Скелетные ткани

характеристика костной ткани

Костные ткани

Костные ткани (textus ossei) — это специализированный тип соединительной ткани с высокой минерализацией межклеточного органического вещества, содержащего около 70% неорганических соединений, главным образом фосфатов кальция. В костной ткани обнаружено более 30 микроэлементов (медь, стронций, цинк, барий, магний и др.), играющих важнейшую роль в метаболических процессах в организме.

Органическое вещество — матрикс костной ткани — представлено в основном белками коллагенового типа и липидами. По сравнению с хрящевой тканью в нем содержится относительно небольшое количество воды, хондроитинсерной кислоты, но много лимонной и других кислот, образующих комплексы с кальцием, импрегнирующим органическую матрицу кости.

Таким образом, твердое межклеточное вещество костной ткани (в сравнении с хрящевой тканью) придает костям более высокую прочность, и в тоже время – хрупкость. Органические и неорганические компоненты в сочетании друг с другом определяют механические свойства костной ткани — способность сопротивляться растяжению и сжатию.

Несмотря на высокую степень минерализации, в костных тканях происходят постоянное обновление входящих в их состав веществ, постоянное разрушение и созидание, адаптивные перестройки к изменяющимся условиям функционирования. Морфофункциональные свойства костной ткани меняются в зависимости от возраста, физических нагрузок, условий питания, а также под влиянием деятельности желез внутренней секреции, иннервации и других факторов.

Классификация

Существует два основных типа костной ткани:

ретикулофиброзная (грубоволокнистая),

пластинчатая.

Эти разновидности костной ткани различаются по структурным и физическим свойствам, которые обусловлены главным образом строением межклеточного вещества. В грубоволокнистой ткани коллагеновые волокна образуют толстые пучки, идущие в разных направлениях, а в пластинчатой ткани костное вещество (клетки, волокна, матрикс) образуют системы пластинок.

К костной ткани относятся также дентин и цемент зуба, имеющие сходство с костной тканью по высокой степени минерализации межклеточного вещества и опорной, механической функции.

Клетки костной ткани: остеобласты, остеоциты и остеокласты. Все они развиваются из мезенхимы, как и клетки хрящевой ткани. Точнее – из мезенхимных клеток склеротома мезодермы. Однако остеобласты и остеоциты связаны в своём диффероне так же, как фибробласты и фиброциты (или хондробласты и ходроциты). А остеокласты имеют иное, - гематогенное происхождение.

Костный дифферон и остеогистогенез

Развитие костной ткани у эмбриона осуществляется двумя способами:

1) непосредственно из мезенхимы, - прямой остеогенез;

2) из мезенхимы на месте ранее развившейся хрящевой модели кости, - это непрямой остеогенез.

Постэмбриональное развитие костной ткани происходит при ее физиологической и репаративной регенерации.

В процессе развития костной ткани образуется костный дифферон:

стволовые клетки,

полустволовые клетки (преостеобласты),

остеобласты (разновидность фибробластов),

остеоциты.

Вторым структурным элементом являются остеокласты (разновидность макрофагов), развивающиеся из стволовых клеток крови.

Стволовые и полустволовые остеогенные клетки морфологически не идентифицируются.

Остеобласты (от греч. osteon — кость, blastos — зачаток), — это молодые клетки, создающие костную ткань. В кости они встречаются только в надкостнице. Они способны к пролиферации. В образующейся кости остеобласты покрывают почти непрерывным слоем всю поверхность развивающейся костной балки.

Форма остеобластов бывает различной: кубической, пирамидальной или угловатой. Размер их тела около 15—20 мкм. Ядро округлой или овальной формы, часто располагается эксцентрично, содержит одно или несколько ядрышек. В цитоплазме остеобластов хорошо развиты гранулярная эндоплазматическая сеть, митохондрии и аппарат Гольджи. В ней выявляются в значительных количествах РНК и высокая активность щелочной фосфатазы.

Остеоциты (от греч. osteon — кость, cytus — клетка) — это преобладающие по количеству зрелые (дефинитивные) клетки костной ткани, утратившие способность к делению. Они имеют отростчатую форму , компактное, относительно крупное ядро и слабобазофильную цитоплазму. Органеллы развиты слабо. Наличие центриолей в остеоцитах не установлено.

Костные клетки лежат в костных лакунах, которые повторяют контуры остеоцита. Длина полостей колеблется от 22 до 55 мкм, ширина — от 6 до 14 мкм. Канальцы костных лакун заполнены тканевой жидкостью, анастомозируют между собой и с периваскулярными пространствами сосудов, заходящих внутрь кости. Обмен веществ между остеоцитами и кровью осуществляется через тканевую жидкость этих канальцев.

Остеокласты (от греч. osteon — кость и clastos — раздробленный), - это клетки гематогенной природы, способные разрушать обызвествленный хрящ и кость. Диаметр их достигает 90 мкм и более, и они содержат от 3 до нескольких десятков ядер. Цитоплазма слабобазофильна, иногда оксифильна. Остеокласты располагаются обычно на поверхности костных перекладин. Та сторона остеокласта, которая прилежит к разрушаемой поверхности, богата цитоплазматическими выростами (гофрированная каемка); она является областью синтеза и секреции гидролитических ферментов. По периферии остеокласта находится зона плотного прилегания клетки к костной поверхности, которая как бы герметизирует область действия ферментов. Эта зона цитоплазмы светлая, содержит мало органелл, за исключением микрофиламентов, состоящих из актина.

Периферический слой цитоплазмы над гофрированным краем содержит многочисленные мелкие пузырьки и более крупные — вакуоли.

Полагают, что остеокласты выделяют СО2 в окружающую среду, а фермент карбоангидраза способствует образованию угольной кислоты (Н2СО3) и растворению кальциевых соединений. Остеокласт богат митохондриями и лизосомами, ферменты которых (коллагеназа и другие протеазы) расщепляют коллаген и протеогликаны матрикса костной ткани.

Считается, что один остеокласт может разрушить столько кости, сколько создают 100 остеобластов за это же время. Функции остеобластов и остеокластов взаимосвязаны и регулируются гормонами, простагландинами, функциональной нагрузкой, витаминами и др.

Межклеточное вещество (substantia intercellularis) состоит из основного аморфного вещества, импрегнированного неорганическими солями, в котором располагаются коллагеновые волокна, образующие небольшие пучки. Они содержат в основном белок — коллаген I и V типов. Волокна могут иметь беспорядочное направление - в ретикулофиброзной костной ткани, или строго ориентированное направление - в пластинчатой костной ткани.

В основном веществе костной ткани, по сравнению с хрящевой, содержится относительно небольшое количество хондроитинсерной кислоты, но много лимонной и других кислот, образующих комплексы с кальцием, импрегнирующим органическую матрицу кости. Кроме коллагенового белка, в основном веществе костной ткани обнаруживают неколлагеновые белки (остеокальцин, сиалопротеин, остеонектин, различные фосфопротеины, протеолипиды, принимающие участие в процессах минерализации), а также гликозаминогликаны. Основное вещество кости содержит кристаллы гидроксиапатита, упорядоченно расположенные по отношению к фибриллам органической матрицы кости, а также аморфный фосфат кальция. В костной ткани обнаружено более 30 микроэлементов (медь, стронций, цинк, барий, магний и др.), играющих важнейшую роль в метаболических процессах в организме. Систематическое увеличение физической нагрузки приводит к нарастанию костной массы от 10 до 50% вследствие высокой минерализации.

Некоторые термины из практической медицины:

остеобластокластома (син.: гигантома, опухоль бурая, опухоль кости гигантоклеточная, опухоль миелоидная, опухоль из миелоплаксов) -- опухоль кости, содержащая большое количество гигантских многоядерных клеток типа остеокластов;

Остеогенез - развитие костной ткани

Различают два способа образования кости: прямой (первичный, из мезенхимы) и непрямой (вторичный, на месте хрящевой модели)

Прямой (первичный) остеогистогенез. Развитие кости из мезенхимы.

Такой способ остеогенеза характерен для развития грубоволокнистой костной ткани при образовании плоских костей, например покровных костей черепа. Этот процесс наблюдается в основном в течение первого месяца внутриутробного развития и характеризуется образованием сначала первичной «перепончатой», остеоидной костной ткани с последующим отложением солей кальция, фосфора и др. в межклеточном веществе.

Первая стадия — образование скелетогенного островка. В местах развития будущей кости происходят очаговое размножение мезенхимных клеток и васкуляризация скелетогенного островка.

Вторая стадия – остеоидная. Во второй стадии происходит дифференцировка клеток островков, образуется органическая матрица костной ткани, или остеоид, – оксифильное межклеточное вещество с коллагеновыми фибриллами. Разрастающиеся волокна раздвигают клетки, которые, не теряя своих отростков, остаются связанными друг с другом. В основном веществе появляются мукопротеиды (оссеомукоид), цементирующие волокна в одну прочную массу.

Некоторые клетки, дифференцирующиеся в остеоциты, уже в этой стадии могут оказаться включенными в толщу волокнистой массы. Другие, располагающиеся по поверхности, дифференцируются в остеобласты. В течение некоторого времени остеобласты располагаются по одну сторону волокнистой массы, но вскоре коллагеновые волокна появляются и с других сторон, отделяя остеобласты друг от друга. Постепенно эти клетки оказываются «замурованными» в межклеточном веществе, теряют способность размножаться и превращаются в остеоциты. В то же время из окружающей мезенхимы образуются новые генерации остеобластов, которые наращивают кость снаружи. Т.е. обеспечивают аппозиционный рост костной ткани.

Третья стадия (прямого остегенеза) — обызвествление, или кальцификация, межклеточного вещества. При этом остеобласты выделяют фермент щелочную фосфатазу, расщепляющую содержащиеся в периферической крови глицерофосфаты на углеводные соединения (сахара) и фосфорную кислоту. Последняя вступает в реакцию с солями кальция, который осаждается в основном веществе и волокнах сначала в виде соединений кальция, формирующих аморфные отложения Са3(РО4)2, в дальнейшем из него образуются кристаллы гидроксиапатита Са10(РО4)6(ОН)2.

Кальцификацию оссеоида связывают с матриксными везикулами.

Процесс биологической минерализации протекает в 2 фазы.

I фаза заключается в образовании исходных кристаллов гидроксиапатита внутри матриксных везикул. Эта фаза контролируется фосфатазами (включая щелочную фосфатазу), а также кальцийсвязывающими молекулами (фосфолипидами и белками), которыми богаты матриксные везикулы.

II фаза состоит в разрыве мембран матриксных везикул с выходом сформированных кристаллов в экстрацеллюлярное пространство, где дальнейшее размножение их контролируется условиями внеклеточного микроокружения. Важную роль имеют протеазы и мембранные фосфолипазы, которые обеспечивают разрыв мембран и выход минералов наружу.

Одним из посредников кальцификации является остеонектин — гликопротеин, избирательно связывающий соли кальция и фосфора с коллагеном. В результате кальцификации образуются костные перекладины, или балки. Затем от этих перекладин ответвляются выросты, соединяющиеся между собой и образующие широкую сеть. Пространства между перекладинами оказываются занятыми соединительной волокнистой тканью с проходящими в ней кровеносными сосудами.

К моменту завершения остеогенеза по периферии зачатка кости в эмбриональной соединительной ткани появляется большое количество волокон и остеогенных клеток. Часть этой волокнистой ткани, прилегающей непосредственно к костным перекладинам, превращается в надкостницу, или периост (periosteum), который обеспечивает трофику и регенерацию кости. Такая кость, появляющаяся на стадиях эмбрионального развития и состоящая из перекладин ретикулофиброзной костной ткани, называется первичной губчатой костью. В более поздних стадиях развития она заменяется вторичной губчатой костью взрослых, которая отличается от первой тем, что построена уже из пластинчатой костной ткани (четвертая стадия остеогенеза).

Развитие пластинчатой костной ткани тесно связано с процессом разрушения отдельных участков кости и врастанием кровеносных сосудов в толщу ретикулофиброзной кости. В этом процессе как в период эмбрионального остеогенеза, так и после рождения принимают участие остеокласты.

Костные пластинки обычно образуются вокруг кровеносных сосудов путем дифференцировки прилегающей к ним мезенхимы. Над такими пластинками образуется слой новых остеобластов и возникают новые пластинки. Коллагеновые волокна в каждой пластинке ориентированы под углом к волокнам предыдущей пластинки. Таким образом, вокруг сосуда формируются как бы костные цилиндры, вставленные один в другой, - первичные остеоны. С момента появления остеонов ретикулофиброзная костная ткань перестает развиваться и заменяется пластинчатой костной тканью. Со стороны надкостницы формируются общие, или генеральные, пластинки, охватывающие всю кость снаружи. Так развиваются плоские кости. В дальнейшем образовавшаяся в эмбриональном периоде кость подвергается перестройке: разрушаются первичные остеоны и развиваются новые генерации остеонов. Такая перестройка кости практически продолжается всю жизнь.

В отличие от хрящевой ткани кость всегда растет способом наложения новой ткани на уже имеющуюся, т.е. путем аппозиции, а оптимальное кровоснабжение необходимо для дифференцировки клеток скелетогенного островка.

Непрямой (вторичный) остеогистогенез. Развитие кости на месте хряща.

На 2-м месяце эмбрионального развития в местах будущих трубчатых костей закладывается из мезенхимы хрящевой зачаток, который очень быстро принимает форму будущей кости (хрящевая модель). Зачаток состоит из эмбрионального гиалинового хряща, покрытого надхрящницей. Некоторое время он растет как за счет клеток, образующихся со стороны надхрящницы, так и за счет размножения клеток во внутренних участках.

Развитие кости на месте хряща, т.е. непрямой остеогенез, начинается в области диафиза (т.н. перихондральное окостенение). Образованию перихондральной костной манжетки предшествует разрастание кровеносных сосудов. Происходит дифференцировка остеобластов, образующих в виде манжетки сначала ретикулофиброзную костную ткань (первичный центр окостенения), затем заменяющуюся на пластинчатую.

Образование костной манжетки нарушает питание хряща. Вследствие этого в центре диафизарной части хрящевого зачатка возникают дистрофические изменения. Хондроциты вакуолизируются, их ядра пикнотизируются, образуются так называемые пузырчатые хондроциты. Рост хряща в этом месте прекращается. Удлинение перихондральной костной манжетки сопровождается расширением зоны деструкции хряща и появлением остеокластов, которые очищают пути для врастающих в модель трубчатой кости кровеносных сосудов и остеобластов.

Это приводит к появлению очагов «внутреннего» эндохондрального окостенения (вторичные центры окостенения). В связи с продолжающимся ростом соседних неизмененных дистальных отделов диафиза хондроциты на границе эпифиза и диафиза собираются в продольные колонки. Таким образом, в колонке хондроцитов имеются два противоположно направленных процесса — размножение и рост в дистальных отделах диафиза и дистрофические процессы в его проксимальном отделе.

Одновременно между набухшими клетками происходит отложение минеральных солей, обусловливающее появление резкой базофилии и хрупкости хряща.

С момента разрастания сосудистой сети и появления остеобластов надхрящница перестраивается, превращаясь в надкостницу. В дальнейшем кровеносные сосуды с окружающей их мезенхимой, остеогенными клетками и остеокластами врастают через отверстия костной манжетки и входят в соприкосновение с обызвествленным хрящом. Под влиянием ферментов, выделяемых остеокластами, происходит растворение (хондролиз) обызвествленного межклеточного вещества. Диафизарный хрящ разрушается, в нем возникают удлиненные пространства, в которых «поселяются» остеоциты, образующие на поверхности оставшихся участков обызвествленного хряща костную ткань.

Процесс отложения кости внутри хрящевого зачатка получил название эндохондрального, или энхондрального, окостенения (греч. endon — внутри).

Одновременно с процессом развития энхондральной кости появляются и признаки ее разрушения остеокластами. Вследствие разрушения энхондральной костной ткани образуются еще большие полости и пространства (полости резорбции) и, наконец, возникает костномозговая полость. Из проникшей сюда мезенхимы образуется строма костного мозга, в которой поселяются стволовые клетки крови и соединительной ткани. В это же время по периферии диафиза со стороны надкостницы нарастают все новые и новые перекладины костной ткани, образующейся из надкостницы.

Разрастаясь в длину по направлению к эпифизам и увеличиваясь в толщину, они образуют плотный (компактный) слой кости. Дальнейшая организация периостальной кости протекает иначе, чем организация энхондральной костной ткани. Вокруг сосудов, которые идут по длинной оси зачатка кости из прилегающей к ним мезенхимы, на месте разрушающейся ретикулофиброзной кости начинают образовываться концентрические пластинки, состоящие из параллельно ориентированных тонких коллагеновых волокон и цементирующего межклеточного вещества. Так возникают первичные остеоны. Просвет их широк, границы пластинок нерезко контурированы. Вслед за появлением первой генерации остеонов со стороны периоста начинается развитие общих (генеральных) пластинок, окружающих кость в области диафиза.

Вслед за диафизом центры окостенения появляются в эпифизах. Этому предшествуют сначала дифференцировка хондроцитов, их гипертрофия, сменяемая ухудшением питания, дистрофией и кальцинацией. В дальнейшем отмечается процесс окостенения, подобный описанному выше. Оссификация сопровождается врастанием в эпифизы сосудов.

В промежуточной области между диафизом и эпифизами сохраняется хрящевая ткань — метафизарный хрящ, являющийся зоной роста костей в длину.

Некоторые термины из практической медицины:

остеогенез гетеротопический (син.: остеогенез метапластический) -- остеогенез, происходящий в необычном месте, например в мышцах;

остеогенез несовершенный (osteogenesis imperfecta; син.: остеопсатироз, fragilitas ossium) -- наследственная болезнь, обусловленная аномалией остеогенеза, проявляющаяся повышенной ломкостью костей, деформациями скелета на месте заживления переломов, иногда голубым цветом склер и отосклерозом; наследуется по аутосомно-доминантному, реже по аутосомно-рецессивному типу;

Остеогенез - развитие костной ткани

Различают два способа образования кости: прямой (первичный, из мезенхимы) и непрямой (вторичный, на месте хрящевой модели)

Прямой (первичный) остеогистогенез. Развитие кости из мезенхимы.

Такой способ остеогенеза характерен для развития грубоволокнистой костной ткани при образовании плоских костей, например покровных костей черепа. Этот процесс наблюдается в основном в течение первого месяца внутриутробного развития и характеризуется образованием сначала первичной «перепончатой», остеоидной костной ткани с последующим отложением солей кальция, фосфора и др. в межклеточном веществе.

Первая стадия — образование скелетогенного островка. В местах развития будущей кости происходят очаговое размножение мезенхимных клеток и васкуляризация скелетогенного островка.

Вторая стадия – остеоидная. Во второй стадии происходит дифференцировка клеток островков, образуется органическая матрица костной ткани, или остеоид, – оксифильное межклеточное вещество с коллагеновыми фибриллами. Разрастающиеся волокна раздвигают клетки, которые, не теряя своих отростков, остаются связанными друг с другом. В основном веществе появляются мукопротеиды (оссеомукоид), цементирующие волокна в одну прочную массу.

Некоторые клетки, дифференцирующиеся в остеоциты, уже в этой стадии могут оказаться включенными в толщу волокнистой массы. Другие, располагающиеся по поверхности, дифференцируются в остеобласты. В течение некоторого времени остеобласты располагаются по одну сторону волокнистой массы, но вскоре коллагеновые волокна появляются и с других сторон, отделяя остеобласты друг от друга. Постепенно эти клетки оказываются «замурованными» в межклеточном веществе, теряют способность размножаться и превращаются в остеоциты. В то же время из окружающей мезенхимы образуются новые генерации остеобластов, которые наращивают кость снаружи. Т.е. обеспечивают аппозиционный рост костной ткани.

Третья стадия (прямого остегенеза) — обызвествление, или кальцификация, межклеточного вещества. При этом остеобласты выделяют фермент щелочную фосфатазу, расщепляющую содержащиеся в периферической крови глицерофосфаты на углеводные соединения (сахара) и фосфорную кислоту. Последняя вступает в реакцию с солями кальция, который осаждается в основном веществе и волокнах сначала в виде соединений кальция, формирующих аморфные отложения Са3(РО4)2, в дальнейшем из него образуются кристаллы гидроксиапатита Са10(РО4)6(ОН)2.

Кальцификацию оссеоида связывают с матриксными везикулами.

Процесс биологической минерализации протекает в 2 фазы.

I фаза заключается в образовании исходных кристаллов гидроксиапатита внутри матриксных везикул. Эта фаза контролируется фосфатазами (включая щелочную фосфатазу), а также кальцийсвязывающими молекулами (фосфолипидами и белками), которыми богаты матриксные везикулы.

II фаза состоит в разрыве мембран матриксных везикул с выходом сформированных кристаллов в экстрацеллюлярное пространство, где дальнейшее размножение их контролируется условиями внеклеточного микроокружения. Важную роль имеют протеазы и мембранные фосфолипазы, которые обеспечивают разрыв мембран и выход минералов наружу.

Одним из посредников кальцификации является остеонектин — гликопротеин, избирательно связывающий соли кальция и фосфора с коллагеном. В результате кальцификации образуются костные перекладины, или балки. Затем от этих перекладин ответвляются выросты, соединяющиеся между собой и образующие широкую сеть. Пространства между перекладинами оказываются занятыми соединительной волокнистой тканью с проходящими в ней кровеносными сосудами.

К моменту завершения остеогенеза по периферии зачатка кости в эмбриональной соединительной ткани появляется большое количество волокон и остеогенных клеток. Часть этой волокнистой ткани, прилегающей непосредственно к костным перекладинам, превращается в надкостницу, или периост (periosteum), который обеспечивает трофику и регенерацию кости. Такая кость, появляющаяся на стадиях эмбрионального развития и состоящая из перекладин ретикулофиброзной костной ткани, называется первичной губчатой костью. В более поздних стадиях развития она заменяется вторичной губчатой костью взрослых, которая отличается от первой тем, что построена уже из пластинчатой костной ткани (четвертая стадия остеогенеза).

Развитие пластинчатой костной ткани тесно связано с процессом разрушения отдельных участков кости и врастанием кровеносных сосудов в толщу ретикулофиброзной кости. В этом процессе как в период эмбрионального остеогенеза, так и после рождения принимают участие остеокласты.

Костные пластинки обычно образуются вокруг кровеносных сосудов путем дифференцировки прилегающей к ним мезенхимы. Над такими пластинками образуется слой новых остеобластов и возникают новые пластинки. Коллагеновые волокна в каждой пластинке ориентированы под углом к волокнам предыдущей пластинки. Таким образом, вокруг сосуда формируются как бы костные цилиндры, вставленные один в другой, - первичные остеоны. С момента появления остеонов ретикулофиброзная костная ткань перестает развиваться и заменяется пластинчатой костной тканью. Со стороны надкостницы формируются общие, или генеральные, пластинки, охватывающие всю кость снаружи. Так развиваются плоские кости. В дальнейшем образовавшаяся в эмбриональном периоде кость подвергается перестройке: разрушаются первичные остеоны и развиваются новые генерации остеонов. Такая перестройка кости практически продолжается всю жизнь.

В отличие от хрящевой ткани кость всегда растет способом наложения новой ткани на уже имеющуюся, т.е. путем аппозиции, а оптимальное кровоснабжение необходимо для дифференцировки клеток скелетогенного островка.

Непрямой (вторичный) остеогистогенез. Развитие кости на месте хряща.

На 2-м месяце эмбрионального развития в местах будущих трубчатых костей закладывается из мезенхимы хрящевой зачаток, который очень быстро принимает форму будущей кости (хрящевая модель). Зачаток состоит из эмбрионального гиалинового хряща, покрытого надхрящницей. Некоторое время он растет как за счет клеток, образующихся со стороны надхрящницы, так и за счет размножения клеток во внутренних участках.

Развитие кости на месте хряща, т.е. непрямой остеогенез, начинается в области диафиза (т.н. перихондральное окостенение). Образованию перихондральной костной манжетки предшествует разрастание кровеносных сосудов. Происходит дифференцировка остеобластов, образующих в виде манжетки сначала ретикулофиброзную костную ткань (первичный центр окостенения), затем заменяющуюся на пластинчатую.

Образование костной манжетки нарушает питание хряща. Вследствие этого в центре диафизарной части хрящевого зачатка возникают дистрофические изменения. Хондроциты вакуолизируются, их ядра пикнотизируются, образуются так называемые пузырчатые хондроциты. Рост хряща в этом месте прекращается. Удлинение перихондральной костной манжетки сопровождается расширением зоны деструкции хряща и появлением остеокластов, которые очищают пути для врастающих в модель трубчатой кости кровеносных сосудов и остеобластов.

Это приводит к появлению очагов «внутреннего» эндохондрального окостенения (вторичные центры окостенения). В связи с продолжающимся ростом соседних неизмененных дистальных отделов диафиза хондроциты на границе эпифиза и диафиза собираются в продольные колонки. Таким образом, в колонке хондроцитов имеются два противоположно направленных процесса — размножение и рост в дистальных отделах диафиза и дистрофические процессы в его проксимальном отделе.

Одновременно между набухшими клетками происходит отложение минеральных солей, обусловливающее появление резкой базофилии и хрупкости хряща.

С момента разрастания сосудистой сети и появления остеобластов надхрящница перестраивается, превращаясь в надкостницу. В дальнейшем кровеносные сосуды с окружающей их мезенхимой, остеогенными клетками и остеокластами врастают через отверстия костной манжетки и входят в соприкосновение с обызвествленным хрящом. Под влиянием ферментов, выделяемых остеокластами, происходит растворение (хондролиз) обызвествленного межклеточного вещества. Диафизарный хрящ разрушается, в нем возникают удлиненные пространства, в которых «поселяются» остеоциты, образующие на поверхности оставшихся участков обызвествленного хряща костную ткань.

Процесс отложения кости внутри хрящевого зачатка получил название эндохондрального, или энхондрального, окостенения (греч. endon — внутри).

Одновременно с процессом развития энхондральной кости появляются и признаки ее разрушения остеокластами. Вследствие разрушения энхондральной костной ткани образуются еще большие полости и пространства (полости резорбции) и, наконец, возникает костномозговая полость. Из проникшей сюда мезенхимы образуется строма костного мозга, в которой поселяются стволовые клетки крови и соединительной ткани. В это же время по периферии диафиза со стороны надкостницы нарастают все новые и новые перекладины костной ткани, образующейся из надкостницы.

Разрастаясь в длину по направлению к эпифизам и увеличиваясь в толщину, они образуют плотный (компактный) слой кости. Дальнейшая организация периостальной кости протекает иначе, чем организация энхондральной костной ткани. Вокруг сосудов, которые идут по длинной оси зачатка кости из прилегающей к ним мезенхимы, на месте разрушающейся ретикулофиброзной кости начинают образовываться концентрические пластинки, состоящие из параллельно ориентированных тонких коллагеновых волокон и цементирующего межклеточного вещества. Так возникают первичные остеоны. Просвет их широк, границы пластинок нерезко контурированы. Вслед за появлением первой генерации остеонов со стороны периоста начинается развитие общих (генеральных) пластинок, окружающих кость в области диафиза.

Вслед за диафизом центры окостенения появляются в эпифизах. Этому предшествуют сначала дифференцировка хондроцитов, их гипертрофия, сменяемая ухудшением питания, дистрофией и кальцинацией. В дальнейшем отмечается процесс окостенения, подобный описанному выше. Оссификация сопровождается врастанием в эпифизы сосудов.

В промежуточной области между диафизом и эпифизами сохраняется хрящевая ткань — метафизарный хрящ, являющийся зоной роста костей в длину.

Некоторые термины из практической медицины:

остеогенез гетеротопический (син.: остеогенез метапластический) -- остеогенез, происходящий в необычном месте, например в мышцах;

остеогенез несовершенный (osteogenesis imperfecta; син.: остеопсатироз, fragilitas ossium) -- наследственная болезнь, обусловленная аномалией остеогенеза, проявляющаяся повышенной ломкостью костей, деформациями скелета на месте заживления переломов, иногда голубым цветом склер и отосклерозом; наследуется по аутосомно-доминантному, реже по аутосомно-рецессивному типу;

виды костной ткани, строение трубчатой кости

Костная ткань бывает ретикулофиброзной и пластинчатой.

Ретикулофиброзная (грубоволокнистая) костная ткань

Ретикулофиброзная костная ткань (textus osseus reticulofibrosus) встречается главным образом у зародышей. У взрослых ее можно обнаружить на месте заросших черепных швов, в местах прикрепления сухожилий к костям. Беспорядочно расположенные коллагеновые волокна образуют в ней толстые пучки, отчетливо заметные микроскопически даже при небольших увеличениях.

В основном веществе ретикулофиброзной костной ткани находятся удлиненно-овальной формы костные лакуны с длинными анастомозирующими канальцами, в которых лежат остеоциты с их отростками. С поверхности грубоволокнистая кость покрыта надкостницей.

Пластинчатая костная ткань

Пластинчатая костная ткань (textus osseus lamellaris) — наиболее распространенная разновидность костной ткани во взрослом организме. Она состоит из костных пластинок (lamellae ossea). Толщина и длина последних колеблется от нескольких десятков до сотен микрометров. Они не монолитны, а содержат фибриллы, ориентированные в различных плоскостях.

В центральной части пластин фибриллы имеют преимущественно продольное направление, по периферии — прибавляется тангенциальное и поперечное направления. Пластинки могут расслаиваться, а фибриллы одной пластинки могут продолжаться в соседние, создавая единую волокнистую основу кости. Кроме того, костные пластинки пронизаны отдельными фибриллами и волокнами, ориентированными перпендикулярно костным пластинкам, вплетающимися в промежуточные слои между ними, благодаря чему достигается большая прочность пластинчатой костной ткани. Из этой ткани построены и компактное, и губчатое вещества в большинстве плоских и трубчатых костей скелета.

Гистологическое строение трубчатой кости как органа

Трубчатая кость как орган в основном построена из пластинчатой костной ткани, кроме бугорков. Снаружи кость покрыта надкостницей, за исключением суставных поверхностей эпифизов, покрытых гиалиновым хрящем.

Надкостница, или периост (periosteum). В надкостнице различают два слоя: наружный (волокнистый) и внутренний (клеточный). Наружный слой образован в основном волокнистой соединительной тканью. Внутренний слой содержит остеогенные камбиальные клетки, преостеобласты и остеобласты различной степени дифференцировки. Камбиальные клетки веретеновидной формы имеют небольшой объем цитоплазмы и умеренно развитый синтетический аппарат. Преостеобласты — энергично пролиферирующие клетки овальной формы, способные синтезировать мукополисахариды. Остеобласты характеризуются сильно развитым белоксинтезирующим (коллаген) аппаратом. Через надкостницу проходят питающие кость сосуды и нервы.

Надкостница связывает кость с окружающими тканями и принимает участие в ее трофике, развитии, росте и регенерации.

Строение диафиза

Компактное вещество, образующее диафиз кости, состоит из костных пластинок, [толщина которых колеблется от 4 до 12— 15 мкм]. Костные пластинки располагаются в определенном порядке, образуя сложные образования – остеоны, или гаверсовы системы. В диафизе различают три слоя:

наружный слой общих пластинок,

средний, остеонный слой, и

внутренний слой общих пластинок.

Наружные общие (генеральные) пластинки не образуют полных колец вокруг диафиза кости, перекрываются на поверхности следующими слоями пластинок. Внутренние общие пластинки хорошо развиты только там, где компактное вещество кости непосредственно граничит с костномозговой полостью. В тех же местах, где компактное вещество переходит в губчатое, его внутренние общие пластинки продолжаются в пластинки перекладин губчатого вещества.

В наружных общих пластинках залегают прободающие (фолькмановы) каналы, по которым из надкостницы внутрь кости входят сосуды. Со стороны надкостницы в кость под разными углами проникают коллагеновые волокна. Эти волокна получили название прободающих (шарпеевых) волокон. Чаще всего они разветвляются только в наружном слое общих пластинок, но могут проникать и в средний остеонный слой, однако они никогда не входят в пластинки остеонов.

В среднем слое костные пластинки располагаются в остеонах. В костных пластинках располагаются коллагеновые фибриллы, впаянные в обызвествленный матрикс. Фибриллы имеют разное направление, но преимущественно они ориентированы параллельно длинной оси остеона.

Остеоны (гаверсовы системы) являются структурными единицами компактного вещества трубчатой кости. Они представляют собой цилиндры, состоящие из костных пластинок, как бы вставленных друг в друга. В костных пластинках и между ними располагаются тела костных клеток и их отростки, замурованные в костном межклеточном веществе. Каждый остеон отграничен от соседних остеонов так называемой спайной линией, образованной основным веществом, цементирующим их. В центральном канале остеона проходят кровеносные сосуды с сопровождающей их соединительной тканью и остеогенными клетками.

В диафизе длинной кости остеоны расположены преимущественно параллельно длинной оси. Каналы остеонов анастомозируют друг с другом. , в местах анастомозов прилежащие к ним пластинки изменяют свое направление. Такие каналы называют прободающими, или питательными. Сосуды, расположенные в каналах остеонов, сообщаются друг с другом и с сосудами костного мозга и надкостницы.

Большую часть диафиза составляет компактное вещество трубчатых костей. На внутренней поверхности диафиза, граничащей с костномозговой полостью, пластинчатая костная ткань образует костные перекладины губчатого вещества кости. Полость диафиза трубчатых костей заполнена костным мозгом.

Эндост (endosteum) — оболочка, покрывающая кость со стороны костномозговой полости. В эндосте сформированной поверхности кости различают осмиофильную линию на наружном крае минерализованного вещества кости; остеоидный слой, состоящий из аморфного вещества, коллагеновых фибрилл и остеобластов, кровеносных капилляров и нервных окончаний, слоя чешуевидных клеток, нечетко отделяющих эндост от элементов костного мозга. Толщина эндоста превышает 1—2 мкм, но меньше, чем у периоста.

В областях активного формирования кости толщина эндоста возрастает в 10—20 раз за счет остеоидного слоя вследствие повышения синтетической активности остеобластов и их предшественников. При ремоделировании кости в составе эндоста обнаруживаются остеокласты. В эндосте стареющей кости уменьшается популяция остеобластов и клеток-предшественников, но возрастает активность остеокластов, что ведет к истончению компактного слоя и перестройке губчатого вещества кости.

Между эндостом и периостом существует определенная микроциркуляция жидкости и минеральных веществ благодаря лакунарно-канальциевой системе костной ткани.

Васкуляризация костной ткани. Кровеносные сосуды образуют во внутреннем слое надкостницы густую сеть. Отсюда берут начало тонкие артериальные веточки, которые, помимо кровоснабжения остеонов, проникают в костный мозг через питательные отверстия и принимают участие в образовании питающей его сети капилляров. Лимфатические сосуды располагаются главным образом в наружном слое надкостницы.

Иннервация костной ткани. В надкостнице миелиновые и безмиелиновые нервные волокна образуют сплетение. Часть волокон сопровождает кровеносные сосуды и проникает с ними через питательные отверстия в одноименные каналы, а затем в каналы остеонов и далее достигает костного мозга. Другая часть волокон заканчивается в надкостнице свободными нервными разветвлениями, а также участвует в образовании инкапсулированных телец.

Рост трубчатых костей.

Рост костей — процесс очень длительный. Он начинается у человека с ранних эмбриональных стадий и кончается в среднем к 20-летнему возрасту. В течение всего периода роста кость увеличивается как в длину, так и в ширину.

Рост трубчатой кости в длину обеспечивается наличием метаэпифизарной хрящевой пластинки, в которой проявляются два противоположных гистогенетических процесса. Один — это разрушение эпифизарной пластинки с образованием костной ткани, а другой процесс — непрестанное пополнение хрящевой ткани путем новообразования клеток. Однако со временем процессы разрушения хрящевой ткани начинают преобладать над процессами новообразования, вследствие чего хрящевая пластинка истончается и исчезает.

В метаэпифизарном хряще различают три зоны:

пограничную зону (интактного хряща),

зону столбчатых (активно делящихся) клеток и

зону пузырчатых (дистрофически измененных) клеток.

Пограничная зона, расположенная вблизи эпифиза, состоит из округлых и овальных клеток и единичных изогенных групп, которые обеспечивают связь хрящевой пластинки с костью эпифиза. В полостях между костью и хрящом находятся кровеносные капилляры, обеспечивающие питанием клетки глубжележащих зон хрящевой пластинки. Зона столбчатых клеток содержит активно размножающиеся клетки, которые формируют колонки, расположенные по оси кости, и обеспечивают ее рост и длину. Проксимальные концы колонок состоят из созревающих, дифференцирующихся хрящевых клеток. Они богаты гликогеном и щелочной фосфатазой. Обе эти зоны наиболее реактивны при действии гормонов и других факторов, оказывающих влияние на процессы окостенения и роста костей. Зона пузырчатых клеток характеризуется гидратацией и разрушением хондроцитов с последующим эндохондральным окостенением. Дистальный отдел этой зоны граничит с диафизом, откуда в нее проникают остеогенные клетки и кровеносные капилляры. Продольно ориентированные колонки энхондральной кости являются по существу костными трубочками, на месте которых формируются остеоны.

Впоследствии центры окостенения в диафизе и эпифизе сливаются и рост кости в длину заканчивается.

Рост трубчатой кости в ширину осуществляется за счет периоста. Со стороны периоста очень рано начинает образовываться концентрическими слоями тонковолокнистая кость. Этот аппозиционный рост продолжается до окончания формирования кости. Количество остеонов непосредственно после рождения невелико, но уже к 25 годам в длинных костях конечностей количество их значительно увеличивается.

Некоторые термины из практической медицины:

остеодистрофия -- дистрофия костной ткани, обусловленная нарушением процессов внутритканевого обмена веществ; характеризуется перестройкой костной структуры с замещением костных элементов остеоидной и фиброзной тканью, иногда -- усилением остеогенеза;

мелореостоз (син.: Лери болезнь, osteosis eburnisans, osteopathia hyperostotica, ризомономелореостоз) -- врожденная болезнь, характеризующаяся резким склерозом, гиперостозом и деформацией одной или нескольких длинных трубчатых костей (бедренной, большеберцовой, плечевой);

Регенерация и возрастные изменения в костной ткани

Регенерация костной ткани

Физиологическая регенерация костных тканей происходит медленно за счет остеогенных клеток надкостницы, эндоста и остеогенных клеток в каналах остеонов. Посттравматическая регенерация костной ткани протекает лучше в тех случаях, когда концы сломанной кости не смещены относительно друг друга, и сохранена надкостница. Процессу остеогенеза предшествует формирование соединительнотканной мозоли, в толще которой могут образовываться хрящевые островки. Оссификация в этом случае идет по типу вторичного (непрямого) остеогенеза. В условиях оптимальной репозиции и фиксации концов сломанной кости регенерация происходит без образования мозоли. Но прежде чем начнут строить кость остеобласты, остеокласты образуют небольшую щель между репонированными концами кости. На этой биологической закономерности основано применение травматологами аппаратов постепенного растягивания сращиваемых костей в течение всего периода регенерации.

Перестройка кости и факторы, влияющие на ее структуру

В костной ткани в течение всей жизни человека происходят взаимосвязанные процессы разрушения и созидания, обусловленные функциональными нагрузками и другими факторами внешней и внутренней среды. Перестройка остеонов всегда связана с разрушением первичных остеонов и одновременным образованием новых остеонов. Под влиянием остеокластов, активизированных различными факторами, костные пластинки остеона разрушаются и на его месте образуется полость. Этот процесс называется резорбцией (от лат. resorptia — рассасывание) костной ткани. В образовавшейся полости вокруг оставшегося сосуда появляются остеобласты и начинается построение новых пластинок, концентрически наслаивающихся друг на друга. Так возникают вторичные генерации остеонов. Между остеонами располагаются остатки разрушенных остеонов прежних генераций – вставочные пластинки.

Среди факторов, влияющих на перестройку костной ткани, существенную роль играет ее так называемый пьезоэлектрический эффект. Оказалось, что в костной пластинке при изгибах появляется определенная разность потенциалов между вогнутой и выпуклой стороной. Вогнутая сторона заряжается отрицательно, а выпуклая — положительно. На отрицательно заряженной поверхности всегда отмечаются активация остеобластов и процесс аппозиционного новообразования костной ткани, а на положительно заряженной, напротив, наблюдается ее резорбция с помощью остеокластов. Искусственное создание разности потенциалов приводит к такому же результату. Нулевой потенциал, отсутствие физической нагрузки на костную ткань (например при продолжительной иммобилизации, пребывании в состоянии невесомости) обусловливают повышение функции остеокластов и деминерализацию костей.

На структуру костной ткани и костей оказывают влияние витамины (С, A, D), гормоны щитовидной, околощитовидной и других эндокринных желез.

В частности, при недостаточном количестве витамина С в организме подавляется созревание коллагеновых волокон, ослабляется деятельность остеобластов, уменьшается их фосфатазная активность, что приводит к остановке роста кости. При дефиците витамина D не происходит полной кальцификации органической матрицы кости, что обусловливает размягчение костей. Витамин А поддерживает рост костей, но избыток этого витамина способствует усилению разрушения остеокластами метаэпифизарных хрящей.

При избытке гормона околощитовидной железы — паратирина — наблюдаются повышение активности остеокластов и резорбция кости. Тирокальцитонин, вырабатываемый щитовидной железой, действует противоположно. При гипофункции щитовидной железы замедляется рост длинных трубчатых костей в результате подавления активности остеобластов и торможения процесса оссификации. Регенерация кости в этом случае происходит слабо и неполноценно.

Определенную позитивную роль в росте костей имеет соматотропный гормон гипофиза (гормон роста), который стимулирует пропорциональное развитие скелета в молодом возрасте и непропорциональное у взрослых (акромегалия).

Возрастные изменения

Соединительные ткани с возрастом претерпевают изменения в строении, количестве и химическом составе. С возрастом увеличиваются общая масса соединительнотканных образований. Во многих разновидностях соединительнотканных структур изменяется соотношение типов коллагена, гликозаминогликанов; в частности, в них становится больше сульфатированных соединений.

Некоторые термины из практической медицины:

остеопороз (возрастной, гормональный, ..) -- дистрофия костной ткани с перестройкой ее структуры, характеризующаяся уменьшением числа костных перекладин в единице объема кости, истонченном, искривлением и полным рассасыванием части этих элементов;

остеофит, экзофит -- патологический костный нарост на поверхности кости;

остеохондроз -- дистрофический процесс в костной и хрящевой ткани;