

Глава 2

Костная ткань

2.1. Структурная организация костной ткани

Костная ткань относится к разновидности соединительной ткани, которая отличается особой прочностью. Внеклеточный матрикс костной ткани содержит большое количество минеральных солей, тесно ассоциированных с коллагеном и углеводно-белковыми комплексами. Минерализованный матрикс костной ткани — уникальный продукт, секретируемый преимущественно клетками остеобластной линии. Он поддерживает структуру скелета и под координирующим влиянием остеобластов и остеокластов выполняет роль резервуара ионов и факторов роста, которые высвобождаются в процессе метаболизма. Микроархитектура костной ткани позволяет достигать максимума прочности при минимуме компонентов матрикса.

Неорганический компонент костной ткани составляет 65—70% и представлен преимущественно гидроксиапатитом, а также другими формами ассоциации кальция и фосфора.

Органический компонент костного матрикса составляет около 30% и состоит преимущественно из коллагеновых волокон I типа (90—95%), протеогликанов и специфических костных белков (5%). Большинство белков костного матрикса представлены и в неминерализованных тканях на разных стадиях их развития и созревания (Риггз Б. Л. и соавт., 2000).

Костная ткань, формирующая скелет в период эмбриогенеза, характеризуется высокой клеточной плотностью и неупорядоченным расположением коллагеновых фибрилл. Незрелая костная ткань подразделяется на грубоволокнистую и сетчатую (Krompecher St., 1967; Pritchard J. J., 1972; Хэм А. и соавт., 1983; Ревелл П. А., 1993). В процессе остеогенеза происходит постепенное уменьшение массы незрелой костной ткани, в незначительном количестве она сохраняется лишь в области прикрепления сухожилий и связок. Постнатально незрелая костная ткань образуется как провизорная структура в процессе репаративного остеогенеза (Хэм А. и соавт., 1983; Ревелл П. А., 1993).

Основой губчатого и компактного вещества кости является пластинчатая, или зрелая, костная ткань. Универсальной структурной единицей зрелой костной ткани является костная пластинка, которая представляет собой тонкий пучок параллельно расположенных коллагеновых волокон, соединенных аморфным веществом, в которое вкраплены кристаллы гидроксиапатита. Толщина костной пластинки — 5—7 мкм. В губчатом веществе костные пластинки формируют трабекулы, в компактном веществе — концентрические цилиндры остеонов (гаверсовых систем). Костные пластинки располагаются также на периферии кортикального слоя и между остеонами, формируя непрерывные системы наружных и внутренних периферических пластинок и вставочные пластинки (рис. 2.1).

Рост трубчатой кости в ширину осуществляется по механизму аппозиционного роста, который предполагает образование ткани на предсуществующей поверхности (рис. 2.2). Новая кость под надкостницей формируется за счет функционирования остеогенного слоя и наслаивается на сформированные ранее слои. Последовательные слои новой кости постепенно окружают сосуды, выходящие из надкостницы, формируя сначала желобки, затем туннели и, наконец, новые гаверсовы системы (рис. 2.2). Размер центрального канала остеона достаточен для прохождения через него одного или двух сосудов и расположения выступающих остеогенных клеток. Первоначально поверхность кости неровная за счет валиков и формируемых ими продольных желобков. Как только поверхность становится гладкой, рост кости в ширину замедляется и заканчивается формированием периферических пластинок, которые сохраняют способность формировать гаверсовы системы при возобновлении роста кости в ширину (Хэм А., 1983).

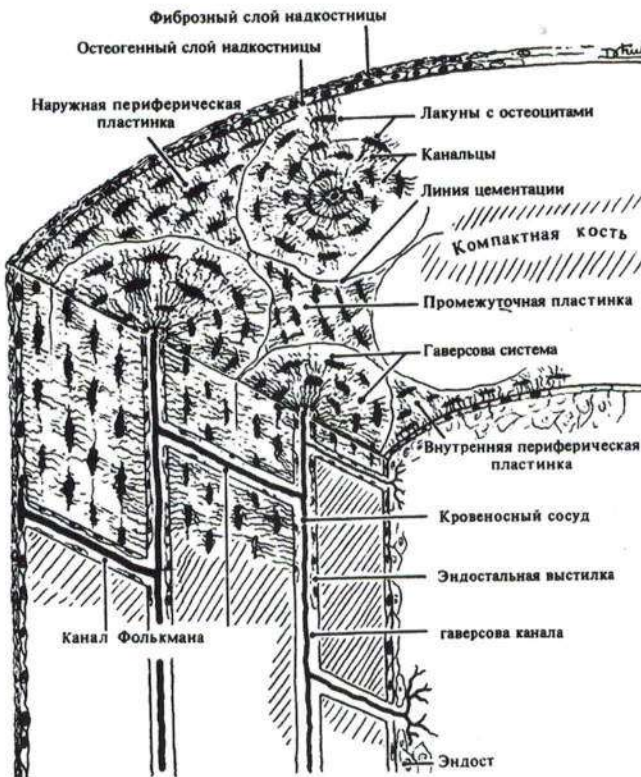


Рис. 2.1. Схема структуры компактной части трубчатой кости (Хэм А. и соавт., 1983).

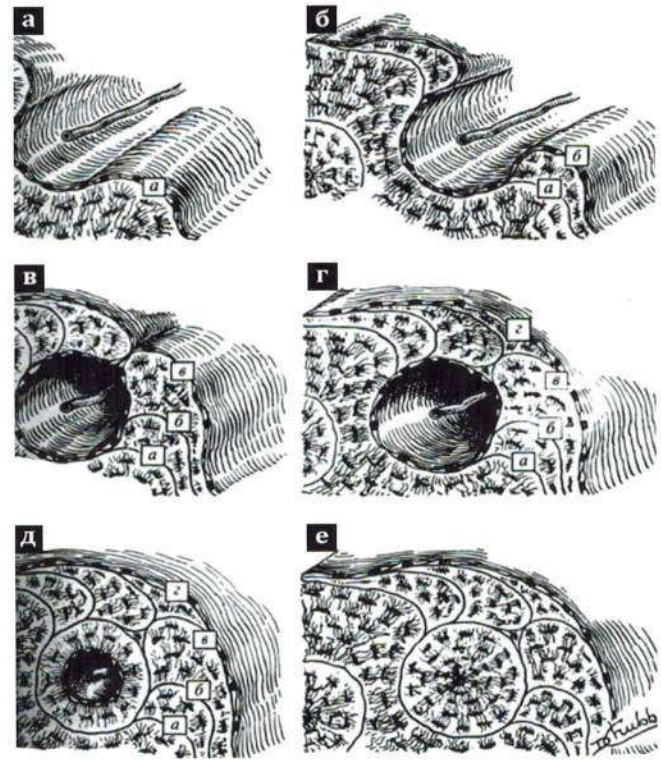


Рис. 2.2. Механизм аппозиционного роста кости в ширину (Хэм А. и соавт., 1983).

Толщина трабекулы составляет 121—186 мкм, или 0,121—0,186 мм (Риггз Б. Л. и соавт., 2000). Диаметр остеона равен 0,3—0,4 мм (Хэм А. и соавт., 1983). Следует обратить внимание, что размеры этих структурных единиц костной ткани находятся в диапазоне разрешающей способности ультразвука. Остеоциты лежат в пределах 0,1—0,2 мм от свободной поверхности или от гаверсовых каналов, в которых находятся капилляры. Расстояние, на котором системы канальцев способны эффективно обеспечивать питание остеоцитов, является фактором, ограничивающим диаметр остеона (Хэм А., 1983).

Физиологическое состояние остеоцитов связывают с состоянием микроциркуляции тканевой жидкости в костном матриксе. Основным звеном микроциркуляторной системы кортикальной и губчатой кости являются канальцы, связывающие лакуны с межфибриллярными, межкристаллическими промежутками и центральными каналами и обеспечивающие поступление в клетку пластического вещества и энергии (Омельяненко Н. П., 1996). Канальцы составляют 19,3% объема интерстициального пространства. Протяженность неразветвленной части канальцев варьирует от 5 до 25 мкм, а диаметр — от 0,1 до 1,5 мкм (Хэм А., 1983). Фактором, ограничивающим диаметр остеона, является расстояние, на котором системы канальцев способны эффективно обеспечивать питанием остеоциты (Хэм А., 1983). Нарушение микроциркуляции тканевой жидкости приводит к количественному и качественному изменению спектра веществ и гуморальных регуляторов, поступающих в остеоцит, а также неполному удалению секретируемых клеткой шлаков из околоклеточного пространства (Аврунин А. С., 1998; Корнилов Н. В., 2001).

2.2. Процесс формирования костной ткани (остеогенез)

Процесс формирования костной ткани (остеогенез, или оссификация) может осуществляться двумя путями: эндесмальным и энхондральным. Существует и третий, внескелетный, путь формирования костной ткани — гетеротопический остеогенез, который рассматривается как патологическая форма оссификации и характеризуется образованием участков костной ткани, например, в мышцах (Корж А. А., 1961, 1963; Некачалов В. В., 2000).

Эндесмальный, или прямой, остеогенез представляет собой процесс формирования кости напрямую из зародышевой соединительной ткани и осуществляется из точек окостенения, формирующихся в центре мезенхимной закладки (Корж А. А., 1961; Fawcett, 1986; Альбертс и соавт., 1994). Процесс эндесмального остеогенеза включает два этапа: соединительнотканый и костный. Путем эндесмальной оссификации формируются первичные, плоские кости (покровные кости мозгового и лицевого отделов черепа).

Энхондральный, или непрямой, остеогенез осуществляется через промежуточную хрящевую стадию. Он играет наиболее важную роль в формировании скелета, особенно в эмбриональный период. При этом из мезенхимы сначала образуется хрящевая ткань, формирующая хрящевую модель (хрящевую матрицу) будущей кости, затем происходит ее замещение костной тканью. Таким образом, энхондральный остеогенез осуществляется в три этапа: соединительнотканый, хрящевой, костный. Этим путем формируются трубчатые кости, кости основания черепа. Энхондральное замещение является физиологическим только в период роста костного звена, в остальных случаях представляет собой адаптационный или патологический процесс. Во взрослом организме кость может расти только путем аппозиции, т. е. отложения дополнительного матрикса вместе с клетками на свободной поверхности твердой ткани. При remodelировании костной ткани после переломов повторяются этапы эмбриогенеза, и в зависимости от условий процесс заживления идет по пути энхондрального или эндесмального остеогенеза (Илизаров Г. А., 1992; Шевцов В. И., 2000).

Гетеротопический остеогенез встречается при многих нозологических формах (Бадокин В. В. и соавт., 2007). Материнской тканью для формирования гетеротопического оссификата могут служить мышцы, сухожилия, связки и суставные капсулы. Основным условием остеоиндукции является формирование в этих тканях очага обызвествления. Вокруг него образуется грануляционная ткань, в состав которой входят остеокласты, фибробласты и остеобласты (Русаков А. В., 1953). В зависимости от срока развития во внескелетном оссификате обнаруживают незрелую волокнистую костную ткань, пластинчатую кость, хондроид (Корж А. А., 1961, 1963). В соответствии с Международной классификацией онкологических болезней (Женева: ВОЗ, 1990) гетеротопические оссификаты относятся к опухолеподобным процессам (Васильев Н. А. и соавт., 1994; Зимина О. Г. и соавт., 2002). На ранней стадии развития гетеротопического оссификата этот процесс дифференцируют с костеобразующими и хрящеобразующими опухолями (Виноградова Т. П., 1973; Кобина С. А., 1997). Костеобразование в мягких тканях может вызвать нарушения функции опорно-двигательного аппарата. Оно приводит к развитию контрактур, внесуставных анкилозов, снижению силы мышц, нейроцифическим нарушениям. Распространенность процесса может варьировать от небольших участков оссификации до генерализованного окостенения мышц и сухожилий. Наиболее обширные оссификаты развиваются в участках формирования гематомы (Бадокин В. В. и соавт., 2007).

Следует отметить, что гистогенез опорных тканей подчиняется общему принципу провизорности, в соответствии с которым формирование конечной (дефинитивной) ткани происходит через несколько промежуточных (провизорных) тканей. Согласно принципу провизорности при заживлении тканевых дефектов впоследствии протекает репаративная регенерация опорных тканей (Соловьев Г. С., 2005).

Энхондральный остеогенез

Понимание принципов взаимодействия костной и хрящевой тканей в процессе энхондрального остеогенеза является базовым для объяснения патоморфоза заболеваний суставов и их эхографической семиотики. Замена хрящевого скелета костным происходит в широком временном диапазоне — начиная со второго месяца внутриутробной жизни до 25 лет (Трофимова Т. Р. и соавт., 2005).

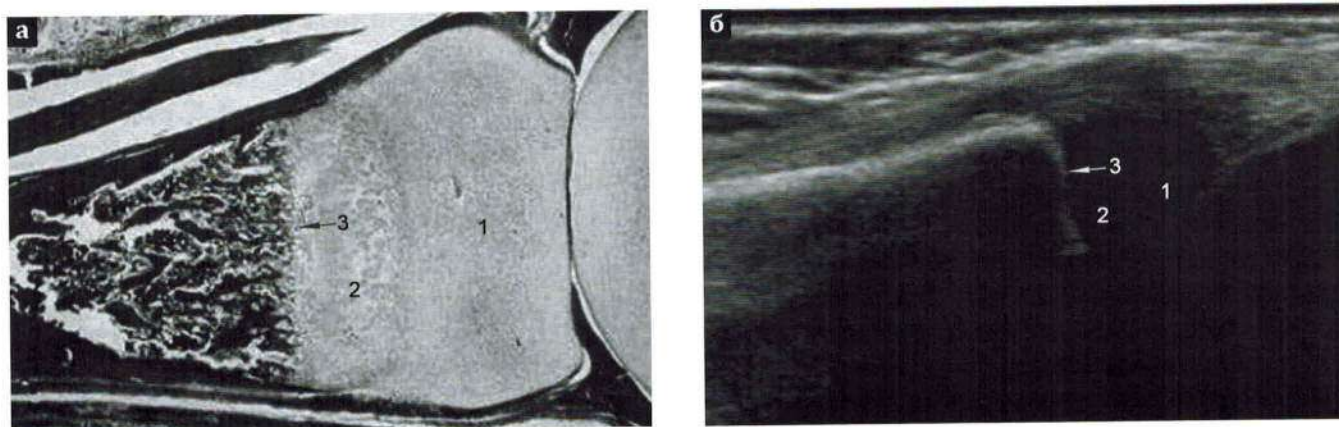


Рис. 2.3. Трубчатая кость в процессе роста:

а — гистологический препарат (Кузнецов С. П. и соавт., 2002); хрящевой эпифиз (1), энхондральное замещение в области диафиза (2), область прямого контакта костной и хрящевой ткани — открытая костно-хрящевая граница (3);
б — ультразвуковое изображение; хрящевой эпифиз (1), зона энхондрального замещения в области диафиза (2), область прямого контакта костной и хрящевой ткани — открытая костно-хрящевая граница (3).

Взаимодействие хряща и кости является ключевым моментом в процессе энхондральной ossификации. Несмотря на единый мезенхимальный источник происхождения, костная и хрящевая ткань существуют в диаметрально противоположных условиях. Хрящевая ткань сохраняет жизнеспособность при низком парциальном давлении кислорода, поэтому нормальный хрящ аваскулярен. Нормальное существование костной ткани, напротив, возможно только при высоком напряжении кислорода, которое может быть обеспечено высоким уровнем васкуляризации, поэтому капилляры в костной ткани расположены на расстоянии 0,1—0,2 мм друг от друга и пронизывают все костное вещество. В период роста костного звена контакт костной и хрящевой тканей является прямым, поскольку граница между костью и хрящом (остеохондральная граница) до определенного времени остается открытой (рис. 2.3). В силу своих тканевых особенностей костная и хрящевая ткани диаметрально противоположно взаимодействуют с ультразвуком, поэтому костно-хрящевая граница четко дифференцируется эхографически.

Хрящевая ткань развивается из мезенхимы склеротома¹. В период эмбрионального гистогенеза в мезенхиме возникают скелетогенные участки мезенхимы — участки предхрящевой ткани с более компактным расположением клеток. Именно здесь начинается формирование хрящевой модели будущей кости. В условиях компактизации и тесного взаимодействия клетки скелетогенной мезенхимы меняют тип дифференцировки и начинают интенсивно вырабатывать хрящевое межклеточное вещество — хрящевой матрикс. Благодаря пластичности хрящевого матрикса хрящевая ткань обладает уникальной способностью к интерстициальному, или вставочному, росту. Интерстициальный рост происходит внутри ткани без нарушения ее внутренней структуры и обеспечивает рост кости в длину. Сначала этот процесс наблюдается во всем хрящевом зачатке, за счет чего происходит его равномерное удлинение во всех отделах (рис. 2.4.I). Рост хрящевой ткани в ширину происходит как за счет интерстициального, так и за счет аппозиционного механизма. Аппозиционный рост происходит на поверхности хряща за счет деления хондрогенных клеток надхрящницы (перихондра), новые слои пролиферирующих хондрогенных клеток наслаиваются на предыдущие поверхностные слои.

По мере увеличения объема хрящевого зачатка присущий ему диффузионный тип питания становится неэффективным в центральной части, что приводит к кальцификации хрящевого матрикса, а зоны активного интерстициального роста смещаются к периферии хрящевого зачатка (рис. 2.4.II).

¹ Склеротом — зачаток осевого скелета.

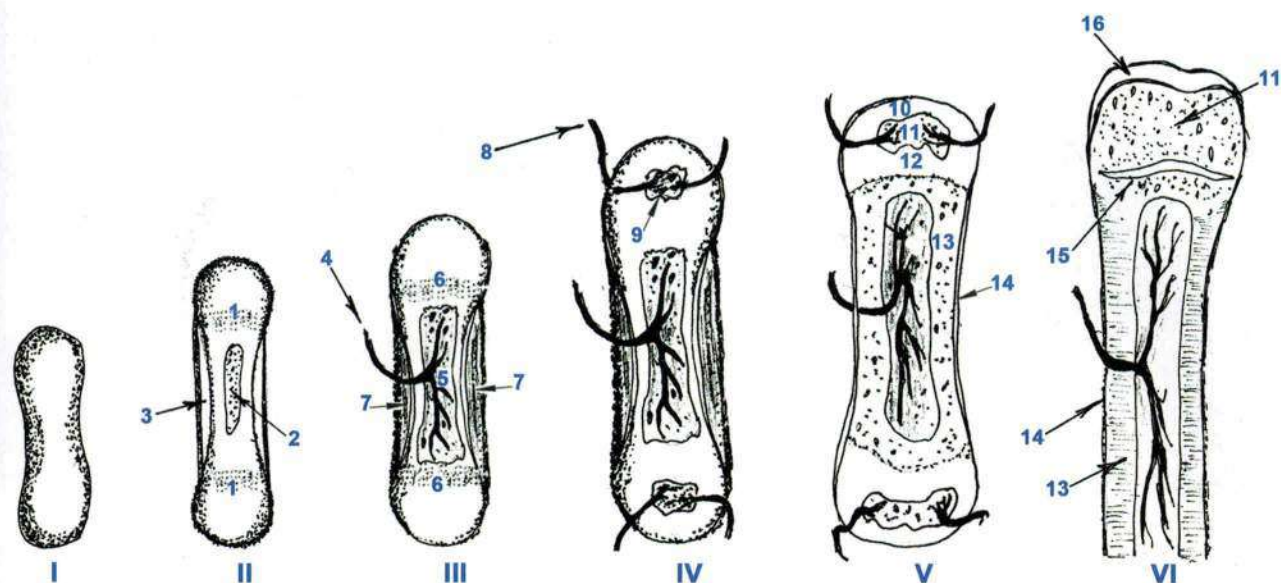


Рис. 2.4. Энхондральный остеогенез. Цикл тканевой дифференцировки и органотипической перестройки провизорной гиалиновой хрящевой ткани:

I — хрящевая модель будущей кости (гиалиновый провизорный хрящ); равномерный интерстициальный рост зачатка обеспечивает увеличение длины, интерстициальный и аппозиционный рост в области перихондра обеспечивает утолщение зачатка;
II — смещение зон активного интерстициального роста к периферии хрящевого зачатка (1), кальцификация хрящевого матрикса в центральной части диафиза (2), перихондр (3);

III — развитие сосудистой системы (4) и формирование первичного (диафизарного) центра оссификации (5), зон активного интерстициального роста (6), зон аппозиционного роста (7);

IV — формирование вторичного (эпифизарного) центра оссификации; прорастание сосудов в эпифиз (8), вторичный центр оссификации (9);

V — рост эпифизарной и диафизарной частей трубчатой кости: эпифизарный хрящ (будущий суставной хрящ) (10), губчатая кость эпифиза (11), метаэпифизарная пластинка, или зона роста (12), компактная (кортикальная) кость (13), периост (14);

VI — завершение роста эпифиза: формирование метаэпифизарной пластинки (15) и суставного хряща (16).

Кальцифицированный хрящевой матрикс не способен обеспечивать диффузию питательных веществ, поэтому хондроциты центральной части хрящевого зачатка гибнут, лакуны, в которых они находились, запустевают, образуются полости. На этом этапе реализуется фундаментальное свойство хряща: кальцифицированный хрящ способен индуцировать костеобразование. В его присутствии начинают активно действовать остеобласты, происходит смена дифференцировки — хрящевая ткань замещается костной. Процесс оссификации начинается в средней трети диафиза как снаружи хрящевой модели — перихондрально, так и внутри нее — энхондрально (рис. 2.4.II).

С развитием сосудистой системы в надхрящницу постепенно прорастают капилляры, что вновь ведет к кардинальной перемене, поскольку с появлением капилляров увеличивается парциальное давление кислорода. Интенсификация кислородного режима приводит к изменению типа дифференцировки клеток хондрогенного слоя надхрящницы: они начинают дифференцироваться в остеогенном направлении, то есть в костные клетки — остеобласты. Остеобласты располагаются на поверхности хряща в диафизарной части хрящевой модели и секретируют компоненты костного матрикса, в результате чего постепенно формируется костная манжетка. Костная манжетка представляет собой гистологический тип незрелой грубоволокнистой костной ткани. Перихондр, покрывающий эти участки, становится периостом (надкостницей), а сама костная манжетка — субпериостальной костью. Мезенхимальные клетки, расположенные снаружи слоя остеобластов, дифференцируются в фибробласты, продуцирующие матрикс, который состоит из волокон и основного вещества. Так формируется наружный, фиброзный слой периоста, который всегда обильно васкуляризирован.

Итак, перихондральный процесс приводит к формированию периоста (из перихондра) и субпериостальной кости (из костной манжетки). Дальнейший рост кости в ширину осуществляется по механизму аппозиционного роста: новообразованная кость формируется под надкостницей в результате функции остеогенного слоя. Остеогенные клетки являются плюрипотентными стволовыми клетками костной линии и способны в зависимости от характера микроокружения дифференцироваться как в клетки, формирующие хрящ, так и в клетки, формирующие кость. Возможность роста кости в ширину сохраняется в течение жизни и реализуется при различных ситуациях, связанных с раздражением остеогенного слоя периоста².

Следующим этапом взаимодействия хряща и кости является прорастание сосудов вместе с активными остеогенными клетками надкостницы во внутреннюю часть диафиза, в результате чего возникает контакт так называемой периостальной почки с гибнущим хрящом. Этот процесс дает начало формированию первичного (диафизарного) центра оссификации (рис. 2.4.III). Остеогенные клетки периостальной почки оседают на обломках хряща, дифференцируются в остеобласты и продуцируют вокруг себя костный матрикс. Центр оссификации постепенно распространяется в сторону эпифизов в проксимальном и дистальном направлениях. Распространение его ограничено эпифизарной пластинкой, которая остается хрящевой до окончания роста костей в длину, поэтому полная замена хряща костью ограничивается диафизарным и метафизарным участками хрящевой модели. Из клеток периостальной почки формируется не только костная ткань, но и строма миелоидной ткани — будущего костного мозга. Стромальные клетки костного мозга обладают высоким остеогенным потенциалом и во взрослом организме сохраняют способность к дифференцировке в нескольких направлениях, и в первую очередь в хондробласты и остеобласты, что проявляется, в частности, при заживлении переломов.

Эпифизы долгое время остаются хрящевыми. Эпифизарный центр оссификации формируется позже, уже в постнатальном периоде (рис. 2.4.IV), и этот процесс протекает аналогично диафизарному. В центре эпифиза зрелые хондроциты гипертрофируются, хрящевой матрикс кальцифицируется, хондроциты гибнут, образуются полости. В гибнущий хрящ из перихондра внедряются сосуды, перicyты и остеогенные клетки. Остеобласты дифференцируются, начинается продукция костного матрикса, формируется незрелая грубоволокнистая костная ткань.

Ультразвуковое изображение отражает этапы формирования эпифизарного ядра окостенения. Формированию вторичного центра оссификации предшествует васкуляризация хрящевой ткани эпифиза. Сосудистая система эпифиза полностью развивается за несколько месяцев до начала формирования центра оссификации (Burkus J. K. и соавт., 1993). Участки васкуляризации придают неоднородность гиалиновому хрящу за счет эхосигналов от сосудистых синусоидов, что является патномоничным эхографическим признаком готовности хрящевой ткани к перестройке и началу энхондрального остеогенеза (рис. 2.5а, б). Постепенное увеличение количества гиперэхогенных вкраплений и червеобразных включений в провизорном хряще эпифиза является эхографическим предиктором появления ядра окостенения (Граф Р., 2006). Ультразвуковой метод исследования позво-

² Например, формирование костной мозоли в условиях недостаточно стабильной фиксации переломов; при формировании краевых остеофитов при остеоартрозе; при формировании апофизов. В этом плане представляет интерес механизм формирования апофизов — выступов кости в зонах прикрепления связок и сухожилий. Апофизы представляют собой наиболее поздние формирования, которые образуются путем энхондрального остеогенеза. Типичный апофиз — бугристость большеберцовой кости. В формировании апофизов определяющее значение имеют растягивающие нагрузки со стороны связок и сухожилий, которые прикрепляются в зонах будущих апофизов. Растяжение стимулирует пролиферацию клеток хондрогенного слоя периоста, за счет чего происходит формирование дополнительных выступов в зонах прикрепления связок и сухожилий. Сначала они имеют хрящевую структуру, а затем постепенно, в результате энхондрального остеогенеза, замещаются костной тканью. Приблизительно таков же механизм формирования остеофитозных образований в периферических зонах мышечков; инициирующий момент в этом случае — нестабильность сустава, которая увеличивает растягивающую нагрузку на периост в области прикрепления фиброзной капсулы и связок. Растяжение инициирует пролиферацию хондрогенного слоя периоста, что приводит к увеличению площади суставной поверхности и в конечном итоге — к стабилизации измененного сегмента сустава.

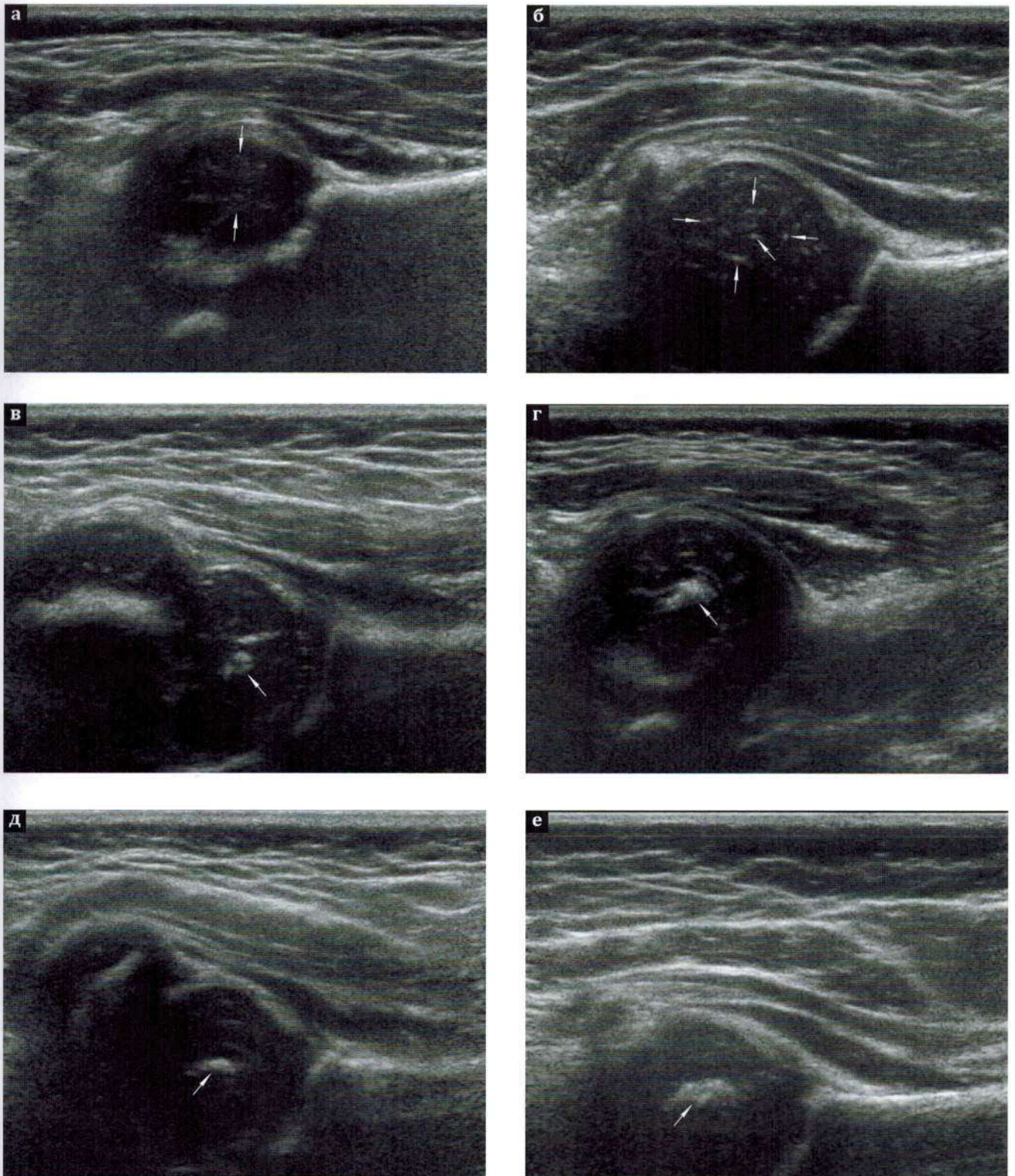


Рис. 2.5. Проксимальный эпифиз бедренной кости. Эхографические стадии формирования вторичного (эпифизарного) центра оксификации:

- а, б** — постепенное увеличение количества гиперэхогенных вкраплений и червеобразных включений (стрелки) в провизорном хряще эпифиза — предиктор появления ядра оксификации;
- в, г** — продольный и поперечный срезы эпифиза; появление ядра оксификации (стрелки) в центральной части эпифиза, сформированного грубоволокнистой незрелой костной тканью;
- д, е** — процесс минерализации и роста ядра оксификации (стрелки) эпифиза.

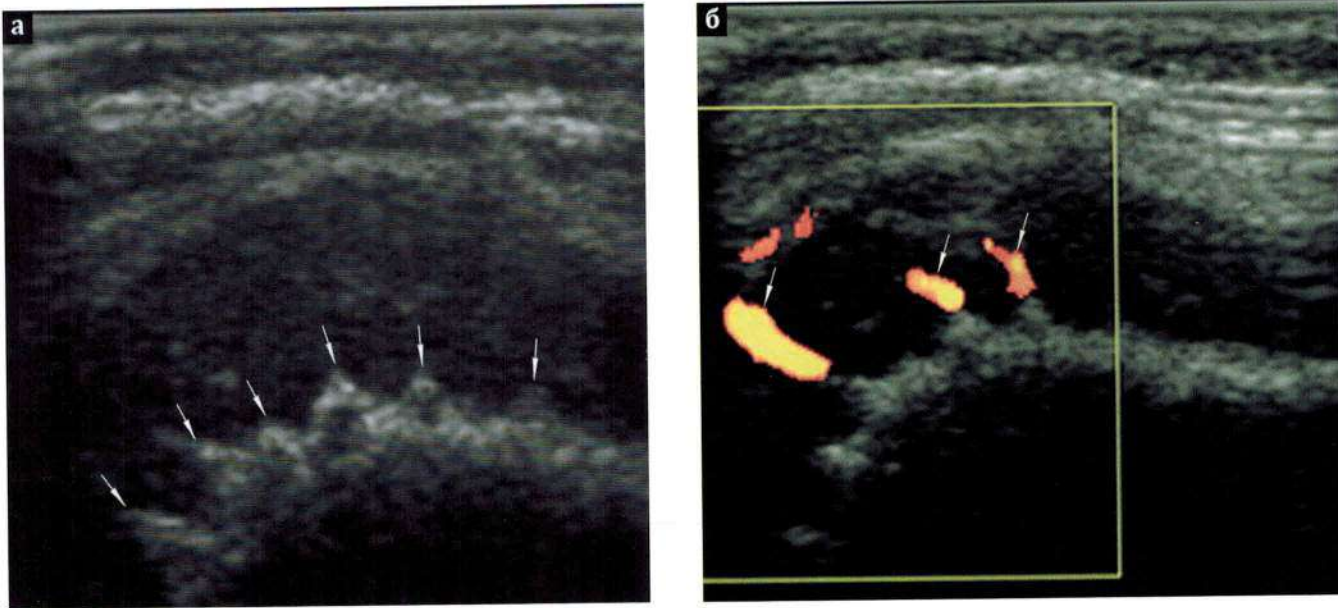


Рис. 2.6. Дистальный эпифиз бедренной кости. Ультразвуковое изображение эпифизарного ядра оксификации:
 а — характерная зубчатость контура (стрелки) в области открытой костно-хрящевой границы, сформированная очагами энхондрального костеобразования;
 б — васкуляризация эпифизарного хряща; радиальное распространение очагов энхондрального костеобразования в глубокие отделы провизорного хряща по ходу сосудов (стрелки).

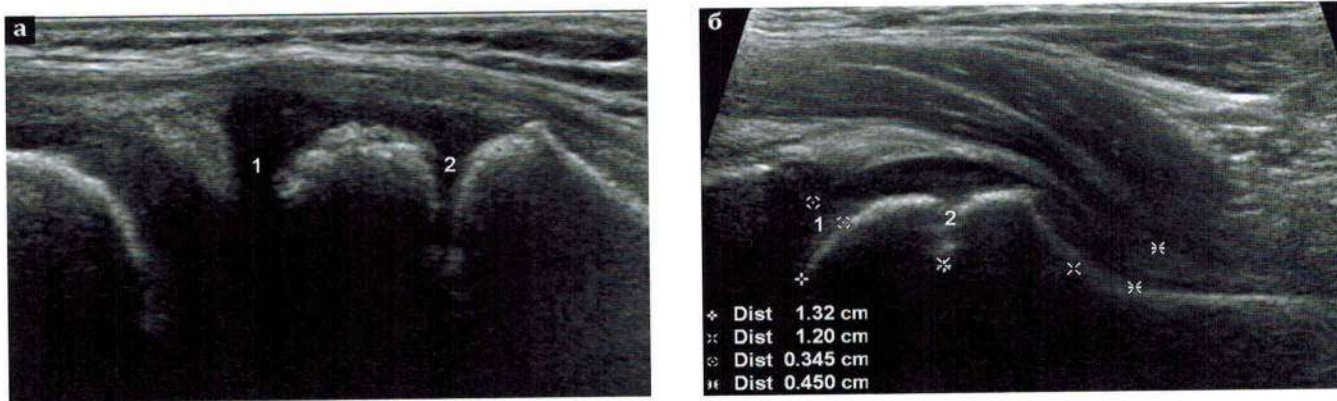


Рис. 2.7. Области ограничения распространения энхондрального костеобразования в период роста костного звена:
 а — область формирования суставного хряща (1); область метаэпифизарной пластинки (2);
 б — увеличение эпифизарного ядра окостенения; распространение энхондрального костеобразования ограничено теми же областями: область формирования суставного хряща (1), область метаэпифизарной пластинки (2).

ляет не только прогнозировать появление эпифизарного ядра окостенения, но и фиксировать его возникновение при мельчайших размерах (в виде точки). Вторичный центр оксификации характеризуется повышенной эхогенностью, гомогенной структурой, достаточно варибельной формой, приближающейся к округлой, неровными контурами, высоким уровнем звукопроводимости, что соответствует гистологическому типу незрелой грубоволокнистой костной ткани (рис. 2.5в, г). Процесс минерализации ядра окостенения сопровождается прогрессирующим снижением его звукопроводимости с формированием акустической тени (рис. 2.5д, е).

Эпифизарный очаг оксификации распространяется от центра к периферии по ходу хрящевых каналов с сосудами в них (Burkus J. K. и соавт., 1993). Радиальное распространение оксификации вызывает характерную зубчатость эпифизарной костно-хрящевой границы (рис. 2.6).

Однако в период роста костного звена энхондральное костеобразование ограничено областью суставного хряща и эпифизарной пластинкой, куда этот процесс не распространяется (рис. 2.7).

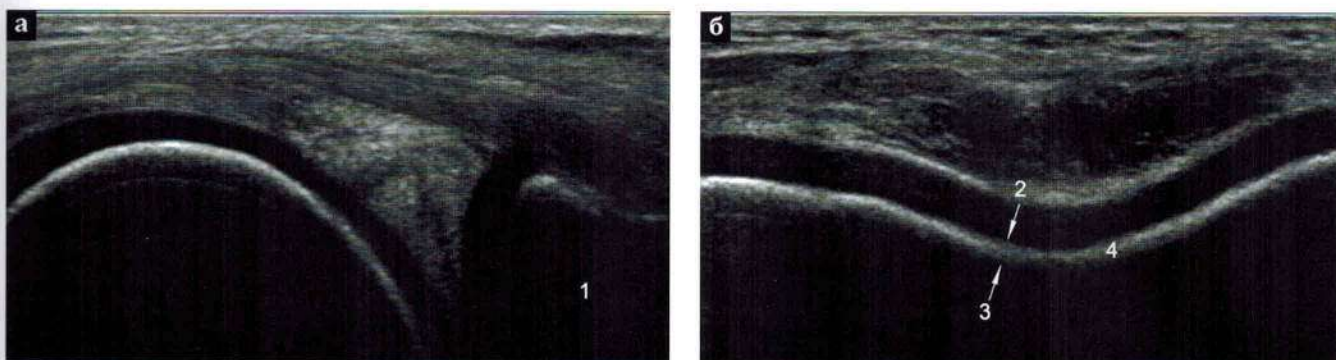


Рис. 2.8. Завершение роста костного звена. Закрытие костно-хрящевой границы.

Эпифизарно-метафизарный синостоз (1); хондросиностоз на уровне зоны контакта эпифизарного хряща и эпифизарного ядра окостенения (2, 3); субхондральная костная пластинка (4).

По мере завершения роста костного звена костно-хрящевая граница закрывается сначала на уровне метаэпифизарной пластинки путем формирования синостоза эпифиза и метафиза, а впоследствии — на уровне зоны контакта эпифизарного хряща и эпифизарного ядра окостенения путем формирования хондросиностоза за счет формирования субхондральной костной пластинки (рис. 2.8).

Завершающим этапом энхондрального остеогенеза является формирование замыкающей субхондральной пластинки, в пределах которой костное вещество субхондральной кости вступает в очень тесный контакт с базальной зоной суставного хряща. Так формируется особый тип остеохондрального соединения (соединения кости и хряща) — хондросиностоз. Костный компонент соединения — зрелая кость остеонной структуры, хрящевой компонент контакта — кальцифицированный, частично резорбирующийся хрящ (Boyd A. и соавт., 1983; Павлова В. Н. и соавт., 1988; Мажуга П. М., 1999). На этом этапе процесс энхондрального замещения блокируется, а в самом эпифизарном хряще происходит сначала торможение, а затем и полное прекращение процессов пролиферации. Секретция веществ хрящевого матрикса происходит лишь в мере, достаточной для компенсации его естественного износа. Постепенно эпифизарный хрящ приобретает зональное строение и структуру типичного суставного хряща. Следует отметить, что степень покрытия эпифиза сустава хрящом может быть разной — от полной (до контакта с эпифизарной пластинкой) до частичной.

Толщина субхондральной пластинки в норме не превышает 400 мкм (Carlson C. S. и соавт., 1996). Эта величина соответствует максимальному диаметру остеона (Хэм А., 1983). Субхондральная кость выполняет по отношению к суставному хрящу трофическую и опорную функции. Граница между кальцифицированным хрящом и костью точно не дифференцируется даже при световой микроскопии, а сканирующая электронная микроскопия позволяет характеризовать фронт остеохондрального соединения как извилистую электронно-плотную, цементирующую линию (Boyd A., 1983). Зона остеохондрального соединения очень важна и определяет функционирование суставной поверхности и сустава в целом. Патологический процесс любой этиологии ведет к нарушению взаимодействия хряща и кости, необходимого для нормальной функции опорно-двигательного аппарата (Павлова В. Н. и соавт., 1988). В условиях патологии происходит деформация зоны остеохондрального соединения и возобновление процесса энхондрального замещения, что приводит к уменьшению толщины хрящевого покрова суставной поверхности.

Морфология и кровоснабжение метаэпифизарной пластинки (зоны роста)

После завершения развития эпифизарного центра оссификации хрящевыми остаются только суставной хрящ и метаэпифизарная пластинка (рис. 2.9).

Рост эпифиза осуществляется за счет части эпифизарного хряща, обращенной в сторону суставной поверхности. Здесь продолжается пролиферация хондроцитов. Часть эпифизарного хряща, обращенная в сторону суставной полости, дифференцируется в суставной хрящ. Кость, возникшая из эпифизарного очага, является по отношению к суставному хрящу субхондральной костью.

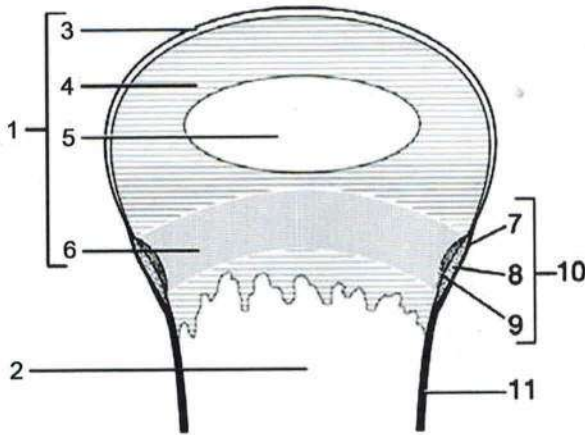


Рис. 2.9. Структурные компоненты эпифиза и метафиза длинной трубчатой кости (Dirsko J. F. von Pfeil u соавт., 2009):

- эпифиз (1);
- метафиз (2);
- суставной хрящ эпифиза (3);
- эпифизарный хрящ (4);
- эпифизарный центр оссификации (5);
- метаэпифизарная пластинка — зона роста (6);
- фиброзный слой надкостницы (7);
- перихондральное кольцо (8);
- желоб оссификации (9);
- фиброзный компонент зоны роста (10);
- кортикальный слой кости (11).

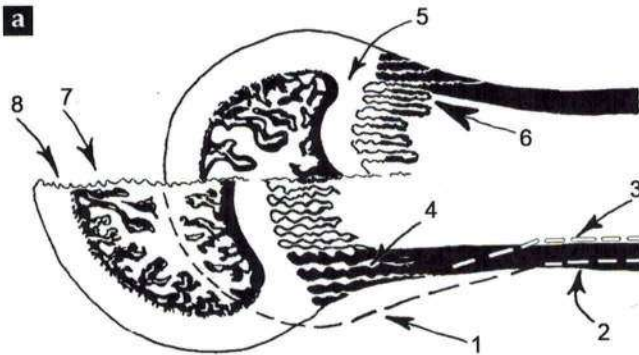


Рис. 2.10. Эпифизарная пластинка:

а — схема распределения процессов хондрогенеза, остеогенеза и ремоделирования костной ткани в области эпифизарной пластинки (Хэм А., 1983);

б — эхограмма растущей длинной трубчатой кости.

Обозначения: зона резорбции кости (1, 3), зона ремоделирования растущей кости (2), зона костеобразования внутри тоннеля (4), зона удлинения кости за счет роста хряща (5), зона замещения хряща костью (6), зона увеличения эпифиза в результате роста хряща и замена его костью (7, 8).

Рост диафиза осуществляется за счет метаэпифизарной пластинки, разграничивающей кость эпифиза и кость диафиза. Метаэпифизарная пластинка имеет два полюса: эпифизарный и диафизарный. В области эпифизарного полюса пластинка граничит с костной тканью ядра окостенения, как и остальная часть глубокой зоны эпифизарного хряща, но данный контакт имеет свою специфику и представляет собой область остеохондрального соединения. В этой зоне прежде всего отсутствует резорбция хряща, что объясняется невозможностью глубокого проникновения капилляров в хрящ: коллагеновые волокна его поверхностной зоны вместо продольной ориентации располагаются перпендикулярно длинной оси кости, препятствуя таким образом глубокому проникновению петель капилляров. Функция этих капилляров заключается лишь в обеспечении трофики хряща. Хрящ, расположенный в этих зонах, кальцифицирован лишь частично (Хэм А., 1983).

Со стороны эпифизарного полюса происходит непрерывный интерстициальный рост хряща, который приводит к тому, что кость эпифиза стремится отодвинуться, «убежать» от кости диафиза. А кость диафиза, в свою очередь, стремится «догнать» кость эпифиза, поскольку со стороны диафиза базальная зона эпифизарной пластинки подвергается постоянному воздействию элементов костной ткани: непосредственный прямой контакт хряща и кости в виде открытой костно-хрящевой границы способствует внедрению сосудов и остеогенной ткани в базальную зону хряща.

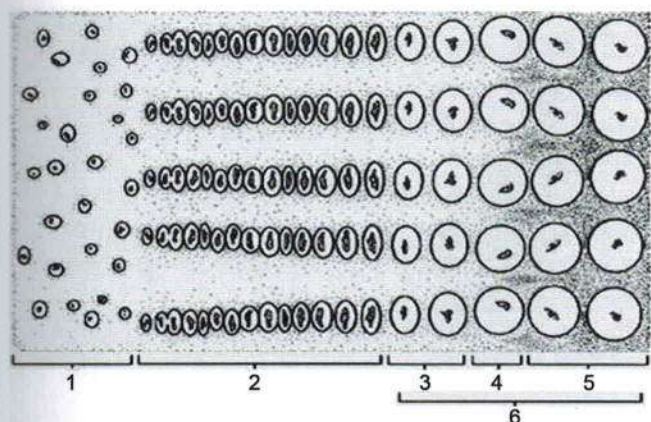


Рис. 2.11. Зональная структура эпифизарной пластинки
(Хэм А., 1983; Dirsko J. F. von Pfeil u соавт., 2009):

- зона покоящегося хряща (1);
- зона пролиферирующего хряща (2);
- зона созревающего хряща (3);
- зона обызвествленного хряща (4);
- зона первичной кальцификации (5);
- гипертрофическая зона (6).

Таким образом, эпифизарная пластинка является субстратом, по которому молодая кость распространяется в сторону эпифиза: на эпифизарном конце пластинки формируются новые слои хряща, а на диафизарном конце столько же ранее образованного хряща замещается костью. Поэтому, несмотря на непрерывный рост хряща в этой области, толщина эпифизарной пластинки в период активного роста кости остается постоянной (рис. 2.10).

По периферии эпифизарная пластинка окружена фиброзным компонентом, в состав которого входят желоб оссификации (бороздка Ранвье) и перихондральное кольцо (кольцо Лакруа), расположенное между желобом и надкостницей. В этой зоне процесс энхондрального костеобразования осуществляется в области перихондра в поперечном направлении. Фиброзный компонент защищает растущий хрящ от поперечных сил, препятствуя его сдвигу и расслоению.

Хрящевой компонент эпифизарной пластинки имеет зональную структуру. В направлении от эпифиза к диафизу располагаются зона покоящегося хряща (резервная зона), зона пролиферирующего хряща, зона созревающего хряща, зона обызвествленного хряща (рис. 2.11).

Зона покоящегося хряща граничит непосредственно с костью эпифиза, в некоторых местах отделяясь от нее полостями, содержащими капилляры. Эта зона не принимает участия в росте эпифизарной пластинки. Ее роль заключается в фиксации пластинки к кости эпифиза, а также поддержании диффузионного питания других зон пластинки с помощью капилляров, расположенных на ее границе с костью эпифиза.

Пролиферативная зона состоит из молодых пролиферирующих хрящевых клеток, формирующих колонки. Основной функцией клеток этой зоны является клеточная пролиферация и продукция компонентов хрящевого матрикса (коллагена и протеогликанов). Между колонками клеток в перегородках межклеточного хрящевого матрикса располагаются продольно ориентированные пучки коллагеновых фибрилл, выполняющие роль каркаса.

Клетки, удаляющиеся от зоны интенсивно пролиферирующего хряща, постепенно созревают и формируют зону созревающего хряща. Процесс созревания хрящевых клеток сопровождается накоплением в их цитоплазме гликогена и увеличением их размеров.

В результате пролиферации хрящевых клеток в пролиферативной зоне и увеличения их размеров в зоне созревания осуществляется рост эпифизарной пластинки в продольном направлении.

Поскольку гипертрофированные хондроциты начинают продуцировать щелочную фосфатазу, межклеточное вещество вокруг хрящевых клеток обызвествляется. В результате этого формируется четвертая, наиболее тонкая зона эпифизарной пластинки — зона обызвествленного хряща, которая граничит непосредственно с диафизом. Хрящевой фактор роста, продуцируемый гипертрофированными хондроцитами, оказывает хемотаксическое действие на эндотелиальные клетки. В результате эндотелиальные и периваскулярные клетки проявляют лизосомальную активность, разрушая поперечные перегородки между хондроцитами. Через разрушенные перегородки в колонки хондроцитов врастают капилляры диафиза в виде петель, в некоторых случаях разрываясь с кровоизлиянием в лауну (эта область на диафизарной стороне эпифизарной пластинки является уязвимой для бактериального инфицирования). Часть перегородок между колонками хондроцитов также разрушается. Остеогенные клетки пролиферируют и дифференцируются в остеобласты, которые выстраи-

Глава 3

Синовиальная среда суставов

Общее развитие и координация функций синовиальной оболочки, синовиальной жидкости и суставного хряща послужили основой для объединения этих компонентов в единую систему — синовиальную среду сустава (Павлова В. Н., 1980).

3.1. Структурная организация, ультразвуковая морфология и патоморфология суставного хряща

Структурная организация суставного хряща

Несмотря на значительное разнообразие этиологии, патогенеза и клинической манифестации заболеваний суставов, основным патоморфогенетическим звеном суставной патологии является деструктивный процесс в суставном хряще, который в конечном итоге приводит к деформации сустава (Павлова В. Н. и соавт., 1988).

Гиалиновая тканевая система суставного покрытия является наиболее распространенным видом хрящевой ткани в организме (хрящевая ткань — это высокоспециализированная ткань, содержащая только один тип клеток — хондроциты). Гиалиновый суставной хрящ представляет собой сохранившуюся и перешедшую в дефинитивное состояние периферическую часть хрящевого эпифиза, куда не распространяется процесс энхондрального остеогенеза (Павлова В. Н., 1980; Хэм А. и соавт., 1983; Мажуга П. М., 1994). Обмен гиалинового суставного хряща зависит от синовиальной оболочки и субхондральной кости, поскольку хрящ является бессосудистой тканью и лишь периферические его участки частично снабжаются за счет круговой сосудистой сети в зоне хондросиновиального контакта (Косинская Н. С., 1961).

Основным фактором, поддерживающим в хрящевом состоянии поверхности сопряженных в суставе скелетных звеньев, является синовиальная жидкость, компрессионно проникающая в поверхностную зону суставного хряща (Рейнберг Г. А., 1958). Гиалуроновая кислота, благодаря свойствам гидрофильности, способствует поддержанию необходимого тургора в поверхностной зоне суставного хряща при высоком уровне внутритканевого ацидоза. Концентрация гиалуроната увеличивается по мере приближения к суставной поверхности, где достигает наивысшей концентрации, что не только исключает возможность прогрессивной дифференцировки хондроцитов, но и тормозит нормальную жизнедеятельность клеток по мере их приближения к суставной поверхности (Мажуга П. М., 1999). Эксперимент по устранению капсулы сустава с синовиальной оболочкой — основным источником синовиальной жидкости, проведенный М. И. Дружининым (1889), показал, что в первые же сутки после операции в глубоком слое суставного хряща активизируются процессы энхондральной резорбции с последующим быстрым замещением суставного хряща костью (Мажуга П. М., 1999).

Матрикс

Суставной хрящ представляет собой упругоэластический материал, способный поглощать давление путем обратимой деформации под воздействием механической нагрузки и снижать до минимума трение при движениях в суставе. В основе этих функций лежит уникальная структура суставного хряща, а именно состав и архитектура внеклеточного матрикса.

Внеклеточный матрикс суставного хряща состоит из коллагена, протеогликанов и воды с растворенными в ней ионами (Коваленко В. Н. и соавт., 2003). Вода — основной компонент внеклеточного матрикса суставного хряща, ее содержание составляет 65—70% от общей его массы. Такое гипергидратированное состояние хрящевого матрикса обусловлено высоким содержанием сульфатированных

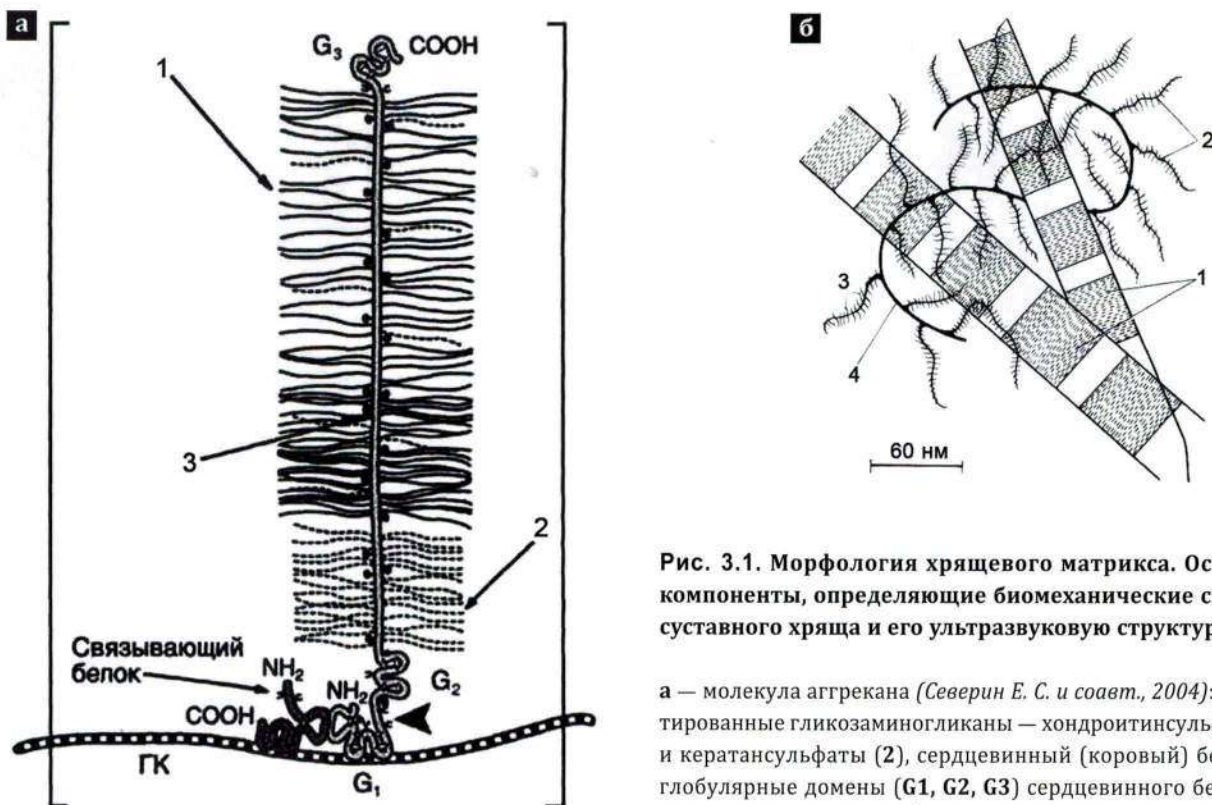


Рис. 3.1. Морфология хрящевого матрикса. Основные компоненты, определяющие биомеханические свойства суставного хряща и его ультразвуковую структуру:

а — молекула агрекана (Северин Е. С. и соавт., 2004): сульфатированные гликозаминогликаны — хондроитинсульфаты (1) и кератансульфаты (2), сердцевинный (коровый) белок (3), глобулярные домены (G1, G2, G3) сердцевинного белка, выполняющие связующие функции, гиалуроновая кислота (ГК);

б — взаимодействие агрегатов протеогликанов и коллагеновых волокон в хрящевом матриксе (схема — Haskall V., Haskall G., 1981, изменения — Павлова Г. Н., 1988): коллагеновые волокна (1), агрегат протеогликанов (2), протеогликан (субъединица агрегата) (3), гиалуроновая кислота (4).

гликозаминогликанов в молекулах протеогликанов, а также способностью этих молекул связываться с молекулой гиалуроновой кислоты с образованием крупных агрегатов. В результате хрящ приобретает способность обратимо деформироваться, то есть максимально сжиматься при нагрузке и затем преодолевать деформацию, восстанавливая свое гипергидратированное состояние (Maroudas A. и соавт., 1992).

Архитектоника и функциональные свойства хрящевой ткани во многом определяются структурой протеогликанов (Русова Т. В. и соавт., 2005). Основной протеогликан суставного хряща — агрекан (рис. 3.1) — составляет около 90% общей массы протеогликанов в ткани, или 100 мг/мл (Toyras J. и соавт., 2003). В хрящевом матриксе молекулы агрекана агрегируются с гиалуроновой кислотой и небольшими связывающими белками. Конечный агрегат состоит из одной молекулы гиалуроновой кислоты, 100 молекул агрекана и 100 молекул связывающего белка. Его молекулярная масса превышает 200×10^6 D. Продукция компонентов и координация сборки таких агрегатов является главной функцией хондроцитов. Созревание функционально активного тройного комплекса составляет около 24 часов (Северин Е. С. и соавт., 2004).

Благодаря особым свойствам макромолекул хрящевой ткани, входящих в состав коллагенов, протеогликанов, неколлагеновых гликопротеинов, вода хрящевого матрикса прочно связана внутри него (Thonar E. J.-M. A. и соавт., 1999). Наличие большого количества анионных групп в протеогликанах сообщает им большой отрицательный заряд, благодаря чему возникает взаимодействие протеогликанов с подвижными катионными группами интерстициальной жидкости. Поскольку способность протеогликанов связывать воду очень высока, в норме — избыточна и может привести к неограниченному набуханию хрящевого матрикса, она требует ограничения. В роли ограничителя выступает коллагеновая сеть, создающая предел набуханию протеогликанов.

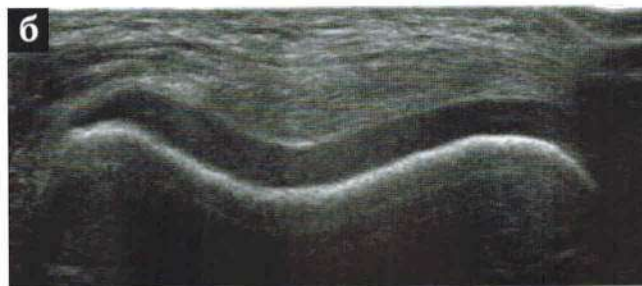
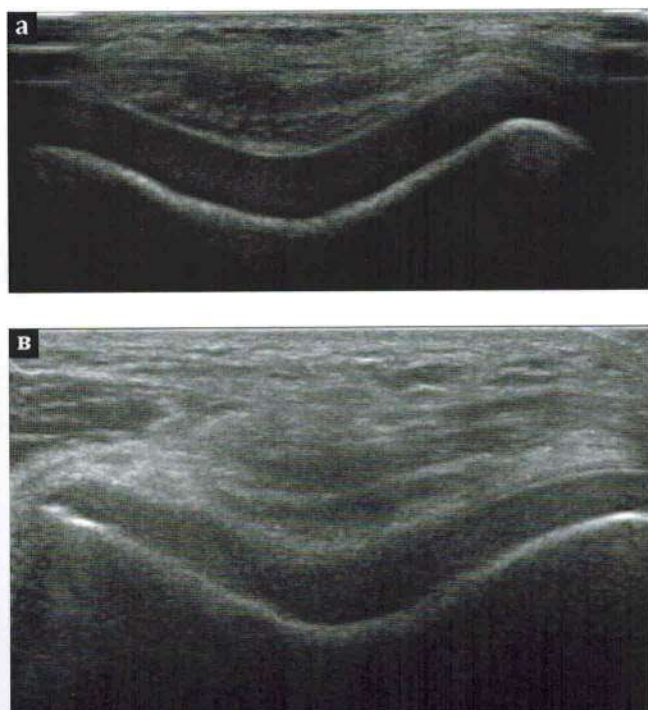


Рис. 3.2. Изменение эхографических характеристик суставного хряща в зависимости от структурного и функционального состояния основного вещества хрящевого матрикса:

а — норма;

б — незначительное повышение эхогенности и усиление зернистости;

в — выраженное повышение эхогенности и усиление зернистости.

Коллагеновый компонент матрикса зрелого суставного хряща представлен преимущественно коллагеном II типа, молекулы которого образуют фибриллярные аркады. Сеть из коллагеновых фибрилл II типа обеспечивает сопротивление растяжению и необходима для поддержания объема и формы ткани (Eyre D. R. и соавт., 1988). Организованные в фибриллы коллагеновые молекулы составляют около 50% массы сухого органического остатка хряща или 10—20% нативного хряща (Thonar E. J.-M. A. и соавт., 1999). Таким образом, набухшие молекулы агрекана оказываются сжатыми коллагеновой сетью до 20% объема, который они могли бы занять в растворе, что создает эффект исключенного объема (Maroudas A. и соавт., 1992; Kuettner K. и соавт., 1995). В результате возникает дополнительная энергия набухания, лежащая в основе упругости суставного хряща. В результате эффекта исключенного объема внутри концентрированного раствора протеогликанов остаются поры настолько малого размера (сопоставимого с размерами молекул натрия и калия), что диффузия глобулярных белков в ткань резко ограничивается (Urban J. P. G., 1990; Kuettner K. и соавт., 1995; Коваленко В. Н. и соавт., 2003).

Утрата агрекана приводит к избыточной гидратации хрящевого матрикса, набуханию оставшихся протеогликанов и в результате — снижению плотности отрицательного заряда и изменению осмолярности (Helminen H. J. и соавт., 1992). Кроме того, снижение концентрации протеогликанов вызывает увеличение содержания воды во внутрифибриллярном пространстве.

Нарушения концентрации, структурных и функциональных свойств протеогликанов приводят к изменению эхографических характеристик суставного хряща в виде повышения его эхогенности и усиления зернистости (рис. 3.2).

Зрелый суставной хрящ имеет четко выраженное зональное строение (рис. 3.3). В суставном хряще выделяют поверхностную (тангенциальную) зону, переходную зону, глубокую (радиальную) зону и кальцифицированную зону. Эта структура определяется различной спецификой хрящевого матрикса и клеточного состава: распределение и макромолекулярная организация коллагенов и протеогликанов варьируют в зависимости от глубины расположения каждой зоны, что обуславливает разницу в биомеханических свойствах хряща (Павлова В. Н. и соавт., 1976; Павлова В. Н. и соавт., 1988; Коваленко В. Н. и соавт., 2003).

Поверхностная зона (рис. 3.4а) обладает устойчивостью к растяжению, обеспечивает равномерное распределение нагрузки по всей поверхности ткани благодаря высокой концентрации коллагена, тангенциальной ориентации фибрилл, относительно низкой концентрации протеогликанов (Kuettner K. и соавт., 1995; Коваленко В. Н. и соавт., 2003).

8.2. Плечевой сустав

Анатомо-функциональные особенности и эхографические эквиваленты патологических изменений

Анатомо-функциональные особенности плечевого сустава

Плечевой сустав — шаровидный многоосный сустав, объем движений в котором значительно превышает объем движений в остальных суставах. Артикулирующими поверхностями являются суставная поверхность головки плечевой кости, площадь которой составляет треть поверхности шара, и значительно меньшая, слабовогнутая суставная впадина лопатки (рис. 8.1).

Площадь и глубина суставной поверхности лопатки увеличивается за счет суставной губы. Суставная капсула плечевого сустава прикрепляется к краю суставной губы и в области анатомической шейки плечевой кости (рис. 8.2).

Выраженная неконгруэнтность сочленяющихся поверхностей обеспечивает значительную свободу движений в плечевом суставе, поскольку позволяет максимально уменьшать площадь их контакта. В плечевом суставе возможны четыре вида движений: 1) сгибательно-разгибательные движения, осуществляемые вокруг фронтальной оси в пределах 90° ; 2) вращение плеча внутрь и наружу вокруг вертикальной оси; 3) круговые движения при переходе с одной оси на другую; 4) отведение-приведение вокруг сагиттальной оси в пределах 90° . Отведение, превышающее горизонтальный уровень, ограничивается сводом плеча, сформированным клювовидным и акромиальным отростками лопатки и клювовидно-акромиальной связкой. Максимальное увеличение объема движений верхней конечности достигается за счет подвижности лопатки.

В плечевом суставе отдельно выделяют субакромиальный сустав, который называют добавочным суставом плечевого сустава (Рохлин Р. Д., 1955; Косинская Н. С., 1961). Функцию суставной впадины в субакромиальном суставе выполняет нижняя поверхность вершины акромиального отростка и клювовидно-акромиальная связка, а функцию суставной головки — наружная поверхность суставной капсулы и большой бугорок плечевой кости (рис. 8.3). Уникальность субакромиального сочленения состоит в том, что сухожилие в нем располагается между двумя костями. Субакромиальную бурсу в этом суставе рассматривают как суставную полость, а расположенные между ней и капсулой сухожилия и связки играют роль своеобразного мениска.

Субакромиальный сустав образует свод плечевого сустава и несет на себе основную нагрузку, поскольку его суставная впадина расположена в плоскости, перпендикулярной направлению основной нагрузки, а головка плечевого сустава приходит в такое положение только при отведении конечности. Этим объясняется преимущественная локализация деформирующего остеоартроза в субакромиальном суставе.

При мышечной гипертрофии или тендините сухожилие надостной мышцы может ущемляться в субакромиальном пространстве. На этом фоне при повторной травматизации может произойти разрыв сухожилия. В ряде случаев в промежутке между головкой плечевой кости и акромионом может происходить ущемление сухожилий подлопаточной и подостной мышц. Причиной редукции объема субакромиального пространства может быть субакромиальный бурсит и патологические изменения клювовидно-акромиальной связки.

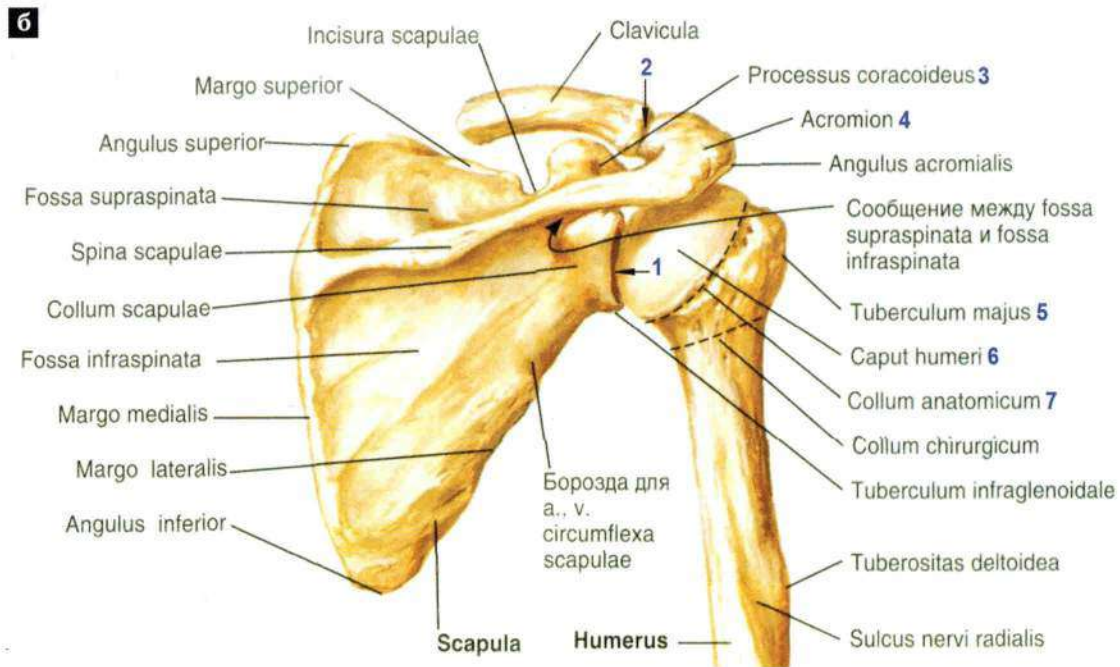
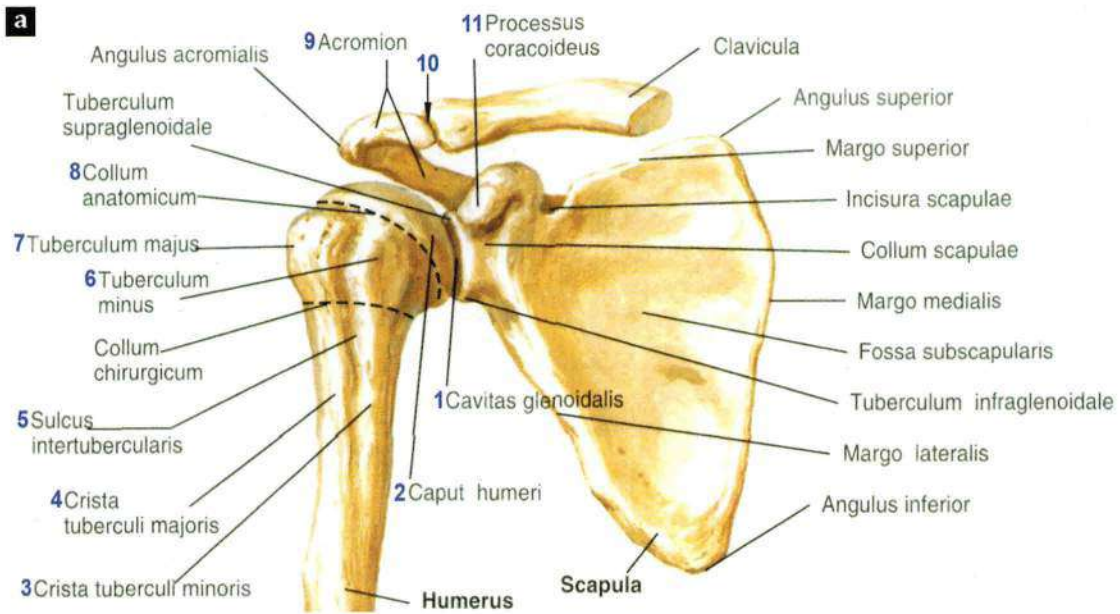


Рис. 8.1. Костные компоненты плечевого сустава (Неттер Ф., 2003, с изменениями):

а — вид спереди: суставная впадина лопатки (1); головка плечевой кости (2); гребень малого бугорка плечевой кости (3); гребень большого бугорка плечевой кости (4); межбугорковая борозда (5); малый бугорок плечевой кости (6); большой бугорок плечевой кости (7); анатомическая шейка плечевой кости (8); акромиальный отросток лопатки (9); акромиально-ключичный сустав (10); клювовидный отросток лопатки (11);

б — вид сзади: суставная впадина лопатки (1); акромиально-ключичный сустав (2); клювовидный отросток лопатки (3); акромиальный отросток лопатки (4); большой бугорок плечевой кости (5); головка плечевой кости (6); анатомическая шейка плечевой кости (7).

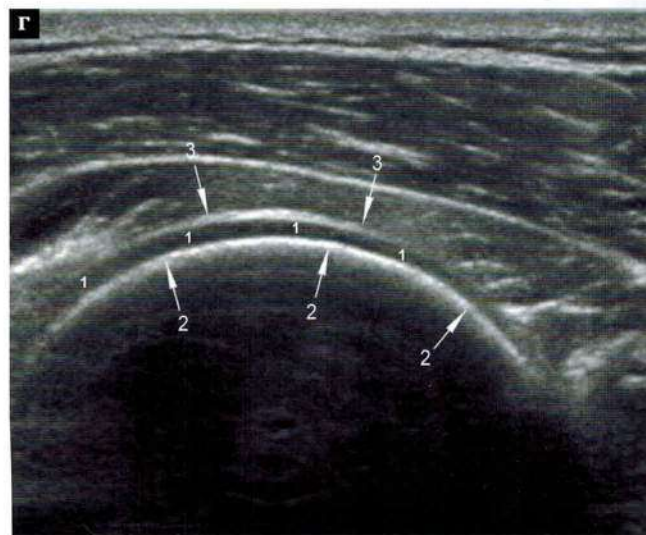
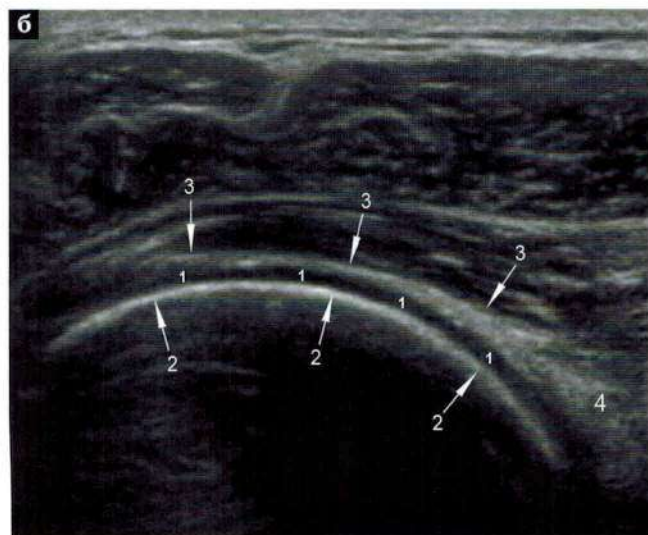
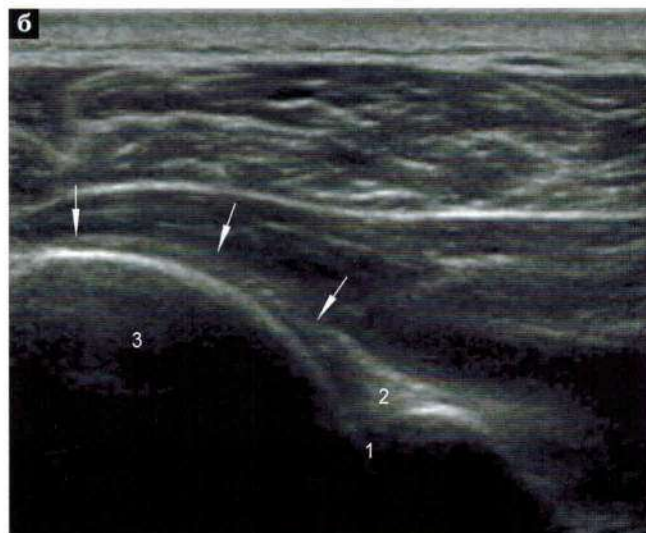
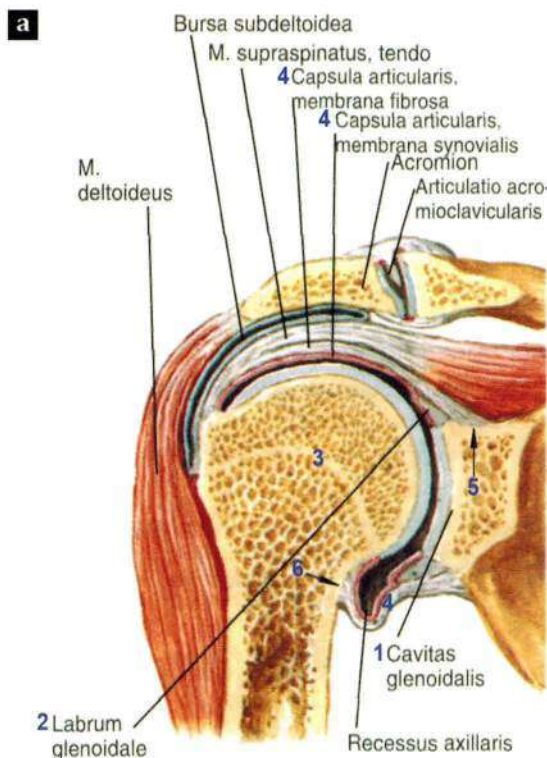


Рис. 8.2. Плечевой сустав:

а — анатомический фронтальный срез (Неттер Ф., 2003, с изменениями): суставная впадина лопатки (1), хрящевая губа лопатки (2), головка плечевой кости (3), суставная капсула (4), зона проксимального энтезиса суставной капсулы (5), зона дистального энтезиса суставной капсулы (6);

б — эхографический фронтальный срез: суставная впадина лопатки (1), хрящевая губа лопатки (2), головка плечевой кости (3), суставная капсула (4);

в — фронтальный эхографический срез плечевого сустава на уровне головки плечевой кости: суставной хрящ (1); зона остеохондрального соединения (2); суставная капсула (3); хрящевая губа лопатки (4);

г — аксиальный эхографический срез плечевого сустава на уровне головки плечевой кости: суставной хрящ (1); зона остеохондрального соединения (2); суставная капсула (3).

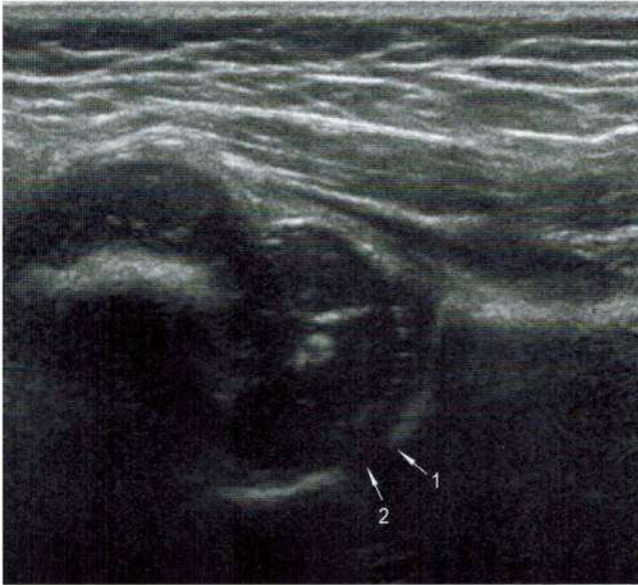


Рис. 8.175. Нижний край подвздошной кости (1) — наиболее важный ориентир на эхограмме тазобедренного сустава. Мягкотканые структуры в хрящевой части дна вертлужной впадины (2).

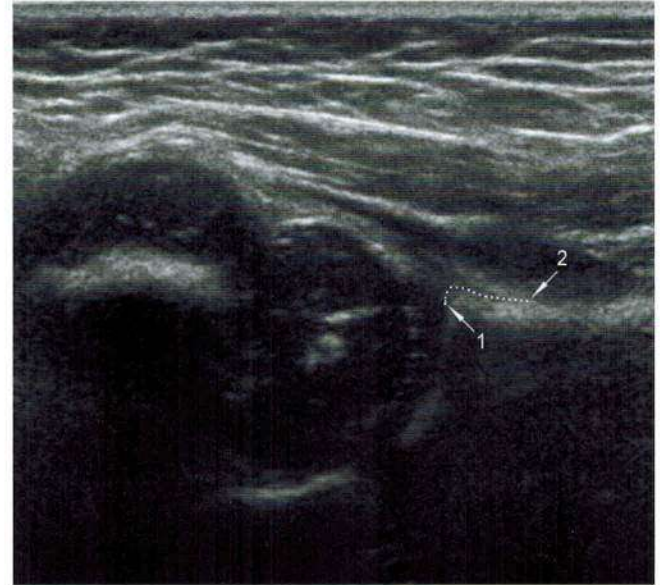


Рис. 8.176. Костный эркер (контур): нижняя точка костного эркера (1) — область перехода из вогнутости костной крыши вертлужной впадины в выпуклость крыла подвздошной кости; верхняя точка костного эркера (2) — точка перехода надхрящницы в надкостницу — самая проксимальная точка гиалиновой крыши впадины.

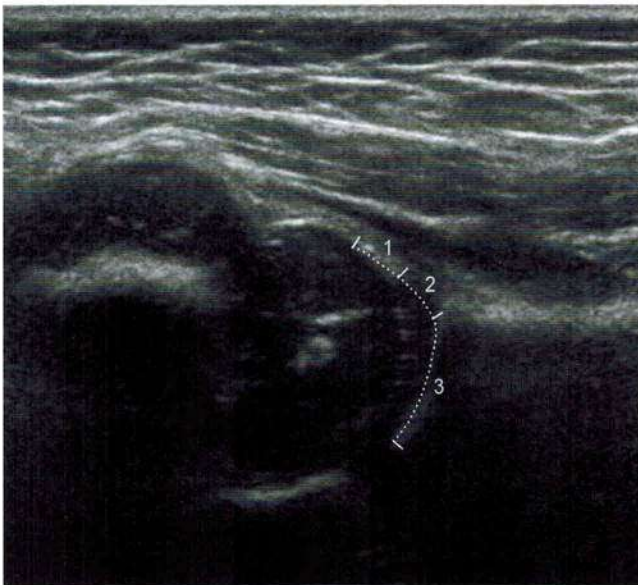


Рис. 8.177. Стандартная последовательность расположения структур «суставная губа — хрящевая часть крыши — костная часть крыши»: суставная губа (1); хрящевая часть крыши (2); костная часть крыши (3). Данная последовательность остается без принципиальных изменений даже в патологически измененных суставах.

Для упрощения процесса анатомической идентификации структур тазобедренного сустава достаточно определения трех его компонентов, последовательность расположения которых остается без принципиальных изменений даже в патологически измененных суставах (рис. 8.177): суставная губа — хрящевая часть крыши — костная часть крыши (губа — хрящ — кость).

Выявление этих компонентов необходимо во всех случаях соотносить с положением головки бедра. При децентрации головки основные эхографические ориентиры располагаются в разных плоскостях и получить эхографический срез в стандартной плоскости становится невозможным. В таких суставах важно различить направление смещения хрящевой крыши, поэтому звуковую плоскость смещают дорсально по ходу вывихнутой головки, уходя таким образом из стандартной плоскости.

В случае децентрации головки эхографическая оценка тазобедренного сустава ограничивается визуальной характеристикой положения головки и суставной губы.

Таблица 8.9

Зоны энтезиса связок коленного сустава

Анатомические образования	Проксимальный энтезис	Дистальный энтезис
<i>Передняя крестообразная связка</i>	<i>Медиальная поверхность латерального мыщелка бедренной кости</i>	<i>Спереди от межмышцелкового возвышения большеберцовой кости</i>
<i>Задняя крестообразная связка</i>	<i>Латеральная поверхность медиального мыщелка бедренной кости</i>	<i>Задняя поверхность межмышцелкового возвышения большеберцовой кости</i>
<i>Поперечная связка колена</i>	<i>Передняя поверхность переднего рога медиального мениска</i>	<i>Передняя поверхность переднего рога латерального мениска</i>
<i>Передняя мениско-бедренная связка</i>	<i>Медиальная поверхность латерального мыщелка бедра</i>	<i>Передний отдел медиального мениска</i>
<i>Задняя мениско-бедренная связка</i>	<i>Внутренняя поверхность медиального мыщелка бедра</i>	<i>Задний край латерального мениска</i>
<i>Большеберцовая коллатеральная связка (внутренняя боковая связка)</i>	<i>Медиальный надмыщелок бедренной кости (центральная борозда — спереди от зоны прикрепления большой приводящей мышцы)</i>	<i>Медиальный подмыщелок большеберцовой кости</i>
<i>Малоберцовая коллатеральная связка (наружная боковая связка)</i>	<i>Латеральный надмыщелок бедренной кости</i>	<i>Наружная поверхность головки малоберцовой кости (область шиловидного отростка)</i>
<i>Связка надколенника</i>	<i>Верхушка надколенника</i>	<i>Бугристость большеберцовой кости</i>
<i>Медиальная поддерживающая связка надколенника</i>	<i>Медиальный край надколенника</i>	<i>Внутренний мыщелок большеберцовой кости</i>
<i>Латеральная поддерживающая связка надколенника</i>	<i>Латеральный край надколенника</i>	<i>Наружный мыщелок большеберцовой кости</i>
<i>Косая подколенная связка</i>	<i>Задне-медиальный край медиального мыщелка большеберцовой кости в виде продолжения сухожилия полуперепончатой мышцы</i>	<i>Задняя поверхность бедренной кости над латеральным мыщелком бедренной кости</i>
<i>Дугообразная подколенная связка</i>	<i>Латеральный мыщелок бедренной кости и задняя поверхность головки малоберцовой кости</i>	<i>Косая подколенная связка (в среднем отделе), задняя поверхность латерального мыщелка бедренной кости, задняя поверхность большеберцовой кости</i>

Примечание. Для коллатеральных и крестообразных связок характерен фиброзно-хрящевой тип соединения с костью.

Особенности дегенеративно-дистрофического поражения коленного сустава

Дегенеративно-дистрофический процесс в коленном суставе протекает чаще всего в виде деформирующего остеоартроза с незначительной склонностью к прогрессированию (рис. 8.309). Асептический остеонекроз в области коленного сустава развивается редко и протекает в форме частичного ограниченного процесса.

I стадия деформирующего остеоартроза характеризуется поражением медиальной половины сустава, поскольку в момент нагрузки нижней конечности коленный сустав принимает легкую варусную установку и основная компрессионная и хроническая перегрузка приходится на суставной хрящ медиального тибioфemorального сегмента.

Рентгенологически I стадия характеризуется появлением небольших костных разрастаний по периферии медиальных мыщелков бедренной и большеберцовой костей либо вокруг всей суставной головки и едва уловимым снижением рентгенологической суставной щели. Характерным рентгенологическим признаком I стадии остеоартроза служит появление костных разрастаний в области межмышцелкового возвышения, его увеличение и заостренность контуров. Дистрофический процесс в коленном суставе может начинаться с пателлофemorального сочленения.

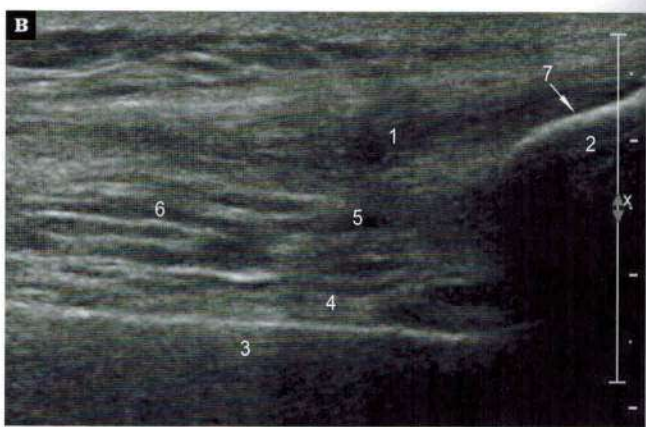
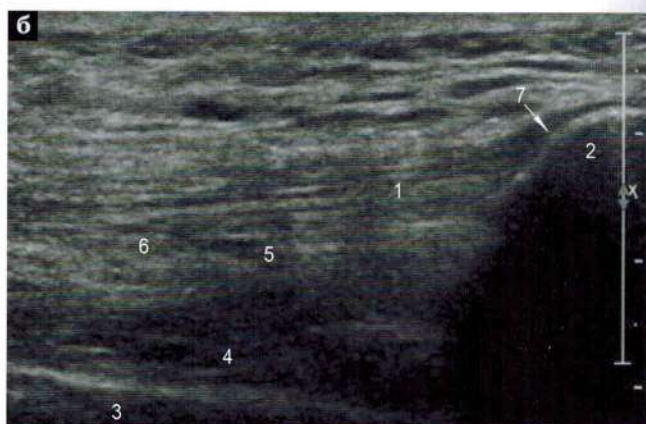
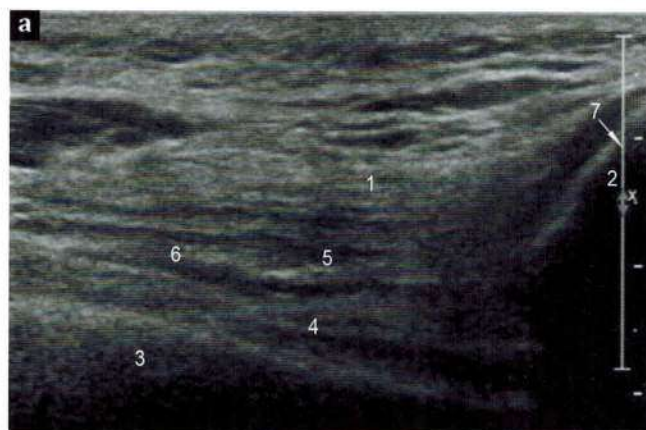


Рис. 8.311. Сечение в вентральном сегменте (положение разгибания). Супрапателлярная позиция. Серия продольных срезов на уровне дистальной части сухожилия четырехглавой мышцы бедра (а — медиальный, б — срединный, в — латеральный наклон луча): сухожилие четырехглавой мышцы бедра (1); основание надколенника (2); бедренная кость (3); суставная мышца колена (4); область переднего верхнего заворота суставной сумки (5); область супрапателлярной бursы (6); зона энтезиса сухожилия четырехглавой мышцы в области основания надколенника (7).

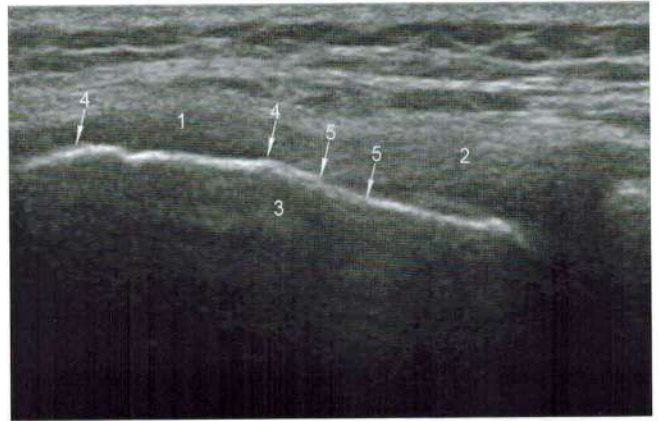


Рис. 8.320. Сечение в боковом сегменте (положение разгибания). Медиальная тибioфemorальная позиция. Продольный срез на уровне проксимальной и средней частей внутренней боковой связки: внутренняя боковая связка — проксимальная часть (1); внутренняя боковая связка — дистальная часть (2); медиальный мыщелок бедренной кости — боковая поверхность (3); зона проксимального энтезиса внутренней боковой связки (4); зона проксимального энтезиса суставной капсулы (5).

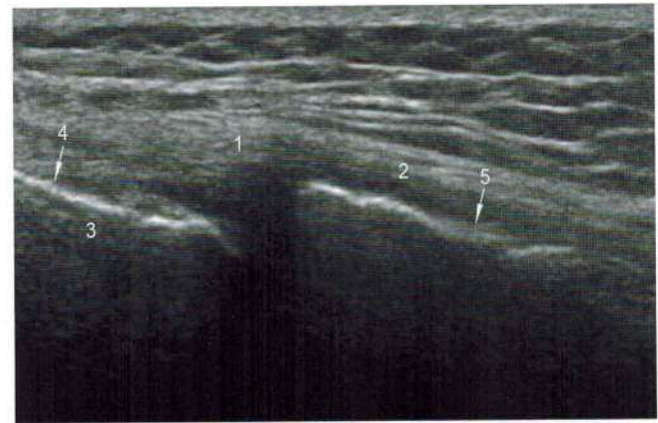


Рис. 8.321. Сечение в боковом сегменте (положение разгибания). Медиальная тибioфemorальная позиция. Продольный срез на уровне средней и дистальной частей внутренней боковой связки: внутренняя боковая связка — средняя часть (1); внутренняя боковая связка — дистальная часть (2); медиальный мыщелок большеберцовой кости — боковая поверхность (3); зона проксимального энтезиса внутренней боковой связки (4); зона дистального энтезиса внутренней боковой связки (5).

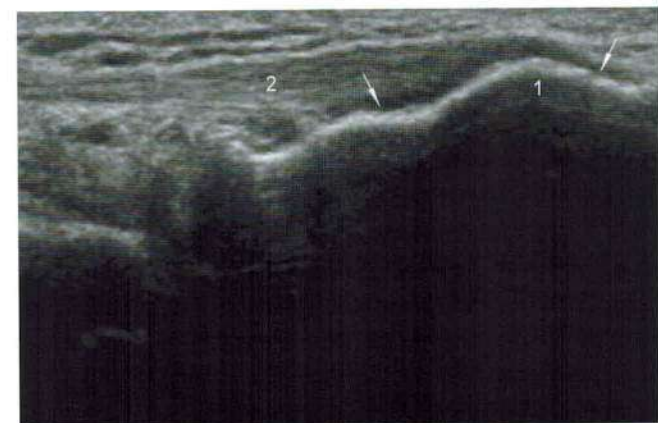


Рис. 8.322. Сечение в боковом сегменте (положение разгибания). Передне-латеральная тибioфemorальная позиция. Продольный срез на уровне зоны энтезиса подвздошно-большеберцового тракта: гердиев бугорок большеберцовой кости (1); илиотибиальный тракт (2); зона энтезиса илиотибиального тракта (стрелки).