

ЗНАЧЕНИЕ РЕНТГЕНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ В КОСТНОЙ ПАТОЛОГИИ

Майкл Дж. Кляйн¹, И.В. Булычева²

¹Weill Medical College of Coenell University New York, NY

²ФГБНУ «Российский онкологический научный центр им. Н.Н. Блохина», г. Москва

Ключевые слова: скintiграфия, опухоли костей, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография

Соответствие морфологической картины и рентгенологического изображения является основополагающим подходом в диагностике костных новообразований, и тем не менее этим постулатом пренебрегают большинство патологов. Для постановки «грамотного» морфологического диагноза сопоставление морфологического и рентгенологического диагнозов является абсолютной и обязательной необходимостью. Рассмотрение рентгенологических данных лишь в качестве интересных, но не обязательных дополнительных сведений к морфологическому исследованию недопустимо. В настоящем сообщении уделяется особое внимание оценке взаимосвязи между рентгеновскими лучами и тканями с акцентом на структуру кости и мягких тканей. Кроме того, детально рассматривается применение данных лучевой диагностики в построении морфологического диагноза.

На этапе подготовки общих патологов обязательно встречаются упоминания о необходимости применения рентгенологических данных при интерпретации костных биопсий. Исторически данный подход был сформулирован Jaffe и назван «3D» [1]. Данный термин подразумевает тесное взаимодействие специалистов трех областей – морфолога, рентгенолога и хирурга-ортопеда. Результатом такого сотрудничества является правильная постановка диагноза в 95% случаев [2]. Однако в редких университетах и клинических госпиталях имеются специальные программы по подготовке костных патологов со специализированным циклом по рентгенологии. Приобрести необходимые знания для целенаправленного понимания рентгенологических структур с учетом редкости костной патологии крайне сложно, а зачастую и невозможно без доступа к специально подготовленным программам.

Пораженные ткани, исследуемые в ортопедической практике, невидимы без применения лучевых методов, они невидимы и для хирурга, берущего кусочки ткани для морфологического исследования. Лучевая диагностика предоставляет целый спектр данных о взаимном расположении пораженных и здоровых тканей, помогает интерпретировать изменения не только с точки зрения воздействия патологических тканей на здоровые, но и о действии здоровых тканей на «больные». В ряде случаев лу-

чевые данные объясняют клинические симптомы и проявления заболевания.

Интерпретация костных биоптатов требует опыта и определенных навыков, костная ткань трудна для обработки и выполнения дополнительных молекулярных методов. Изучение костных биоптатов сопровождается большим количеством артефактов. Рентгеновский снимок в ряде случаев является самостоятельным и достаточным материалом для постановки диагноза. Лучевые методы дают полную картину зоны патологического процесса, помогают установить наиболее предпочтительные для взятия биопсии участки ткани, помогают доказать наличие диагностически важных зон и из какого фрагмента новообразования взят материал для гистологического исследования [3]. Таким образом, становится очевидным, что изолированное морфологическое исследование не является достаточным для постановки правильного диагноза при новообразованиях костной ткани. Чем меньшим опытом обладает патолог в чтении костных изображений, тем более явной становится роль рентгенолога в совместной «3D»-работе.

Взаимодействие рентгеновских лучей с костными и мышечными структурами

Рентгеновские лучи представляют собой электромагнитные волны с длиной в один ангстрем. Рентгеновские лучи способны характеризовать ткани на атомном уровне, поскольку они обладают высокой энергией и меньше атома по размерам. Опыты Резерфорда показали, что ядро любого

Адрес для корреспонденции

Булычева Ирина Владиславовна

E-mail: irena@boulytcheva.com

атома составляет лишь биллионную часть всего атома [4]. В природе создается впечатление, что материя обладает солидной плотностью, однако все атомы преимущественно состоят из орбитальных пространств. Атомная масса на 99,94% состоит из массы протонов и нейтронов. Если условно удалить все орбитальные пространства, оставшийся объект займет одну биллионную часть исходного объема. Для наглядности приведем пример с 5000 укомплектованными самолетами. Если удалить все межучточные пространства, то оставшийся объем будет соответствовать объему бейсбольного мяча, при этом масса предмета останется прежней. Еще более впечатляющими природными примерами данного факта являются пульсары, звезды-карлики и (теоретически) черные дыры.

Таким образом, рентгеновские лучи пронизывают материю именно благодаря этим межучточным пространствам, чем больше атомная масса вещества и большее количество частиц вращается вокруг ядра, тем выше вероятность столкновения с рентгеновским лучом и, соответственно, «плотность» структуры. Объем ядер ничтожен (1×10^{-9}), и даже в

атомах с несколькими ядерными частицами (золото, свинец, осмий) можно пренебречь их ролью в поглощении рентгеновских лучей (рис. 1).

Становится очевидным, что рентгеноплотность напрямую зависит от физических свойств межучточных пространств вещества. К примеру, атом криптона обладает большим количеством электронов, чем атом кальция, но большими межучточными пространствами, и, соответственно, криптон является газообразным веществом, а соответственно, пропускаем для рентгеновских лучей. Рентгеноплотность напрямую зависит от количества частиц для возможных столкновений и межучточного пространства между этими частицами.

Алмаз, одно из самых твердых веществ в природе, имеет такую же рентгеновскую плотность, как графит, самый хрупкий материал (рис. 2). Цирконий, искусственный «мимик» алмаза, наоборот, обладает высокой рентгеновской плотностью, поскольку обладает дополнительной орбитой и большим количеством электронов, чем кальций (см. рис. 2).

Рентгеновский снимок является результатом прохождения рентгеновскими лучами, генерируе-

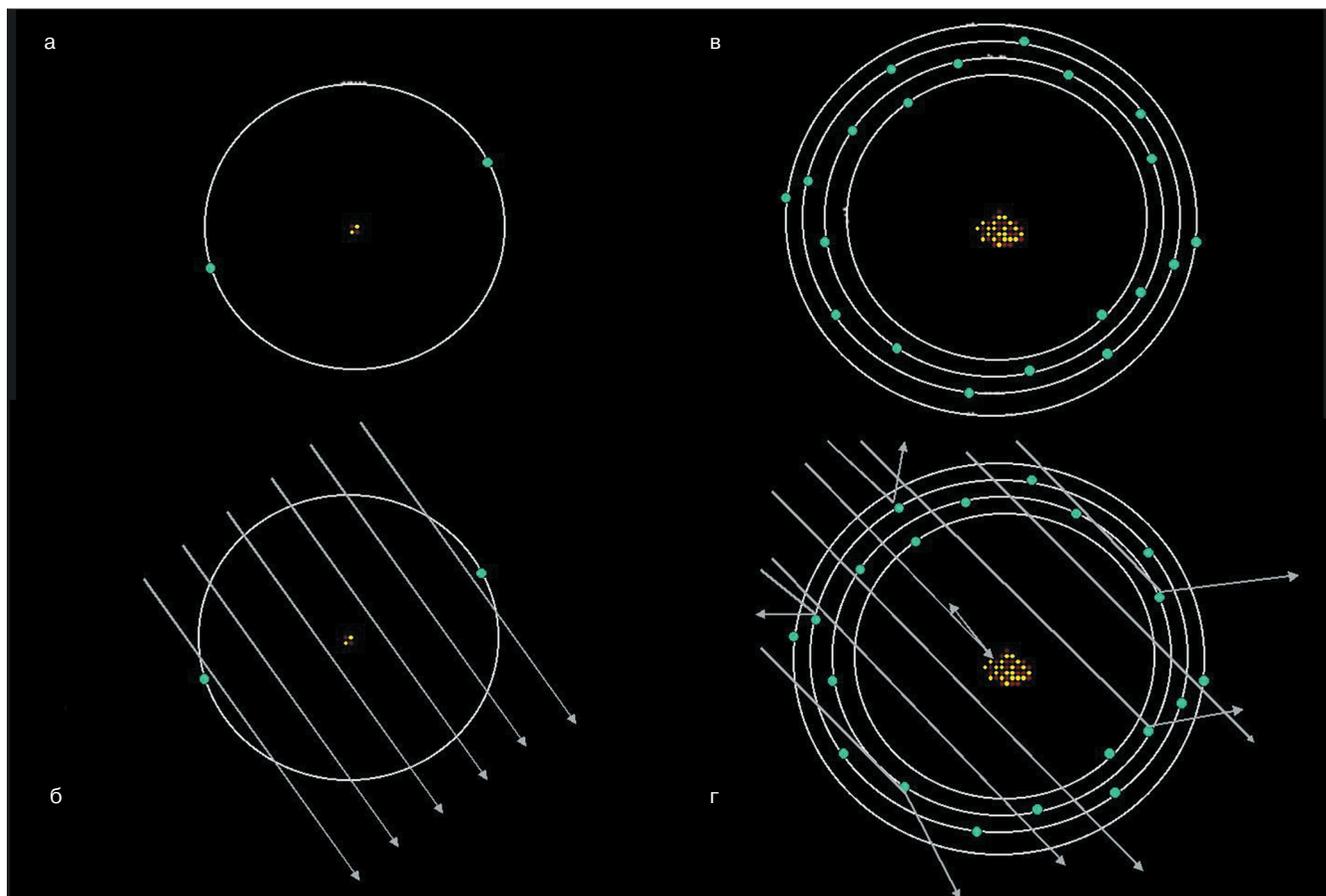


Рис. 1. Рисунки а и в представляют схематическое изображение атома гелия с двумя электронами на одной орбите. Для сравнения представлена структура кальция с 20 электронами на четырех орбитах. На рисунках б и г рентгеновские лучи «атакуют» эти атомы. Становится очевидным, в каком случае столкновение более вероятно. На рисунке 1г изображена схема вероятного столкновения ядра с рентгеновскими лучами, однако в масштабе рисунка внешняя орбита имеет диаметр 10,2 м! Рисунки необходимо рассматривать с учетом определенных физических неточностей



Рис. 2. а) Пациентка, 40 лет, отметила боль в кисти после незначительной травмы, рентгенологическое исследование выявило энхондрому 5-го пальца с признаками перелома без смещения. На снимке также контурируется крупный рентгенопрозрачный камень (алмаз) в оправе от Тиффани. **б)** Пациентка, 50 лет, предпочитает носить поддельный камень, являющийся оксидом циркония, из соображений безопасности. Цирконий оксид обладает 40 электронами на 5 орбитах в противоположность 20 электронам на 4 орбитах у кальция. Снимки демонстрируют истинный алмаз (рентгенопрозрачный) и искусственный камень цирконий (рентгеноплотный)

мыми на катодной трубке через фильтр, коллиматор, ткани пациента, модулятор и детектор [5].

Рентгеновская трубка продуцирует широкий спектр электромагнитных волн, фильтр удаляет излишний радиационный фон. Для уменьшения рассеивания волн на трубке ставят коллиматор, также между объектом и кассетой устанавливают рассеивающую решетку, которая отсекает отраженные волны.

Рентгеновские лучи способны реагировать с фотографической эмульсией, но с замедленной скоростью по сравнению со световыми лучами, поскольку они находятся в другом спектре электромагнитного излучения. Для ускорения процесса фотопленка помещается в кассету с флуоресцентным слоем редкоземельных металлов. Рентгеновские лучи реагируют с флуоресцентным покрытием, вызывают переход электронов на более высокий энергетический уровень. Когда электроны возвращаются в исходное энергетическое состояние, они дают вторичную эмиссию электромагнитного света, который проявляется на пленке и дает контактный отпечаток в кассете. Результатом этой вторичной фотохимической реакции является преципитация серебра в эмульсии и экспозиция пленки [6]. Интенсивность флуоресценции прямо пропорциональна интенсивности рентгеновских лучей. Плотные объекты, поглощают излучение, эмульсия под ними обладает малой преципитацией серебра, и изображения на снимках оказываются светлыми. Объекты, пропускающие лучи на рентгеновских снимках, соответственно, выглядят темными.

Помимо классической рентгенограммы, которая, по сути, является большим негативным снимком, существуют и другие методы получения изображения. При флюороскопии изображение записывается в реальном времени видеокамерой. Возможно также получить изображение за счет реконструкции нескольких маленьких цифровых изображений. Упрощенно можно рассматривать плотность изучаемых тканей как воздух (газообразную среду), жировую ткань, воду и кость. Интересно отметить, что, хотя первые три состояния проницаемы для лучей и на рентгенограммах проявляются темными зонами, их контур можно определять за счет соседних плотных структур. Наиболее ярким примером является растущий метаэпифиз длинной кости ребенка (рис. 3). Косвенным путем можно оценить и состояние синовиальной ткани, а также хрящевого слоя головки бедренной кости при остеоартрите (рис. 4).

Рентгенограмма является двумерным отображением трехмерной структуры. К примеру, бедренная кость классически выглядит с более плотным корковым слоем и менее плотным костномозговым каналом. Никого этот факт не удивляет. На самом деле данный эффект возникает вследствие того, что сумма плотных структур, которые проходит пучок

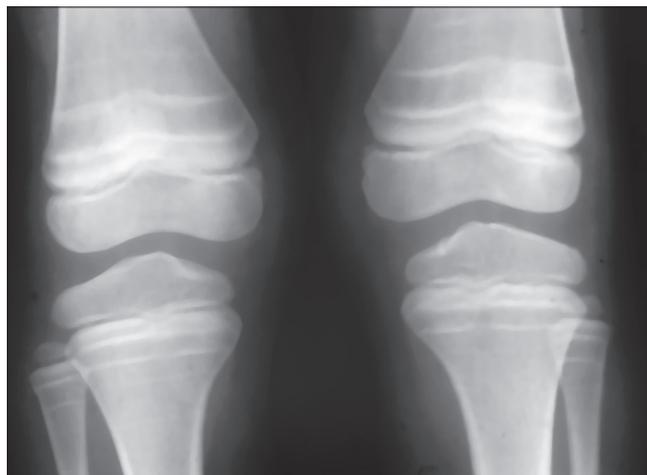
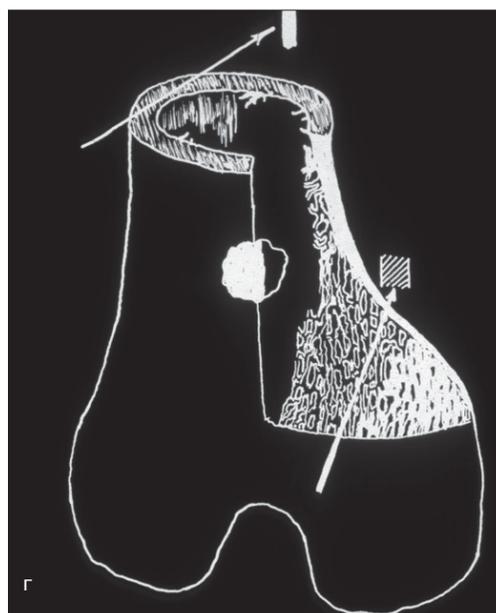
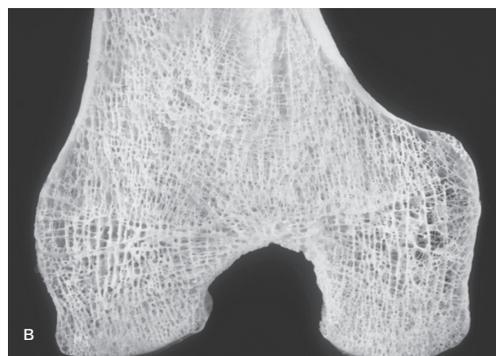
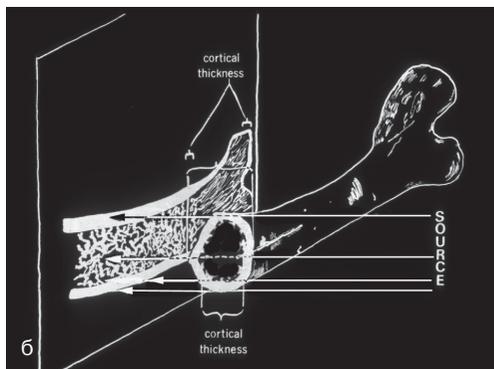
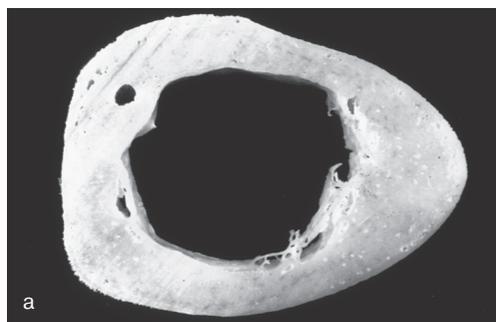


Рис. 3. Снимок коленного сустава у ребенка. Выраженная «щель» между бедренной и большеберцовой костями за счет утолщенного суставного хряща. Симметрично расположены темные зоны в ростковых пластинках. Также имеются параллельные и симметричные рентгеноплотные зоны во всех концевых отделах представленных на изображении костей, в бедренных костях эти зоны отстоят друг от друга на большее расстояние, что говорит об ускоренном, активном и дифференцированном росте в зоне ростковой пластинки бедренной кости



Рис. 4. Тяжелый остеоартрит левого коленного сустава, суставной хрящ между мышелком бедренной кости и суставной поверхностью большеберцовой кости практически отсутствует (тонкая, неровная темная зона на снимке). В медиальном отделе суставная щель полностью отсутствует, в эпифизарной зоне имеются участки разрыхления ткани, представляющие собой дегенеративные кисты

три раза в корковой зоне, больше, чем сумма корковых структур дважды плюс костномозговое вещество в центральной части трубчатой кости [9] (рис. 5). Рентгеновские лучи настолько малочувствитель-



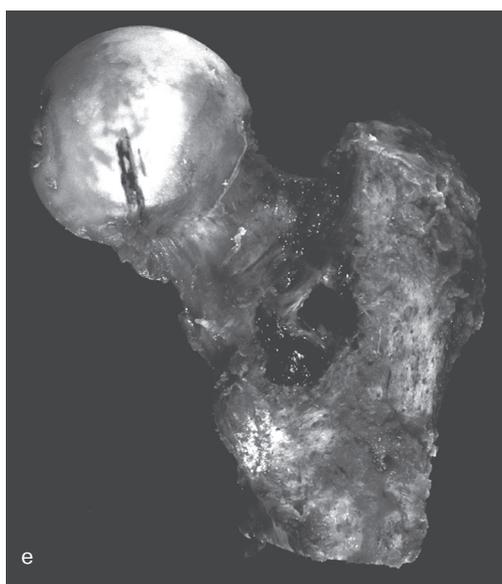
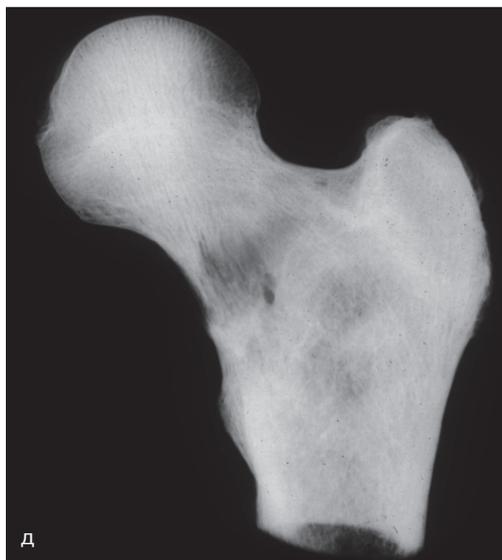


Рис. 5. а) Поперечный срез диафиза бедренной кости. б) Схематическое изображение рентгеновских лучей, проходящих через более плотный участок наружного отдела коркового слоя кости и лишь двойной слой кортикальной пластинки и костномозговую жировую ткань медуллярной зоны. в) Дистальный отдел бедренной кости взрослого человека, представленный на 75% костномозговым содержимым, построен из губчатой кости, корковый слой выражен слабо. г) Схематическое изображение прохождения рентгеновских лучей через различные отделы кости: в метадиафизарной зоне на рентгеновском снимке преимущественно окажется кортикальная пластинка, в метаэпифизарной зоне губчатая кость. Новообразования, расположенные в метадиафизарной зоне и поражающие менее 40% структуры кости, остаются нераспознанными. Новообразования, характеризующиеся склеротическими изменениями, видны на рентгенограммах. д) Рентгенограмма удаленного проксимального отрезка бедренной кости с элементами метастатического поражения у больного раком почки, степень литических изменений умеренно выражена. е) Макропрепарат того же больного, демонстрирующий тотальный литический дефект с поражением кортикальной пластинки и частично медуллярного пространства

ны, что требуется более 40% разрушенных костных структур, чтобы изменения могли стать видимыми на снимке. Если это прямая проекция и поражен корковый слой, то должно быть разрушено 80% ткани.

Именно поэтому так важно проводить исследование в нескольких проекциях. Важно понимать, что на снимке трубчатой кости мы видим проекцию коркового слоя, более плотного по краям и менее плотного в середине. Все изменения в костномозговом канале до тех пор, пока они не изменяют кортикал или не обладают костной плотностью, остаются невидимыми на снимке в прямой проекции (см. рис. 5) [7, 8].

Имеются и иные факторы, которые необходимо учитывать при оценке рентгенограммы, например, части тела пациента, отлежащие от записывающего устройства, на снимке окажутся увеличенными по сравнению с прилежащими ближе. Рентгеноплотные объекты выглядят более четкими на снимке. Некоторые объекты теряют четкость изображения вследствие рассеивающего эффекта Комптона [9]. Помимо этого на изображение может влиять киловольтаж катодной трубки, который влияет на прохождение рентгеновских лучей через ткани [6, 10].

Основные статистические данные, принимаемые во внимание при проведении рентгено-морфологического анализа

Опухоли костей в большинстве случаев «подчиняются» основным статистически важным критериям: возрасту пациента, локализации очага поражения в скелете и рентгенологическим характеристикам зоны поражения. Необходимо иметь в виду, что практически во всех возрастных категориях истинные опухоли костей встречаются реже, чем инфекционные процессы, патология развития скелета, травматические и метаболические, также дегенеративные нарушения (рис. 6–10).

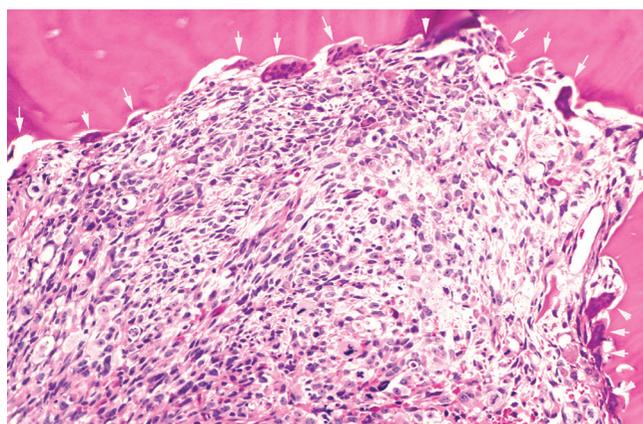


Рис. 6. Резорбция кости остеокластами (указано стрелками)

Врожденные нарушения и пороки развития характерны для первых двух декад жизни, метаболические и дегенеративные нарушения развиваются позднее. Инфекционные процессы, как и травма, наблюдаются в костях в любом возрасте, однако у детей доминирует гематогенное распространение инфекции, а у взрослых причинами инфекции являются сопутствующая травма и сосудистые нару-



Рис. 7. Рентгенограмма дистального отдела большеберцовой кости, демонстрирующая хрящеобразующую опухоль. В дополнение к кальцинированному рентгенопроницаемому матриксу имеются признаки узурации внутренней поверхности кортикальной пластинки (указано стрелками)

шения. Критерий возраста играет принципиально важную роль в диагностике костных новообразований. К примеру, пик заболеваемости саркомой Юинга и остеосаркомой приходится на период между второй и третьей декадами жизни. Гигантоклеточная опухоль и хондросаркома характерны для сформировавшегося скелета. Метастатическая болезнь и плазмноклеточная миелома редко встречаются до пятой декады жизни. Важно изучить всю пораженную кость, а в некоторых случаях и весь скелет, ряд новообразований характеризуется мультифокальностью. Важно изучить, поражен ли прилежащий к опухоли сустав, каков состав матрикса. Продукция костного, хрящевого или фиброзного матрикса направляет мысль на костную опухоль, соединительнотканый матрикс чаще характеризует реактивный процесс в зоне перелома или инфицирования, однако соединительнотканый матрикс может наблюдаться и при фиброзной дисплазии.

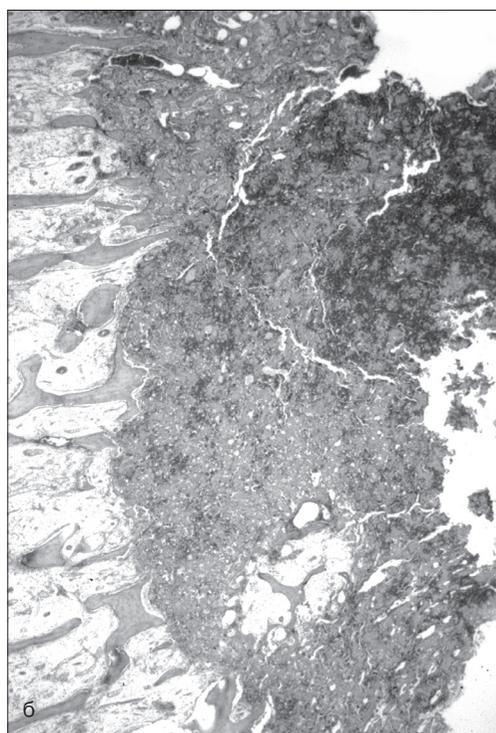


Рис. 8. а) Рентгенограмма препарата с классической «географической» рентгенологической структурой, видна четкая граница между новообразованием и нормальной костью. б) Зона перехода опухолевой ткани в нормальную кость, в зоне роста опухоли костные структуры практически отсутствуют, в левой части препарата костные структуры практически не изменены

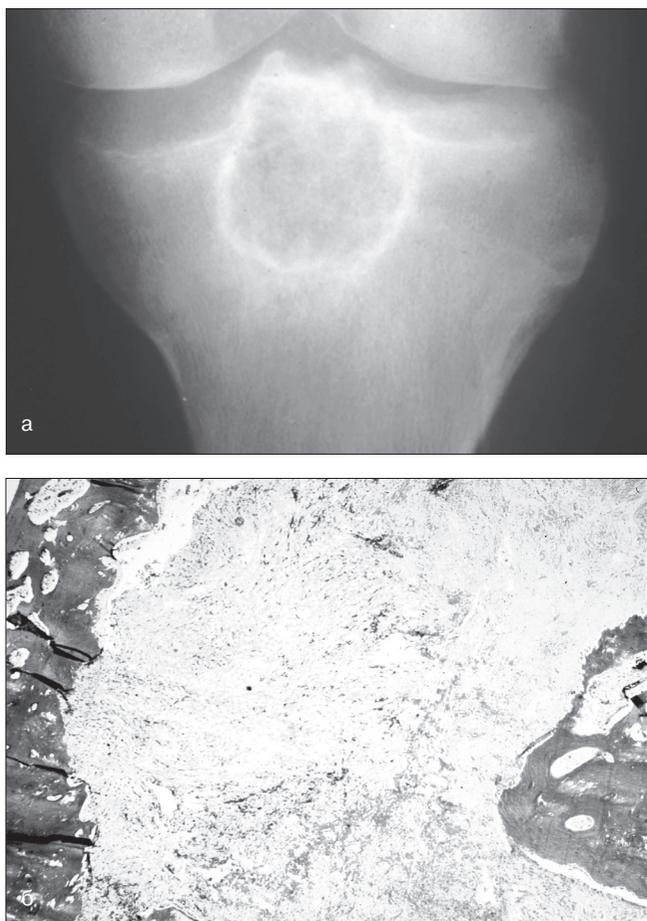


Рис. 9. а) Рентгенограмма проксимального отдела большеберцовой кости с рентгенопрозрачным новообразованием, окруженным зоной склероза за счет новообразованной кости. б) Фибрильная структура новообразования имеет отграничительную зону, по структуре напоминающую кортикальную пластинку

Основные типы рентгенологических изображений в костной патологии

Оценка рентгенологического изображения базируется на описании взаимоотношения костных структур и реакции костной ткани на развитие патологического процесса в ней. Нет разницы, на какой процесс реагирует кость, будь то опухоль, травма, воспаление или метаболические изменения. Различие заключается только в степени выраженности изменений [10].

Костная ткань реагирует на патологический процесс двумя проявлениями: новообразованием и абсорбцией или комбинацией обоих процессов [11]. Рентгенограмма отражает состояние костной ткани и ее ответ на патологический процесс в данный отрезок времени. Наиболее диагностически важной является зона перехода патологической кости в нормальную. Эта зона имеет название «переходной» [12]. Более четко выраженная «переходная» зона характеризует менее агрессивный патологический процесс. Абсорбция костной ткани является

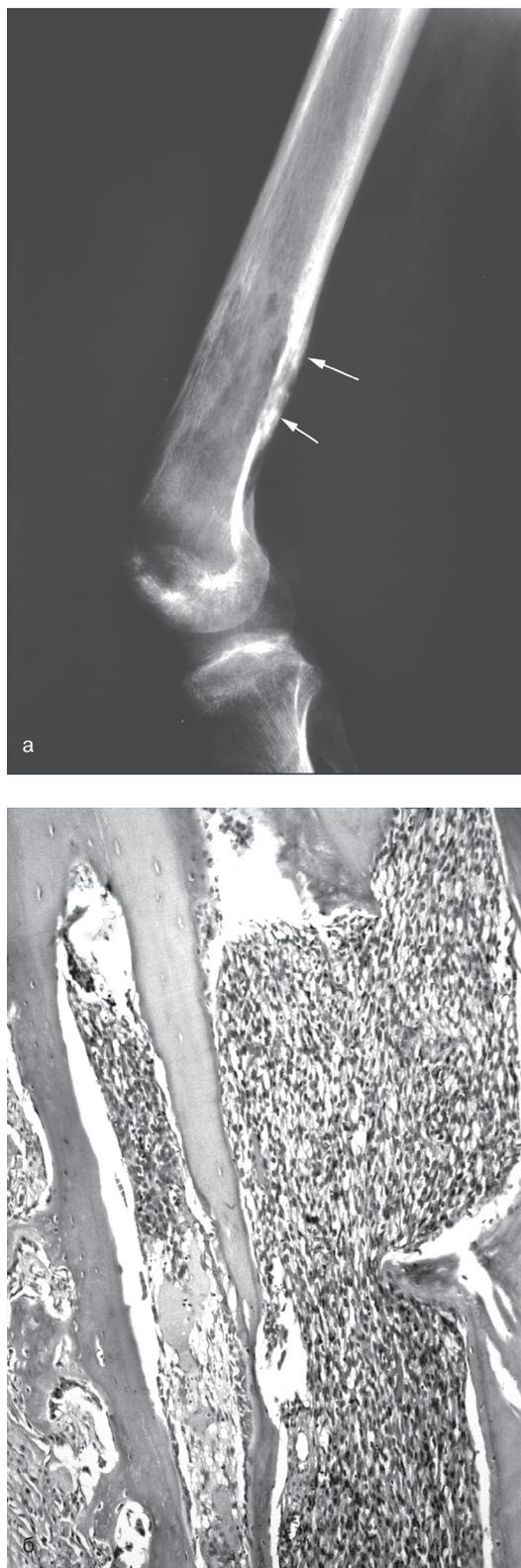


Рис. 10. а) Боковая проекция, демонстрирующая бедренную кость с характерными структурами типа кости, «побитой молью». Подобная картина характерна для высокодифференцированного злокачественного процесса. Видна деструкция кортикальной пластинки, границы новообразования плохо контурируются, стрелками указаны зоны периостальной реакции. б) Веретеноклеточная опухоль с распространением по Гаверсовым каналам и за пределы кортикала с периостальной реакцией (слева внизу)

комплексным процессом. Реакция и активизация остеокластов из гистиоцитарных предшественников требуют времени. Четкая зона демаркации подразумевает вяло протекающий доброкачественный процесс взаимодействия костных структур и активизированных остеокластов без интратрабекулярной инфильтрации кости (см. рис. 6).

Длительно протекающий доброкачественный процесс может вызывать зубчатую эрозию внутреннего края кортикальной пластинки кости за счет активности остеокластов (см. рис. 7). Однако полного разрушения кортикала и инфильтрации по сосудистым каналам, как правило, не наблюдается за исключением редких случаев отсутствия кровообращения и некроза кости.

Рентгенологическая картина четко отграниченного края очага поражения получила распространенное название «географического» рисунка [13, 14].

Данный тип реакции отражает равный по времени процесс абсорбции кости остеокластами и одновременный рост новообразования. Гистологический срез на границе укажет четкую грань между нормальной и пораженной костью (см. рис. 8).

Географическое изображение может быть охарактеризовано как «отграничительное», если имеется зона уплотнения по периферии, этот процесс характеризует активность остеобластов, которым требуется еще более длительный промежуток времени на продукцию кости, чем остеокластам на ее резорбцию [15]. Наличие «отграничительного» ободка вокруг зоны деструкции говорит о длительном и, как правило, доброкачественном процессе (см. рис. 9).

Новообразования, обладающие более агрессивным биологическим потенциалом, разрушают кость быстрее, чем ее структуры успевают окончательно отреагировать на повреждение. По мере роста новообразования процесс прогрессирует по межтрабекулярным пространствам, заполненным рыхлой соединительной тканью. В основном новообразованные структуры вытесняют жировую ткань костномозгового канала из межтрабекулярных пространств, в дальнейшем прогрессирование протекает по каналам Гаверса и Фолькмана. Если процесс опухольный, то наблюдается распространение по сосудистым каналам и достигает периоста. Если процесс инфекционный, то возможен некроз ткани вследствие отека прилежащих структур, при этом процесс также может достигать периоста. В любом случае описанные наблюдения характеризуются более «размытой» переходной зоной.

В случае когда имеется зональность с чередованием более четкой и более размытой переходной зоной, применяется термин «побитой моллю» костной структуры [14]. Гистологические срезы в данном случае демонстрируют инфильтрацию межтрабекулярного костного мозга или жира. Аналогичное замещение нормальных структур на опухолевые

или реактивные происходит в сосудистых каналах (см. рис. 10).

Инфильтративный рост характеризует злокачественный процесс, например, первичную злокачественную костную опухоль [11].

При этом замещаются межкостные промежутки на значительном протяжении без значимой ремодуляции кости. Как правило, имеются признаки мягкотканного распространения процесса (рис. 11). Позднее появляются признаки разрушения и костных структур.

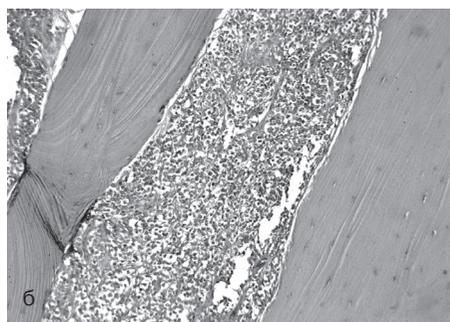


Рис. 11. а) Инфильтративный процесс в бедренной кости. Нет четких рентгенопрозрачных очагов, в зоне, указанной стрелками, незначительный дефект кортикальной пластинки вследствие сдавления новообразованием в мягких тканях, отмечается прерывистая периостальная реакция, границы опухолевого очага размыты. б) Биоптат опухоли, все структуры инфильтрированы мелкоклеточным пролифератом, полное отсутствие реакции остеокластов на рост опухоли

Типы периостальной реакции

В дополнение к основным структурным изменениям в самой кости важную информацию привносят рентгенологические признаки изменений периоста. Периост представлен наружным фиброзным слоем и внутренним плюрипотентным герминативным слоем из камбиальных клеток. Волокна Шарпея, более нежные в детстве и более плотные и короткие в зрелом возрасте, соединяют внутренний периост с корковым слоем кости. Как правило, нормальный периост не виден на рентгенограммах, однако при его раздражении возникает реакция кости, фиксируемая рентгеновскими лучами. Степень выраженности периостальной реакции зависит не только от процесса в кости, но и от возраста пациента. Более плотный периост характеризуется менее яркой реакцией периоста. Вялый доброкачественный процесс вызовет солидную, непрерывную реакцию периоста. При доброкачественном процессе остеобластам предоставляется достаточно времени на формирование полноценного ответа [12].

Солидная периостальная реакция выражается в утолщении коркового слоя кости (рис. 12). При остеоидной остеоме, например, или интракорткальном абсцессе реакция периоста столь выражена, что рентгеноплотный реактивный участок перекрывает само новообразование (рис. 13).



Рис. 12. Рентгеновский снимок в передне-задней проекции демонстрирует интракорткальный абсцесс. Хорошо контурируется веретенообразное утолщение кортикальной пластинки как результат медленно текущей периостальной реакции

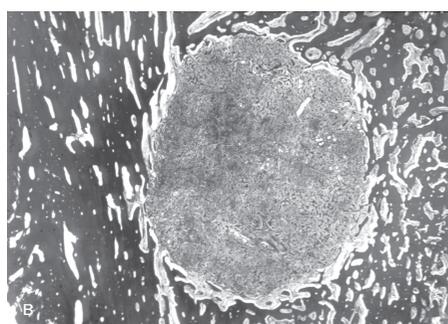


Рис. 13. а) Остеоидная остеома с буйной периостальной реакцией, 18-летний пациент страдал от выраженной ночной боли, купированной аспирином, реактивное веретенообразное костеобразование вокруг ядра опухоли столь выражено, что маскирует первичный очаг. б) Утолщенный фрагмент кортикальной пластинки на распиле содержит 3–4 мм гнездо остеоидной остеомы. Окружающая опухоль реактивная кость в 3 или 4 раза превышает саму опухоль и объясняет причину маскировки гнезда на рентгенограммах. в) Гистопограмма демонстрирует нормальное строение кортикала слева, опухолевый узел в центре и менее зрелую компактную кость в правом углу препарата

Прерывистая периостальная реакция характерна для быстро развивающегося процесса, как, например, гематома, инфекция или интенсивно растущая злокачественная опухоль. Классическим примером подобной реакции является треугольник Кодмана, при котором надкостница отстоит от коркового слоя с одного из краев, а также имеются признаки быстро развивающейся реакции мягких тканей на деструктивный процесс в кости (рис. 14).

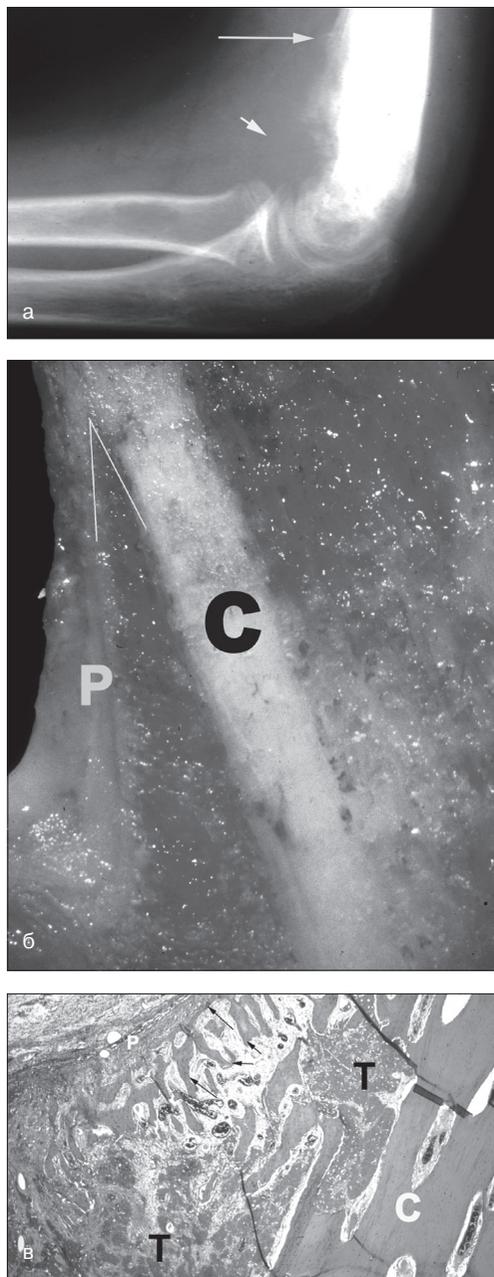


Рис. 14. А) Угол Кодмана, характерный для остеосаркомы. Длинной стрелкой указана зона периостальной реакции на границе с кортикальной пластинкой в проксимальном отделе бедренной кости. Короткой стрелкой помечена зона периостальной реакции, переходящая дистально в мягкотканый компонент опухоли. Б) Макропрепарат, демонстрирующий угол Кодмана. Помечена кортикальная пластинка (С) и периост (Р), угол подчеркнут и может быть сравнен с рентгенограммой. В) Микроскопическая картина в зоне угла Кодмана, опухоль помечена (Т), отмечается инфильтративный рост по Гаверсовым каналам. Периост (Р) и новообразованная кость расположены в левой и центральной частях препарата

Прерывистая периостальная реакция может быть многослойной, что формируется в результате повторяющихся циклов отторжения надкостницы и ответной реакции остеобластов и новообразования кости. Многослойная реакция периоста имеет название «луковичного» за счет сходства с луковичной шелухой [16]. Интересно отметить, что концентрические слои новообразованной

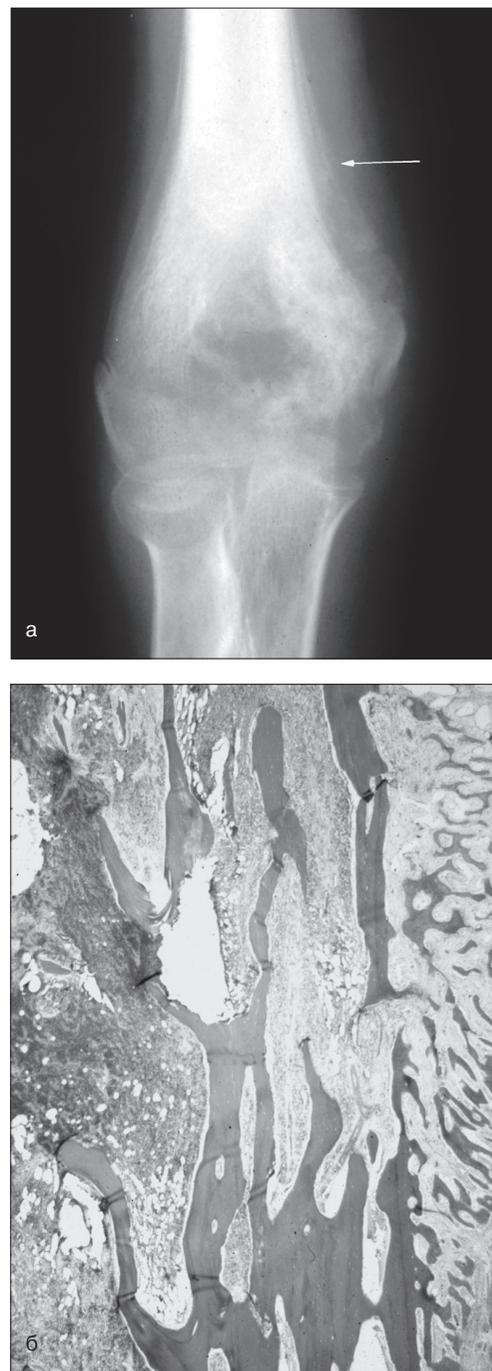


Рис. 15. А) Периостальная реакция луковичного типа, демонстрирующая непрерывающиеся слои новообразованной кости за пределами кортикальной пластинки (обозначено стрелкой). Б) Гистологический препарат кортикальной пластинки и периостальной реакции демонстрирует слева направо тенденцию к истончению, потере компактности и зрелости костных структур

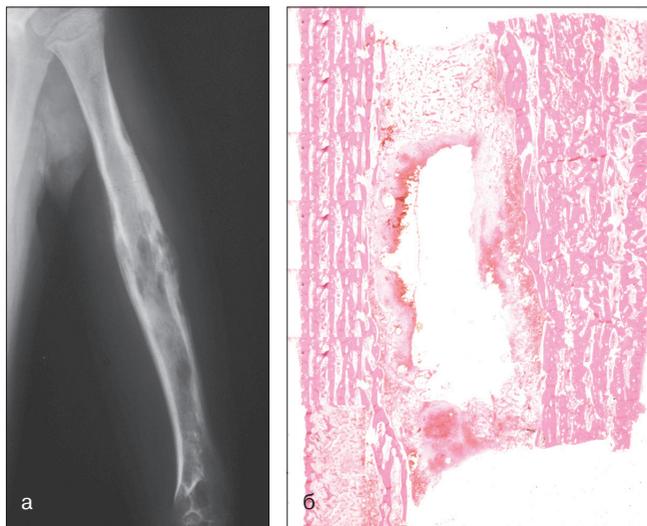


Рис. 16. а) Рентгенограмма плечевой кости пациента, прошедшего курс системной химиотерапии по поводу саркомы Юинга. На снимке видна непрерывная веретенообразная периостальная реакция, подлежащая кость имеет структуру «побитой молью», что характерно для продолженного во времени роста злокачественной опухоли. б) Гистотопограмма демонстрирует множественные тонкие, параллельные, непрерывные слои пластинчатой кости кортикальной пластинки с расширенными Гаверсовыми каналами. В межкостных пространствах нет жизнеспособных опухолевых структур

кости перемежаются с прослойками рыхлой богатой сосудами соединительной ткани, иногда не содержащей структур основного патологического процесса.

Чем дальше слой отстоит от коркового слоя, тем менее дифференцированными и взаимосвязанными становятся соединительнотканые структуры (см. рис. 5).

Комплексные реактивные периостальные структуры могут напоминать солнечные лучи или торчащие волосы в зависимости от ориентации новообразованных костных структур (рис. 17). Реактивная кость, как правило, обладает зональностью, в то время как неопластическая кость обладает беспорядочной структурой, и это может быть зафиксировано рентгенологически [3].

Слитная комплексная периостальная реакция характерна для вялотекущего процесса, прерывистая – для агрессивного [7, 12, 16]. Многослойная периостальная реакция, не охватывающая новообразование со всех сторон, все же в большей степени характеризует быстро развивающийся процесс, но с лимитированным биологическим потенциалом (рис. 18). Независимо от типа периостальной реакции, должно быть заподозрено злокачественное новообразование, если без четко выраженных признаков разрушения кортикала имеются изменения в прилежащих мягкотканых структурах (рис. 19).

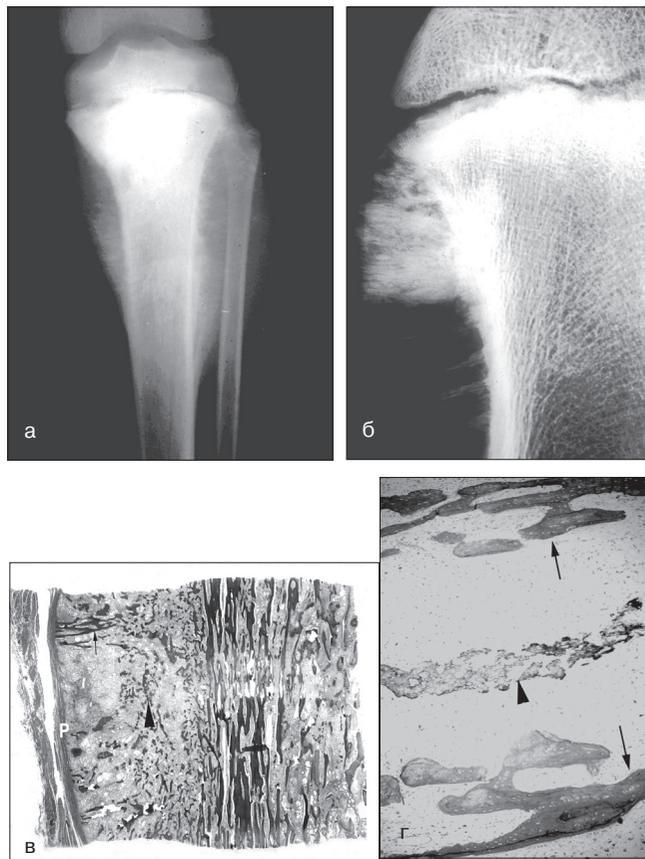


Рис. 17. а) Остеосаркома проксимального отдела большеберцовой кости с комплексной периостальной реакцией по типу угла Кодмана в сочетании с игольчатой периостальной реакцией, диффузный склероз. б) Рентгенограмма препарата демонстрирует вертикальные более плотные со стороны кортикала спикулы новообразованной кости. Между спикулами ткань более плотная и «пушистая», что говорит об опухолевом костеобразовании. в) Гистотопограмма на малом увеличении демонстрирует приподнятый периост (Р), периостальное костеобразование обозначено стрелкой, опухолевый остеогенез обозначен наконечником. г) На большом увеличении определяются параллельные структуры новообразованной кости (обозначены стрелками), а также опухолевое новообразование кость между ними (обозначена стрелкой).

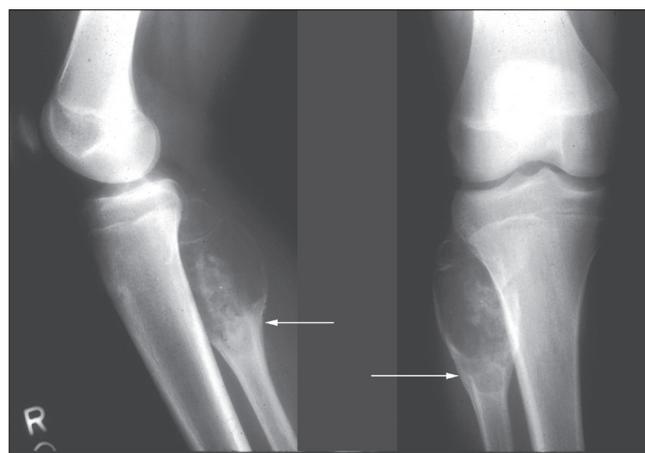


Рис. 18. Аневризмальная костная киста у 16-летней пациентки. Кость вздута, стрелкой указана зона периостальной реакции, корковый слой выше зоны реактивной реакции истончен, но интактен, что говорит о быстро развивающемся, но доброкачественном процессе

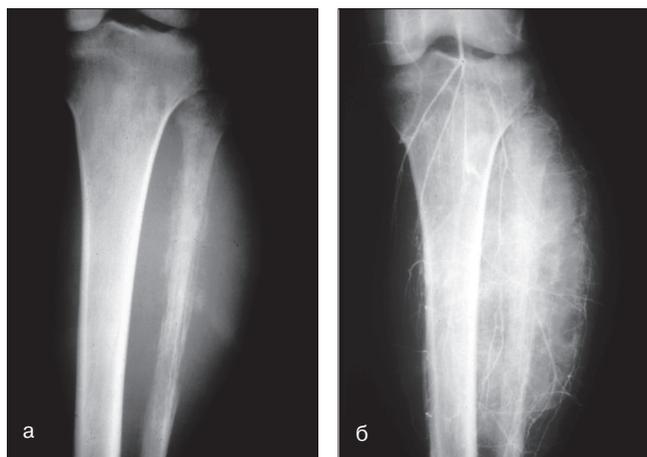


Рис. 19. А) Прерывистая, многослойная периостальная реакция малоберцовой кости при саркоме Юинга. Вокруг опухолевого очага располагается «затуманенная» зона уплотнения мягких тканей. Б) При ангиографии выявлен массивный мягкотканый компонент опухоли, который в сочетании с минимально выраженными признаками разрушения кортикальной пластинки говорит о высокой степени злокачественности процесса

Внеклеточный матрикс

Большинство рентгенологических признаков отражают патологические изменения кости и надкостницы, однако имеются признаки, характеризующие структуру преобладающего в новообразованном очаге матрикса [8].

Костный матрикс рентгеноплотный, но выраженность этой плотности зависит от характера продукции новообразованной кости. В классических случаях более зрелые костные структуры более регулярно и трабекулярно выглядят на рентгенограммах (рис. 20). Менее организованные новообразованные структуры остеосаркомы выглядят облаковидными или «пушистыми», особенно если гистологически они расположены листовидно (см. рис. 20).

В ряде наблюдений структура остеосаркомы с обильной продукцией остеоида оказывается полностью рентгенопроницаемой за счет полного отсутствия минерализации остеоида. В подобной ситуации для рентгеновских лучей нет различия между остеоидом и водой. Декальцинированный костный препарат не позволяет различить декальцинированную кость и неминерализованный остеоид. Рентгенограмма в таком случае укажет на различие (рис. 21).

Что касается хрящевой ткани, то в отсутствие кальцификации или оссификации в рентгеновском изображении хрящ неотличим от воды. Опухолевые структуры продуцируют гиалиновый хрящ. Хрящевые структуры напоминают грозди винограда с концентрическими хрящевыми комплексами различной величины. Именно благодаря этой структуре возникают характерные для дольчатых хрящевых структур вдавления эндоста (рис. 22, а также рис. 7).

Гиалиновый хрящ лишен кровоснабжения, его наводненные структуры способны получать кис-

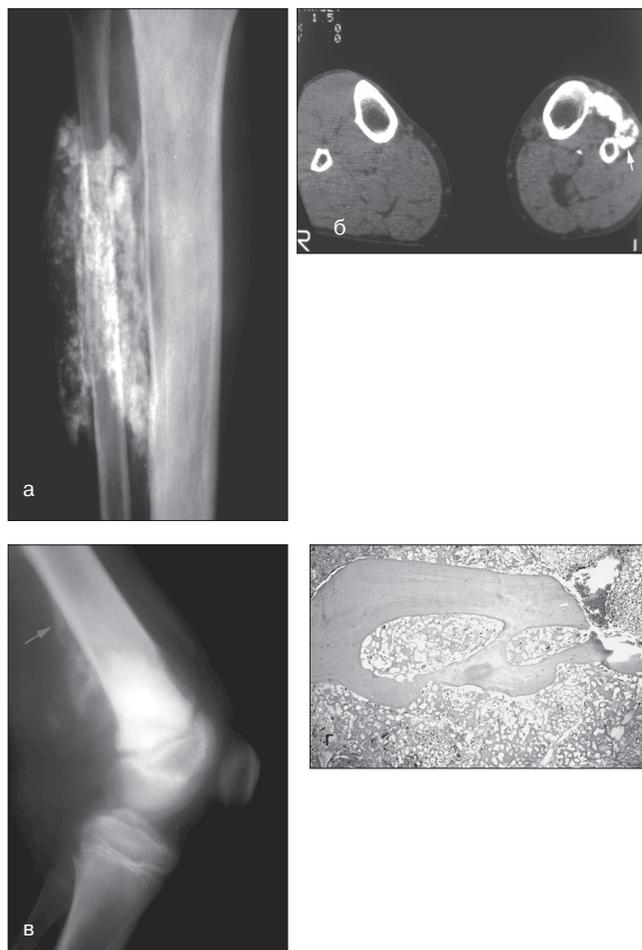


Рис. 20. а) Реактивный костный матрикс трабекулярного строения при гетеротопической оссификации вокруг малоберцовой кости. б) Компьютерная томограмма того же пациента демонстрирует переднее расположение оссификата, стрелкой указана наиболее плотная часть, в центре которой заметно просветление, характерное для гетеротопического оссификата. в) Остеосаркома в боковой проекции. Начиная от ростковой пластинки и проксимальнее, дистальный отрезок бедренной кости диффузно уплотнен. Облаковидное затемнение характерно для минерализованного опухолевого матрикса, частично процесс распространяется дистальнее угла Кодмана (обозначено стрелкой). г) Гистологический препарат демонстрирует фрагмент зрелой пластинчатой кости в окружении опухолевых структур с наличием патологического остеоида, что и было отражено на рентгенограммах

лород и питательные вещества из кровеносных сосудов, расположенных на расстоянии 1–2 см от питающего их сосуда. Опухолевый хрящ также не кровоснабжается. По мере роста хрящевой опухоли все более ощущается дефицит питания тканей. Состояние ишемии и недостатка питательных веществ приводит к очаговому кальцинозу, что отражается на рентгенограммах. Дальнейшие метаболические процессы оказываются еще более затруднены в условиях отложения кальция, и развивается некроз хрящевой ткани. Вторичная неоваскуляризация способствует замене хрящевой ткани на костную или так называемому энхондральному окостенению [17].

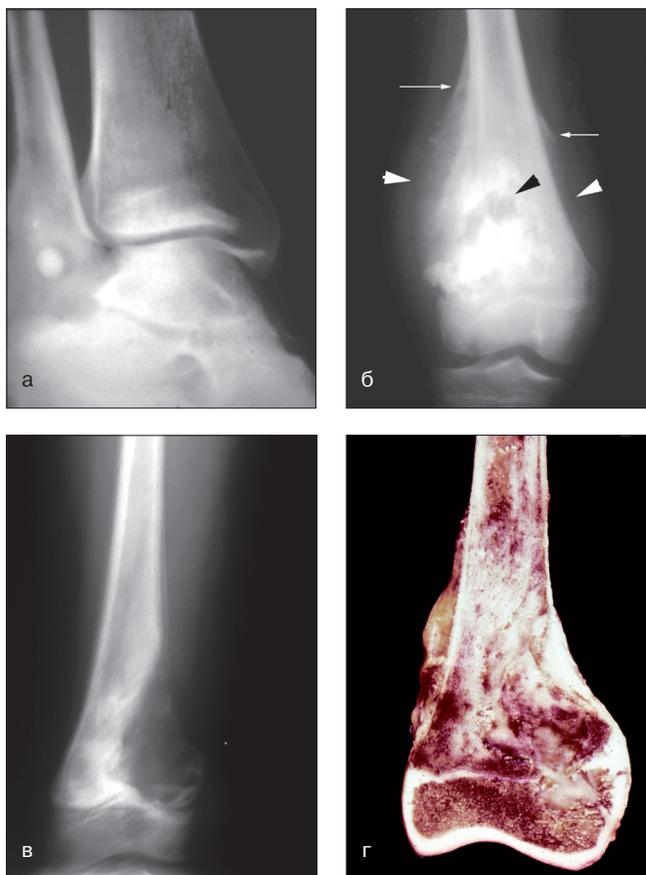


Рис. 21. а) Остеоид-остеома дистального отдела малоберцовой кости. Характерная картина ядра опухоли в виде «мишени» и перифокального остеосклероза. Рентгенологическая картина обусловлена контрастом между минерализованным остеоидом в центре ядра и менее минерализованным матриксом по периферии опухоли. б) Остеосаркома дистального отрезка бедренной кости. Облаковидные, нечетко очерченные, неравномерно расположенные рентгеноплотные фокусы документируют опухолевую костную ткань, углы Кодмана подтверждают прорастание кортикальной пластинки и выход опухолевых структур в мягкие ткани (обозначено стрелками). Во всех гистологических препаратах из различных зон опухолевого узла обнаружены фокусы патологического остеоида. Рентгенопроницаемая зона в центре (обозначена темной стрелкой) соответствует неминерализованному опухолевому остеоиду. в) Мелкоклеточная остеосаркома дистального отдела бедра. На рентгенограмме представлена нечеткая зона разрежения ткани, распространяющаяся за пределы ростковой пластинки в эпифиз. г) Макропрепарат документирует значительное разрушение кости в описанных зонах. При гистологическом исследовании в этих зонах выявлен полиморфноклеточный инфильтрат и малое количество остеоида

Если процесс окостенения развивается в центре долек, то структуры, видимые на рентгенограммах, напоминают воздушную кукурузу (рис. 23). Если окостенение развивается по периферии хрящевых долек, то видны рентгеноплотные незамкнутые кольцевидные структуры (рис. 24) [8]. Этот процесс важно отличать от опухолевого остеогенеза, поскольку, как правило, хрящевые опухоли протекают более доброкачественно.



Рис. 22. а) Высокодифференцированная хондросаркома проксимального отдела бедренной кости. Белыми стрелками подчеркнут фестончатый внутренний контур кортикальной пластинки, что говорит о дольчатом характере роста опухолевых комплексов, черными стрелками указаны небольшие рифленые участки кальциноза матрикса типа «воздушной кукурузы». б) Рентгенограмма препарата на распиле, демонстрирующая в деталях характер поражения внутреннего слоя кортикальной пластинки, а также вид кальцинированных кальцинатов. в) Макропрепарат на распиле, в котором располагаются дольчатые кальцинированные опухолевые комплексы, а также хорошо видна «изъеденная» внутренняя поверхность кортикальной пластинки в зоне роста опухолевого узла.

Фиброзная ткань, как и другие мягкие ткани, рентгенопроницаема. Чтобы фиброзная ткань стала узнаваема на рентгенограмме, она должна занимать большой объем или располагаться в кортикальном слое.

Наиболее характерным интракортикальным фиброзным новообразованием кости является кортикальный фиброзный дефект или неоссифицирующаяся фиброма. Новообразование характеризуется рентгенопрозрачным эксцентричным метафизарным очагом со склеротическим ободком по периферии. Новообразование, как правило, легко выявляется на одной из проекций рентгенограммы (рис. 25). Заболевание встречается почти у 25% населения, его характерный вид на рентгенограмме позволяет поставить диагноз в 99% случаев [18]. Гистологически очаг представлен фиброзно-гистиоцитарным инфильтратом из веретеновидных, гигантских и ксантомных клеток в различной пропорции (см. рис. 25). Клеточные структуры нередко формируют муатовые пучки, могут возникать

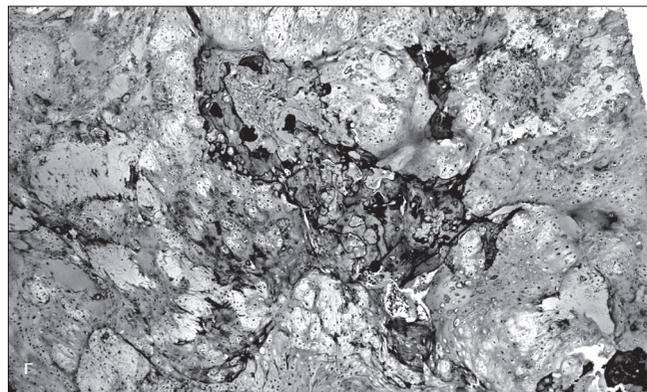
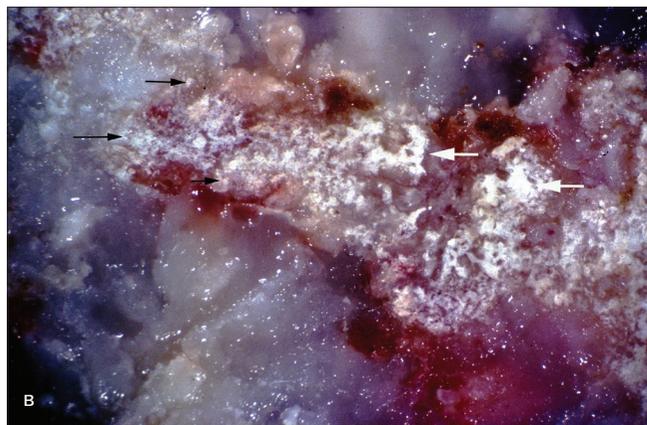


Рис. 23. а, б) Рентгенограмма и макропрепарат умеренно дифференцированной хондросаркомы плечевой кости. Структуры типа «воздушной кукурузы» и кольцевидные кальциаты (а) в проксимальном отделе препарата, что соответствует (б) белесоватым очагам оссификации на распиле. Хорошо видна дольчатость хрящевых комплексов, обуславливающая фестончатость внутренней пластинки кортикала. в) Приближенная фотография макропрепарата, на которой хорошо видна дольчатость матрикса, мелкие рифленые кальциаты обозначены черными стрелками и узловатые кальциаты, соответствующие структурам «воздушной кукурузы» на рентгенограмме. г) Энхондральное окостенение в центре хрящевой дольки, гистологический препарат. Данная гистологическая картина рентгенологически выражается точечными изменениями, для характерных структур типа воздушной кукурузы недостаточно элементов костеобразования.

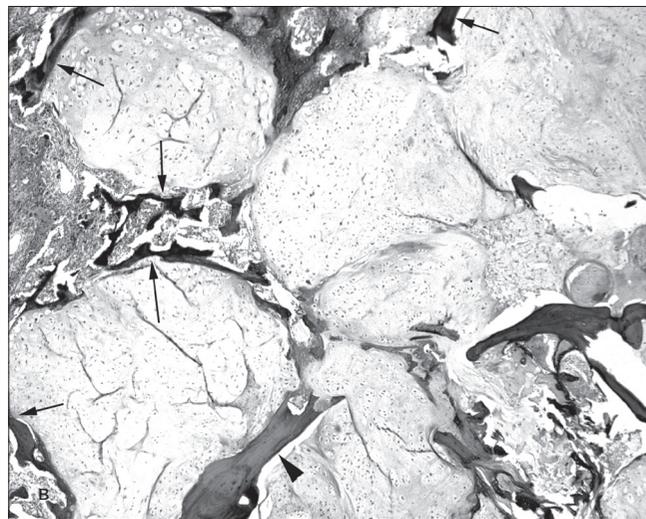
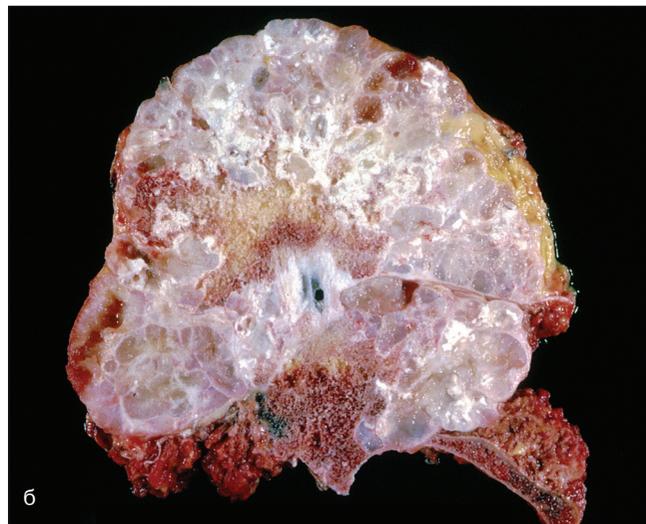
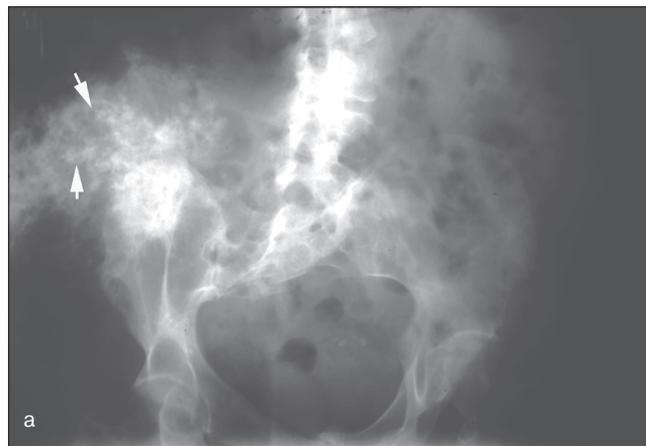


Рис. 24. а) Вторичная хондросаркома подвздошной кости на фоне предсуществовавшей солитарной остеохондромы. В массивном новообразовании контурируются кольцевидные структуры, оссификаты по типу «воздушной кукурузы» и разбросанные фокусы кальцификации (указаны стрелками). б) Макропрепарат с хорошо контурирующимися узловатыми хрящевыми разрастаниями различной величины с кольцевидными оссификатами. в) Микропрепарат с незавершенными кольцевидными структурами с фокусами энхондрального окостенения по периферии хрящевых узелков с миксоидной стромой (обозначены стрелками)

участки с повышенной митотической активностью и гиперхромией ядер (см. рис. 25). В случае перелома присоединяются структуры новообразованной кости. При отсутствии рентгенологических данных патолог может оказаться в замешательстве и предположить диагноз доброкачественной или злокачественной фиброзной гистиоцитомы, гигантоклеточной опухоли и даже остеосаркомы.

Следующим по частоте фиброзным новообразованием кости является фиброзная дисплазия.

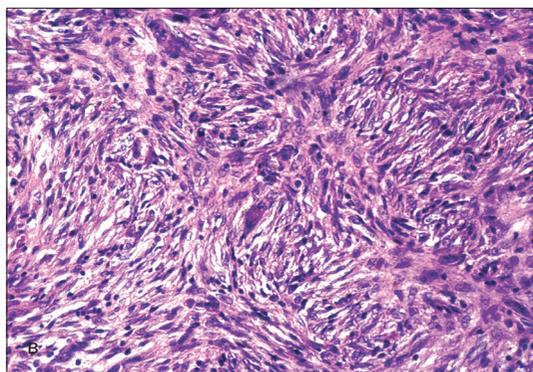
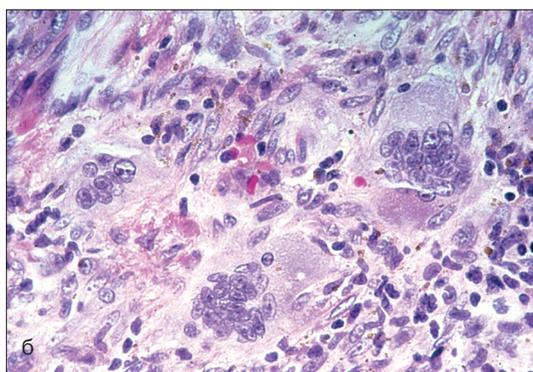


Рис. 25. а) Неоссифицирующая фиброма. Боковая и передне-задняя проекция демонстрируют продолговатый очаг разрастания в дистальном метадиафизе большеберцовой кости. Очаг поражения расположен эксцентрично, в корковом слое и обладает фестончатыми склерозированными краями. б) Неоссифицирующая фиброма. На большом увеличении определяется фиброгистиоцитарная природа новообразования с гигантскими клетками, мононуклеарными гистиоцитами и фибробластами. Встречается гемосидерин. в) Неоссифицирующая фиброма. Типичная картина с муаровыми структурами, подобная гистологическая картина не должна оцениваться в разрыве с рентгенологическими данными

Фиброзная дисплазия, как правило, имеет четкие границы в отличие от кортикального дефекта, патологический очаг расположен в медуллярном пространстве и захватывает кортикал в редких наблюдениях. Тем не менее процесс экспансивный и вызывает истончение кортикального слоя кости вследствие давления. Фиброзная дисплазия характеризуется наличием микротрабекулярных структур или волокнистой кости.

Фиброзная строма при фиброзной дисплазии более плотная, чем жировая ткань медуллярного пространства, в дополнение минерализованные костные трабекулы придают изображению характерный вид матового стекла [12].

Диагноз фиброзной дисплазии не столь очевиден рентгенологически, как метафизарный фиброзный дефект. Кость может подвергаться вздутию и деформации (рис. 26).



Рис. 26. а) Фиброзная дисплазия. На рентгенограмме видны два очага, один в плечевой кости, другой в проксимальном отрезке локтевой кости. Очаг в плечевой кости имеет характерный вид матового стекла в проксимальном отделе и более литический вид в дистальной части. Это может быть связано с наложением на изображение кортикального слоя или вследствие кистозного компонента. Плечевая кость вздута, граница новообразования и пограничной кости достаточно резкая. б) Фиброзная дисплазия. Поражение распространяется практически на всю бедренную кость, которая деформирована и вздута, границы очага поражения четкие. Отмечается варусная деформация диафиза и расширенной зоны шейки бедренной кости, что носит название «пастушьего посоха». Поражение распространяется на лонную и седалищную кости; фиброзная дисплазия, как правило, характеризуется множественным одновременным поражением костей (полиостозная фиброзная дисплазия). в) Фиброзная дисплазия. На микропрепарате представлен фокус на границе с истонченной кортикальной пластинкой (справа). Необходимо обратить внимание на формирование микротрабекул в фиброзной строме

В структуре фиброзной дисплазии в дополнении к незрелой кости может присоединяться значительное содержание хрящевой ткани. Если хрящ преобладает, то новообразование носит название фиброзно-хрящевой дисплазии [2]. Задача патолога выявить характерные участки незрелой кости в фиброзной строме и доказать истинную природу явления (рис. 27). Крайне редко рентгенологическая картина фиброзной дисплазии сопровождается полным отсутствием костеобразования.



Рис. 27. а) Фиброзная дисплазия с интенсивной продукцией хрящевой ткани. Изначально данное поражение бедренной кости у человека средних лет расценивалось как хрящевая опухоль, поскольку на рентгенограмме отмечались кальцификаты в виде полуколец и структуры типа «воздушной кукурузы» на фоне литических изменений кости. б) На малом увеличении видны экспансивно растущие хрящевые дольки с полукружиями из костных трабекул. В промежутках располагается фиброзная ткань с микротрабекулами (в центре препарата), кортикальный слой интактен. в) Микропрепарат демонстрирует типичные для фиброзной дисплазии структуры китайских иероглифов

Необходимо помнить о двух высококодифференцированных злокачественных заболеваниях, при которых сопоставление рентгенологической картины и гистологии крайне важно и которые необходимо дифференцировать с фиброзной дисплазией. Это высококодифференцированная центральная остеосаркома и паростальная остеосаркома. Рентгенологическая картина при высококодифференцированной центральной остеосаркоме обладает признаками более агрессивного течения, чем фиброзная дисплазия (рис. 28), паростальная остеосаркома имеет характерную картину опухолевого напластования на корковый слой длинной кости (рис. 29).

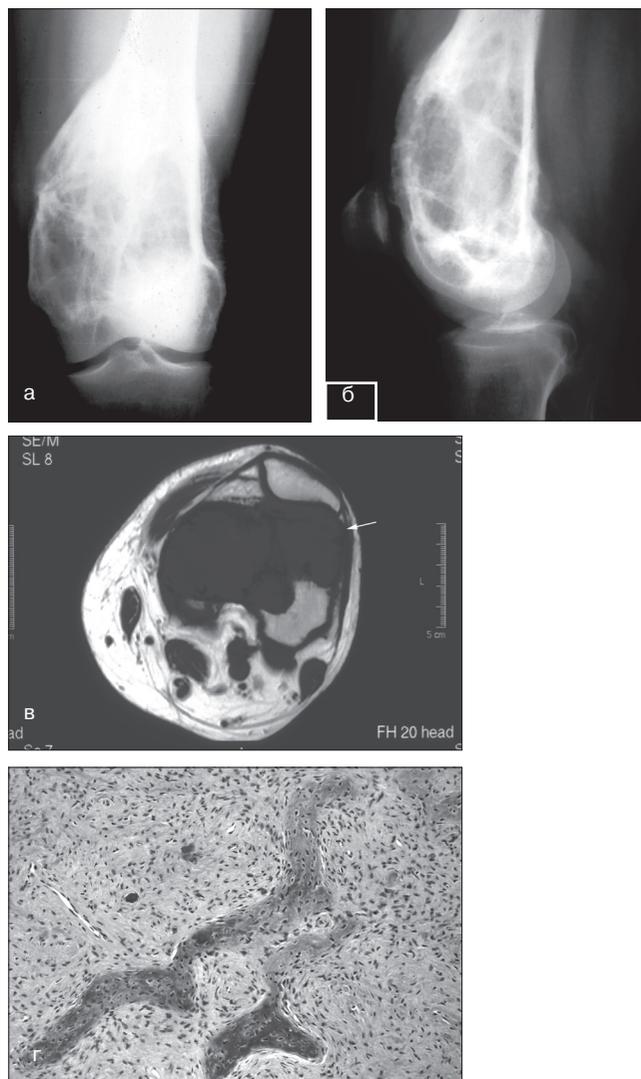


Рис. 28. а) Высокодифференцированная центральная остеосаркома дистального отрезка бедренной кости. Передне-задняя проекция, на которой видна вздутая, деформированная трабекулярная кость. По латеральной поверхности отмечается незначительная периостальная реакция. б) Высокодифференцированная центральная остеосаркома. Боковой снимок, на котором виден мелкий мягкотканый очаг и подтверждается злокачественный характер опухоли. в) Высокодифференцированная центральная остеосаркома. T1 МРТ-изображение подтверждает наличие мягкотканного очага (обозначено стрелкой). г) Высокодифференцированная центральная остеосаркома. Микрофотография на большом увеличении, трабекулы волокнистой кости и фиброзная строма не отличаются выраженной атипией, однако все данные в комплексе подтверждают диагноз высококодифференцированной остеосаркомы

Дополнительные лучевые методы исследования

В современной медицине применяется множество методов визуализации, в том числе радиоизотопное сканирование костей, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография, позитронно-эмиссионная томография. Тем не менее интерпретация рутинных рентгенограмм является самым

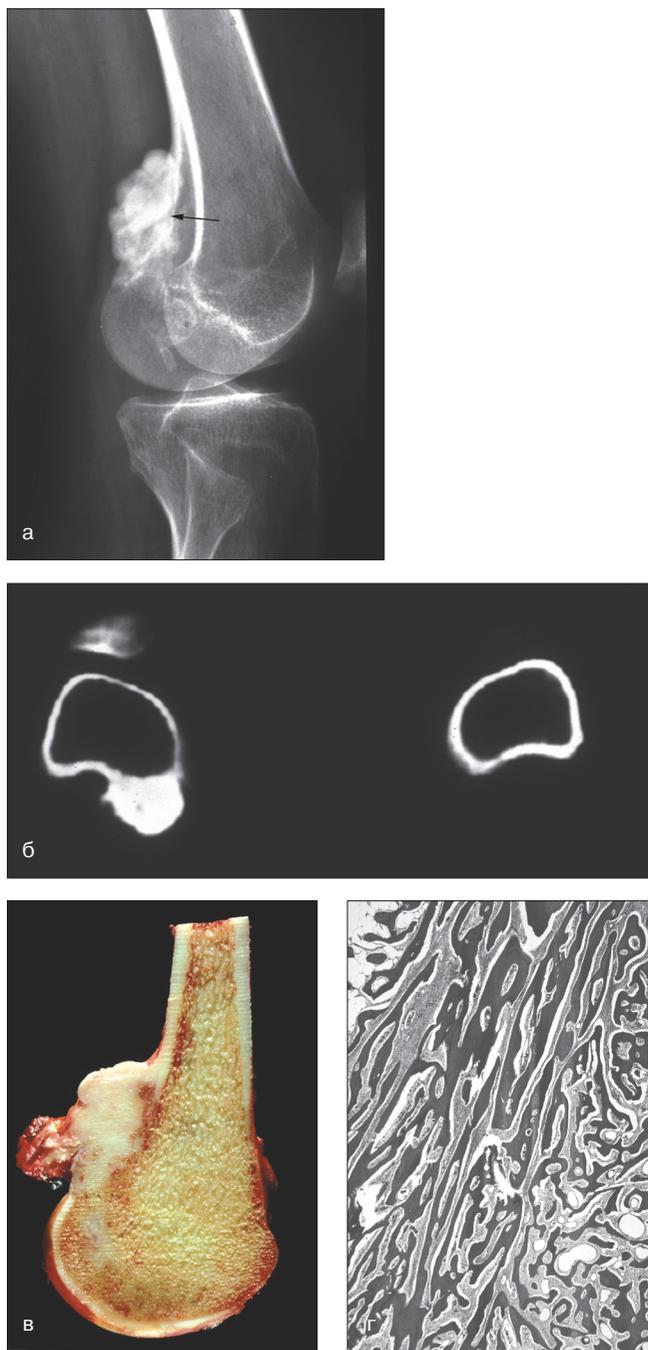


Рис. 29. а) Паростальная остеосаркома. Рентгенограмма в косой проекции дистального отрезка бедренной кости, на которой отчетливо представлен плотный узел на поверхности с нечеткими просветлениями преимущественно по краю опухолевого узла. Необходимо обратить внимание, что реакция периоста отсутствует, имеется зона просветления между кортикалом и периостом (обозначено стрелкой). б) Компьютерная томограмма подтверждает наличие опухолевого узла на поверхности кортикальной пластинки. Распространение процесса по костномозговому каналу и периостальная реакция отсутствуют. в) Макропрепарат, доказывающий тесную связь опухолевого узла на поверхности кортикальной пластинки задней поверхности бедренной кости. г) Паростальная остеосаркома. Опухоль высокодифференцированная. Трабекулярные структуры, ориентированные в одинаковом направлении, без признаков различной степени зрелости. Межтрабекулярные пространства выполнены фиброзной тканью и содержат коллагеновые структуры волокнистой кости, что может смутить патолога на предмет фиброзной дисплазии. Однако рентгенологическая картина полностью опровергает данную версию. Помимо этого для фиброзной дисплазии не характерна и трабекулярная ориентация костных структур

важным методом в диагностике поражений скелета. Любой из перечисленных методов, независимо от его чувствительности, является лишь дополнением к исследованию обычных рентгенограмм. Специальные лучевые исследования следует применять только тогда, когда обычные рентгенограммы или менее дорогие и инвазивные методики визуализации не могут ответить на диагностически важный вопрос о данном поражении (см. таблицу).

Костная сцинтиграфия

Радиоизотопное сканирование костей, или костная сцинтиграфия, является методом, в котором используется радиоактивное вещество с коротким периодом распада и высокой тропностью к активным остеобластам (технеций-99).

Соответственно, метод в большей степени отражает физиологическое явление, чем анатомическое [19].

Максимальная эффективность метода сцинтиграфии основана на регистрации ранних метаболических нарушений. Клеточная реакция развивается быстро в отличие от перестройки и репарации кости, которая требует времени. К примеру, фокус аваскулярного некроза или ранний инфекционный процесс будет зафиксирован при сцинтиграфии в течение суток от начала процесса. Сканирование скелета предоставляет информативно при метаболических нарушениях, например гиперпаратиреозидизме, а также при множественных метастазах задолго до возможности регистрировать изменения на рентгенограммах (рис. 30). В противоположность этому поражение кости, не сопровождающееся реактивными изменениями, будет видно на рентгенограммах, но окажется немым при сцинтиграфии.

Прямая томография

Прямая томография – это метод, при котором рентгеновская трубка и кассета двигаются в противоположном друг к другу направлении по отношению к пациенту. Фокусируется зона прицельного интереса исследователя, остальные ткани не детализируются [5, 6].

Данная технология оправдана для диагностики наслаивающихся один на другой процессов, к примеру, для выявления сопутствующих переломов, характеристике краев новообразования. Методика хороша для дифференцировки остеосаркомы и активного реактивного костеобразования в зоне переломов без смещения [20], однако методика дорогостоящая и во многом замещена компьютерной томографией (рис. 31).

Компьютерная томография

Наиболее широкое применение получила компьютерная томография, основанная на компью-

Таблица. Объединенные принципы оценки лучевых методов исследования

Метод	Принцип действия	Преимущества	Недостатки	Стандартное изображение
Рентген	Изображение костей и мягких тканей в двух проекциях	Скрининг для последующих исследований	Малая чувствительность. Потребность выполнять исследование в нескольких проекциях	Газ – темный. Жир – темно-серый. Мягкие ткани светло-серые. Кости, металл, кальций – белые
Прямая томография	Аналогичен рентгену за исключением того, что фокусируется лишь зона интереса, остальные зоны не в фокусе	Дает развернутую картину, но увеличивает чувствительность по сравнению с рентгенографией	Метод дорогой	Аналог рентгена
Компьютерная томография	Изображение является картой плотности ткани в заданном срезе	Усиливает чувствительность рентгеновского исследования, может использоваться для измерения костной плотности, метод хорош для компактной кости	Малая контрастность особенно для мягких тканей. Патологический очаг может не попасть в срез	Аналог рентгену, но более чувствительный
МРТ	Ядра поляризуются под воздействием магнитного поля и создают радиочастотный сигнал, который фиксируется детектором	Высокая контрастность, особенно в мягких тканях. Метод позволяет различать различные ткани: жир, кровь, фиброз	Слабое разрешение, кость не дает четкого сигнала, патологический очаг может не попасть в срез	Жир: T1, T2 яркий сигнал. Вода: T1 темный. T2 яркий. Фиброзная ткань: T1, T2 темный. Кость: темный
Сцинтиграфия костей	Радиоизотоп накапливается в зонах костеобразования	Определяет ранние реактивные костные нарушения задолго до КТ и МРТ, исследуется весь скелет	Новообразования без реактивной кости остаются невидимыми	Реактивные изменения характеризуются ярким сигналом

терной обработке различного числа изображений. Компьютер определяет разницу между энергией образца и детектора с последующей двумерной записью посредством преобразователя Fourier. Компьютерное изображение это не что иное как карта радиоплотности, которую доступно измерять при помощи компьютерной томографии с высокой степенью чувствительности [9, 21]. Степень проникновения в ткани может регулироваться при помощи компьютерной программы [23].

Полученные изображения являются точной репликой параллельных срезов толщиной от 1 мм до 1 см и более, выполненных на различной глубине. Ткани могут быть исследованы с высокой точностью и достоверностью без хирургического вмешательства [21]. Чувствительность метода позволяет выявлять самые мелкие изменения, не фиксируемые при рентгенографии. Таким образом, при повреждении менее 40% объема костной губчатой структуры метод компьютерной томографии является предпочтительным для своевременной диагностики различных мелких поражений (рис. 32). При этом метод компьютерной томографии уступает магнит-

но-резонансной томографии, когда исследуются мягкие ткани [24]. Мелкие изменения могут быть не идентифицированы, если попадают в промежуток между срезами.

Для правильной ориентации и подбора зоны для компьютерной томографии чрезвычайно важно проводить предварительное обычное рентгенологическое исследование.

Магнитный резонанс

При магнитном резонансе используется радиочастотную составляющую электромагнитного поля в отличие от рентгеновских лучей. Пациент помещается в сильное электромагнитное поле, при помощи которого происходит ориентация диполей вдоль магнитных линий, и затем создается импульс радиочастот на уровне частоты Larmor [22]. Данная частота достигается определенным числом циклов в секунду, при этом протоны резонируют в заданном магнитном поле; поддерживается четкая пропорциональность силе данного магнитного поля.

Радиочастотный сигнал, приложенный к пациенту снаружи, усиливает кинетическую энергию

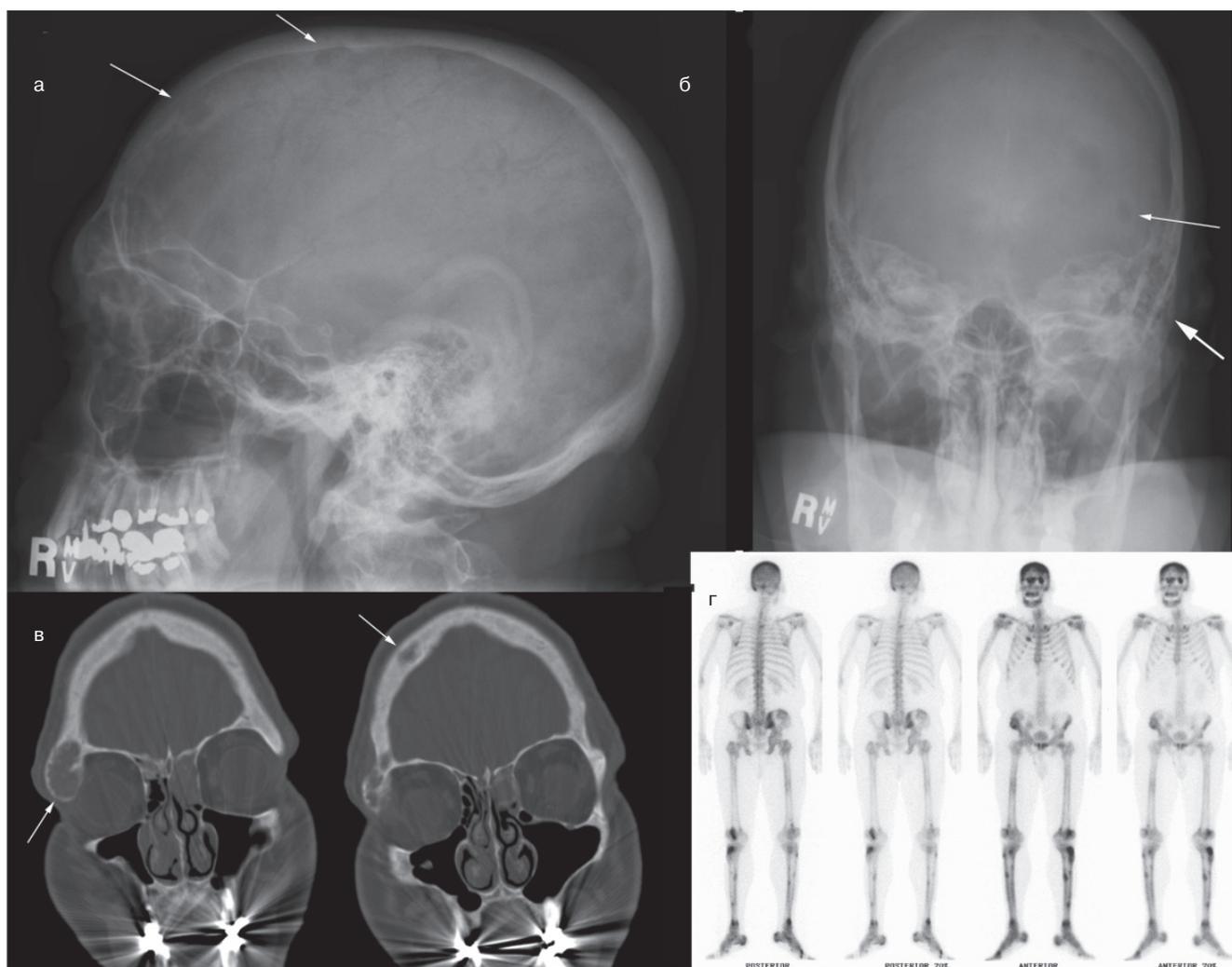


Рис. 30. А) Пациент, 47 лет, с бессимптомно протекающим гиперпаратиреозом, проявляющимся лишь односторонним проптозом. На снимках в боковой и передне-задней проекциях контурируются литические очаги в своде черепа (обозначено тонкими стрелками), а также плюс ткань под орбитой (обозначено толстой стрелкой на рис. Б). Компьютерная томограмма, на которой четко видна дополнительная тень под орбитой и очаги разрежения ткани в своде черепа (стрелки). Электрофорез сыворотки не выявил нарушений, и предположительный диагноз миеломы не подтвердился. Сканирование скелета с технецием выявило дополнительные множественные очаги поражения помимо костей черепа в конечностях и в ребре. Анализируя данные, можно предположить метастатическую болезнь, однако отсутствие очагов в аксиальном и проксимальном отделах скелета при поражении черепа и скелета конечностей не характерно для метастазов. Биопсия новообразования в области орбиты показала наличие фиброзной ткани, гемосидерина, наличие гигантских клеток и активность остеокластов в кортикальной зоне. Несмотря на трижды отрицательный анализ уровня кальция в сыворотке крови, был сформулирован предположительный диагноз гиперпаратиреоза. Анализ интактного паратгормона выявил 50-кратное увеличение уровней гормона. В конечном итоге была удалена паратиреоидная аденома весом 2,5 г

протонов и нейтронов; это вызывает выход из-под контроля (дефлекцию) дипольных моментов из упорядоченного расположения в магнитных направляющих [23].

В отсутствие дополнительных радиочастотных импульсов энергия резонанса со временем затухает, дипольные моменты возвращаются в исходное положение под воздействием магнитных линий, и сила сигнала сводится на нет. Радиосигнал, а также степень его затухания измеряются, результат представляется в трехмерном изображении Fourier переходником [21].

Фиксируемые сигналы, как и потеря энергии, образуются при определенной силе радиочастот и характерны для различных тканей. Изображения, полученные методом магнитного резонанса, напоминают срезы компьютерной томограммы в прямой проекции. Резонанс возникает в атомах любых элементов, определение же сигнала зависит от элементов с нечетным числом ядерных частиц. Это происходит потому, что половина дипольных моментов поворачивается в противоположных направлениях, и тем самым в элементах с четным количеством частиц они гасят друг друга.

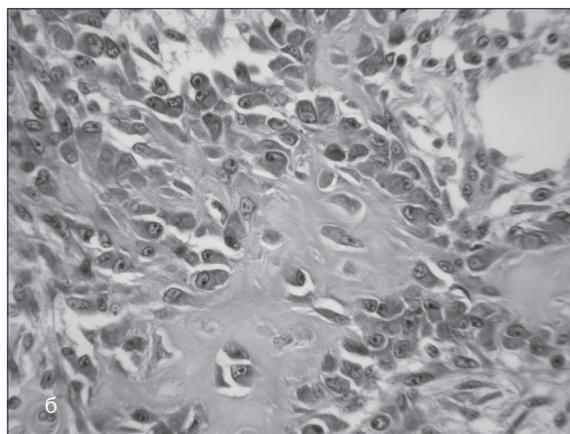
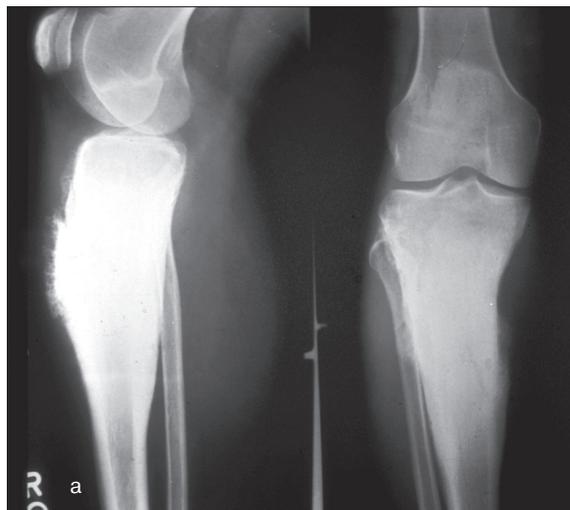


Рис. 31. а) У пациента 47 лет обнаружена безболезненная опухоль правой нижней конечности. На рентгенограммах в боковой и передне-задней проекции обнаружен очаг остеосклероза с игольчатой периостальной реакцией. б) Биоптат мягкотканного компонента новообразования выявил фиброзную ткань с дифференцированными остеокластами, выстилающими костные трабекулы. Также в биоптате присутствовали хрящевые и костные структуры, но везде с характерной реакцией зрелых остеобластов без высокой митотической активности и ядерного плеоморфизма. Был выдвинут диагноз костной мозоли вследствие косо́го перелома.

в) На прямом снимке отчетливо виден косо́й перелом большеберцовой кости. Склерозирующая остеосаркома редко встречается на пятом десятилетии жизни и еще реже подвергается перелому пораженной кости. Оказалось, что пациент страдает хроническим алкоголизмом, и его не беспокоила боль в сломанной конечности. В дополнение к клинической картине у пациента выявлена спинная сухотка, что объясняет формирование столь выраженной мозоли на фоне отсутствия болевого синдрома

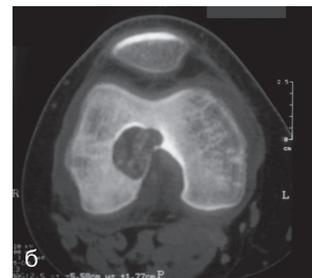


Рис. 32. а) Рентгенограмма коленного сустава 16-летней пациентки с выраженным болевым синдромом выявила четко очерченный литический очаг в дистальном латеральном мыщелке бедренной кости. б) На компьютерной

томограмме четко контурируется литический очаг с зоной склероза по контуру. Объем пораженной кости в передне-задней проекции превышает 50–55%. На рентгенограмме в прямой проекции очаг поражения, который является хондробластомой, занимает менее 40%, почти полностью перекрывается надколенником и остается невидимым, в боковой проекции лишь 25% кости разрушено, и опять же очаг не определяется. Приведенные факты указывают на преимущество компьютерной томографии в сравнении с обычной рентгенографией. Компьютерная томограмма позволяет выявить мелкие фокусы минерализации миксоидного матрикса, которые наблюдаются в хондробластомах на рентгенограммах в 33% случаев и на компьютерных томограммах в 50% случаев

Чем меньше размер ядра, тем меньше требуется радиочастотной энергии для эффекта магнитного резонанса. Для практического применения в медицине сила резонанса соответствует атому водорода.

Это означает, что свободная жидкость и жир легче подвергаются резонансу.

Физическая сложность явления магнитного резонанса вовсе не означает, что врач в деталях разбирается в природе данного явления, как не обязательно быть механиком, чтобы водить автомобиль. Врачу необходимо знать общую анатомию в сочетании с типичными сигналами, создаваемыми разными тканями (рис. 33, таблица).

Степень резолуции при магнитном резонансе уступает компьютерной томографии, но метод постоянно усовершенствуется [24].

С другой стороны, контрастность при магнитном резонансе выше, чем при компьютерной томографии [25]; жир и жидкостные объекты контрастируются по отношению друг к другу с большими подробностями. Ткани с малым содержанием свободного водорода, например, компактная кость (вода, входящая в состав гидроксиапатита, не является свободной и не дает сигнала), остаются «немыми» [21].

Яркость прямо пропорциональна сигналу резонанса, поэтому кортикальный слой кости всегда выглядит темным.

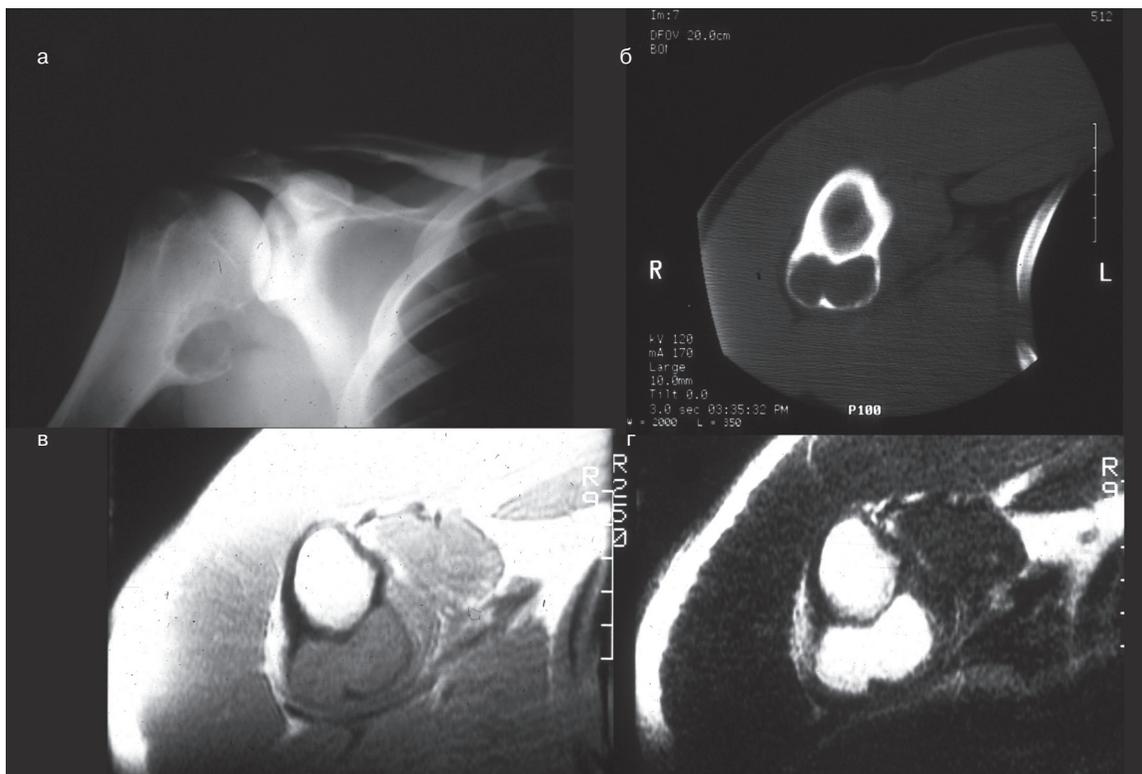


Рис. 33. а) Рентгенограмма новообразования на медиальной поверхности плечевой кости у 28-летнего пациента. Контур новообразования фестончатый и по задней поверхности заключен в скорлупу. б) Компьютерная томограмма демонстрирует тонкую скорлупу, окаймляющую опухоль без очевидного поражения кортикальной пластинки. в) Магнитный резонанс в T1-режиме дает яркий сигнал в зоне подкожного жира и жировой клетчатки костномозгового канала. Содержимое опухоли соответствует по плотности мышечной ткани и менее плотное, чем кость. г) Режим T2 дает яркий сигнал и выявляет наличие жидкостного компонента в составе опухоли. Гистологическое строение новообразования соответствует хрящевой опухоли, и все вместе взятые данные позволяют поставить диагноз периостальной хондромы

Пластинчатая кость сама по себе не дает сигнала, в концевых отделах длинных костей 25% структуры соответствует кости и 75% — жиру. Жировая ткань костномозгового канала всегда резонирует в виде яркого сигнала.

Содержимое костномозгового канала представлено преимущественно жировой тканью, в плоских костях присутствуют структуры гемопоэза, поэтому сигнал от жирового костномозгового содержимого длинной кости будет отличаться от жировой и гематопоэтической ткани межкостных промежутков в плоских костях (рис. 34, 24).

Данные о мягкотканном компоненте, равно как и распространение опухоли по костномозговому каналу, особенно ценны при магнитно-резонансной томографии (рис. 35). Поскольку магнитный резонанс воды, жировой ткани и цельной крови различается, метод способен характеризовать процесс в динамике (рис. 36).

Из сказанного выше можно сделать заключение, что методы КТ и МРТ выявляют особенности структур, не видимые на рентгенограммах, а дополняют друг друга, в отдельных аспектах предпочтительнее магнит, в других — компьютер.

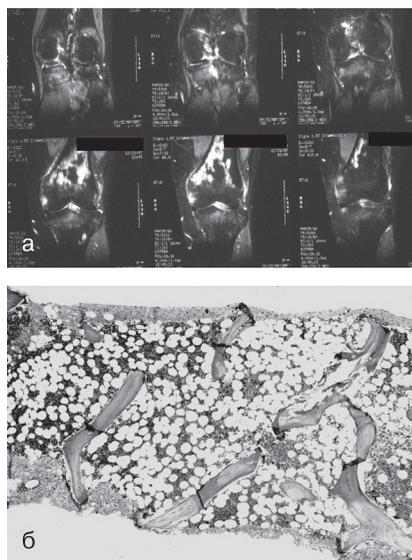


Рис. 34. а) Пациентка, 44 года, страдает тупой болью в колене. Рентгенография не выявила патологических изменений. На магнитной томограмме в режиме подавления жировой ткани, который выглядит темным, выявлены чиперинтенсивные зоны, которые отличны по структуре от жировой ткани. б) Биопсия данных зон выявила костный мозг нормального строения. В дан-

ном наблюдении фокусы кроветворения продвигаются за пределы обычного, что и отвечает за интенсивные сигналы на томограмме. Как результат обследования выявлен нормальный костный мозг, но в большем по объему пространстве. Магнитный резонанс является чувствительным методом и в некоторых случаях дает больше информации, чем клинически и диагностически необходимо

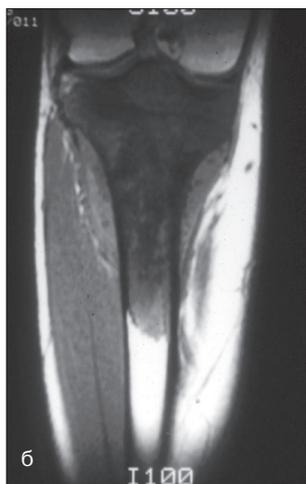


Рис. 35. Пациент, 17 лет.
 а) Остеосаркома проксимального отдела большеберцовой кости. Опухолевый узел представлен зоной уплотнения кости с периостальной реакцией и нечетким дистальным краем.
 б) Магнитная томограмма, опухолевая и компактная кость гипоинтенсивны.
 в) Макропрепарат после курсов неoadъювантной химиотерапии. Край опухолевого роста соответствует светлой зоне на томограмме

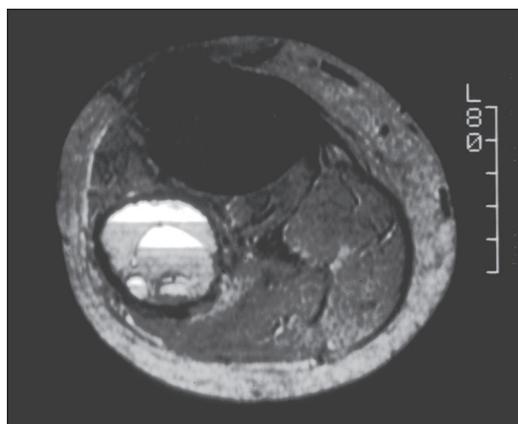


Рис. 36. Аневризмальная киста кости, демонстрация на рис. 18, магнитный резонанс Т-режим, исследование проводилось в течение 40 мин. Четко контурируется граница двух уровней, верхний, более светлый, соответствует плазме, нижний, более темный, содержит эритроциты в стадии седиментации. Чем дольше пациент находится неподвижно, тем четче контурируется разница между уровнями. Гипотетически магнитный резонанс может быть использован как дорогостоящий метод определения гематокрита. Косвенно метод свидетельствует о медленном движении крови в полостях аневризмальной кисты кости

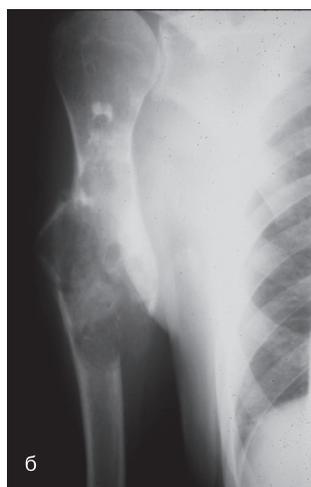
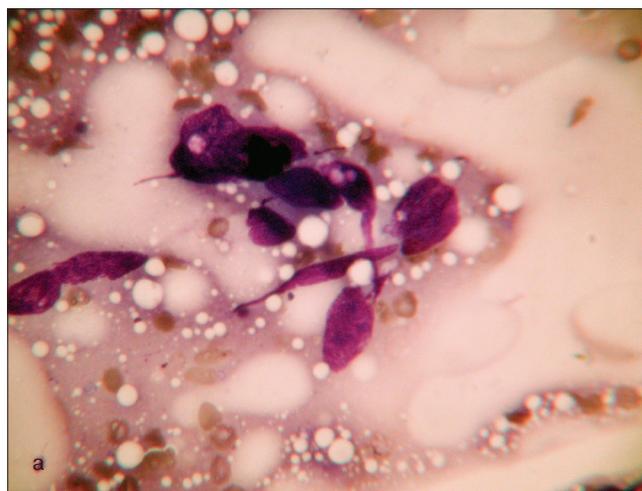


Рис. 37. а) Консультационный материал новообразования проксимального отдела плечевой кости у 57-летнего пациента. Направительный диагноз звучал как остеосаркома. Цитологическая картина не противоречила диагнозу, однако возраст пациента не соответствовал остеосаркоме в отсутствие признаков болезни Педжета или облучения.
 б) Рентгенограмма позволила разрешить диагностическую задачу. Наличие фестончатого внутреннего края кортикальной пластинки плечевой кости, кольцевидные структуры,

признаки кальциноза хрящевого матрикса в сочетании с массивной зоной деструкции и патологическим переломом навели на мысль о дедифференцированной хондросаркоме, что и было подтверждено при исследовании удаленного опухолевого узла

Заключение

В заключение необходимо отметить, что рентгенологическое исследование необходимо для структурной организации последующего гистологического исследования, оно наполняет биопсийное исследование смыслом и информативностью, оно способно превратить ограниченный несколькими клеточными комплексами гистологический материал в полноценную картину заболевания (рис. 37). За редким исключением без клинической и рентгенологической картины морфологический материал оказывается бессмысленным (см. рис. 37). Ряд заболеваний возможно распознать, имея лишь рентгенограмму. Однако результаты лучевых исследований в редких наблюдениях патогномичны, без гистологического подтверждения диагноз не может быть установлен окончательно. Умение патолога интерпретировать и применять данные лучевых исследований по-

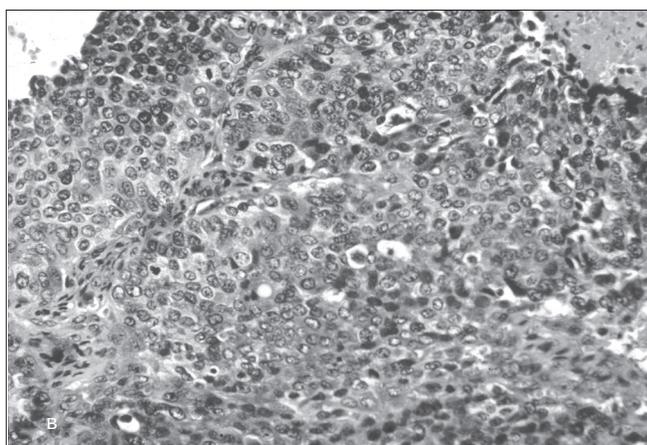
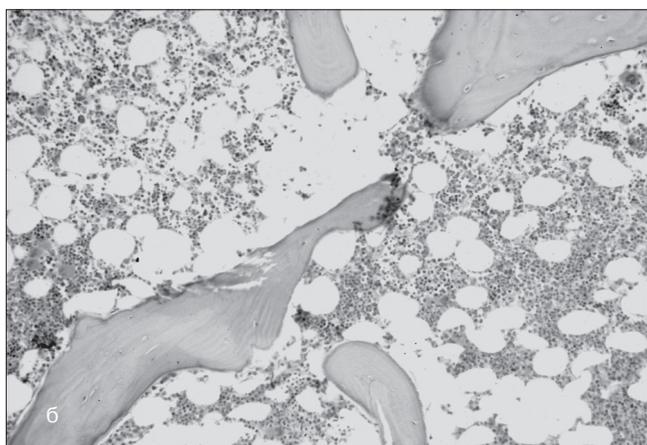
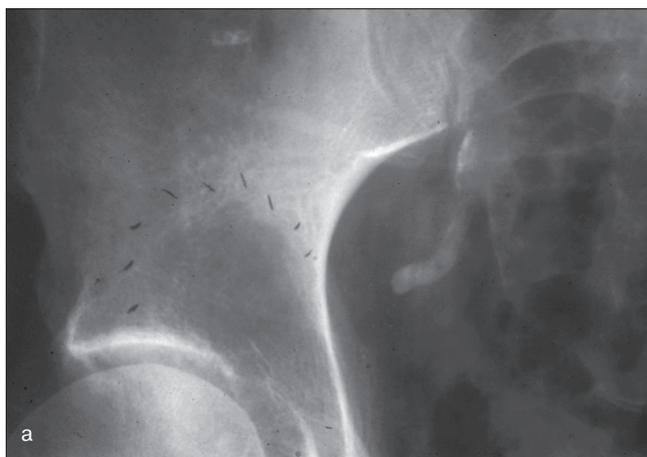


Рис. 38. а) У пациента 63 лет с установленным диагнозом немелкоклеточного рака легких возникла боль в правой тазобедренной области. На рентгенограмме обнаружен крупный литический очаг с нечеткими контурами. б) Первый биоптат содержал лишь кроветворный костный мозг и зрелые костные трабекулы. в) Повторная биопсия, выполненная под КТ-контролем, позволила подтвердить диагноз метастаза рака легких в подвздошную кость.

Данный клинический пример приведен для более ясного понимания важности рентгенологического исследования до момента взятия биопсии и вынесения «ложного вердикта» об отсутствии опухоли

звоняет избегать неточностей и ошибок, а также приводит к эффективной, качественной и современной диагностике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jaffe H.L. Tumors and tumorous diseases of bones and joints. New York, NY: Lea and Febiger. 1958.
2. Dorfman H.D., Czerniak B. Bone Tumors. St. Louis, MO: Mosby. 1998.
3. McCarthy E.F., Frassica F. Pathology of bone and joint disorders with clinical and radiographic correlation. Philadelphia, PA: WB Saunders. 1998.
4. Rutherford E. The scattering of alpha and beta particles and the structure of the atom. Phil. Mag. Ser. 6, xxi 621-629. 1911.
5. Glucksman W.J., Coyner K.B. General orthopedic radiology: radiography, arthrography, tomography, myelography, and diskography. In: Fitzgerald R.H., Kaufer H., Malkani A.L. eds. Orthopaedics. St. Louis, MO: Mosby. 2002, p. 37-48.
6. Novelline R.A. Squire's fundamentals of roentgenology. 6th ed. Boston: Harvard Press. 2004.
7. Fechner R., Mills S. Tumors of the bones and joints. In: Atlas of tumor pathology. Third series, Fascicle 8. Armed Forces Institute of Pathology; Washington, DC. 1993.
8. Sweet D.E., Madewell J.E., Ragsdale B.D. Radiologic and pathologic analysis of solitary bone lesions. Part III: Matrix patterns. Radiol. Clin. North Am. 1981, v. 19, p. 785-814.
9. Sprawls Perry. The physical principles of diagnostic radiology. Baltimore, MD: University Park Press. 1977.
10. Spjut H.J., Dorfman H.D., Fechner R.E. et al. Tumors of bone and cartilage. In: Atlas of tumor pathology. Fascicle 5, Series 2. Armed Forces Institute of Pathology; Washington, DC. 1971.
11. Milch R.A., Changus G.W. Response of bone to tumor invasion. Cancer. 1956, v. 9, p. 340-351.
12. Greenspan A., Klein M.J. Radiology and pathology of bone tumors. In: Musculoskeletal Oncology: An Interdisciplinary Approach. Philadelphia, PA: WB Saunders Co. 1992, p. 13-72.
13. Lodwick G.S. Predictor variables in bone tumors. Semin. Radiol. 1966, v. 1, p. 293.
14. Lodwick G.S., Wilson A.J., Farrell C. et al. Determining growth rates of focal lesions of bone from radiographs. Radiology. 1980, v. 134, p. 577.
15. Madewell J.E., Ragsdale B.D., Sweet D.E. Radiologic and pathologic analysis of solitary bone lesions. Part I. Internal margins. Radiol. Clin. North Am. 1981, v. 19, p. 715-748.
16. Ragsdale B.D., Madewell J.E., Sweet D.E. Radiologic and pathologic analysis of solitary bone lesions. Part II: Periosteal reactions. Radiol. Clin. North Am. 1981, v. 19, p. 749-783.
17. Klein M.J. Pathophysiology of bone tumors. In: Fitzgerald R.H., Kaufer H., Malkani A.L., eds. Orthopaedics. St. Louis, MO: Mosby. 2002, p. 991-1001.
18. Abdelwahab I.F., Klein M.J., Kenan S. et al. Coexistence of primary bone tumors: report of 4 cases of collision tumors. J. Appl. Commun Res. 2002, v. 53, p. 296-302.
19. Palestro C.J., Tomas M.B. Nuclear medicine. In: Fitzgerald R.H., Kaufer H., Malkani A.L., eds. Orthopaedics. St. Louis, MO: Mosby. 2002, p. 64-70.
20. Kahn L.B., Wood F.W., Ackerman L.V. Fracture callus associated with benign and malignant bone lesions and mimicking osteosarcoma. Am. J Clin Pathol. 1969, v. 52, p. 14-24.
21. Olendorf W., Olendorf W. Jr. MRI Primer. New York, NY: Raven Press. 1991.

22. Mitchell D.G., Cohen M.S. MRI Principles. Philadelphia, PA: Saunders. 2004.
23. Webb A. Introduction to Biomedical Imaging. Piscataway, NJ: IEEE Press-Wiley Interscience. 2003.
24. McLeod R.A., Berquist T.H. Bone tumor imaging: contribution of CT and MRI. In: Unni KK, ed. Bone Tumors. New York, NY: Churchill Livingstone. 1988, p. 1-34.
25. Gilkey F., Sweet D.E., Mirra J. Radiologic/pathologic correlation of bone tumors. In: Mirra J., ed. Bone Tumors, Clinical, Radiologic, and Pathologic Correlations. 2nd ed. Chapter 27. JB Lippincott Co.: Philadelphia, PA. 1989, p. 1803-1831.
26. Sprawls Perry. The physical principles of diagnostic imaging. Baltimore, MD: University Park Press.

Статья поступила 01.09.2015 г., принята к печати 09.09.2015 г.
Рекомендована к публикации А.А. Феденко

RADIOGRAPHIC CORRELATION IN BONE PATHOLOGY

Michael J. Klein¹, MD, Irena V. Boulytcheva²

¹ Weill Medical College of Coenell University New York, NY USA

² N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center, Moscow, Russian Federation

Key words: bone scintigraphy, bone tumors, CT scanning, magnetic resonance imaging, musculoskeletal imaging

Radiographic correlation is an essential adjunct for the accurate diagnosis of orthopedic lesions, yet it is a skill neglected by pathologists. The purpose of this review is to demonstrate why performing this correlation is an essential part of the diagnostic process and not merely an interesting adjunct to the surgical pathology of orthopedic lesions. The relationships between x-rays and tissues are explored with an emphasis on bone and soft tissue composition and structure. In addition, the rudiments of complementary imaging studies and how to incorporate their data into diagnoses are examined.