

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 выравнять 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 поджатом 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 удлиняет 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 отдельно, 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°) 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 многопроеционной 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. Фиксация пациента достигается 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.