

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	7
Предисловие	7

ЧАСТЬ I. КОСТНО-СУСТАВНАЯ СИСТЕМА

Глава 1. Получение рентгенографических изображений. Общие принципы укладки при исследовании костно-суставной системы	11
1.1. Факторы, влияющие на качество изображения при рентгенографии	11
1.2. Общие принципы укладки при рентгенографии костей и суставов	14
Глава 2. Контрастные средства в лучевой диагностике	17
2.1. Основные понятия и история развития контрастных средств	17
2.2. Влияние вязкости на инъекционные свойства	19
2.2.1. Осмоляльность как критическая детерминанта толерантности рентгеноконтрастных средств	19
2.3. Выбор РКС	23
2.4. Влияние контрастных средств на гемостаз	24
2.5. Контрастные средства для лимфографии	26
2.6. Атомы с более высокими атомными массами, чем у йода, в качестве контрастных средств ...	26
2.7. Бариевые контрастные средства	28
2.8. Контрастные средства для магнитно-резонансной томографии	28
Глава 3. Череп	36
3.1. Анатомия	36
3.2. Методы рентгенодиагностики	37
3.3. Укладки головы для производства обзорных рентгенограмм черепа в основных проекциях ...	39
3.3.1. Укладки для рентгенографии черепа в прямой проекции	39
3.3.2. Укладки для рентгенографии черепа в боковой проекции	42
3.4. Укладки для рентгенографии черепа в аксиальной проекции	44
3.5. Укладки для рентгенографии черепа в дополнительных проекциях	49
3.5.1. Укладки для рентгенографии черепа в носолобной проекции	50
3.5.2. Рентгенография черепа в лобной проекции	52
3.5.3. Укладки для рентгенографии черепа в носоподбородочной проекции	53
3.5.4. Укладки для рентгенографии черепа в передней полуаксиальной проекции	55
3.5.5. Укладки для рентгенографии черепа в задней полуаксиальной (затылочной) проекции ...	57
3.6. Укладки для производства прицельных рентгенограмм черепа	59
3.6.1. Укладки для производства прицельных рентгенограмм свода черепа	59
3.6.2. Укладки для производства прицельных рентгенограмм основания черепа	60
3.7. Каменистые части височных костей — пирамиды	60
3.8. Укладки для производства рентгенограмм костей лицевого черепа	68
3.8.1. Орбиты	68
3.8.2. Скуловая кость и скуловая дуга	71
3.8.3. Полость носа и околоносовые пазухи	71
3.9. Полость рта и челюсти	75
3.10. Височно-нижнечелюстной сустав	81
3.11. Зубы	82
Глава 4. Позвоночник	86
4.1. Анатомия	86
4.2. Методы рентгенодиагностики	88
4.3. Шейный отдел позвоночника	91
4.3.1. Укладки для рентгенографии шейного отдела позвоночника в прямой проекции	91

4.3.2. Укладки для рентгенографии шейного отдела позвоночника в боковой проекции	92
4.3.3. Укладки для рентгенографии шейного отдела позвоночника в косой проекции	96
4.4. Грудной отдел позвоночника.	100
4.4.1. Укладки для рентгенографии грудного отдела позвоночника в прямой проекции.	100
4.4.2. Укладки для рентгенографии грудного отдела позвоночника в боковой проекции	100
4.5. Поясничный отдел позвоночника	105
4.5.1. Укладки для рентгенографии поясничного отдела позвоночника в прямой проекции	105
4.5.2. Укладки для рентгенографии поясничного отдела позвоночника в боковой проекции	106
4.5.3. Укладки для рентгенографии поясничного отдела позвоночника в косой проекции	110
4.6. Крестец.	112
4.6.1. Укладка для рентгенографии крестца в прямой проекции	112
4.6.2. Укладка для рентгенографии крестцово-подвздошных сочленений	115
4.7. Копчик	116
4.8. Укладки для определения степени сколиоза.	118
4.8.1. Методики измерения угла сколиотической дуги (определение степени сколиоза)	119
Глава 5. Грудная клетка	120
5.1. Анатомия	120
5.2. Ребра	120
5.2.1. Анатомия.	120
5.2.2. Методики рентгенологического исследования ребер.	121
5.3. Грудина.	125
5.3.1. Анатомия.	125
5.3.2. Методики рентгенологического исследования грудины	125
5.4. Грудино-ключичные суставы	128
5.5. Ключица.	129
5.5.1. Анатомия.	129
5.6. Лопатка.	132
5.6.1. Анатомия.	132
Глава 6. Кости и суставы верхней конечности.	135
6.1. Методики рентгенологического исследования	135
6.2. Плечевая кость и плечевой сустав	135
6.2.1. Анатомия.	135
6.2.2. Укладки для рентгенографии плечевого сустава в прямой проекции	136
6.2.3. Укладки для рентгенографии плечевого сустава в аксиальной проекции.	137
6.2.4. Укладки для рентгенографии плечевой кости в прямой проекции.	139
6.2.5. Укладки для рентгенографии плечевой кости в боковой проекции	142
6.3. Кости предплечья	142
6.3.1. Анатомия.	142
6.3.2. Укладка для рентгенографии локтевого сустава в прямой проекции.	143
6.3.3. Укладка для рентгенографии локтевого сустава в боковой проекции	143
6.3.4. Укладка для рентгенографии локтевого сустава в аксиальной проекции	146
6.3.5. Укладки для рентгенографии костей предплечья в прямой проекции	148
6.3.6. Укладка для рентгенографии костей предплечья в боковой проекции	148
6.4. Кости и суставы кисти	148
6.4.1. Анатомия.	148
Глава 7. Кости и суставы таза и нижних конечностей.	164
7.1. Методики рентгенологического исследования	164
7.2. Тазовая кость.	164
7.2.1. Анатомия.	164
7.3. Кости и суставы свободной нижней конечности	170
7.4. Бедренная кость и тазобедренный сустав.	170
7.4.1. Анатомия.	170
7.5. Коленный и межберцовый суставы. Межберцовый синдесмоз	178
7.5.1. Анатомия.	178

7.6. Кости голени	184
7.6.1. Анатомия	184
7.7. Кости и суставы стопы	187
7.7.1. Анатомия	187

ЧАСТЬ II. ВНУТРЕННИЕ ОРГАНЫ

Глава 8. Гортань	203
8.1. Анатомия и методы рентгенодиагностики.	203
8.2. Рентгенография гортани в боковой проекции	204
8.3. Линейная томография гортани.	204
Глава 9. Органы грудной полости. Дыхательная система	207
9.1. Анатомия	207
9.2. Методы визуализации легких	207
9.3. Характеристика методов визуализации легких.	207
9.4. Тактика лучевого обследования при заболеваниях легких	211
9.5. Анализ качества рентгенограмм легких и средостения	212
9.6. Укладки для производства обзорных и прицельных рентгенограмм органов грудной полости	216
9.6.1. Рентгенография органов грудной полости в прямой проекции	216
9.6.2. Рентгенография органов грудной полости в боковой проекции	218
9.6.3. Прицельная рентгенография верхушек легких	219
9.7. Укладки для томографии трахеи, долевых бронхов, корней легких и легких.	220
9.7.1. Томография трахеи, главных, долевых бронхов и корней легких	223
9.7.2. Укладки для прицельной томографии легких.	225
Глава 10. Органы средостения	229
10.1. Анатомия	229
10.2. Укладки для производства рентгенограмм сердца	230
10.2.1. Рентгенография сердца в прямой передней проекции	230
10.2.2. Рентгенография сердца в правой передней косой проекции	234
10.2.3. Рентгенография сердца в левой передней косой проекции	234
10.2.4. Рентгенография сердца в левой боковой проекции.	234
Глава 11. Молочные железы	235
11.1. Анатомия	235
11.2. Методики рентгенологического исследования молочной железы	235
11.3. Стандартная маммография в краниокаудальной и медиолатеральной проекциях	236
11.4. Дополнительные бесконтрастные методики исследования молочных желез	238
11.5. Малоинвазивные рентгеновские методы диагностики патологии молочных желез с искусственным контрастированием	240
11.5.1. Пневмокистография	240
11.5.2. Дуктография	240
Глава 12. Брюшная полость и забрюшинное пространство	242
12.1. Анатомия	242
12.2. Рентгенологическое исследование органов брюшной полости и забрюшинного пространства	243
12.3. Укладки для производства обзорных рентгенограмм брюшной полости.	243
Глава 13. Пищеварительная система	248
13.1. Методы рентгенодиагностики.	248
13.2. Глотка	249
13.2.1. Анатомия	249
13.2.2. Методики рентгенологического исследования глотки.	249
13.3. Пищевод	253
13.3.1. Анатомия	253
13.3.2. Методики рентгенологического исследования пищевода	253

13.4. Желудок	255
13.4.1. Анатомия	255
13.4.2. Методики рентгенологического исследования желудка	258
13.5. Тонкая кишка	261
13.5.1. Анатомия	261
13.5.2. Методики рентгенологического исследования тонкой кишки	262
13.6. Толстая кишка	266
13.6.1. Анатомия	266
13.6.2. Методики рентгенологического исследования толстой кишки	268
13.7. Печень, желчные пути, поджелудочная железа	273
13.7.1. Анатомия	273
13.7.2. Методы лучевой диагностики печени, желчных путей, поджелудочной железы	274
Глава 14. Мочевыделительная система	280
14.1. Анатомия	280
14.2. Методы лучевой диагностики	280
14.3. Оснащение рентгеновского кабинета	282
14.4. Подготовка больного к рентгеновскому исследованию	282
14.5. Методики рентгенологического исследования мочевыводящей системы	283
Глава 15. Половая система	292
15.1. Мужские половые органы	292
15.1.1. Анатомия	292
15.1.2. Методики рентгенологического исследования	292
15.2. Женские половые органы	292
15.2.1. Анатомия	292
15.2.2. Методики рентгенологического исследования	293
Глава 16. Особенности исследования детей	295
16.1. Методики рентгенологического исследования легких	295
16.2. Методики рентгенологического исследования сердца	297
16.3. Методика рентгенологического исследования органов пищеварительного тракта	297
16.3.1. Подготовка ребенка к рентгенологическому исследованию желудочно-кишечного тракта	298
16.3.2. Контрастные методы исследования. Контрастные вещества	298
16.3.3. Исследование желудка	298
16.3.4. Исследование луковицы двенадцатиперстной кишки	299
16.3.5. Рентгенологическое исследование тонкой кишки	299
16.3.6. Исследование ободочной кишки	300
16.4. Методы исследования мочевой системы	300
16.5. Особенности рентгенологического исследования костно-суставной системы	302
16.5.1. Рентгенологические исследования черепа	302
16.5.2. Особенности рентгенологического исследования шейного отдела позвоночника	303
16.5.3. Рентгенографии костей и суставов	304
Глава 17. Радиационная защита	305
17.1. Требования к передвижным и индивидуальным средствам радиационной защиты	305
17.2. Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала	309
17.3. Выписки из НРБ-99/2009	312
Литература	316

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

LM	— латерально-медиальная проекция	ПД	— пределы доз
OVL	— боковая проекция	ПДК	— первичное двойное контрастирование
АГ	— артериальная гипертензия	П-МРТ	— МРТ с примовистом
АГС	— антигистаминные средства	РКИ	— рентгеноконтрастное исследование
АД	— артериальное давление	РКС	— рентгеноконтрастное средство
АР	— аллергическая реакция	РПФ	— радиофармпрепарат
АрГ	— артериальная гипертензия	РС	— рассеянный склероз
БА	— бронхиальная астма	СД	— сахарный диабет
ВНКС-МРТ	— внутриклеточное контрастное средство для МРТ	СДКТ	— спиральная динамическая КТ
ГБС	— гепатобилиарная система	СКТ	— спиральная КТ
ГК	— глюкокортикостероиды	СН	— сердечная недостаточность
ГЭБ	— гематоэнцефалический барьер	СУА	— среднегодовые удельные активности
ДГБСГ	— динамическая гепатобилисцинтиграфия	ТАБ	— тонкоигольная аспирационная биопсия
ДСОА	— допустимые среднегодовые объемные активности	ТБ	— тонкоигольная биопсия
ДПК	— двенадцатиперстная кишка	УЗ	— ультразвук
ДТПА	— диэтилентриамидпентауксусная кислота	УЗИ	— ультразвуковое исследование
ЖВП	— желчевыводящие пути	ФВ	— фракция выброса
ИВЛ	— искусственная вентиляция легких	ЦДК	— цветное доплеровское картирование
КС	— контрастное средство	ЦСА	— цифровая субтракционная ангиография
КТ	— компьютерная томография	ЧДД	— частота дыхательных движений
КУ	— контрастное усиление	ЧЛС	— чашечно-лоханочная система
мАс	— миллиампер-секунда	ЧСС	— частота сердечных сокращений
мОсм	— миллиосмомоль	ЧЧХГ	— чрескожная чреспеченочная холангиография
МРА	— магнитно-резонансная ангиография	ЭД	— энергетическая доплерография
МРКС	— магнитно-резонансные контрастные средства	ЭКГ	— электрокардиография
МРТ	— магнитно-резонансная томография	ЭОП	— электронно-оптический преобразователь
МРХГ	— магнитно-резонансная холангиография	ЭРХПГ	— эндоскопическая ретроградная холангиопанкреатография
МСКТ	— мультиспиральная КТ	ЭУ	— экскреторная урография
ОПН	— острая почечная недостаточность	ЭУЗИ	— эндоскопическое УЗИ
ППП	— пределы годового поступления		

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последнее десятилетие XX века характеризуется бурным развитием лучевой диагностики. Основная причина этого — появление целой серии так называемых «новых технологий», позволивших резко расширить диагностический потенциал «старой» традиционной рентгенологии. С их помощью по существу было «закрыто» понятие так называемых белых пятен в классической рентгенологии. К ним относилась, например, патология всей группы паренхиматозных органов брюшной полости и забрюшинного пространства. Для большой группы болезней внедрение этих технологий резко изменило существовавшие возможности их рентгенологической диагностики [52].

Во многом именно за счет успехов лучевой диагностики в ведущих клиниках Америки и Европы

срок постановки диагноза не превышает 40–60 мин с момента поступления больного в стационар. Причем речь идет, как правило, о серьезных urgentных ситуациях, где промедление часто приводит к необратимым последствиям. Более того, больничная койка все реже стала использоваться для проведения диагностических мероприятий. Все необходимые предварительные исследования, и первую очередь лучевые, выполняются на догоспитальном этапе.

Радиологические процедуры по частоте своего применения уже давно занимают второе место, уступая лишь самым распространенным и обязательным лабораторным исследованиям. Сводная статистика крупных мировых медицинских центров показывает, что именно благодаря лучевым методам число ошибочных диагнозов при первич-

ном обращении больного сегодня не превышает 4 % [144].

Современные средства визуализации отвечают следующим основополагающим принципам: безукоризненное качество изображения, безопасность облучения, как для пациентов, так и для медицинского персонала, надежность в работе и воспроизводимость информации, минимальная потребность в техническом обслуживании и текущем ремонте. В последние годы уже сложилась более или менее реальная оценка диагностических возможностей различных методов с учетом тесной взаимосвязи трех основных факторов: информативности, экономической целесообразности и степени вредоносного воздействия. При этом произошло известное перераспределение ролей между отдельными видами исследований, что отчетливо наблюдается, в частности, на примере вытеснения значительной части рентгенологических процедур более безопасными ультразвуковыми и эндоскопическими методиками [132].

Классическая рентгенология в значительной мере утратила свои ведущие позиции среди других методов и перестала быть монополистом в производстве медицинских изображений. По-настоящему незаменимыми рентгенологические методики остались только при исследовании бронхо-легочной и костной систем, а также при проведении некоторых инвазивных манипуляций. Что касается исследований органов брюшной полости и забрюшинного пространства, головного мозга, эндокринного аппарата, генитальной сферы и целого ряда других областей, то здесь классическая рентгенология уже в значительной мере замещена или замещается другими методами, не связанными с облучением больного [125].

Роль методов лучевой диагностики в системе повседневной диагностической работы следует расценивать, исходя из этих соображений. И именно в этом смысле врач-рентгенолог со всем его великолепным техническим вооружением является лишь одним из участников коллективного врачебного труда. Даже сам порядок и последовательность рентгенологического исследования, закрепленные в нашей стране практикой здравоохранения, отчетливо выражают эти закономерности. Тактику рентгенологического исследования можно представить в следующем виде:

1. Ознакомление с жалобами больного и историей заболевания.
2. Ознакомление с данными других клинических и лабораторных исследований.
3. Составление плана рентгенологического исследования.
4. Проведение рентгенологического исследования.

5. Анализ рентгенологических данных.
6. Сопоставление рентгенологических данных с результатами клинических исследований.
7. Сопоставление полученных данных с результатами предыдущих рентгенологических исследований (выяснение динамики процесса).
8. Формулировка заключения.
9. Рекомендации по дообследованию.

В приведенной схеме проявляется взаимопроникновение различных диагностических методик, поскольку все они — только средства процесса познания. При выработке методологически правильного, а не узко профессионального подхода к анализу рентгенологических снимков это положение должно быть решающим. Изготовление рентгеновского снимка — только первый шаг к заключению, шаг необходимый и ответственный, но не единственный. За ним следует не менее важный этап — анализ и правильное толкование рентгенограммы. Рентгенограмма пассивно отображает структуру изучаемого объекта, врач же призван не просто регистрировать рентгеновские симптомы, а настойчиво и активно искать, группировать и обсуждать их. Сквозь внешнюю оболочку видеть сущность явлений.

Но нельзя сбрасывать со счетов и специфику рентгеновского метода, особенности рентгенограммы как диагностического средства.

Нельзя забывать, что снимок — только теневая картина, за которой скрыто живое многообразие морфологии и функции исследуемого органа. Многое в рентгеновской картине зависит от рассеяния лучей, суммации и суперпозиции теней и других моментов и не может быть непосредственно отождествлено анатомическими данными [51].

Эта книга посвящена вопросам получения качественных рентгеновских снимков и правильности проведения рентгенологических методик, как основы диагностики при выявлении и разграничении нормы и патологии, изучении патологических и анатомических образований.

В атласе мы старались максимально использовать современные преимущества подготовки и представления диагностической информации. Мы стремились к тому, чтобы эта книга была не только качественной по содержанию, но и удобной в использовании.

Атлас посвящен поиску рациональных путей обследования пациентов с патологией различных органов и систем, с учетом реальных диагностических возможностей регионального здравоохранения, и предназначен врачам-рентгенологам, рентгенолаборантам, а также врачам различных клинических специальностей.

М. В. Ростовец, доктор медицинских наук

Часть I

КОСТНО-СУСТАВНАЯ СИСТЕМА

ПОЛУЧЕНИЕ РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ УКЛАДОК ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КОСТНО-СУСТАВНОЙ СИСТЕМЫ

1.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Рентгеновские лучи, как и видимый свет, исходят из источника прямолинейно во всех направлениях, пока не поглотятся или не будут рассеяны каким-либо веществом. По этой причине рентгеновскую трубку помещают в выстланный свинцом металлический кожух, который и поглощает большую часть излучения, и только меньшая его часть в виде узкого конуса выходит через специальное окошко в кожухе. Эта используемая часть излучения называется первичным пучком, а геометрический центр его — центральным лучом.

В большинстве диагностических рентгеновских аппаратов высокое напряжение можно менять в довольно большом диапазоне — обычно от 40 до 125 Кв. При низких показателях Кв рентгеновское излучение обладает низкой энергией и в значительной степени поглощается телом пациента. Такое излучение иногда называют мягким. Излучение, генерируемое при высоких значениях Кв, обладающее большей энергией и большей проникающей способностью, называют жестким. Рентгеновское излучение, используемое в медицинской рентгенографии, гетерогенно или полиэнергетично, то есть состоит из лучей различной энергии и проникающей способности.

Одним из полезных свойств рентгеновского излучения является его способность проходить через вещество. Вместе с тем если бы каждый рентгеновский фотон, попадающий на объект, проходил сквозь него, рентгенография была бы невозможна. Весь снимок был бы абсолютно черным и не нес бы никакой информации о структуре снимаемого объекта. Некоторые из фотонов поглощаются тканями тела, другие же проходят через него и попадают на приемник излучения, который и формирует изображение.

На спектр излучения влияют киловольтаж, форма волны напряжения, материал мишени и фильтрация пучка.

Достаточно равномерный рентгеновский пучок в большинстве случаев обеспечивает хорошее качество рентгенограмм.

Атомный номер поглощающего материала влияет на его абсорбционные характеристики: чем ниже атомный номер материала, тем меньше он поглощает рентгеновское излучение. Например, атомный номер алюминия — 13, а свинца — 82, поэтому листок алюминия поглощает меньше лучей, чем листок свинца той же площади и массы. Вот почему свинец используют как защитное средство для выстилки кожухов рентгеновских трубок, отделки стен в рентгеновских кабинетах, в защитных фартуках и перчатках.

Тело человека представляет собой сложный объект для рентгенографии, поскольку не только имеет разную толщину, но и состоит из тканей с разной поглощающей способностью. Суть медицинской рентгенографии заключается в экспонировании участка тела сравнительно равномерным рентгеновским пучком, который затем видоизменяется под влиянием внутренних структур тела пациента. В возникающем пространственном образе уже содержится информация о строении объекта, но поскольку человеческие глаза нечувствительны к рентгеновскому излучению, приходится использовать приемник изображения — комбинацию усиливающих экранов и фотопленки, чтобы превратить это пространственное скрытое изображение в видимое, которое можно анализировать.

Для получения снимка высокого качества необходимо так подобрать технические условия съемки (Кв, мА, комбинацию мишень—фильтр, компенсирующие фильтры, комбинацию усиливающих экранов и пленки), чтобы максимально выявить разницу плотностей тканей в теле пациента.

В костях содержатся элементы с более высоким атомным номером, чем в мягких тканях; кроме того, кость плотнее их, поэтому она поглощает больше рентгеновского излучения, чем мягкие ткани. Более того, патологические структуры часто обладают иной абсорбционной способностью, чем соседние здоровые ткани. На поглощающую спо-

способность тканей оказывает влияние также и возраст пациента: у пожилых кости нередко содержат меньше кальция и поэтому поглощают рентгеновские лучи слабее, чем кости более молодых лиц.

Контраст объекта зависит как от самого объекта (его толщины и структуры), так и от спектра рентгеновского излучения (киловольтаж, формы волны напряжения, фильтрации и материала мишени), иными словами, от факторов, влияющих на абсорбцию рентгеновских лучей, и от величины и характера распространения вторичного излучения. Вместе с тем контраст объекта не зависит от времени экспозиции, мА, свойств пленки, режима ее проявления, а также, практически, от расстояния до источника излучения.

К факторам, влияющим на характер пространственного изображения (то есть распределения фотонов в пространстве, после их выхода из объекта), относятся: мАс, спектр излучения, расстояние до источника излучения. С повышением показателя мАс увеличивается общая плотность фотонного потока, испускаемого рентгеновской трубкой.

С повышением кВ или с усилением фильтрации пучка спектр излучения становится более жестким и проникающая способность излучения в пучке повышается.

Изменение расстояния оказывает на величину фотонной плотности такой же эффект, как и изменение мАс, другими словами, изменение расстояния не меняет контраста объекта. Чтобы сохранить степень почернения снимка в случае увеличения расстояния, необходимо повысить мАс.

Важно отметить, что, изменяя расстояние до источника, следует учитывать возрастание нерезкости изображения и необходимость изменить экспозицию, для чего применяют сфокусированные решетки, уменьшающие рассеянное излучение.

Зависимость плотности фотонного потока от угла их эмиссии из фокусного пятна называется «пяточным» эффектом. Плотность потока довольно заметно уменьшается в направлении от центрального луча к анодному концу трубки и несколько повышается в катодную сторону. Этот эффект усиливается с уменьшением угла наклона мишени.

Умелое использование «пяточного» эффекта позволяет выравнивать оптическую плотность снимков частей тела с различной степенью абсорбции. Так, например, при рентгенографии грудных позвонков пациента надо помещать таким образом, чтобы более тонкий шейный отдел экспонировался анодной частью пучка, где плотность излучения будет меньше.

Одной из основных задач медицинской рентгенографии является создание изображения, мак-

симально точно отражающего объект. На степень точности этого изображения влияет множество факторов, среди них — степень нерезкости и размер изображения.

Искажением называется изменение размеров разных частей объекта в неравной степени. Увеличением называется такое искажение изображения, когда форма тени от объекта существенно не изменяется, хотя увеличение редко бывает равномерным. Объекты, расположенные дальше от приемника изображения, увеличиваются в большей степени, чем объекты, лежащие ближе к приемнику, при фиксированном расстоянии «фокус—пленка» (если другие факторы не меняются).

При рентгенографии мы имеем дело не только с контурной тенью объекта, но также с тенями всех структур внутри объекта, поскольку рентгеновские лучи проходят сквозь него. Поэтому те же закономерности тенеобразования, которые верны для самого объекта, верны и для его внутренних структур. Например, если одна из внутренних структур расположена дальше от плоскости приемника, чем другая, она будет иметь более нерезкие контуры и большее проекционное увеличение. Этот феномен используется, в частности, для определения расположения очага.

Другим фактором, влияющим на величину нерезкости, является движение. Движение как снимаемой структуры, так и трубки или приемника изображения, способно вызывать значительную его нерезкость. Во избежание этого снимаемая область во время исследования должна быть надежно зафиксирована, а время экспозиции сокращено до минимума.

Геометрические закономерности формирования изображения можно свести к следующим пяти правилам, которыми следует руководствоваться при рентгенографии.

1. Для уменьшения нерезкости изображения фокусное пятно трубки должно быть как можно меньше, насколько позволяют практические условия съемки.
2. Расстояние между исследуемым объектом и приемником изображения должно быть минимальным, насколько позволяют условия съемки.
3. Рентгеновскую трубку во избежание искажения истинного пространственного взаиморасположения прилежащих структур следует располагать параллельно плоскости приемника изображения.
4. Плоскость, в которой располагается зона интереса в снимаемом объекте, по возможности должна быть параллельна плоскости приемника изображения.

5. Необходимо принимать все меры для ограничения нерезкости от произвольных и непроизвольных движений объекта.

Рентгеновские фотоны движутся по прямой траектории только в случае отсутствия какого-либо взаимодействия с веществом. Встречаясь с ним, они или поглощаются объектом или взаимодействуют с ним в более сложном виде, подвергаясь рассеянию, то есть, встречаясь с атомом вещества, фотон теряет часть своей энергии и изменяет траекторию движения. Рассеянное излучение называется также вторичным излучением.

Рентгеновские фотоны в результате множественных взаимодействий в теле пациента меняют свои первоначальные траектории, что приводит к «вуалированию» изображения на снимке. Рассеянное излучение почти не участвует в создании полезного изображения.

В результате рассеяния фотонов пациент сам становится источником нежелательного излучения, воздействующего на пленку, которое не участвует в формировании полезного изображения. Оно, наоборот, увеличивает общий уровень фотонной плотности в пространственном изображении, уменьшает в нем соотношение фотонных плотностей и тем самым снижает контраст объекта.

Для борьбы с рассеянным излучением необходимо знать факторы, влияющие на его образование. К ним относятся: напряжение генерирования рентгеновских лучей, размер поля облучения, масса облучаемой ткани (ее толщина, структура).

В процессе рассеяния фотон отдает часть своей энергии и меняет первоначальную траекторию движения. После множества таких взаимодействий фотон теряет так много энергии, что не может покинуть тело и «завуалировать» снимок. Чем выше начальная энергия фотона, тем большему числу взаимодействий он может подвергнуться, прежде чем исчерпает свою энергию. Таким образом, чем выше напряжение генерирования рентгеновского пучка, тем интенсивнее рассеянное излучение.

Основным источником рассеянного излучения является облучаемый сегмент тела, хотя вторичное излучение возникает от взаимодействия первичного фотона с любым объектом на его пути. Интенсивность вторичного излучения напрямую зависит от объема облучаемого вещества: чем больше этот объем (чем толще облучаемая часть тела), тем интенсивнее рассеянное излучение при прочих равных условиях.

Снижение уровня рассеянного излучения существенно улучшает качество изображения. Необходимо помнить основное правило: первичный пучок излучения всегда должен быть сформиро-

ван по размерам снимаемого объекта. Участки тела, не попадающие в сферу облучения, не участвуют в образовании рассеянного излучения и не добавляют дозы облучения пациенту.

Ограничивающие пучок устройства часто неправильно называют коллиматорами. Этот термин обозначает системы, которые формируют пучок света с параллельным направлением лучей. Рентгеновские же лучи, исходящие из диафрагмирующих устройств, имеют расходящееся направление.

Массивные, толстые части тела (например, область живота) более интенсивно продуцируют вторичное излучение, чем более тонкие (кисть). Поэтому при съемке этих отделов тела кроме диафрагмирующих устройств необходимо использовать и другие способы ограничения рассеянного излучения. Весьма эффективным средством такого рода являются отсеивающие решетки.

Решеткой называется приспособление, состоящее из тонких пластинок свинца, разделенных прокладками, и несколько напоминающее жалюзи. Прокладки делаются из рентгенопрозрачного вещества, обычно алюминия или волокна. Полоски и прокладки запрессованы между двумя пластинами, оберегающими их от повреждений и деформации. Состоящие из рентгенопрозрачного материала прокладки пропускают большую часть фотонов, образующих пространственное изображение, к рентгеновской пленке. Решетка поглощает большую часть рассеянного излучения и какую-то часть первичного. Следует напомнить, что рассеянное излучение не принимает участия в формировании полезного изображения, но любое излучение, включая и рассеянное, участвует в засвечивании рентгеновской пленки. Поэтому при использовании решетки необходимо для компенсации ее поглощающей способности увеличить экспозиционную дозу, иначе снимок, хотя и будет лишен воздействия рассеянного излучения, окажется недоэкспонированным.

Для устранения влияния рассеянного излучения можно также создать воздушный зазор между пациентом и приемником изображения. Вспомним, что первичное излучение распространяется прямолинейно из анодной мишени по направлению к приемнику изображения, тогда как вторичное излучение, образующееся в теле пациента, распространяется из него под различными углами. Если пациента поместить вплотную к кассете, большая часть рассеянного излучения попадет на пленку. Если пациента отодвинуть от кассеты, то вследствие большего расхождения фотонов рассеянного излучения в стороны их на пленку попадет значительно меньше.

К сожалению, в данной ситуации увеличивается нерезкость и размер изображения, повышается доза облучения пациента. Увеличение воздушного зазора всегда сопровождается увеличением изображения, но в то же время снимки с прямым увеличением значительно лучше из-за повышения контраста объекта.

Воздушный зазор, применяемый в технике прямого увеличения изображения, является прекрасным методом борьбы с рассеянным излучением и устраняет необходимость в отсеивающей решетке. Но поскольку в этом случае решетка не используется, то следует уменьшить мАс примерно на 50 % (фактор решетки), чтобы получить правильно проэкспонированный снимок.

Что предпочтительнее для устранения вторичного излучения, отсеивающая решетка или техника воздушного зазора — это зависит от технических требований и интенсивности рассеянного излучения в каждой конкретной ситуации. Техника воздушного зазора применяется в следующих случаях: при рентгенографии грудной клетки, боковых снимках шейного отдела позвоночника, при прямом увеличении изображения в маммографии. При прямом увеличении изображения возрастает геометрическая нерезкость, из-за чего в таких ситуациях надо использовать меньшие размеры фокусного пятна, чем при обычной рентгенографии.

С помощью компрессии (сдавливания) какой-либо части тела при рентгенографии достигаются следующие преимущества:

- вследствие отодвигания тканей при компрессии в сторону от прямого пучка объем облучаемой ткани и, следовательно, интенсивность рассеянного излучения уменьшается, что увеличивает контраст объекта;
- уменьшается двигательная нерезкость, поскольку компрессия уменьшает подвижность снимаемой части тела;
- сдавленная структура приближается к приемнику изображения, что уменьшает геометрическую нерезкость;
- более тонкий слой сдавленной ткани получает и меньшую дозу, которой в данном случае достаточно для хорошо проэкспонированного снимка.

В медицинской рентгенографии основным источником рассеянного излучения обычно является не только облучаемый фрагмент тканей, но и другие материалы, попадающие по ходу первичного пучка, — стол, кассетодержатель тоже становятся его источником. Такое рассеянное излучение, возникающее уже позади приемника изображения,

может отражаться в сторону изображения и называется обратным рассеиванием. Наиболее эффективным способом борьбы с ним служит ограничение площади рентгеновского пучка таким образом, чтобы она в точности соответствовала площади приемника изображения. Кассеты часто снабжаются листком свинцовой фольги на задней стенке для предотвращения феномена обратного рассеивания в сторону пленки.

Особенность формы таких анатомических объектов, как череп, плечевой сустав или живот, приводит к тому, что при съемке часть пучка рентгеновских лучей вынужденно проходит за пределами края объекта, и интенсивность этой части пучка значительно выше, чем позади прилежащих к ней участков объекта, поглощающих излучение. Поэтому дека стола и другие его элементы, оказывающиеся по ходу этой части первичного пучка, становятся источником довольно интенсивного вторичного излучения, которое вызывает нежелательный эффект засвечивания пленки по периферии и снижает контраст по периферии снимаемого объекта. Проблему можно разрешить, применяя экранирующие материалы в виде листков свинцовой резины, помещаемых вдоль краев снимаемого объекта, которые поглощают прямые лучи за пределами объекта.

1.2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ УКЛАДОК ПРИ РЕНТГЕНОГРАФИИ КОСТЕЙ И СУСТАВОВ

Основной методикой рентгенологического исследования костно-суставной системы является рентгенография. Показаниями к ее выполнению служат все случаи заболеваний и повреждений костей и суставов.

Все укладки при рентгенографии костей подразделяют на обзорные и специальные. Обзорные снимки, в свою очередь, делят на основные и дополнительные.

Обычно пострадавших с травматическими повреждениями обследуют в рентгенологическом кабинете, так как для рентгенографии костей целесообразно пользоваться мощными рентгеновскими аппаратами стационарного типа, позволяющими получать снимки хорошего качества при минимальной выдержке. Это особенно важно при обследовании пострадавших, находящихся в тяжелом и возбужденном состоянии. Однако с помощью современной палатной и переносной рентгеновской техники при необходимости снимки могут быть выполнены и «на месте» (в реанимационном отделении, операционной и т. п.).

При определении объема рентгенологического исследования и последовательности выполнения снимков исходят из общего состояния пострадавшего и предполагаемой патологии. При наличии у пострадавших выраженного психомоторного возбуждения за 10–15 минут до рентгенологического исследования целесообразно ввести внутривенно 10–15 мл 0,5 % раствора новокаина. Обычно это позволяет в значительной степени купировать двигательное возбуждение.

Больным с тяжелой черепно-мозговой травмой, находящимся в коматозном состоянии, при спутанном сознании или двигательном возбуждении, вызванном травмой, отравлением, алкогольным опьянением и др., рентгенологическое исследование, как правило, выполняют в ограниченном объеме и «щадящем» режиме, непосредственно на носилках или на каталке, не поворачивая и не перекладывая больного на стол рентгенодиагностического аппарата. Для получения прямого обзорного снимка обычно используют прямую заднюю проекцию. Снимок в боковой проекции выполняют горизонтальным пучком рентгеновского излучения. В тех случаях, когда трещины костей выявляются только на снимке в боковой проекции, для уверенного определения стороны повреждения целесообразно делать дополнительный снимок в противоположной боковой проекции. Трещины костей на прилегающей к пленке стороне имеют более четкие очертания, а проекционное увеличение их менее выражено. При этом нужно иметь в виду, что различие в четкости изображения прилегающих к пленке и отдаленных от нее участков черепа наиболее отчетливо проявляется при небольшом фокусном расстоянии (40–50 см) и теряется с его увеличением. Для дифференциальной диагностики в таких случаях может применяться контактная рентгенография симметричных участков правой и левой сторон черепа.

Таким образом, при исследовании пострадавших с черепно-мозговой травмой не следует ограничиваться двумя обзорными снимками во взаимно перпендикулярных проекциях. Целесообразно сразу же производить четыре снимка в следующей последовательности: задний обзорный снимок (с поджатым к груди подбородком); задний полуаксиальный снимок; правый и левый боковые снимки горизонтальным пучком рентгеновского излучения путем соответствующего перемещения рентгеновской трубки и кассеты. Боковые снимки должны быть выполнены при одинаковом фокусном расстоянии (40–50 см) и одинаковых технических условиях съемки.

Рентгенография черепа в указанных четырех проекциях при условии одномоментного выпол-

нения и проявления всех снимков удлинит продолжительность обследования больного всего на 2–3 минуты, информативность же такого исследования во многих случаях значительно повышается.

При обследовании пострадавших с черепно-мозговой травмой средней или легкой степени тяжести с сохраненным сознанием и правильным поведением объем рентгенологических исследований может быть существенно расширен. В частности при необходимости целесообразно прибегать к съемке не только в стандартных, но и в атипичных проекциях, выводя зону повреждения в центральное или краеобразующее положение.

При рентгенологическом исследовании позвоночника специальная подготовка требуется лишь только, когда рентгенография пояснично-крестцового отдела проводится больному с выраженными запорами или метеоризмом. В таких случаях пациенту назначают прием эспумизана по 5 таблеток вечером накануне исследования, а также за час до его проведения.

Рентгенографию позвоночника обязательно выполняют в двух взаимно перпендикулярных проекциях — прямой задней и боковой. Кроме того, для отображения некоторых анатомических образований, таких как межпозвоночные суставы, межпозвоночные отверстия, прибегают к съемке в косых проекциях. Для определения изменений межпозвоночных дисков и изучения двигательной функции шейного и поясничного отделов позвоночника осуществляют функциональное исследование.

Снимки позвоночника должны удовлетворять определенным требованиям, к которым относятся:

- 1) симметричность изображения позвоночника на снимках в прямой проекции. Остистые отростки должны располагаться строго по средней линии, а изображения корней дуг — симметрично по отношению к средней линии позвоночника;
- 2) на снимках в боковой проекции задняя поверхность тел позвонков должна быть одноконтурной;
- 3) тела позвонков и межпозвоночные диски должны отображаться раздельно, не накладываясь друг на друга, как на снимках в прямой, так и в боковой проекциях.

Для выполнения этих требований ведущее значение имеет правильный выбор направления центрального пучка рентгеновского излучения. Оптимальным считается такое соотношение, при котором его направление совпадает с радиусом кривизны исследуемого отдела позвоночника. В этих условиях центральный пучок излучения проходит через межпозвоночные пространства в плоскости, параллельной площадкам тел позвон-

ков, что позволяет избежать проекционных искажений, обусловленных анатомо-физиологическими особенностями строения позвоночного столба (наличием шейного и поясничного лордоза, грудного и крестцово-копчикового кифоза).

Для точного определения угла наклона рентгеновской трубки при рентгенографии в прямой проекции необходимо предварительно выполнить боковой снимок в положении обследуемого на спине при горизонтальном направлении пучка рентгеновского излучения и по нему установить углы наклона замыкающих пластинок тел исследуемых позвонков относительно стола рентгеновского аппарата. Оптимальные соотношения удастся создать лишь для 4–5 смежных позвонков. Изображение же выше- и нижележащих позвонков всегда искажается. Выраженность проекционных искажений зависит от удаленности позвонков от точки центрации пучка рентгеновского излучения и степени изгиба позвоночника. Поэтому, помимо обзорных снимков позвоночника, целесообразно производить прицельные снимки 1–2 позвонков с центрацией пучка рентгеновского излучения точно на эти позвонки.

При выполнении прицельных снимков ориентируются на данные, полученные на обзорных снимках позвоночника, а также на локальную болезненность при давлении на остистые отростки позвонков. Для уверенности в правильности произведенного снимка перед съемкой на уровне подлежащего детальному исследованию позвонка лейкопластырем прикрепляют к коже вырезанную из листового свинца или просвинцованной резины метку. Так как поверхностные ткани при изменениях положения тела заметно смещаются, маркировка должна производиться в том положении, в котором планируется выполнение снимка. При производстве прицельных снимков позвонков следует применять узкий тубус или максимально диафрагмировать поле облучения.

При рентгенографии в боковой проекции искажение изображения позвоночника может быть вызвано образованием изгиба за счет его «прови-

сания». Для того чтобы избежать проекционных искажений, ориентацию позвоночника в отношении снимочного стола выравнивают, подкладывая под бок больного небольшие ватно-марлевые подушечки, либо направляют центральный пучок рентгеновского излучения не перпендикулярно к пленке, а под небольшим углом ($5-8^\circ$) краниально при съемке грудного и каудально — при съемке нижнепоясничного отдела позвоночника.

Рентгенологическое изучение конечностей начинают с рентгенографии в двух взаимно перпендикулярных проекциях (прямой и боковой). Иногда необходимо прибегать к многопроекционной рентгенографии с использованием не только основных, но и дополнительных типичных и атипичных проекций.

Размер кассет определяют в зависимости от задач предстоящего исследования. Фокусное расстояние при производстве рентгенограмм — 100 см.

При выполнении укладок используют деревянные подставки различной высоты и формы (прямоугольные, клиновидные и др.), которые подкладывают под кассету, исследуемый отдел или туловище больного. Фиксации пациента достигают путем подкладывания мешочков с песком, ватно-марлевых валиков и др.

При выполнении укладок верхней конечности в положении больного сидя у стола целесообразно вместо низкого стула или подставки использовать вращающийся стул, позволяющий легко достигнуть необходимого положения исследуемого отдела конечности относительно плоскости стола.

По клиническим показаниям кроме обычной рентгенографии производят функциональные исследования — выполняют сгибательные и разгибательные движения суставов. Нижние конечности исследуют в условиях физиологической (статической) нагрузки.

При изучении структурных изменений в костях применяют томографию. Направление «размазывания», проекцию, уровень срезов и расстояние между ними выбирают на основании анализа предварительно произведенных рентгенограмм.

КОНТРАСТНЫЕ СРЕДСТВА В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КОНТРАСТНЫХ СРЕДСТВ

Все рентгеновские контрастные средства имеют одно назначение (желательный эффект): увеличивать разницу между различными тканями и органами в отношении их способности больше или меньше поглощать рентгеновские лучи. Механизмы контрастирующего действия контрастных средств (КС) для рентгенологии различны. Кроме того, важно представлять себе механизмы возможности возникновения побочных эффектов при использовании контрастных препаратов.

В традиционной рентгенологии и компьютерной томографии контрастные средства делят на позитивные и негативные.

Негативные контрастные средства (воздух, углекислый газ и другие газы) ослабляют рентгеновские лучи меньше, чем мягкие ткани тела.

Позитивные контрастные средства ослабляют рентгеновские лучи больше, чем ткани тела, так как содержат большее, чем в тканях организма, число атомов на единицу объема. Йод и барий обладают более высоким атомным числом, чем атомы химических соединений организма человека (водород, углерод, азот, кислород), и сильнее ослабляют рентгеновские лучи.

Позитивное контрастное средство может быть либо растворимым в воде, что в клинической практике реализуется в виде водных растворов органических соединений с йодом, либо не растворимым в воде, представленным в повседневной практике взвесью в воде нерастворимых кристаллов сульфата бария.

Рентгеноконтрастные средства (РКС) подразделяют на йодсодержащие и йоднесодержащие. Йодсодержащие РКС в свою очередь подразделяют на ионные и неионные. Они необходимы как для диагностики, особенно для болюсного контрастирования при проведении современной мультиспи-

ральной КТ, так и для проведения рентгенохирургии (в интервенционной радиологии).

Ионные мономерные трийодсодержащие РКС представляют собой стабильные высокоосмолярные диагностические средства, которые могут быть применены с достаточной степенью безопасности, если нет необходимости быстрого введения большого количества РКС в сосудистое русло (например, при проведении внутривенной урографии) и при контрастировании полостей тела, когда их высокая осмотическая активность не играет значительной роли в развитии побочных реакций. В настоящее время наиболее часто используемым классом РКС при проведении КТ-исследований и в интервенционной радиологии являются неионные низкоосмолярные контрастные средства как более безопасные, особенно при проведении рентгенологических исследований у детей, ослабленных и пожилых больных, при патологии печени и почек, сердечной недостаточности (СН), СД, а также у пациентов, склонных к аллергическим реакциям (АР).

Основным представителем ионных РКС является водный раствор, содержащий смесь натриевой и меглуминовой солей амидотризоата (Урографин®). К показаниям для использования препарата Урографин® относятся внутривенная и ретроградная урография, все виды ангиографии и исследование полостей тела, фистулография, артрография, гистеросальпингография, интраоперационная холангиография, эндоскопическая ретроградная холангиопанкреатография, сиалография и др.

В 60–70-е годы появились различные неионные трийодсодержащие РКС, незначительно отличающиеся от амидотризоата структурой заместителей в 3-м и 5-м положениях. В 1978 г. выпущен на рынок препарат Рейвист («Шеринг АГ») для визуализации почек и сосудистой системы. Рейвист (йогликат) отличается от амидотризоата некоторой лучшей растворимостью и переносимостью, но это

отличие несущественно. Другие препараты этого ряда — йодамид («Бракко», Италия; «Фармак», Украина) или телебрикс («Гербе», Франция) также не смогли конкурировать с урографинном по популярности, эффективности, безопасности и стоимости.

В начале 70-х годов прошлого столетия начинается эпоха неионных РКС. Первым препаратом стал метризамид (амипак), созданный на основе разработок шведского радиолога Альмена (1971) и не нашедший широкого применения в связи с нестабильностью. Дальнейшие исследования в области неионных РКС привели к созданию стабильного и достаточно хорошо переносимого препарата йогексол (омнипак, 1982 г., совместная разработка «Никомед» и «Шеринг АГ»). Всего через три года закономерным продолжением и развитием всех достоинств неионных РКС стало новое достижение ученых — препарат йопромид (ультравист, «Шеринг АГ»), отличающийся улучшенными физико-химическими свойствами по сравнению с йогексолом (лучшая растворимость в воде, более низкие осмотичность и вязкость при одновременном повышении максимальной концентрации йода с 350 до 370 мг/мл). В 80-е и более интенсивно в 90-е годы в мире стали появляться другие монономерные неионные РКС: йопамидол, йоверсол, йобитидол, йоксилан и др., димерные неионные препараты йотролан, йодиксанол и димерный ионный низкоосмотический препарат йоксаглат

(Шимановский Н. Л., 2009). Принципиальное отличие молекулы ионных КС от неионных заключается в следующем:

- устранена карбоксильная группа, в результате чего снижена нейротоксичность;
- к бензольному кольцу присоединено несколько гидроксильных групп, которые обеспечивают растворимость в воде без диссоциации на ионы, уменьшая осмотоксичность и одновременно прикрывая атомы йода, снижают хемотоксичность. Неионные КС более безопасны, но существенно дороже ионных.

Исходя из химической структуры современных органических йодсодержащих РКС, их можно разделить на четыре класса, представленных в табл. 1.

Общая переносимость водорастворимых йодсодержащих контрастных средств (КС) зависит от их физико-химических особенностей. К наиболее важным из них относятся растворимость, липофильность и гидрофильность йодсодержащей молекулы, вязкость и осмоляльность раствора, а также величина электрического заряда.

Для эффективного контрастирования существенна хорошая растворимость в воде (биологических жидкостях).

Высокая растворимость в воде — определяющий фактор создания высококонцентрированных непрозрачных для рентгеновских лучей КС.

Ионные уро- или ангиографические КС представляют собой йодсодержащие кислоты, соли

Таблица 1. Современные йодсодержащие РКС

Тип РКС	Международные непатентованные названия РКС	Торговые названия	Отношение количества атомов йода к числу частиц в растворах РКС	Осмоляльность растворов РКС/осмоляльность крови
Ионные мономеры	Амидотризоат	Урографин (триомбраст, тразограф)	3 : 2	5
	Йодамид	Йодамид		
	Йокситаламат	Телебрикс		
Ионные димеры (низкоосмотичные ионные РКС)	Йоксаглат	Гексабрикс	3 : 1	2
Неионные мономеры (низкоосмотичные неионные РКС)	Йопромид, йогексол, йопамидол, йобитридол, йоверсол, йоксилан	Ультравист, омнипак, йопамиро, ксенетикс, оптирей, оксилан	3 : 1	2
Неионные димеры (изоосмотичные РКС)	Йотролан, йодиксанол	Изовист, визипак	6 : 1	1

которых используются в качестве КС. Они состоят из обеспечивающих контрастирование отрицательно заряженных анионов и положительно заряженных катионов, обычно натрия или магния. Соли КС легко растворяются в воде, что позволяет получить их требуемые высокие концентрации. Однако этим КС присущи и определенные недостатки, так как соли, находящиеся в растворе, диссоциируют. В результате каждая молекула КС в растворе распадается на две частицы. Помимо того, что многие побочные эффекты зависят от числа частиц в растворе (см. «Осмоляльность»), эти частицы обладают электрическим зарядом, который может влиять на электрофизиологические процессы в организме (см. «Электрическая нейтральность»). Растворимость неионных КС, подобных ультраvistу, обеспечивается гидрофильными боковыми цепями, отходящими от ароматического кольца.

2.2. ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ НА ИНЪЕКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Вязкость раствора — важное физическое свойство КС, поскольку она влияет на его инъекционные свойства. Чем больше вязкость раствора, тем труднее вводить его в вену.

Таким образом, КС, обладающие большой вязкостью (например, димерные неионные КС), требуют или применения игл и катетеров крупного калибра (что создает проблемы, например в ангиографии), или высокого инъекционного давления, что с большой вероятностью ведет к травме тканей.

Поэтому КС, обладающие, подобно ультраvistу, малой вязкостью, особенно предпочтительны для быстрой внутривенной инъекции и использования тонкостенных катетеров малого калибра.

Кроме того, от вязкости КС в большой мере зависит скорость распространения контрастного вещества, иными словами — качество контрастирования сосудов.

Установлено, что КС, обладающие малой вязкостью, позволяют достичь значительно большей скорости внутрисосудистого введения, чем более вязкий йогексол при ручном способе инъекции (табл. 2).

Вязкость раствора определяют не только вес, объем, форма и концентрация молекул КС, но и его температура. Так, подогревание КС до температуры тела может облегчить инъекцию и сделать ее менее дискомфортной для больного.

Таблица 2. Скорость инъекции различных контрастных средств

Скорость инъекции (мг йода/с)*	
Йопромид-300	2027**
Йопамидол-300	1974**
Йогексол-300	1753
Йогексол-350	477

Примечания. * Инъекция вручную 10 мл КС через катетер 5F при 37 °С.

** $p < 0,005$ по сравнению с йогексолом-300.

2.2.1. Осмоляльность как критическая детерминанта толерантности рентгеноконтрастных средств

Осмоляльность — это число частиц на один килограмм раствора. Осмолярность — число частиц на один литр раствора. Поскольку на осмолярность влияет температура, осмоляльность представляет собой более точный параметр.

Осмоляльность крови равна приблизительно 300 мОсм (миллиосмомоль) на килограмм. КС большей частью гипертоничны, то есть обладают более высокой, чем плазма, осмоляльностью в концентрациях, обычно используемых для рентгенологических исследований. Относительно высокая осмоляльность КС — одна из главных причин их побочных действий, в частности боли при инъекции, артериальной гипотензии и повреждений эндотелия. В области таких повреждений иногда образуются тромбы. Эти побочные действия можно свести к минимуму путем разведения КС, что, однако, оказывает отрицательное влияние на качество контрастирования.

Говоря о местной толерантности, следует отметить, что осмоляльность выше 1000 мОсм ведет к резкой боли при инъекции, тогда как осмоляльность 600 мОсм вызывает лишь легкие неприятные ощущения. Если осмоляльность составляет 586 мОсм, как у наиболее часто применяемого препарата ультраvistа (ультравист-300), эти ощущения остаются ниже порога восприятия исследуемого.

Высокая липофильность способствует ухудшению толерантности.

В отношении КС известно, что чем выше гидрофильность, тем реже наблюдаются побочные действия, и, напротив, чем выше липофильность, тем выше частота побочных эффектов. Поскольку липиды являются составной частью клеточных мембран, липофильные вещества способны проникать в клеточные мембраны, входить в них, а также проходить их насквозь. Гидрофильные веще-

ства, напротив, не могут свободно диффундировать через липидные слои клеточной мембраны. Этим можно было бы объяснить, почему липофильные КС отличаются более выраженной токсичностью для нервных тканей, чем гидрофильные.

Ультравист сочетает высокую гидрофильность с особенно низкой тенденцией к взаимодействию с биологическими структурами с помощью водородных связей. Именно это является важным фактором, объясняющим превосходную нейрорадиографическую, почечную, сердечно-сосудистую, местную и общую толерантность к ультрависту.

Электрическая нейтральность позволяет избежать нежелательных клеточных взаимодействий.

Как было отмечено выше, ионные КС диссоциируют в растворе, образуя обеспечивающие контрастирование йодсодержащие анионы, а также катионы, в частности натрий и магний. Катионы не повышают непосредственно качество рентгенологического изображения, но могут образовывать электростатические связи с другими молекулами, независимо от того, имеют они биологическое происхождение или представляют собой лекарственные вещества.

Именно поэтому отсутствие электрического заряда у неионных КС, подобных ультрависту, обеспечивает их значительные преимущества перед обычными ионными КС. Ультравист обнаруживает крайне малое связывание с электрически заряженными белками и составными частями клеточных мембран. Кроме того, он почти не нарушает электролитного баланса в организме и не связывается с кальцием, что сводит к минимуму его влияние на сердечный ритм. И, наконец, действие ультрависта на эритроциты, клетки эндотелия и общий обмен биологических жидкостей в организме также минимально.

Анализ физико-химических свойств димерных и мономерных РКС, а также литературные данные показывают, что практически невозможно создать рентгеноконтрастный препарат на основе трийодированного ароматического кольца, который в совокупности имел бы какие-либо выраженные преимущества по сравнению с существующими мономерными неионными РКС (табл. 3).

Среди неионных РКС наиболее оптимальное сочетание содержания йода и вязкости имеет ультравист-300 — 63,8, что превышает аналогичное значение для омнипака-300 на 23 %.

Подтверждением преимуществ неионных мономеров по сравнению с ионными димерами в аспекте их безопасности могут быть недавно опубликованные данные Р. Persson и соавт. (2005), согласно которым в госпиталях, где начали

использовать неионный димер йодиксанол вместо неионных мономеров при интервенционных вмешательствах, частота развития почечной патологии увеличилась в 2 раза. Эти исследования включали 52 526 пациентов. Они подтвердили экспериментальные результаты, установившие высокую нефротоксичность йодиксанола (визипака) вследствие его большей способности вызывать ишемию почек, вакуолизацию клеток почечных канальцев и оказывать прямое нефротоксическое действие на клетки почки. Его вязкость в 2 раза больше, и он в 2 раза чаще, чем низкоосмолярные РКС с пониженной вязкостью, вызывает развитие нефропатии. Полученные результаты подтверждают некорректность ранее проведенных исследований Р. Aspelin и соавт. (2003) по сравнению йодиксанола и йогексола, в первую очередь связанную с тем, что в группу йодиксанола попали больные с исходно более тяжелыми заболеваниями почек, чем больные в группе йогексола. Причем в этих группах было всего 64 и 65 пациентов соответственно.

Согласно данным Американского кардиологического общества (2009), при проведении коронарной ангиографии у больных с риском развития нефропатии выбор КС может включать как изоосмолярные, так и низкоосмолярные контрастные средства (йопромид, йопамидол, йоверсол), за исключением йоксаглата и йогексола. К пациентам с риском нефротоксичности РКС относят лиц с СКФ <60 мл/мин/1,73 м² при внутриаортальном введении и с СКФ <45 мл/мин/1,73 м² при внутривенном введении, а также больных с сопутствующей диабетической нефропатией, дегидратацией, врожденной СН (NYHA III–IV стадии) и низкой фракцией выброса (ФВ) левого желудочка, недавним инфарктом миокарда (ИМ) (<24 ч), внутриаортальной баллонной контрапульсацией, артериальной гипертензией (АрГ), низким уровнем Ht, в возрасте старше 70 лет, при наличии острой почечной недостаточности (ОПН) или подозрении на нее. У таких больных в течение нескольких суток необходимо прекратить прием нефротоксичных средств, маннитола и петлевых диуретиков за 24 ч до введения РКС и начать гидратацию пациента путем внутривенного введения 0,9 % раствора NaCl в дозе 1,0–1,5 мл/кг в час (начать минимум за 6 ч до введения РКС и продолжать минимум столько же времени после его введения). В жарком климате объем вводимой жидкости следует увеличить.

После быстрого внутривенного болюсного введения КС оно практически «неразбавлен-

Таблица 3. Физико-химические свойства некоторых современных йодсодержащих органических РКС

Международное непатентованное название	Торговое название	Химическая структура	Концентрация йода, мг/мл	Вязкость при 37 °С, мПаск • с	Осмоляльность при 37 °С, мОсмоль/кг Н ₂ О	Содержание йода/вязкость
Амидотризоат	Урографин	Ионный мономер	370 292	8,9 4,0	2100 1500	41,57 73
Йопромид	Ультравист	Неионный мономер	370 300	10,0 4,7	770 590	37 63,8
Йогексол	Омнипак	Неионный мономер	350 300	10,6 6,1	844 720	33,0 49,1
Йоксаглат	Гексабрикс	Ионный димер	320	7,5	600	42,6
Йодиксанол	Визипак	Неионный димер	320	11,4	290	28,0
Йотролан	Изовист	Неионный димер	300	8,1	320	37,0

ным» достигает сердца, где смешивается с кровью, и такой болюс — «кровь—КС» — проходит затем сквозь сосудистое русло легких и достигает левой половины сердца, а также аорты и ее ветвей. Происходит быстрая диффузия КС из крови через большинство капиллярных мембран, главным образом в межклеточное пространство, поскольку средство обладает очень слабой связью с протеинами плазмы и очень небольшим внутриклеточным распространением. В первые минуты после болюсной инъекции КС отражает распределение крови и кровеносных сосудов в теле. Это дает возможность обнаружить некротические опухоли и кисты, которые не васкуляризованы и поэтому содержат меньшее количество смеси крови с КС, чем окружающие их нормальные ткани. Во время того же периода можно обнаружить опухоли или воспалительные процессы, которые гиперваскуляризованы, так как они содержат большее количество смеси крови с КС, чем окружающие их нормальные, менее васкуляризованные ткани.

В норме гематоэнцефалический барьер препятствует проникновению КС из крови в мозговую паренхиму. В областях, где этот барьер поврежден из-за опухоли или воспалительного процесса, КС может распространяться из крови в мозг. Области с поврежденным гематоэнцефалическим барьером, таким образом, могут быть обнаружены при КТ с контрастным усилением из-за увеличения в этих областях, по сравнению с окружающей нормальной мозговой паренхимой, концентрации контрастного вещества.

Внутривенное введение контрастных веществ — обязательное условие выполнения спиральной

компьютерной томографии (СКТ). При проведении СКТ для контрастного усиления (КУ) следует использовать неионные мономерные препараты. Это обусловлено снижением частоты даже малых побочных эффектов (непроизвольные движения пациентов при ощущении жара и боли, тошнота, рвота и т.д.), при этом снижается необходимость выполнения повторных исследований, повышается качество реконструкций. Кроме того, повышается пропускная способность КТ-кабинета и уменьшается риск развития нежелательных реакций. Для СКТ с контрастным усилением обязательным является использование автоматического инжектора. Выполняется пункционная катетеризация периферической вены, подсоединяется магистраль шприц-инжектора и проводится введение КС. Скорость и объем введения зависят от области исследования: детям вводят 1–2 мл/кг массы, при проведении СКТ — 120–150 мл со скоростью 4 мл/с, при исследовании органов грудной клетки и брюшной полости — 60–100 мл со скоростью 2–3,5 мл/с.

Перед инъекцией КС больному невозможно предсказать, какой эффект препарата или сочетание эффектов будет наиболее опасным для этого конкретного больного при данном исследовании:

- вазодилатация с возможной артериальной гипотонией и нарушением функции мозга, почек, снижением сократительной способности сердца, нарушениями сердечного ритма;
- появление ригидности эритроцитов с нарастанием легочной гипертензии и усугублением клиники легочного сердца;

- сосудистые эффекты, приводящие к развитию отека легких;
- влияние на мембраны клеток клубочков и канальцев, почечные сосуды с развитием анурии;
- повреждение гематоэнцефалического барьера с развитием судорожного приступа;
- повреждение эндотелия с развитием тромбоза, эмболии или высвобождение веществ, вызывающих анафилактическую реакцию;
- прямое воздействие на клетки и ткани с высвобождением гистамина, серотонина, активация системы комплемента с формированием анафилактикоидной реакции;
- взаимодействие с антителами, с развитием истинной анафилаксии.

Одним из осложнений при применении КС является развитие аллергических реакций различной степени тяжести. Существует закономерность: чем меньше времени прошло от момента поступления аллергена в организм до наступления аллергической реакции, тем тяжелее данная реакция. Практически же трудно предугадать степень тяжести аллергической реакции. Поэтому любая аллергическая реакция требует серьезного отношения.

Факторы риска при применении йодсодержащих КС:

- предшествующие аллергические реакции на КС или другие лекарственные препараты;
- бронхиальная астма;
- заболевания сердца;
- наличие онкопатологии;
- гиповолемия;
- почечная недостаточность;
- аутоиммунные заболевания.

Симптомы могут быть отнесены к признакам аллергической реакции I типа. Большая часть реакций на КС не связана с реакцией антиген/антиген-тело, и они часто случаются без предшествующего воздействия контрастного вещества.

Большинство реакций на КС относятся к анафилактикоидным из-за того, что они вызывают точно такие же клинические симптомы и требуют такого же симптоматического лечения, что и «настоящие» аллергические реакции, но они не спровоцированы реакцией антиген/антиген-тело, а развиваются при активизации иммунологических реакций через другие механизмы (активация системы комплемента).

Выделяют следующие степени реакции на КС:

- легкая (зуд, крапивница, гиперемия, тошнота, может быть артериальная гипертензия, умеренная тахикардия);

- умеренная (присоединяются тошнота, диспноэ, тахикардия, гипотензия, отек Квинке);
- тяжелая (клиника анафилактического шока).

Анафилактический шок — это шок, возникающий как резко выраженное проявление анафилаксии или атопии.

Клиника характеризуется острым, иногда молниеносным началом. Больной внезапно начинает испытывать дискомфорт, зуд, гиперемию, отек кожи; затем присоединяются чувство тяжести и стеснения (иногда боли) в груди и эпигастральной области, затрудненное дыхание, одышка. Вскоре покраснение кожи сменяется бледностью, снижается артериальное давление. Так, при анафилактическом шоке страдает и церебральный кровоток, возможны разнообразные неврологические проявления вплоть до потери сознания и развития судорожного синдрома. Иногда шок длится буквально секунды и заканчивается смертью.

При развитии аллергической реакции необходимо:

1. Прекратить введение КС.
 2. Вызвать врача.
 3. Обеспечить надежный в/в доступ: пункционная катетеризация периферической вены (ангиокат).
 4. Проконтролировать витальные функции: АД, ЧСС, уровень сознания.
 5. Уложить пациента, приподнять его ноги.
 6. Если аллергическая реакция легкой степени тяжести: в/в ввести антигистаминные препараты (тавегил, супрастин, димедрол) и таким образом купировать реакцию. Оставить пациента для наблюдения в течение 30 мин. Если нет улучшений: в/в ввести глюкокортикоиды (метилпреднизолон 30–120 мг), контроль АД, ЧСС, ЧДД каждые 3–5 мин. **ВЫЗВАТЬ ВРАЧА-РЕАНИМАТОЛОГА.**
 7. При нестабильной гемодинамике провести инфузионную терапию: в/в кристаллоидные растворы (раствор натрия хлорида 0,9 % — 400 мл), гидроксипропилкрахмал 6 % (рефортан) — 250 мл.
 8. Кислород 2–6 л/мин; при неадекватном самостоятельном дыхании (сатурация менее 90 %) перевод на ИВЛ.
 9. Медикаментозная терапия
Вазопрессоры (дофамин 0,5 %, адреналин 0,1 %, норадреналин 0,2 %) 1 мл/20 мл раствора натрия хлорида 0,9 % в/в по 1 мл смеси до стабилизации гемодинамики.
Эуфиллин 2,4 % — 10 мл (при бронхоспазме).
Седуксен 0,5 % (при судорожном синдроме).
- Для пациентов с высоким риском развития реакции на КС необходимо:

1. Пересмотреть направление на обследование и обсудить возможность выполнения альтернативных обследований с лечащим врачом.
2. Выбрать в качестве КС мономерный неионный препарат (например, ультравист). Не использовать препарат, если у пациента ранее была реакция на него.
3. Если предшествующая реакция была:
 - легкой или умеренной степени — использовать премедикацию антигистаминными препаратами в/в непосредственно перед КУ;
 - тяжелой — проводить **ТОЛЬКО ПО ЖИЗНЕННЫМ ПОКАЗАНИЯМ** (с реанимационным сопровождением: надежный в/в доступ, мониторинг витальных функций, обязательная премедикация).

Перед введением РКС пациент, у которого ранее были анафилактические реакции или имеются бронхиальная астма (БА), аллергические заболевания, должен получить для их профилактики глюкокортикостероиды (ГК) и антигистаминные средства (АГС). Для профилактики общих реакций РКС лучше всего вводить (внутримышечно или внутривенно) метилпреднизолон (32 мг) за 6–12 и 2 ч до введения РКС или его комбинацию с блокаторами гистаминовых H1- и H2-рецепторов (в качестве которых используют дифенгидрамин, ранитидин и др.).

2.3. ВЫБОР РКС

При получении требуемой диагностической информации наивысшим приоритетом, естественно, является безопасность для пациента. Основываясь на многолетнем опыте в области раз-

работки безопасных КС, компания «Шеринг АГ» создала препарат ультравист, безопасность которого была многократно доказана.

Неионные КС, такие как ультравист, вызывают побочные реакции в 3–4 раза реже по сравнению с ионными (табл. 4). Купирование с помощью введения бронхорасширяющих средств или катехоламинов.

В отличие от ионных КС, ультравист не связывает ионы кальция, имеет низкую осмоляльность и не обладает электрическим зарядом. Это означает, что он значительно слабее влияет на диастолическое давление в левом желудочке, сократимость миокарда, его насосную функцию и ЭКГ. Как неионное КС, ультравист обладает значительными преимуществами, выражающимися в минимальных изменениях частоты сокращений сердца, артериального давления и параметров ЭКГ, что доказано при проведении ангиокардиографии даже у детей.

Осмоляльность ультрависта значительно ниже, чем у ионных КС, и меньше, чем у большинства мономерных неионных, благодаря чему электролитный баланс изменяется незначительно и уменьшается нагрузка на сердце.

Кроме того, ультравист позволяет использовать высокую концентрацию йода — 370 мг/мл, рекомендуемую для СКТ и коронарной ангиографии при низкой вязкости. В результате получается отличное качество контрастирования в сочетании с легкостью инъекции.

Преимущества ультрависта при сравнении с другими мономерными и димерными контрастными средствами в отношении побочных реакций и диагностической эффективности (табл. 5, 6) [29].

Таблица 4. Частота развития побочных эффектов (%) при проведении ангиокардиографии

Побочная реакция	Ионные контрастные средства (1350 пациентов)	Ультравист® (370 мг/мл) (1340 пациентов)
Тошнота	5,9	1,7
Крапивница	1,6	0,3
Стенокардия	1,8	0,9
Рвота	1,6	0,9
Одышка	1,0	0,3
Нарушение зрения	0,52	0,22
Головная боль	0,37	0,22
Всего побочных эффектов	14,4	4,5
Тяжелые побочные эффекты	0,67	0,45