. Пациент Ж., 6 лет, с врожденной эмфиземой. На серии томограмм определяется асимметричное увеличение правого легкого в объеме и смещение верхней доли правого легкого влево

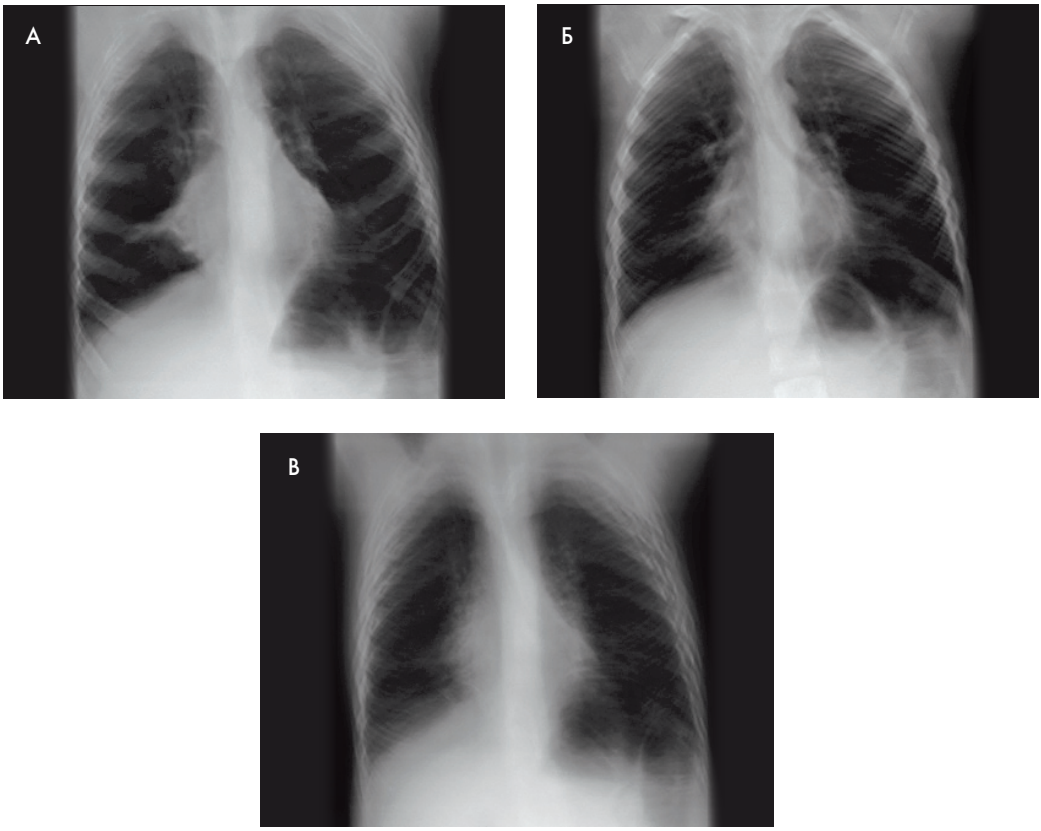


Рис. 151. На серии цифровых томограмм пациентки трех лет выявлен ателектаз средней доли правого легкого (А, Б, В)

Устранение суммационного эффекта наложения теней позволяет обследовать методикой томосинтеза пациентов с тимомегалией (рис. 152).

При обследовании органов грудной клетки методика томосинтеза имеет наибольшее клиническое значение в диагностике воспалительных (рис. 153) и деструктивных (рис. 154) изменений в ткани легких, характерных в том числе для течения острой пневмонии и не всегда определяемых при рентгенографии. На серии цифровых томограмм, как правило, удается более детально определить контуры и размеры патологических очагов (рис. 155).

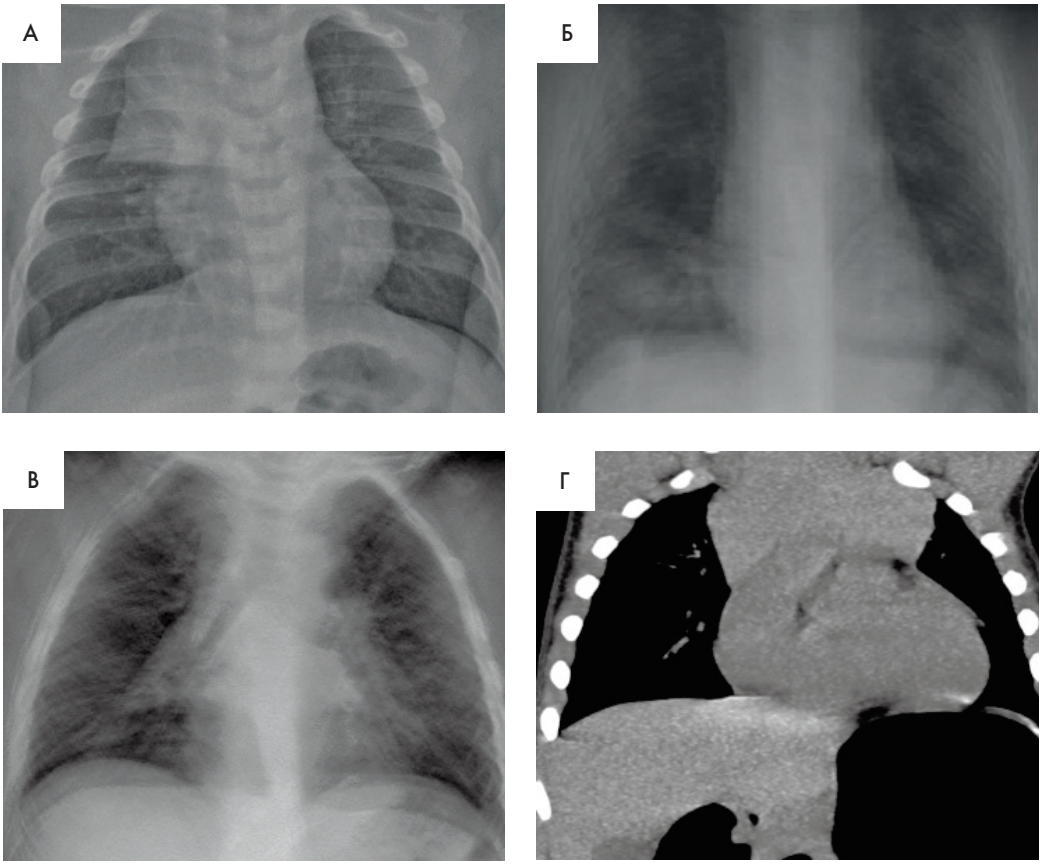


Рис. 152. Пациент Ч., 3 лет. На рентгенограмме определяется расширение верхнего средостения (А). На цифровых томограммах образование локализовалось в верхнем переднем средостении (Б, В). Была заподозрена тимомегалия, которая подтверждена при МСКТ (Г)

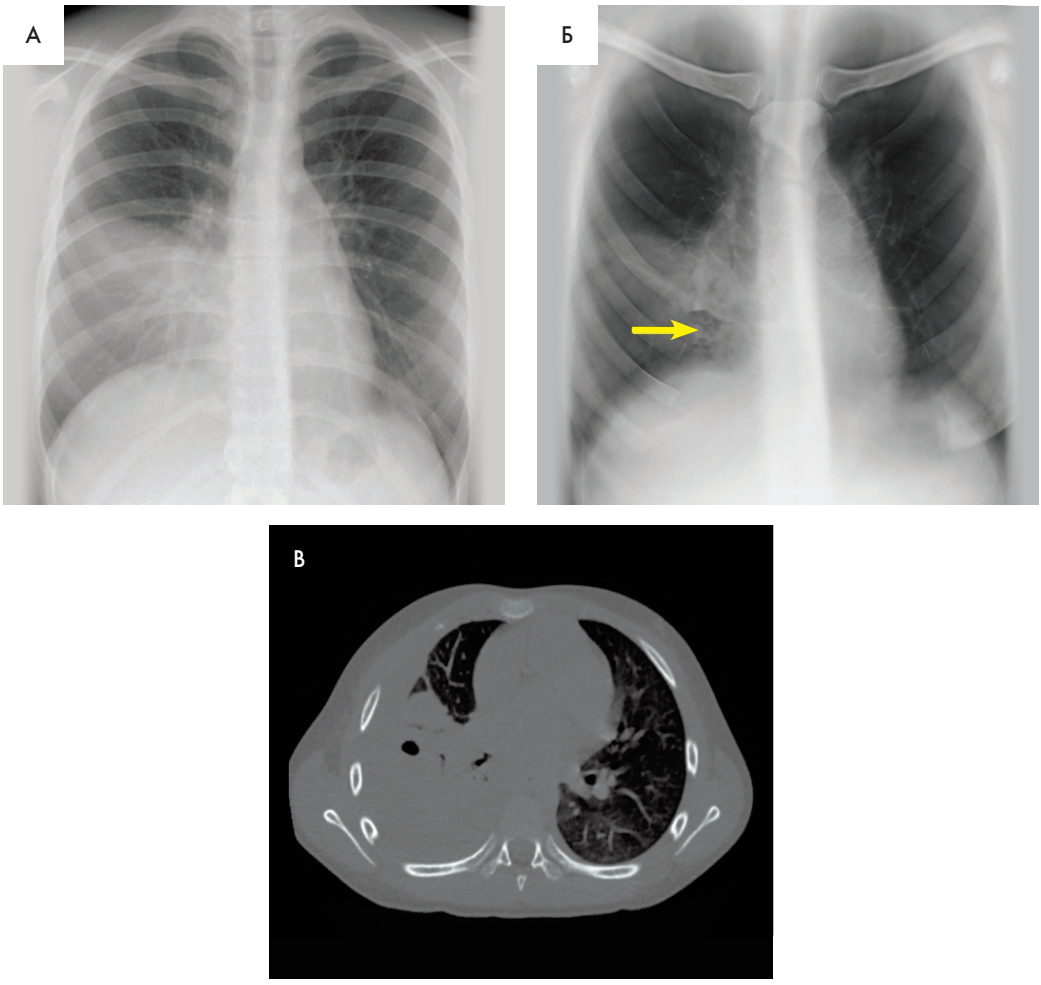


Рис. 153. Пациентка Г., 16 лет. На рентгенограмме органов грудной клетки в прямой проекции (А) отмечается интенсивный участок затемнения в средних и нижних отделах правого легочного поля. Дополнительно на цифровой томограмме отмечаются очаги деструкции в средней (желтая стрелка) и нижней долях, что подтвердилось при выполнении МСКТ (В)

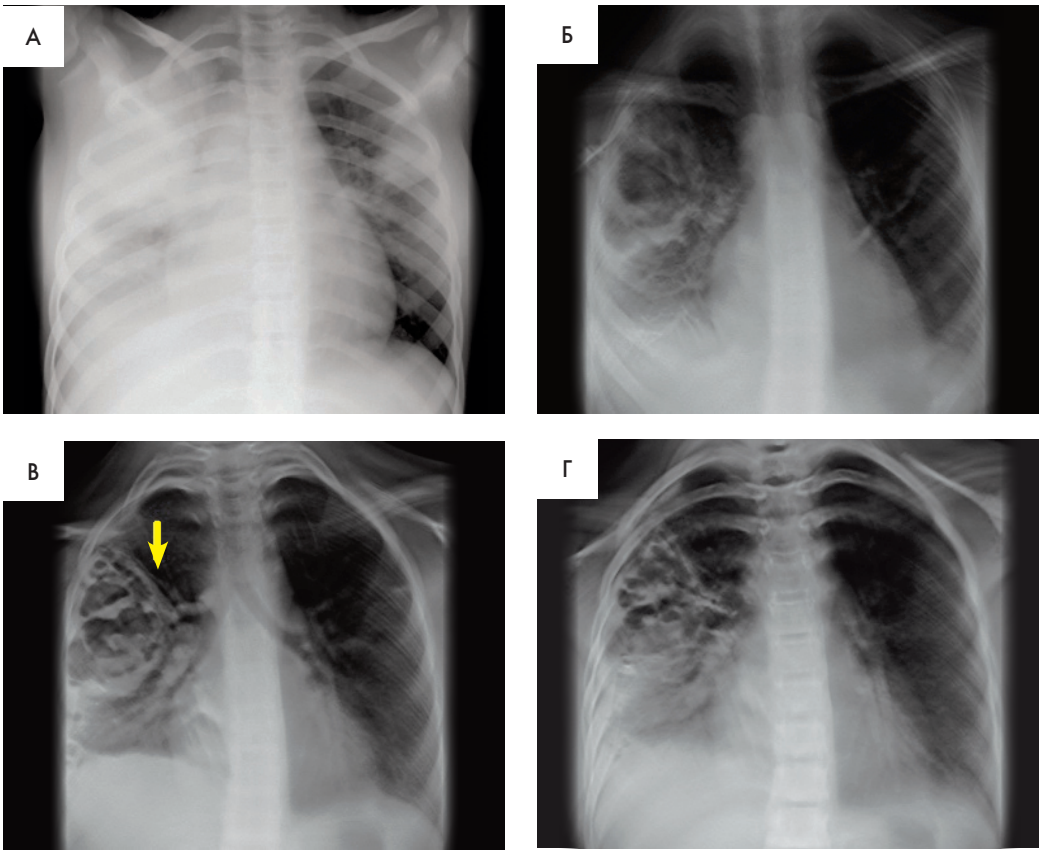
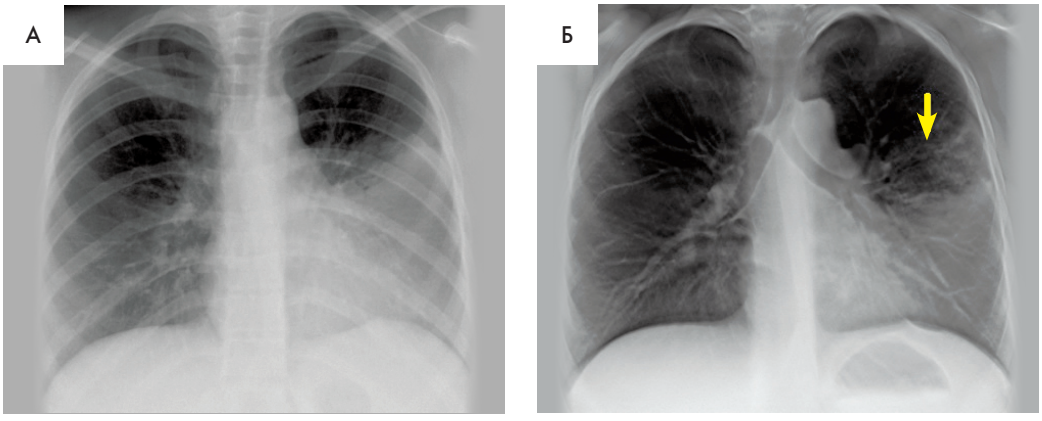


Рис. 154. Пациентка Г., 13 лет. При рентгенографии (А) определяется субтотальное затемнение правого легкого, при томосинтезе (Б, В, Г) определяется крупный овоидный патологический очаг с зонами деструкции *(желтая стрелка)* в средней доле правого легкого на фоне течения правосторонней средне- и нижнедолевой пневмонии



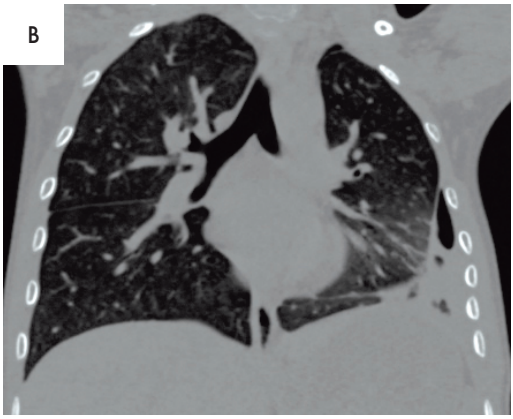


Рис. 155. Пациентка К., 16 лет. По результатам рентгенографии диагностирована верхнедолевая пневмония слева (А). По результатам томосинтеза (Б) зона распространения инфильтративных изменений определяется также в нижней доле левого легкого *(желтая стрелка)*; подозрение на формирование деструктивных очагов в 8-м сегменте подтверждено на МСКТ (В)

6.3. ВОЗМОЖНОСТИ ТОМОСИНТЕЗА В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ КОСТНО-СУСТАВНОЙ СИСТЕМЫ

6.3.1. Возможности томосинтеза при исследовании позвоночника

Наибольшую эффективность методика томосинтеза показала в диагностике патологии шейного отдела позвоночника, а именно соотношения С1–С2. Стандартная рентгенография в данном случае включает в себя ряд проекций и функциональных проб, что серьезно затрудняет проведение исследования у детей раннего возраста. Однако именно у данной группы пациентов наиболее распространен ротационный подвывих атлантоаксиального сегмента шейного отдела позвоночника. В большинстве случаев интерпретация результатов стандартной рентгенографии затруднена в связи с неправильной укладкой и невозможностью фиксации пациента с открытым ртом (рис. 156).

Отсутствие эффекта суммации теней и артефактов при томосинтезе способствует выявлению нарушений в строении С1–С2 без укладки с открытым ртом пациента (рис. 157, 158).

При использовании методики томосинтеза появляется возможность оценки структурных и статических изменений на всем протяжении позвоночника. Удается дополнительно визуализировать мельчайшие узурации замыкательных пластин и начальные проявления изменений позвонков (рис. 159).

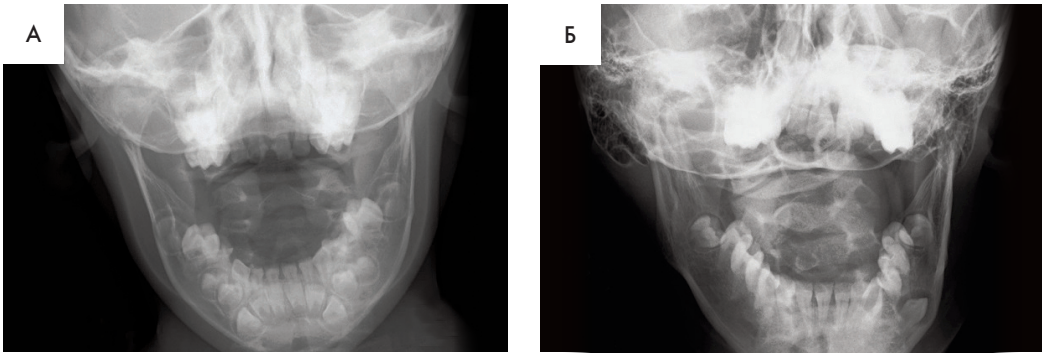


Рис. 156. Рентгенограммы шейного отдела позвоночника. Пациент У., 4 лет. Стандартная укладка пациента через открытый рот. Оценка соотношения С1–С2 невозможна в силу того, что ребенок не смог фиксировать необходимое положение

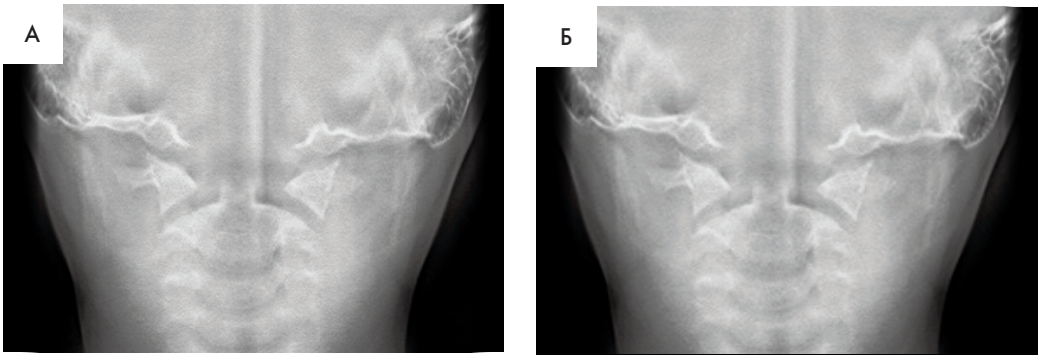


Рис. 157. Цифровые томограммы С1–С2 отдела позвоночника того же пациента: визуализируется ротационный подвывих С1–С2. Асимметрия горизонтальной и вертикальной рентгеновских щелей атланто-аксиального сустава. Раздвоенный зубовидный отросток С2 с ядром окостенения (возрастная норма)

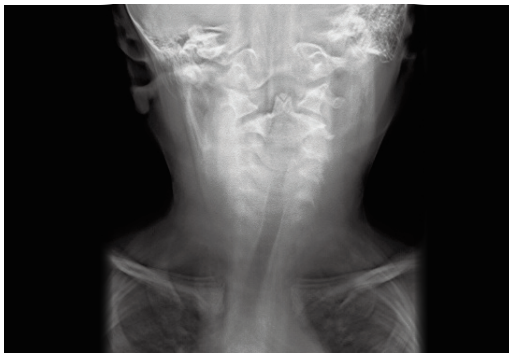


Рис. 158. Томосинтез шейного отдела позвоночника пациентки М., 6 лет. Раздвоенный зубовидный отросток С2 с ядром окостенения

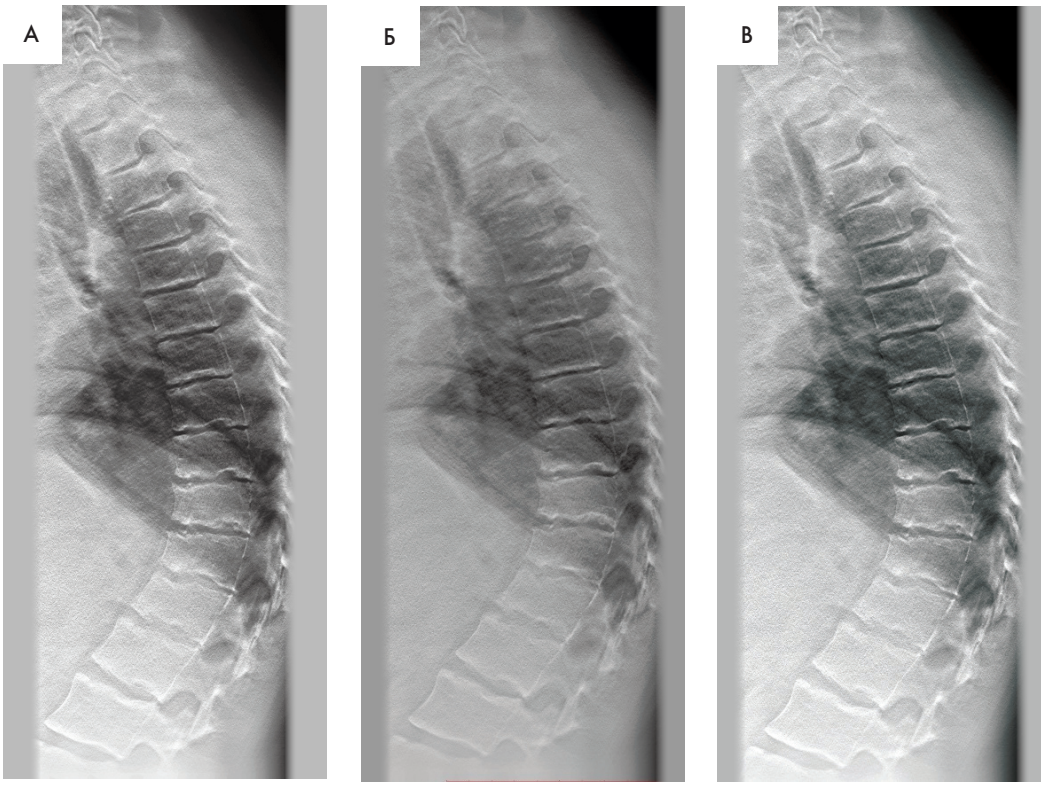


Рис. 159. Серия цифровых томограмм грудного отдела позвоночника в боковой проекции. Определяется нарушение статики в виде усиления физиологического грудного кифоза. Признаки остеохондропатии: отчетливо визуализируются узурация и склерозирование замыкательных пластин на всем протяжении позвоночника, минимальные краевые костные заострения, неравномерное снижение высоты межпозвонковых дисков

Сопоставление выявления аномалий грудного отдела позвоночника при использовании стандартной рентгенографии и методики томосинтеза продемонстрировало высокую информативность последней.

При подозрении на спондилолиз после рентгенографии, как правило, выполняют МСКТ. Однако возможности методики томосинтеза благодаря послойной визуализации анатомической области без суммационных теней дают возможность визуализировать зону спондилолиза в межсуставном участке дуги позвонка и оценить степень смещения позвонка. В конечном итоге лучевая нагрузка оказывается значительно меньше, чем при компьютерной томографии (рис. 160).

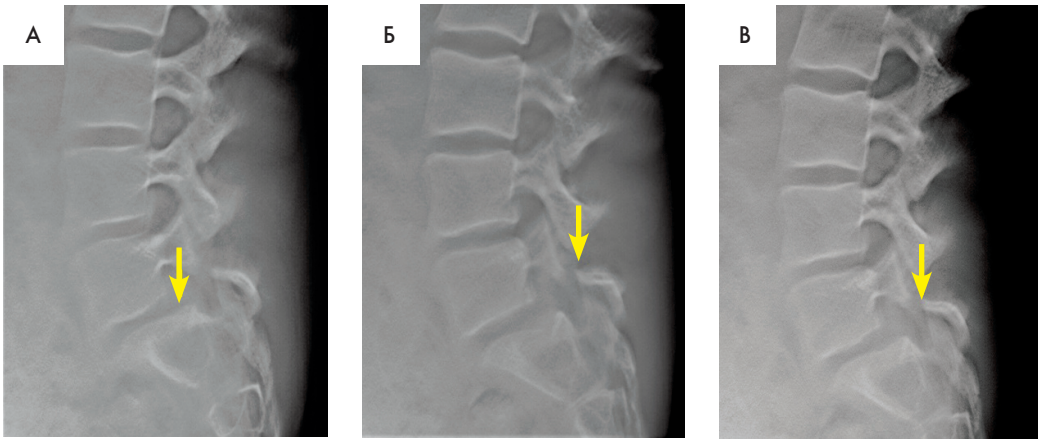


Рис. 160. Пациент Р., 14 лет. Серия томограмм пациента с спондилолизным спондилолистезом. Отмечается субхондральный склероз замыкательных пластинок L5–S1. Характерное переднее смещение клиновидно-деформированного L5 по отношению к S1 на 5 мм (А) *(желтая стрелка)*. Двухсторонний дефект межсуставного участка дужек позвонков L5 (Б, В) *(желтые стрелки)*

6.3.2. Возможности томосинтеза в диагностике заболеваний кисти и стопы

Анатомические особенности дистальных отделов конечностей, в первую очередь незначительный объем подкожно-жировой клетчатки, способствуют детальной визуализации трабекулярной структуры костной ткани и значительно облегчают выявление патологических, в том числе деструктивных, изменений в костях кисти и стопы. Тем не менее оценку цифровых рентгенограмм у пациентов детского возраста наряду с присутствием суммационного эффекта наложения теней значительно осложняет необходимость учета возрастных норм, связанных с различиями в сроках появления ядер окостенения и завершения оссификации костей.

При томосинтезе возможность послойного изучения реконструируемых изображений значительно расширяет потенциал оценки анатомических изменений множества структур, участвующих в формировании стопы и кисти ребенка (рис. 161–163). Ранняя и точная диагностика патологических изменений стопы способна предотвратить инвалидизирующие последствия, например, нарушений опорной функции сегмента.

Стандартную рентгенографию кисти выполняют с применением различных укладок. Основными считают прямую и боковую, однако во многих случаях, особенно при травматических повреждениях, исследование дополняют косой ладонной и косой тыльной проекциями. Такое количество снимков при различных положениях кисти обусловлено

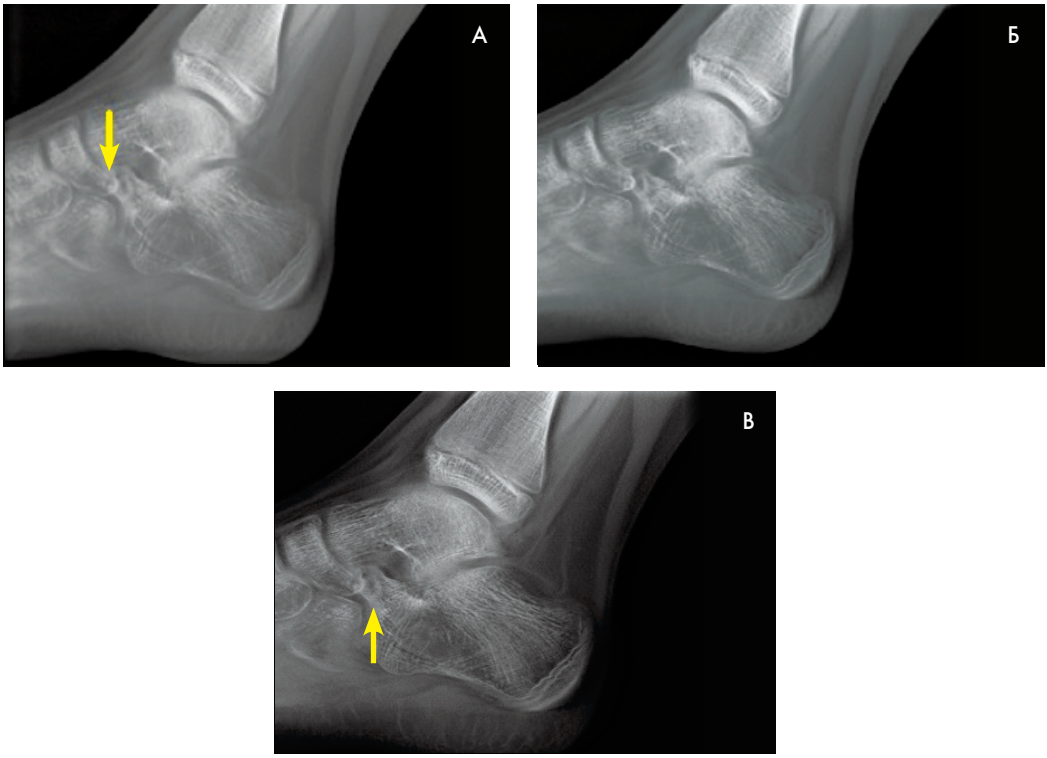


Рис. 161. Томосинтез стопы. Визуализируется тарзальная коалиция: синостоз переднего отростка пяточной и ладьевидной костей (А, Б); передний отросток пяточной кости удлинен по типу «носа муравьеда» (В) *(желтые стрелки)*

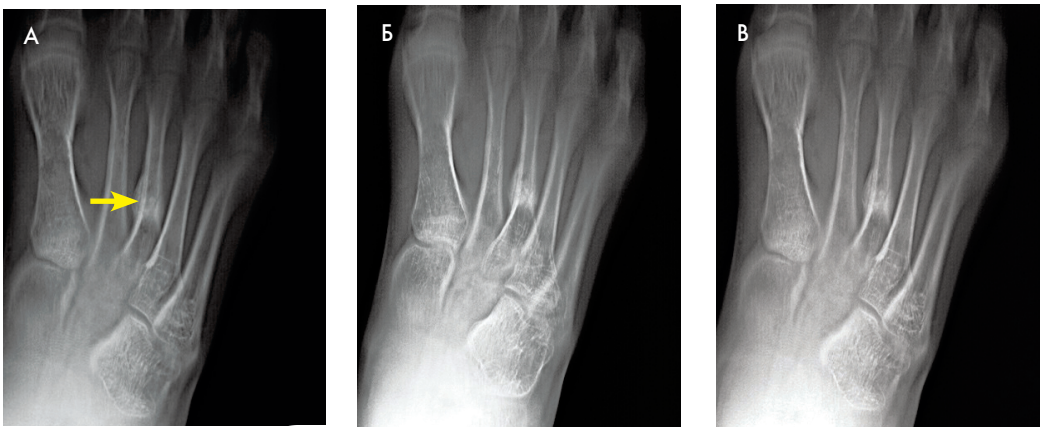


Рис. 162. Цифровые томограммы стопы в прямой проекции при подозрении на остеомиелит III плюсневой кости. Серия цифровых томограмм: выявлена деформация и косая линия перелома III плюсневой кости *(желтая стрелка)*. Отчетливо визуализируется периостальная костная мозоль

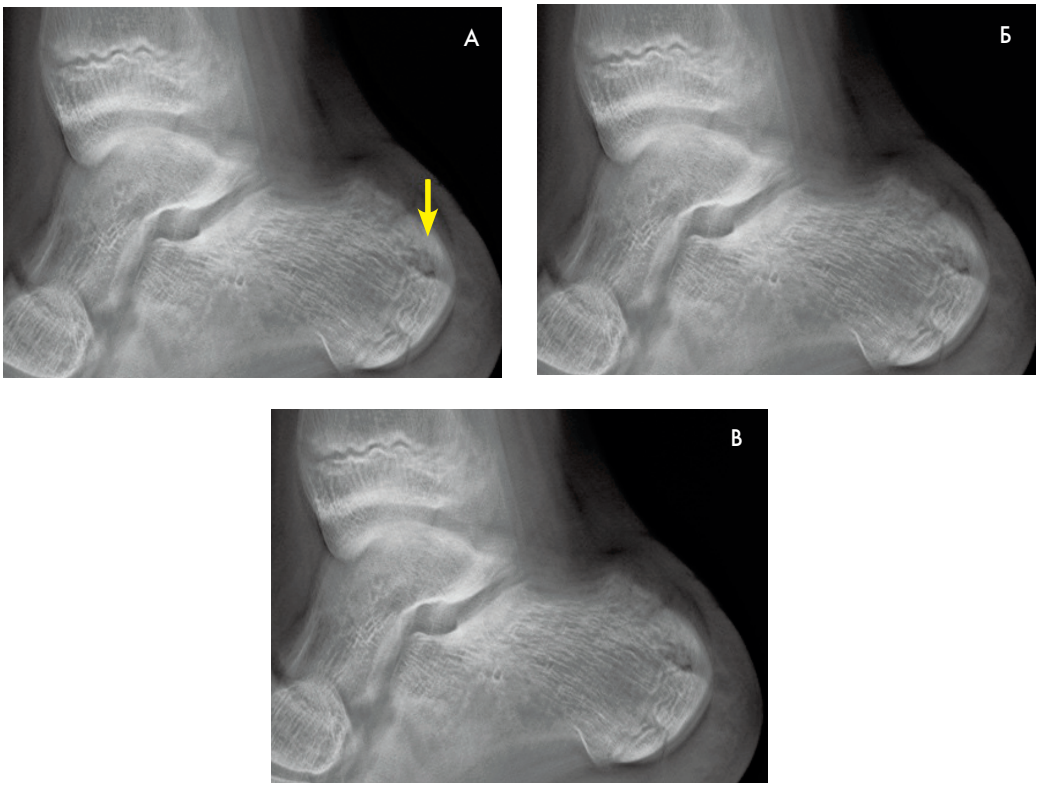


Рис. 163. Цифровые томограммы правой стопы в боковой проекции. Определяется очаг деструкции с нечеткими контурами в пяточной кости у пациента с первично-хроническим остеомиелитом *(желтая стрелка)*

необходимостью минимизации суммационного эффекта наложения теней.

Применение томосинтеза позволяет послойно визуализировать сложные анатомические соотношения структур кисти, изучить ее костно-трабекулярное строение и контуры мелких костей запястья (рис. 164, 165). Данные особенности исследования способствуют ранней диагностике патологических изменений кисти и позволяют избежать значительной лучевой нагрузки при применении МСКТ.

6.3.3. Возможности томосинтеза при выявлении образований костей

В большинстве случаев рентгенологического обследования детей с доброкачественными опухолями и опухолеподобными заболеваниями костей методологически обоснованные стандартные проекции не предоставляют необходимого объема информации о характеристиках патологического очага. Как правило, о локализации процесса можно судить вполне уверенно, однако для получения сведений

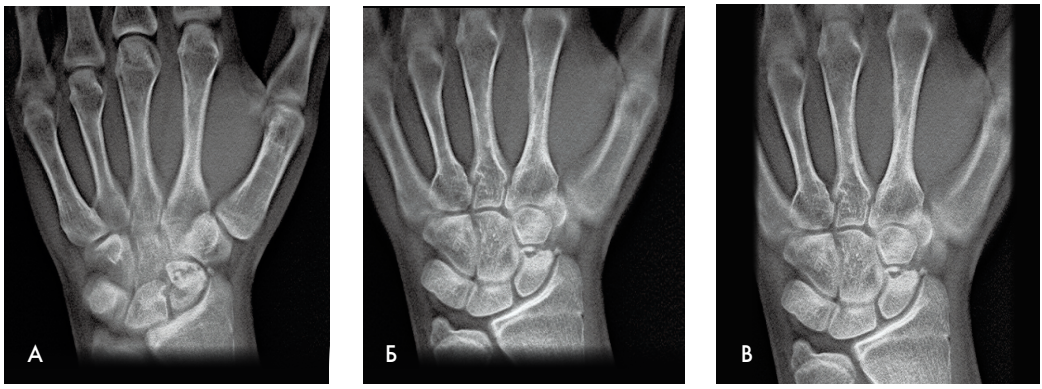


Рис. 164. Цифровые томограммы левой кисти в прямой проекции. Визуализируется поперечная линия перелома ладьевидной кости (А), множественные мелкие костные фрагменты ладьевидной кости (Б, В)

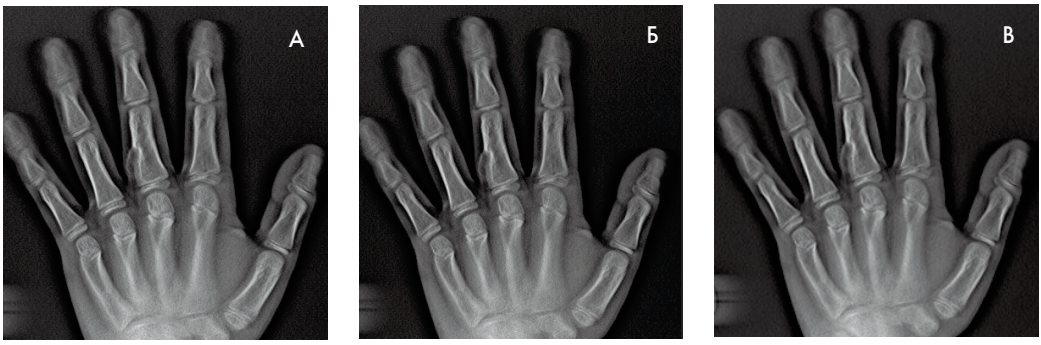


Рис. 165. Цифровые томограммы левой кисти в прямой проекции. Перелом основной фаланги III пальца: определяется ступенькообразная деформация кортикального слоя в средней трети основной фаланги III пальца (А, Б, В)

о его точных размерах, контурах и связи с окружающими тканями ребенка обычно направляют на МСКТ. В то же время методика томосинтеза в ряде случаев позволяет собрать все данные, необходимые для планирования лечения и последующего динамического наблюдения за пациентом (рис. 166–169). Применение томосинтеза существенно сокращает сроки установления диагноза с минимальной лучевой нагрузкой на пациента.

Таким образом, применение методики томосинтеза в педиатрической практике значительно расширяет возможности рентгеновских исследований, в ряде случаев превосходит цифровую рентгенографию и может являться альтернативой спиральной компьютерной томографии.

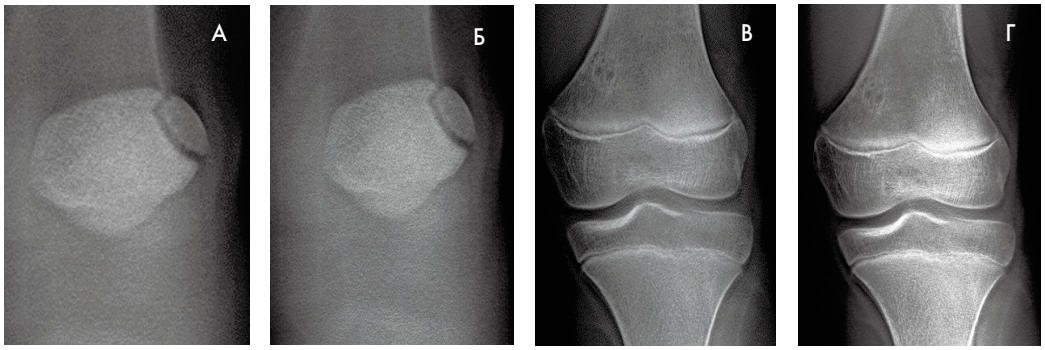


Рис. 166. При томосинтезе у пациента с подозрением на наличие воспалительного очага дистального метафиза бедренной кости выявлено: patella bipartite (А, Б) и неостеогенная фиброма дистального метафиза бедренной кости в стадии репарации (В, Г)

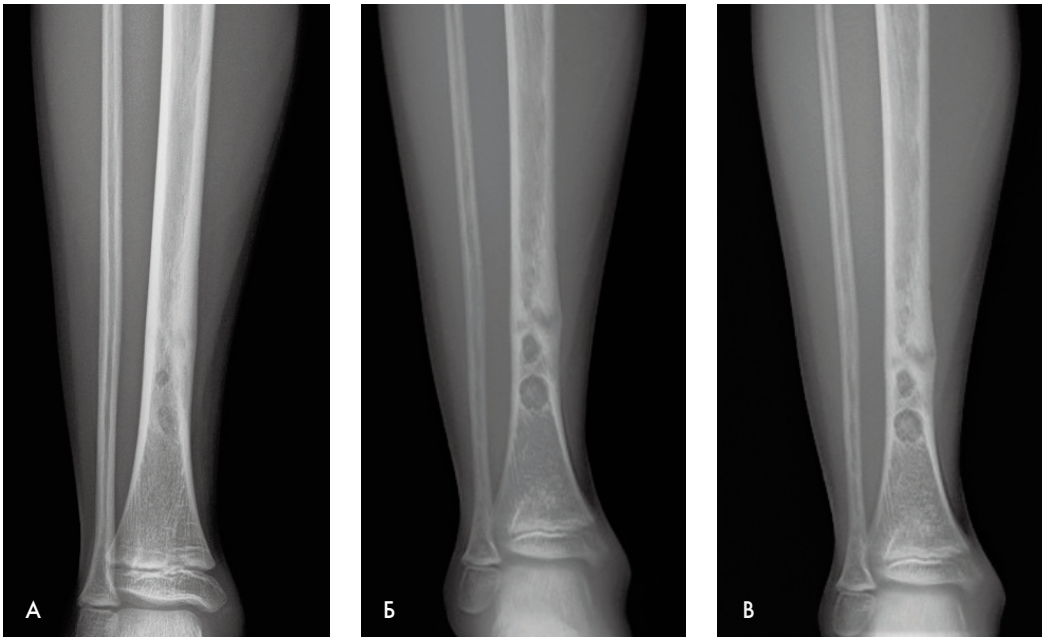


Рис. 167. Рентгенограмма в прямой проекции и томограммы пациента с фиброзной дисплазией. На фоне патологического очага нижней трети большеберцовой кости четко визуализируется поперечная лоозеровская зона (Б, В). Данный симптом не был выявлен при стандартной рентгенографии (А)

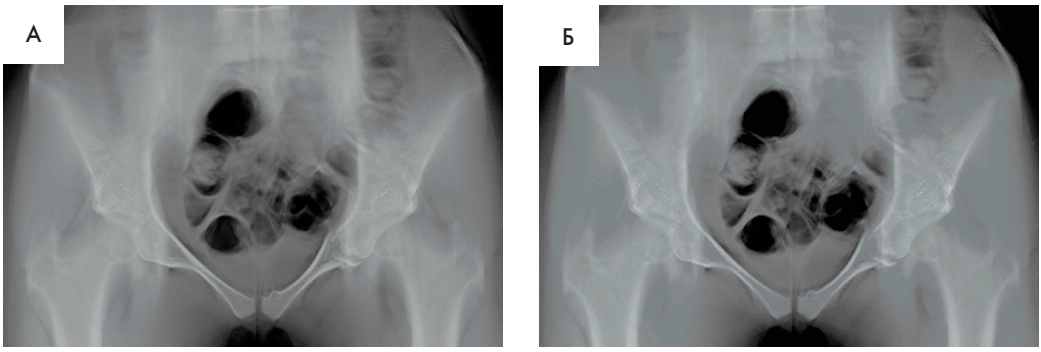


Рис. 168. Цифровые томограммы костей таза: оскольчатый перелом верхней ветви левой лонной кости

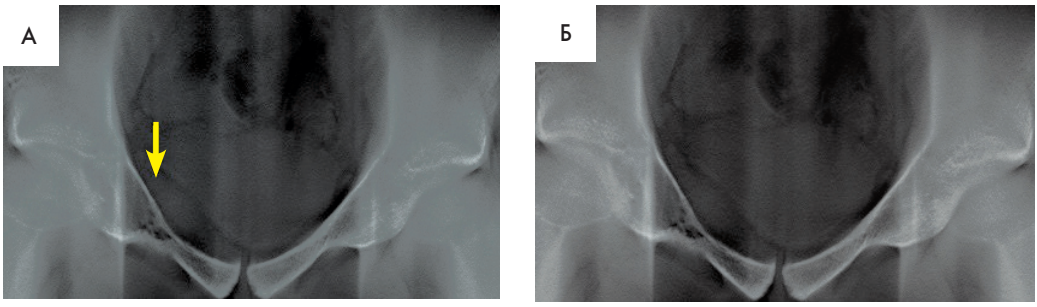


Рис. 169. Цифровые томограммы пациента В., 14,5 лет, с аневризмальной кистой правой лонной кости. Визуализируется очаг литической деструкции с истончением кортикального слоя без периостальной реакции (А, Б) *(желтая стрелка)*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боголепова Н.Н., Ростовцев М.В.* Опыт использования томосинтеза в детском лечебном учреждении // Медицинская визуализация. — 2010. — № 2. — С. 67–72.
2. *Васильев А.Ю., Нечаев В.А., Блинов Н.Н., Садиков П.Н., Новоселова Е.В.* Томосинтез в диагностике заболеваний органов грудной клетки: учебное пособие. — М., 2017. — 35 с.
3. *Боголепова Н.Н., Ростовцев М.В.* Использование томосинтеза в детском лечебном учреждении // Педиатрический вестник Южного Урала. — 2013. — № 2. — С. 49–56.
4. *Лагунова И.Г.* Клинико-рентгенологическая диагностика дисплазий скелета. Монография. — М.: Медицина, 1989. — 256 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе современной литературы, посвященной вопросу применения томосинтеза в медицинской практике, обращает на себя внимание, что более широкому внедрению данной методики препятствует недостаточная разработка практических аспектов его использования.

В настоящей монографии авторский коллектив постарался восполнить данные пробелы, наглядно показав на клинических наблюдениях возможности методики в диагностике заболеваний молочной железы, легких, позвоночника у взрослых и детей.

Авторы определили роль и место данной методики в алгоритме лучевой диагностики различных заболеваний, осветив вопросы семиотики и раскрыв потенциальные возможности данной технологии для динамического наблюдения за пациентами.

В то же время при всех неоспоримых достоинствах томосинтеза очевидно, что с позиции физико-технических характеристик остается потребность в усовершенствовании методики. Это касается разработки новых алгоритмов реконструкции изображения, позволяющих нивелировать артефакты от движений и от металлических конструкций, ускорить время, необходимое для проведения реконструкции полученных изображений, а также снизить дозовую нагрузку для пациентов.

Применение методики томосинтеза в комплексной и дифференциальной диагностике заболеваний значительно расширяет возможности лучевых методов обследования. С использованием томосинтеза снижается количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов обследования пациентов, что ведет к повышению показателя диагностической точности рентгеновского метода.

Томосинтез является дополнительной методикой исследования, позволяющей подтвердить или исключить наличие патологии, а также уточнить характер изменений, а в ряде случаев отказаться от проведения МСКТ. В то же время томосинтез не в состоянии полностью заменить МСКТ, которая является золотым стандартом в исследовании патологии различных органов и систем.

Таким образом, можно констатировать, что томосинтез превосходит цифровую рентгенографию в диагностике патологических изменений различных

органов и систем за счет возможности послойно визуализировать рентгеноконтрастные образования в интересующей анатомической области и выявлять дополнительные семиотические признаки заболеваний легких, молочной железы, позвоночника и костей.

Широкое использование томосинтеза в клинической практике только начинается, но авторы уверены в динамичном развитии этой методики в диагностике многих социально значимых заболеваний, в том числе в онкологии, стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, урологии и педиатрии.

Авторы выражают искреннюю благодарность
компаниям МТЛ, АМИКО и Р-Фарм
за помощь в издании монографии
и надеются на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

А

Абсцесс — гнойное воспаление тканей с образованием отграниченной полости.

Абсцессотомия — вскрытие абсцесса хирургическим путем.

Аваскулярное — некровоснабжаемое.

Алгоритмы реконструкции изображения — в рентгеновской томографии математические методы, позволяющие из набора первичных рентгеновских изображений объекта, полученных под различными углами, восстановить его трехмерное изображение (объемную модель).

Антропометрические параметры — индивидуальные параметры человека.

Артефакт — 1) несвойственное наблюдаемому объекту явление, способное исказить результаты исследования; 2) характерные изменения на полученном рентгеновском изображении, связанные с движениями пациента или наличием у него несъемных рентгеноконтрастных протезов, имплантов и т. д.

Архитектоника — привычная анатомическая структура.

Ателектаз — спадение доли или целого легкого.

Атлант — первый шейный позвонок (С1).

Аутотрансплантат — тканевый трансплантат, берущийся из одной части тела и пересаживаемый в другую часть тела у одного и того же человека.

Б

Бифуркация трахеи — место разделения органа на главные бронхи, у взрослых располагается на уровне верхнего края V грудного позвонка.

В

Верификация — морфологическое подтверждение.

Визуализация — представление информации в виде оптического изображения.

Г

Гиподенсность — пониженная плотность.

Гиперденсность — повышенная плотность.

Гипомобильность — сниженная подвижность.

Гипермобильность — повышенная подвижность.

Гранулема — отграниченный очаг пролиферативного, пролиферативно-экссу-

дативного или пролиферативно-альтеративного воспаления; наблюдается главным образом при инфекционных заболеваниях (напр., при туберкулезе).

Грыжа диафрагмальная — смещение в грудную полость органов брюшной полости через отверстие диафрагмы.

Д

Декомпрессия — уменьшение сжатия/сдавления.

Деструкция — нарушение целостности кости, разрушение костной ткани с замещением ее какими-либо патологическими образованиями.

Деформация:
- статическая — анатомические изменения, развивающиеся при несоответствии нагрузок на опорно-двигательный аппарат его возможностям (например, при резком и значительном увеличении массы тела);
- клиновидная — асимметричность позвонка, обусловленная недоразвитием половины тела или дуги позвонка вследствие генетических, внутриутробных либо внешних факторов;
- варусная — отклонение стопы по вертикальной оси относительно голени и тазобедренного сустава кнутри.

Диафрагмирование — ограничение сечения рабочего пучка ионизирующего излучения с помощью диафрагм, изготовленных из материала, поглощающего это излучение.

Дисплазия — неправильное развитие тканей, органов или частей тела.

Дистрофия — состояние, возникающее вследствие расстройства клеточного метаболизма, накопления нетипичных для ткани метаболитов и сопровождаемое функциональными и анатомическими нарушениями.

Дренирующий бронх — бронх, подходящий к полости распада, через который происходит отток ее содержимого.

Дуктэктазия — расширение протоков молочной железы.

И

Изоденсная структура — плотность образования идентична плотности окружающей ткани.

Инволютивные изменения — возрастные изменения.

Интервальный рак — рак, возникший между скрининговыми обследованиями.

Интерпретация — разъяснение, истолкование чего-либо.

Интранодуллярный кровоток — проникновение сосудов в толщу патологического очага.

Ишемия — уменьшение кровоснабжения участка тела, органа или ткани вследствие

ослабления или прекращения притока к нему артериальной крови.

К

Каверна — полость, возникающая в легком при разрушении и некрозе легочной ткани с последующим разжижением омертвевших масс (чаще при туберкулезном процессе).

Каудальный — хвостовой, расположенный по продольной оси тела ближе к хвосту (у человека — к нижней части тела).

Квадрант — четвертая часть круга; условное разграничение, необходимое для выявления локализации патологического очага.

Кифоз — искривление позвоночника в сагиттальной плоскости, направленное выпуклостью назад.

Контактная деструкция — субхондральная, плоскостная литическая деструкция, которая затрагивает две смежные замыкательные пластины, без образования секвестров.

Компримировать — сдавливать, оказывать компрессию, давление.

Компрессия молочной железы — сжатие молочной железы прижимной пластиной.

Коэффициент прямого геометрического или проекционного увеличения — величина, учитывающая соотношение расстояний от фокусного пятна рентгеновской трубки до объекта и от объекта до плоскости приемника, которая показывает, насколько увеличенным будет изображение объекта по сравнению с его реальными размерами.

Краниальный — головной, расположенный ближе к голове.

Краниокаудальное направление — направление от головы к дистальным отделам туловища.

Корень легкого — комплекс анатомических структур, проходящих через ворота легкого и соединяющих легкое с органами средостения. Включает главный бронх, легочные артерию и вены, бронхиальные артерии, лимфатические сосуды и нервные сплетения.

Костная балка (трабекула) — конструкционный элемент губчатого вещества кости.

Костная мозоль — соединительнотканная структура, образующаяся в ходе регенерации костной ткани после нарушения ее целостности при нормальном течении процесса заживления перелома.

Л

Легочное поле — участок рентгенограммы органов грудной клетки в прямой проекции, на который проецируется легочная ткань.

Легочный рисунок — тяжеобразные переплетающиеся тени неравномерной интенсивности на рентгенограмме органов

грудной клетки, анатомическим субстратом которых являются сосуды малого круга кровообращения.

Лизис кости (остеолизис) — патологический процесс, который протекает в костях человека и характеризуется нарушением баланса между разрушением и образованием их ткани.

Ложноотрицательный результат — пропуск имеющейся в действительности патологии.

Ложноположительный результат — выявление несуществующей в действительности патологии.

Локализация — месторасположение.

Лоозеровская зона перестройки — визуализируемое на рентгенограммах в виде патологического просветления патологическое состояние кости, формирующееся при повышенной нагрузке на здоровую или при физиологической нагрузке на измененную кость.

Лордоз — изгиб позвоночника в сагиттальной плоскости, обращенный выпуклостью вперед.

Лучевая нагрузка — мера воздействия ионизирующего излучения на человека, выраженная в величине индивидуальной (коллективной) эффективной или эквивалентной дозы излучения.

М

Мастопатия — фиброзно-кистозная болезнь с широким спектром пролиферативных изменений в ткани молочных желез и патологическим соотношением эпителиального и соединительнотканного компонентов.

Миеломаляция — формирование в спинном мозге некротических очагов, подвергающихся размягчению; наблюдается, например, при тромбозе, эмболии, сдавлении спинного мозга.

Микрофокусная съемка — в рентгенотехнике получение теневого изображения исследуемого объекта с помощью источника рентгеновского излучения (фокусного пятна рентгеновской трубки) размером менее 100 мкм.

Методология — алгоритм проведения исследования.

Микрокальцинаты — отложения солей кальция в молочной железе.

Модификация — видоизменение с приобретением новых свойств.

Морфологические признаки — клеточно-тканевое строение.

Мультицентрическое поражение (рост) — возникновение опухолей одновременно в нескольких участках органа.

Н

Натечник — туберкулезная гранулема (абсцесс) в паравертебральных тканях.

Неспецифический спондилит — воспалительное заболевание позвоночника, вызванное стафилококком, стрептококком.

О

Область интереса — прицельная зона сканирования.

Обызвествление (петрификация, кальциноз) — отложение известковых гранул в дистрофированных или омертвевших тканях, в норме не содержащих нерастворимых солей кальция.

Одежда рентгенозащитная — элементы одежды для ношения пациентами, обеспечивающие защиту от рентгеновского облучения частей тела, не входящих в область интереса, а также одежда медперсонала, обеспечивающая общую защиту от рентгеновского излучения.

Одышка — учащенное дыхание.

Олеогранулема — узловое новообразование, формирующееся после механического повреждения тканей железы.

Оссификация — процесс формирования костной ткани из мезенхимы (эндесмальная) или на месте хряща (энхондральная).

Остеоматрикс — высокоочищенный костный материал, который стимулирует регенерацию костной ткани.

Очаговая асимметрия — обособленный участок фибро-гландулярной (фиброзно-железистой) ткани, видимый в двух проекциях, требующий дифференциальной диагностики с объемным образованием.

Остеонекроз — омертвение кости или ее фрагмента вследствие нарушения в ней кровообращения.

Очаговый (локальный) фиброз молочной железы — отграниченный участок соединительной ткани в молочной железе.

П

Паравертебральный — расположенный у позвоночника.

Пневмоторакс — скопление воздуха или газов в плевральной полости.

Приемник излучения — устройство, преобразующее скрытое теневое рентгеновское изображение в видимое, подразделяется на аналоговые (пленка, люминесцирующий экран) и цифровые (экраны с фотостимулируемым люминофором, полупроводниковые линейки и матрицы и т. п.).

Пролабирование — выбухание, выход за контур.

Подвывих — нарушение соотношения (расхождение) суставных поверхностей между собой с сохранением точек соприкосновения.

Постпроцессинговая обработка изображения — обработка исходных изображений с целью создания новых изображений.

Псевдопоражения — изменения на рентгенограмме/томограмме, являющиеся результатом наложения нормальных анатомических структур: сосудистых, костных, кожных и др.

Псоас-абсцесс — отграниченное гнойное воспаление в большой поясничной мышце.

Р

Рак молочной железы — злокачественная опухоль, исходящая из эпителия ткани молочной железы.

Раздвоение зубовидного отростка С2 — аномалия формирования второго шейного позвонка, связанная с неполным слиянием его частей, развивающихся из отдельных точек окостенения.

Размытие изображения — снижение резкости за счет увеличения границ изображения соседних элементов исследуемого объекта.

Разрешающая способность — одна из основных характеристик методики рентгенографии или отдельного узла рентгенооптической схемы (например, приемника), показывающая его способность различать изображения соседних элементов исследуемого объекта.

Рентгеновская трубка — высоковольтный электровакуумный прибор, являющийся источником рентгеновского излучения.

Рентгеновская суставная щель — в медицинской диагностике суммарное отображение суставных хрящей в виде промежутка между контурами сочленяющихся костей.

Рентгенологическая плотность ткани молочной железы — соотношение фиброзно-железистой и жировой тканей.

Реконструкция — преобразование первоначальных данных, позволяющее из набора рентгеновских изображений объекта восстановить его трехмерное изображение (объемную модель).

Репарация — процесс восстановления целостности ткани.

Рутинная маммография — обзорная маммография в двух стандартных проекциях.

С

Сагиттальная плоскость — вертикальная плоскость, проходящая спереди назад и делящая объект на зеркально-симметричные левую и правую половины.

Связки Купера — фиброзные перегородки, делящие молочную железу на доли и образующие поддерживающий каркас органа.

Седация — отсутствие или снижение уровня сознания, угнетение рефлексов и болевой чувствительности, достигаемое при помощи лекарственных средств.

Секвестр — омертвевший участок кости, отделившийся от здоровой ткани вследствие гнойного процесса (например, при туберкулезе или остеомиелите).

Семиотические признаки — внешние признаки.

Силовая линия — рентгенографический признак, представляющий собой утолщение трабекулярной структуры кости вдоль наиболее часто прикладываемой к ней нагрузки.

Симптом «ампутации бронха» — полное отсутствие просвета бронха в обычном месте на рентгенограмме.

Синостоз — непрерывное соединение (сращение) костей с формированием на месте шва костной ткани.

Сирингомиелия — медленно прогрессирующее заболевание нервной системы, характеризующееся образованием полости в спинном мозге, нарушением кожной чувствительности, периферическими парезами.

Смешанная деструкция — сочетание очаговой и субхондральной (контактной) литической деструкции.

Специфический спондилит — воспалительное заболевание позвоночника, вызванное микобактериями туберкулеза.

Спондилит — воспалительное заболевание позвоночника.

Спондилодез — костно-пластическая операция, направленная на исключение подвижности в каком-либо отделе позвоночника; применяется, например, при сколиозе, туберкулезном спондилите.

Спондилолиз — несращение дуги позвонка в межсуставной области или в области ножки дуги, связанное с задержкой развития заднего отдела позвоночника.

Субхондральный склероз — дегенеративно-дистрофическое заболевание костной системы, проявляющееся нарушением трофических процессов в хрящевой ткани вследствие реактивного разрастания субхондральной кости.

Суммация тканей (суммационный эффект) — наложение изображений различных органов и тканей, расположенных вдоль прохождения пучка рентгеновского излучения.

Суперпозиция тканевых структур — наложение структур на рентгеновском изображении.

Суставная мышь — плотное осколочное или дисморфогенетическое новообразование в полости сустава, свободно перемещающееся в ней и периодически защемляемое между суставными поверхностями.

Сырые данные — изначальная, необработанная информация, полученная при томографии/сканировании.

Т

Тарзальная коалиция — патологическое слияние двух и более костей стопы, чаще всего предплюсны.

Теневое изображение — изображение объекта, возникающее на приемнике при прохождении рентгеновского излучения через исследуемый объект.

Тимомегалия (гиперплазия вилочковой железы) — значительное разрастание тимуса, сопровождающееся изменением рентгенографического контура средостения.

Томограмма — рентгеновское изображение отдельного слоя исследуемого объекта.

Томосинтез — методика получения томограмм при ограниченном по углу числе проекций.

Тотальная деструкция — необратимое разрушение тела позвонка с формированием хаотично расположенных костных фрагментов, часть которых может мигрировать в просвет позвоночного канала и прилежащие мягкие ткани.

Трансформации закон (ремоделирования кости закон) — сформулированный Юлиусом Вольфом (Julius Wolff) вывод о том, что структура кости здорового человека или животного анатомически адаптируется к интенсивности и другим характеристикам нагрузок, которым подвергается.

Трепанобиопсия молочной железы — процедура забора образцов ткани из патологического участка молочной железы для гистологического и иммуногистохимического анализов.

У

Узурация — неровность, эрозия.

Укладка (установка) пациента — придание позы, максимально выгодной для наилучшей визуализации зоны интереса.

Ф

Фиброаденома — доброкачественная органоспецифическая опухоль молочной железы железистого происхождения.

Физикальный осмотр — комплекс медицинских диагностических мероприятий, выполняемых врачом с помощью его органов чувств.

Фокусное пятно — часть поверхности анода рентгеновской трубки, бомбардируемая пучком электронов, эмитируемых катодом.

Фокусное расстояние — в рентгенодиагностике расстояние от фокусного пятна рентгеновской трубки до поверхности просвечиваемого объекта.

Функциональные пробы рентгенографические — выполнение дополнительных снимков для определения динамических возможностей опорно-двигательной системы, например, с максимальным сгибанием и разгибанием шейного отдела позвоночника.

Ц

Центрация — совмещение светового поля по центру зоны интереса при укладке пациента.

Цифровая томограмма — томограмма, полученная в результате выполнения томосинтеза.

Э

Экспозиция — в рентгенотехнике произведение тока трубки (в миллиамперах) на время съемки (в секундах), измеряется в [мАс], иногда термин «экспозиция» ошибочно употребляют вместо понятия «время экспозиции [с]».

Экстракорпоральное оплодотворение — вспомогательная репродуктивная технология, чаще всего используемая в случае бесплодия.

Экстрапульмональный туберкулез — внелегочный туберкулез.

Эмфизема — патологическое расширение воздушных пространств дистальнее терминальных бронхиол вследствие нарушения эластических свойств легочной ткани, сопровождающееся деструктивно-морфологическими изменениями стенок альвеол.

Эпифизарная пластина — прослойка гиалинового хряща между эпифизом и метафизом трубчатых костей у детей и подростков. После окончания роста кости замещается эпифизарной линией.

Эхогенность — способность ткани или органа отражать ультразвуковые волны.

Александр Юрьевич Васильев

ТОМОСИНТЕЗ

Монография

Корректор Красикова Н.Н.
Компьютерная верстка Стамбулян Е.Р.

Подписано в печать 19.11.2019
Формат 60x84/16. Гарнитура «Minion Pro».
Бумага офсетная. Заказ № 42.
Объем 17,9 усл. п.л. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в АО «Издательство ИКАР».
119421, г. Москва, ул. Обручева, д. 16, корп. 2, кв. 33.
Тел.: +7(495) 978-35-99, +7(495) 777-30-39
www.ikar-publisher.ru

9 785797 406617