

# СКЕЛЕТНЫЕ СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ТКАНИ

Составители: профессор С.Ю.Виноградов, профессор С.В.Диндяев, доцент И. Ю.Торшилова, старший преподаватель В.В.Криштоп

Таблица 24

## Общие сведения

- Это разновидности соединительных тканей, обладающие плотным межклеточным веществом - упругим гелеобразным (*хрящевые ткани*) или твердым минерализованным (*костные ткани*)
- Они обладают общим сходным планом строения (см. табл.17).
- Как и все соединительные ткани они относятся к тканям внутренней среды
- Их общим источником эмбрионального развития служит *скелетогенная склеротомная мезенхима*, из которой образуется популяция *плюрипотентных клеток скелетогенной мезенхимы* (ПКСМ).
- **ПКСМ** - единая родоначальница основных клеточных дифферонов как хрящевой, так и костной тканей.
- Вспомогательные (гематогенные макрофагические) диффероны скелетных тканей образуются из **СКК (стволовой клетки крови)**
- Скелетные ткани в ходе их гистогенеза и регенерации (особенно репаративной) могут замещать друг друга.
- Скелетные ткани обладают рядом общих функций: *защитная, формообразующая, опорная, участие в водно-минеральном обмене*

## КЛАССИФИКАЦИЯ СКЕЛЕТНЫХ ТКАНЕЙ

### А. Хрящевые ткани

1. Гиалиновая
2. Эластическая
3. Волокнистая (фиброзная)

### Б. Костные ткани

1. Грубоволокнистая
2. Пластинчатая

Таблица 24 (продолжение)

## ИСТОЧНИКИ ЭМБРИОНАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИФФЕРОНОВ СКЕЛЕТНЫХ ТКАНЕЙ

### Хрящевые ткани

**1. Скелетогенная мезенхима → хондрогенный (основной) дифферон:**

ПКСМ → СКХ (стволовая клетка хондрогенеза) → прехондробласты → хондробласты → **хондроциты** 1-го, 2-го, 3-го типов дифференцированности

**2. Внезародышевая мезенхима желточного мешка → гематогенный (вспомогательный) дифферон:**

СКК (стволовая клетка крови) → клетки моноцитарного ряда гемопоэза → моноциты → **хондрокласты** (специальные макрофаги хрящевой ткани)

### Костные ткани

**1. Скелетогенная мезенхима → остеогенный (основной) дифферон:**

ПКСМ → СКО → преостебласты → остеобласты → **остеоциты**

**2. Внезародышевая мезенхима желточного мешка → гематогенный (вспомогательный) дифферон:**

СКК → клетки моноцитарного ряда гемопоэза → моноциты → **остеокласты** (специальные макрофаги костной ткани)

Иллюстративный материал (схемы, микрофотографии) приводятся в конце раздела № 37. Необходимо изучить также схемы, приводимые в учебниках.

# Х Р Я Щ Е В Ы Е Т К А Н И

Изучение хрящевых тканей осуществляется по учебникам с использованием учебного материала на кафедральном сайте

Таблица 25

<b>ОБЩИЙ ПЛАН СТРОЕНИЯ</b>	
<b>А. КЛЕТКИ</b>	
<b>1. Камбиальные клетки</b> <i>(малодифференцированные)</i>	<b>2. Дефинитивные клетки</b> <i>(дифференцированные)</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Прехондробласты</li> <li>• Хондробласты</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Хондроциты (1-го, 2-го, 3-го типов)</li> <li>• Хондрокласты</li> </ul>
<b>Б. МЕЖКЛЕТОЧНОЕ ВЕЩЕСТВО</b> (синтезируется хондроцитами)	
<b>1. Волокна</b>	<b>2. Аморфный матрикс</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Коллагеновые (см. табл. 21)</li> <li>• Эластические (см. табл. 21)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u><b>Консистенция</b></u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Плотный упругий гель</li> <li>• Может размягчаться (действие микрофлоры, авитаминозы)</li> <li>• Может минерализоваться (у некоторых хрящевых тканей)</li> </ul> <p style="text-align: center;"><u><b>Химический состав:</b></u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• связанная («интерстициальная») вода (80%)</li> <li>• протеогликаны (нефибриллярные белково – углеводные соединения)</li> <li>• несulfатированные (гиалуроновая к-та) и sulfатированные хондромукоиды, гепарин) ГАГ</li> <li>• микроэлементы, электролиты</li> </ul> <p style="text-align: center;"><i>Соотношение органических/неорганических в 3 : 1</i></p>
<p><b>Функции хрящевых тканей:</b> (1) опорно-мобильная и амортизационная, (2) защитная (механическая), (3) участие в водно-минеральном обмене, (4) формообразующая, (5) участие в гистогенезе костной ткани</p>	

# МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛЕТОК ХРЯЩЕВЫХ ТКАНЕЙ

## ХОНДРОГЕННЫЙ ДИФФЕРОН

### 1. Прехондробласты

#### **Морфологические особенности**

- Недифференцированные клетки веретеновидной формы
- Высокая митотическая активность
- Цитоплазма слабо базофильна, органелл мало
- Ядро гиперхромное с преобладанием гетерохроматина

#### **Функции** (функционально неактивны)

1. Камбиальная (дифференцируются в хондробласты)

---

### 2. Хондробласты

#### **Морфологические особенности**

- Малодифференцированные клетки уплощенной формы
- Средняя митотическая активность
- Цитоплазма слабо базофильна, умеренно развиты
- Органеллы СФАК внутриклеточного синтеза и структуризации
- Ядро гипохромное с преобладанием эухроматина

#### **Функции** (функционально мало активны)

1. Камбиальная (дифференцируются в хондроциты)
2. Секретируют небольшое количество ГАГ (гиалуроновую кислоту, гепарин) и нефибриллярных белков (протеогликанов)

### 3. Хондроциты I, II и III-го типов

#### **Морфологические особенности**

- Дифференцированные клетки овальной формы.
- II и III типы находятся в *изогенных группах - сообщества клеток, находящихся в одной лакуне аморфного матрикса*
- Умеренная митотическая активность (снижается и исчезает по мере дифференцирования клеток)
- Цитоплазма базофильна, хорошо развиты органеллы (в т.ч. СФАК внутриклеточного синтеза и структуризации)
- Ядро гипохромное с преобладанием эухроматина

#### **Функции** (функционально активные клетки)

1. Секретируют протеогликаны и фибриллярные белки (коллаген, эластин), сульфатированные ГАГ (хондроитинсульфаты и гепарин)
2. Участвуют в фибрилlogenезе коллагеновых и эластических волокон
3. Формируют изогенные клеточные группы
4. Обеспечивают процессы роста и регенерации хрящевой ткани.

## **ГЕМАТОГЕННЫЙ ДИФФЕРОН**

### 4. Хондрокласты

#### **Морфологические особенности**

- Неделющиеся клетки различной формы (в т.ч. амёбовидной)
- Цитоплазма «пенистая» (много фагосом), базофильная
- Развиты органеллы СФАК внутриклеточного пищеварения и дезинтоксикации, опоры и передвижения, внутриклеточного транспорта, энергетического обеспечения
- Ядро гипохромное полиплоидное, может быть несколько ядер

#### **Функции**

1. Специализированная макрофагическая:
  - резорбция стареющей хрящевой ткани в процессе её физиологической и репаративной регенерации
  - резорбция минерализованной хрящевой ткани

## РАЗНОВИДНОСТИ ХРЯЩЕВОЙ ТКАНИ

### Гиалиновая хрящевая ткань

#### Морфофункциональные особенности

##### Клетки

- Хондробласты и хондроциты I-го типа расположены по одиночке в молодой хрящевой ткани
- Хондроциты II-го типа составляют *изогенные группы* в зрелой ткани, а хондроциты III-го порядка – в стареющей ткани

##### Межклеточное вещество

- Коллагеновые (хондриновые) волокна оплетают изогенные группы, а между ними располагаются тонкими пучками вдоль вектора механической нагрузки;
- Аморфной матрикс:
  - в зонах молодой хрящевой ткани *оксифилен*, лишен сульфатированных ГАГ, имеет консистенцию полужидкого геля;
  - в зонах зрелой ткани *базофилен*, содержит сульфатированные ГАГ, имеет консистенцию упругого геля, уплотняется вокруг изогенных групп;
  - в зонах стареющей хрящевой ткани резко *оксифилен* в следствии накопления щелочных белков альбумоидов и последующей **минерализации**

#### Механические свойства:

- плотность, упругость, амортизационность в зрелом состоянии
- относительная непрочность «на разрыв»
- хрупкость при старении в следствии минерализации

#### Локализация

- Стенка воздухоносных путей
- Суставные поверхности
- Скелет эмбриона
- В зонах роста формирующихся трубчатых костей

## Эластическая хрящевая ткань

### • Морфофункциональные особенности

#### Клетки

- Хрящевые клетки (см. гиалиновую ткань)

#### Межклеточное вещество ( в сравнении с гиалиновой)

- Эластические волокна преобладают над коллагеновыми; образуют сетевидный каркас
- Аморфный матрикс содержит меньше сульфатированных ГАГ и не минерализуется

#### Механические свойства:

- гибкость, эластичность
- непрочность на разрыв и сжатие

#### Локализация

- Ушные раковины
- Стенка наружного слухового прохода
- Надгортанник
- Стенка бронхов средних калибров

## Волокнистая хрящевая ткань

### Морфофункциональные особенности

#### Клетки

- Хрящевые клетки (см. гиалиновую ткань)

#### Межклеточное вещество ( в сравнении с гиалиновой)

- Коллагеновые волокна располагаются толстыми параллельными пучками вдоль векторов механической нагрузки и переходят в пучки сухожилий
- Аморфный матрикс аналогичен гиалиновому и может минерализоваться

#### Механические свойства:

- плотность, упругость, амортизационность
- прочность на разрыв и сжатие
- хрупкость при минерализации

#### Локализация

- Межпозвоночные диски
- Лонный симфиз
- Зоны прикреплений связок и сухожилий к костям

## ХОНДРОГИСТОГЕНЕЗ

- Это гистогенетический процесс образования, обновления, регенерации, старения хрящевых тканей в онтогенезе
- Существует две разновидности хондрогистогенеза:
  - **Эмбриональный**, биологический смысл которого заключается в изначальном формировании хрящевых тканей в конце эмбрионального периода
  - **Постэмбриональный**, биологический смысл которого заключается в росте, физиологической регенерации, старении хрящевой ткани, протекающей в течение всей жизни человека.

### А. ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ГИСТОГЕНЕЗ

(протекает в три последовательные стадии)

#### 1. Стадия хондрогенных островков

Клетки скелетогенной склеротомной мезенхимы теряют отростки → группируются в островки → последовательно превращаются в ПКСМ → СКХ → прехондробласты → хондробласты.

#### 2. Стадия первичной хрящевой ткани

Хондробласты делятся → частично дифференцируются в хондроциты I-го типа → начинают синтезировать нефибриллярные белки инесульфатированные ГАГ → формируется гелеобразный полужидкий оксифильный аморфный матрикс

#### 3. Стадия зрелой хрящевой ткани

Хондробласты дифференцируются в хондроциты II-го типа → начинают синтезировать фибриллярные белки (коллаген и эластин) и сульфатированные ГАГ → интенсифицируется фибриллогенез коллагеновых и эластических волокон → формируется гелеобразный упругий базофильный матрикс → хондроциты «замуровываются» в нем → продолжают делиться → образуют изогенные группы



## Б. ПОСТЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ГИСТОГЕНЕЗ

**1. Аппозиционный рост** - увеличение массы хрящевой ткани с периферии за счет интенсификации синтеза молодого межклеточного вещества хондробластами и хондроцитами I-го типа

**2. Интерстициальный рост** – увеличение массы хрящевой ткани «изнутри» за счет интенсификации синтеза компонентов зрелого межклеточного вещества хондроцитами II- типа в изогенных группах

**3. Старение хрящевой ткани** - начинается из центральных (сердцевинных) областей хряща → набухание и деструкция хондроцитов → образование в межклеточном веществе центров минерализации из альбумоидов (**щелочные матричные белки минерализации**) → связывание и накопление ими солей Са → межклеточное вещество ощелачивается и приобретает оксифилию → резорбируется хондрокластами

*Примечание: минерализация не характерна для эластической хрящевой ткани*

**4. Регенерация хрящевой ткани** – деструктированная хрящевая ткань (старение, повреждение) параллельно с резорбированием может восстановиться за счет усиления пролиферации камбиальных хрящевых клеток, их последующей дифференцировки и повышению синтетической активности (продукция межклеточного вещества)

## ХРЯЩ В СОСТАВЕ ОРГАНОВ

- Хрящевая ткань входит в состав многих органов (см.табл.25 –«локализация»). В этом случае она нередко называется «хрящем»
- Как органная структура хрящ содержит две основных части: надхрящницу и хрящевую пластинку (собственно хрящ)

### А. Надхрящница

#### Структура

##### 1. Наружный волокнистый слой:

- ПВСТ (основная ткань)
- одиночные сосуды, нервный аппарат

##### 2. Внутренний хондрогенный слой:

- ПВСТ (основная ткань)
- сосудистые сети, нервный аппарат
- камбиальные хрящевые клетки

#### Функции

1. Механическая защита хряща
2. Трофика хряща путем диффузии из сосудов
3. Регенераторная (наличие камбиальных хрящевых клеток)
4. Обеспечение аппозиционного роста хряща (см.табл.25)
5. Рецепторное поле

### Б. Хрящевая пластинка

- представлена *гиалиновой, эластической или волокнистой хрящевой тканью*
- не содержит сосудов и нервных волокон

#### 1. Зона молодого хряща (под надхрящницей):

- хондробласты, хондроциты (I-го типа) – локализируются поодиночке
- оксифильное межклеточное вещество - *мало волокон и сульфатированных ГАГ*

#### 2. Зона зрелого хряща:

- хондроциты (II-го типа) - *локализируются в изогенных группах*
- базофильное основное вещества –*появляются пучки волокон, преобладают сульфатированные ГАГ (хондромукоиды)*
- уплотнение основного вещества в окружении изогенных групп («капсулы» изогенных групп)

#### 3. Зона стареющего хряща:

- зрелые хондроциты (III-го типа) и их деструктурированные формы
- оксифильное межклеточное вещество на разных стадиях его минерализации (*характерно для гиалинового и волокнистого хряща*)

**Примечание.** *Суставные гиалиновые хрящи не имеют надхрящницы, питание получают из синовиальной жидкости. Волокнистые хрящи межпозвоночных дисков тоже не покрыты надхрящницей, их центральные зоны содержат студенистые ядра (уплотненный аморфный матрикс).*

# КОСТНЫЕ ТКАНИ

Изучение костных тканей осуществляется по лекции и учебнику с использованием материала на кафедральном сайте (таблицы №№ 33 – 37)

Таблица 29

## ► **Общий план строения костных тканей**

- клеточные диффероны (основной - остеогенный и вспомогательный – гематогенный макрофагический)
- межклеточное вещество костных тканей (оссеиновые волокна, аморфный матрикс), их физико-механические свойства

## ► **Основные функции костных тканей**

(см.лекцию и учебник)

Таблица 30

## ► **Функциональная морфология дефинитивных (дифференцированных) клеток остеогенного и гематогенного дифферонов костных тканей**

- остеобласты как фактор костеобразования
- остециты, лакунарно-каналцевая коммуникационная система
- остеокласты как фактор костеразрушения

(см.лекцию и учебник)

Таблицы 31 - 32

## ► **Классификация костных тканей. Принципы классификации**

- **грубоволокнистая** костная ткань: особенности строения локализация
- **пластинчатая** костная ткань: особенности строения локализация
- костная мозоль как временное репаративное тканевое образование

## ► **Костная пластинка как разновидность организации межклеточного вещества пластинчатой костной ткани**

## ► **Формы компоновок костных пластинок в составе костей:**

- остеоны и гаверсова система
- вставочные пластинки
- генеральные пластинки
- костные ячейки
- костные трабекулы
- компактное и губчатое вещество кости

(см.лекцию и учебник)

## КОСТЬ КАК ОРГАН

- Костная ткань является основной тканью костей
- Кость – это сложный многотканевой и многофункциональный орган
- В кости имеется компактное (корковое) и губчатое вещество
- Кость содержит ряд взаимосвязанных структурных компонентов, наличие и локализация которых зависит от типа кости – трубчатая или плоская

### СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ КОСТИ

- Надкостница, • собственно кость, • эндост, • костномозговой канал (в диафизах трубчатых костей), • суставной хрящ (на суставных поверхностях эпифизов)

#### • НАДКОСТНИЦА (ПЕРИОСТ)

(наружная оболочка кости, отсутствует в эпифизах)

#### Строение

1. **Наружный (волоконистый) слой** - контактирует с окружающими тканями

- Содержит:
  - ПВСТ, сосуды, нервный аппарат
  - Фибробласты, фиброциты

2. **Внутренний (клеточный) слой** - контактирует с компактным веществом кости

- Содержит:
  - РВСТ, сосуды, нервный аппарат
  - Преостеобласты, остеобласты, фибробласты

3. **Фиксирующие (шарпеевские) волокна**

- Пучки коллагеновых волокон (*отходят от наружного слоя надкостницы, пронизывают всю ее толщину и вплетаются в компактное вещество собственно кости*)
- Фиксируют надкостницу к кости

4. **Прободающие кровеносные сосуды**

- Проникают в кость из внутреннего слоя надхрящницы через **фолькмановские каналы** (*находятся в компактном веществе*)
- Соединяются с сосудами гаверсовых каналов, костных ячеек и костного мозга

#### Функции в составе кости

1. Защитная
2. Трофическая
3. Обеспечение роста кости в толщину
4. Камбиальная и регенераторная
5. «Рецепторное поле» кости

## ● СОБСТВЕННО КОСТЬ

(составляет основной объем кости)

### Строение

#### 1. Диафизы трубчатых костей

а. **Компактное вещество** (кортикальный слой) преобладает по объему, расположено под надкостницей. **Его состав:**

- наружные генеральные пластинки
- слой остеонов, скрепленных вставочными пластинками
- внутренние генеральные пластинки

б. **Губчатое вещество** составляет сердцевину диафиза вокруг костного канала. **Его состав:**

- костные ячейки
- анастомозирующие трабекулы

#### 2. Эпифизы трубчатых костей:

а. **Компактное вещество** (тонкий кортикальный слой под эпифизарным хрящем). **Его состав:** (см. выше)

б. **Губчатое вещество** ( преобладает по объему). **Его состав:**

- зона уплотненных анастомозирующих трабекул (локализуется под компактным веществом)
- костные ячейки ( преобладают в сердцевине эпифиза)

#### 3. Тела плоских, губчатых и смешанных костей

а. **Компактное вещество** расположено двумя (наружной и внутренней) кортикальными пластинами

б. **Губчатое вещество** (*сердцевина кости*) локализуется между кортикальными пластинами

### Функции в составе кости

#### 1. Скелетные

- а. Опорно-мобильная
- б. Формообразующая

#### 2. Участие в водно-солевом обмене

#### 3. Защитная (преимущественно механическая)

#### 4. Обеспечение условий кроветворения (микроокружение для красного костного мозга)

#### 5. Циркуляция тканевой жидкости и электролитов (лакунарно-канальцевая коммуникационная система остеоцитов)

#### 6. Генерация биоэлектромагнитных полей (пьезоэлектрические эффекты при механических напряжениях)

Таблица 33 (продолжение)

### •ЭНДОСТ

(внутренняя оболочка кости, ее каналов и полостей)

#### Строение

- Строение аналогично периосту (надкостнице)
- Выстилает: • костномозговые, • гаверсовы и • фолькмановские каналы, • полости костных ячеек и • анастомозирующих костных трабекул, • внутренние поверхности плоских костей

#### Функции в составе кости

1.2.3.4.5. – см. периост

6.Создание микроокружения для костного мозга

### • КОСТНОМОЗГОВОЙ КАНАЛ

(расположен вертикально в центральных зонах диафизов трубчатых костей)

#### Строение

- Разделен костными анастомозирующими трабекулами на сообщающиеся отсеки («пакеты»)
- В них содержится красный и желтый костный мозг, ретикулярная и жировая ткань, сосуды
- Выстилается эндостом, внутренняя поверхность которого покрыта эпителиоподобными остеобластами, а в толще локализуются концевые отделы отростков остецитов (начальное звено лакунарно-канальцевой системы)

#### Функции в составе кости

1.Опорно-локализирующая и защитная для костного мозга

2.Звено в системе циркуляции тканевой жидкости кости

Примечание: аналогичное строение и функциональное назначение имеют полости костных ячеек губчатого вещества кости

### • СУСТАВНОЙ ХРЯЩ

(на суставных поверхностях эпифизов)

#### Строение

- Гиалиновый хрящ, лишенный надхрящницы (см.табл. 25 в)
- Параэпифизарный слой (непосредственно контактирует с костной тканью эпифиза) минерализуется. Он содержит остеобласты и кровеносные сосуды
- Факторы прикрепления к эпифизу: •совпадение неровностей контактирующих поверхностей, • взаимопроникновение коллагеновых волокон

#### Функции в составе кости

1. Суставное скольжение и амортизация

2. Амортизационная

2. Обеспечение периферического (аппозиционного) роста эпифиза и его регенерации

## ОСТЕОГИСТООРГАНОГЕНЕЗ

### РАЗНОВИДНОСТИ И ИХ БИОЛОГИЧЕСКИЙ СМЫСЛ

#### А. Эмбриональный остеогистоорганогенез

(см.табл.35)

- Изначальное образование костной ткани
- Закладка костей как органов

#### Б. Постэмбриональный остеогистоорганогенез

- Продолжение формирования костей как органов
- Формирование костного скелета в составе опорно-двигательной системы
- Физиологическая регенерация
- Возрастные и функциональные изменения структуры костей (рост, утолщение, относительная стабилизация, ремоделирование при беременности и физических нагрузках, старение и др.)

#### ФАКТОРЫ ОСТЕОГИСТООРГАНОГЕНЕЗА

- Возникновение в эмбриогенезе скелетогенной склеротомной мезенхимы
- Формирование дифферонов костной ткани
- Гистогенетические взаимоотношения ПКСМ, СКО, СКХ и СКК
- Баланс процессов костеобразования и костеразрушения (резорбции)
- Прорастание сосудов (степень васкуляризации) определяет насыщенность тканей кислородом (оксигенация) и трофическое обеспечение
- Иннервация
- Индукционные гистогенетические взаимоотношения костной, хрящевой, ретикулярной и жировой тканей
- Потенцирование структурообразования механическими нагрузками и эндогенными статокинетическими электрическими полями
- Обеспечение остеоморфогенеза гормонами и другими БАВ
- Алиментарный фактор (полноценная диета в т.ч. витамины D, С, А и продукты, богатые кальцием и фосфором)

**ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ОСТЕОГИСТООРГАНОГЕНЕЗ**

Протекает **в пять** последовательных стадий

Возможны **два пути** - зависят от предназначения костной ткани:

- **прямой остеогистоорганогенез** – формирование пластинчатой костной ткани непосредственно из скелетогенной мезенхимы (для плоских костей)
- **непрямой остеогистоорганогенез** – формирование пластинчатой костной ткани из скелетогенной мезенхимы на месте **хрящевой матрицы** (для трубчатых костей)

**СТАДИИ ОСТЕОГИСТОГЕНЕЗА И ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

- 1. Формирование остеогенных островков:** скопление и пролиферация плюрипотентных клеток остеогенной мезенхимы (ПКСМ) → выделение среди них стволовых клеток остеогенеза (СКО) → дифференцировка преостеобластов и остеобластов
- 2. Формирование остеоидной ткани (остеоида):** активизация остеобластов → синтез коллагеновых волокон и неминерализованного аморфного матрикса
- 3. Минерализация остеоида:** остеобласты синтезируют ферменты минерализации (в.т.ч. щелочную фосфатазу) → минерализация аморфного матрикса и коллагеновых волокон (становятся оссеиновыми) → «замуровывание» остеобластов и превращение их в остециты → образование **грубоволокнистой костной ткани (ГВКТ)**
- 4. Резорбция и последующее восстановление ГВКТ:** процесс минерализации активизирует функцию остеокластов → резорбция минерализованных участков ГВКТ → активизация остеобластов → образование новых «порций» ГВКТ в участках резорбции и т.д. Эти события могут повторяться достаточно долго до начала прорастания сосудов (васкуляризации).
- 5. Васкуляризация и последующее формирование пластинчатой костной ткани (ПКТ):** остеокласты формируют резорбционные каналы → в них врастают кровеносные сосуды в сопровождении остеобластов → остеобласты формируют костные пластинки вокруг сосудов → компоновка остеонов или костных ячеек (основных структурно-функциональных единиц ПКТ)



Таблица 35 (продолжение)

## **ПУТИ ОСТЕОГИСТОГЕНЕЗА И ИХ СОДЕРЖАНИЕ**

### **Прямой остеогистогенез**

- Остеогистогенез протекает в 5 последовательных стадий (см.выше) *очагами* (островками) по всей площади закладки будущей кости
- Процесс идет без определенных пространственных и хронологических закономерностей
- Формирующиеся островки окостенения сливаются и формируют тело плоской кости
- Костеобразование идет относительно быстро и заканчивается к рождению

### **Непрямой остеогистогенез**

- Процесс имеет четкую хронологическую и локализационную *этапность* :
  1. Формирование хрящевой модели
  2. Перихондральное окостенение диафиза
  3. Эндохондральное окостенение диафиза
  4. Эндохондральное окостенение эпифиза
  5. Формирование метэпифизарной пластины роста
  6. Формирование трубчатой кости
- Остеогистогенез на каждом этапе протекает в 5 последовательных стадий (см.выше)
- Костеобразование заканчивается после рождения

## ЭТАПЫ НЕПРЯМОГО ОСТЕОГИСТООРГАНОГЕНЕЗА

### 1. Формирование хрящевой модели (матрицы)

- Скелетогенная мезенхима → хондрогистогенез ( см.табл.26)→ гиалиновая хрящевая матрица (диафиз и два эпифиза) с надхрящницей

### 2. Перихондральное окостенение диафиза

- Пять стадий остеогистогенеза (см.табл. 30 а) в средней части матричного хрящевого диафиза под надхрящницей → «костная манжетка» → **компактное костное вещество диафиза**

### 3. Эндохондральное окостенение диафиза

- Дистрофия и последующая минерализация хрящевой ткани внутри диафиза под «костной манжеткой»→ остеокласты → резорбционные каналы и в них фаз остеогистогенеза (см.табл.30а) → костные балки → **губчатое костное вещество** → сердцевинная часть диафиза резорбируется остеокластами в продольном направлении → формируется костный канал → заполняется костным мозгом

### 4. Эндохондральное окостенение эпифиза

- Дистрофия и последующая минерализация хряща в центре эпифиза → остеокласты → резорбционная полость и в ней пять фаз остеогистогенеза (см.табл.30 а) → губчатое костное вещество → распространение костеобразования на периферию эпифиза

### 5. Формирование метэпифизарной пластины роста

- Расположена между эпифизами и диафизом, имеет четыре зоны:
  - а) *неизменного гиалинового хряща* (граничит с эпифизом)
  - б) *столбчатого хряща* (вертикальные изогенные группы хондроцитов – обеспечивают рост кости в длину)
  - в) *дистрофированного хряща* («пузырчатые» хондроциты)
  - г) *минерализованного хряща* (прилежит к эндохондральной кости диафиза)
- **Формирование трубчатой кости** (начинается в эмбриональном периоде и заканчивается после рождения).

### Последовательность органогенеза:

- образование **надкостницы** из тканевых элементов надхрящницы хрящевой матрицы (обеспечивает рост кости в ширину)
- гистогенез пластинчатой костной ткани в составе **компактного и губчатого вещества диафиза**
- окостенение **эпифизов** (в начале проксимального, затем дистального) → рост эпифизов по окружности → гиалиновая хрящевая ткань вытесняется на периферию и формирует суставной хрящ
  - **Метэпифизарная пластинка** на хрящевой стадии развития обеспечивает рост кости **в длину** → ее окостенение прекращает удлинение кости

## ВОЗРАСТНЫЕ И ПОЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСТЕОГИСТООРГАНОГЕНЕЗА

### ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

- Образование костной ткани и формирование костей начинается в эмбриональном периоде и продолжается в течение всей жизни
- Период активного остеогистоорганогенеза длится до 20 – 25 лет (**процессы гистогенеза костной ткани и костеобразования преобладают над их резорбцией**)
- Период стабилизации костеобразования продолжается от 20 до 40-50 лет (**костеобразование и резорбция находятся в сбалансированном состоянии**)
- Период угасания костеобразования и редукции костной ткани начинается с 50 лет и старше (**интенсивность костеобразования меньше чем резорбция**)
- На всех этапах большое значение имеет алиментарный фактор и активность образа жизни

### ЧАСТНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

- У новорожденных детей – имеет место слабая минерализация костных пластинок, относительно широкий слой компактного вещества (особенно в трубчатых костях), толстая надкостница с большим количеством остеобластов и узкий костномозговой канал
- В первое полугодие жизни усиливается резорбция со стороны костномозгового канала, компактный слой истончается
- В первые десять лет жизни ребенка в трубчатых костях преобладают процессы поднадкостничного костеобразования (рост кости в ширину), метэпифизарного хондроостеогенеза (рост кости в длину) и резорбции со стороны костного канала
- Физические нагрузки в молодом и зрелом возрасте активизируют костеобразование, однако хроническое механическое перенапряжение может усилить процессы резорбции
- Эстрогены (стероидные половые гормоны) тормозят функцию остеокластов, в климактерическом периоде продукция этих гормонов у женщин снижается более интенсивно, чем у мужчин. Поэтому процессы резорбции костной ткани у женщин с возрастом протекают активнее.
- Процессы резорбции усиливаются при беременности, малоподвижном образе жизни, гормональных дисбалансах, хронических соматических заболеваниях и др.

## ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ

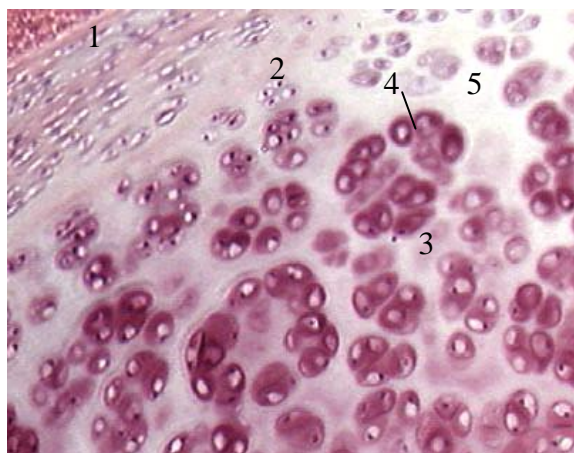


Рис.1. Микрофотография среза гиалинового хряща. Окраска: гематоксилин-эозин; объектив 40.

1 – надхрящница; 2 – зона молодого хряща; 3 – зона зрелого хряща; 4 – изогенные группы хондроцитов; 5 – межклеточное вещество

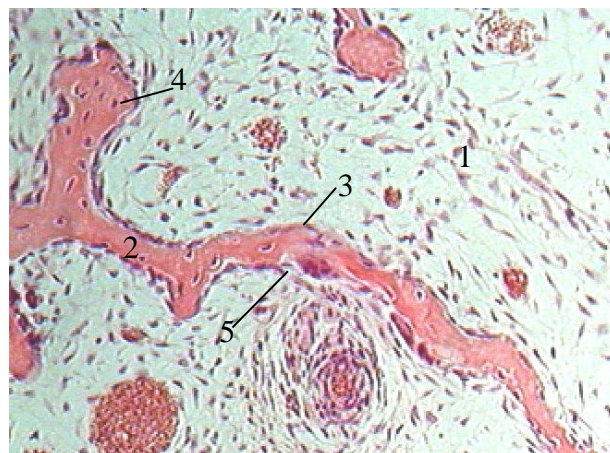


Рис.2. Микрофотография среза плоской кости зародыша. Развитие костной ткани из скелетогенной мезенхимы (прямой остеогистогенез). Окраска: гематоксилин-эозин; объектив 40.

1 – скопление клеток скелетогенной мезенхимы; 2 – островок окостенения; 3 – остеобласт; 4 – остеоцит; 5 – остеокласт.

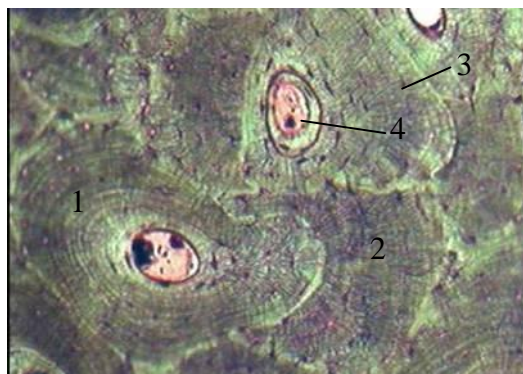


Рис.3. Микрофотография пластинчатой костной ткани (поперечный срез кортикального слоя диафиза декальцированной берцовой кости). Окраска по методу Шморля (тионин-пикриновая кислота).

1 – остеон; 2 – вставочные пластинки; 3 – остеоциты; 4 – гаверсов канал

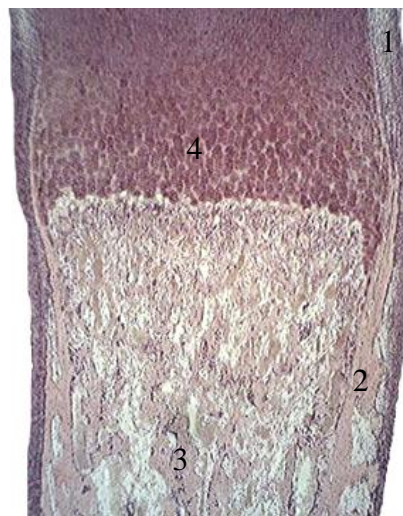


Рис.4. Микрофотография среза трубчатой кости зародыша. Развитие костной ткани на месте хрящевой матрицы (непрямой остеогистогенез). Окраска: гематоксилин-эозин; объектив 40.

1 – надхрящница; 2 – перихондральное окостенение диафиза; 3 – эндохондральное окостенение диафиза; 4 – метэпифизарная пластина роста

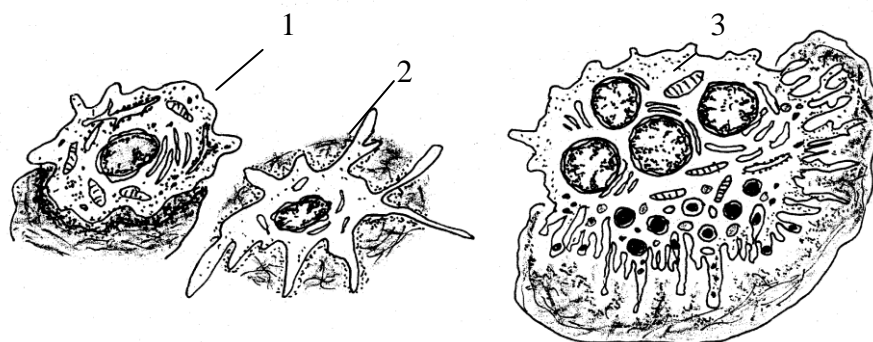


Рис. 5. Клетки костной ткани: 1 – остеобласт; 2 – остеоцит; 3 – остеокласт.

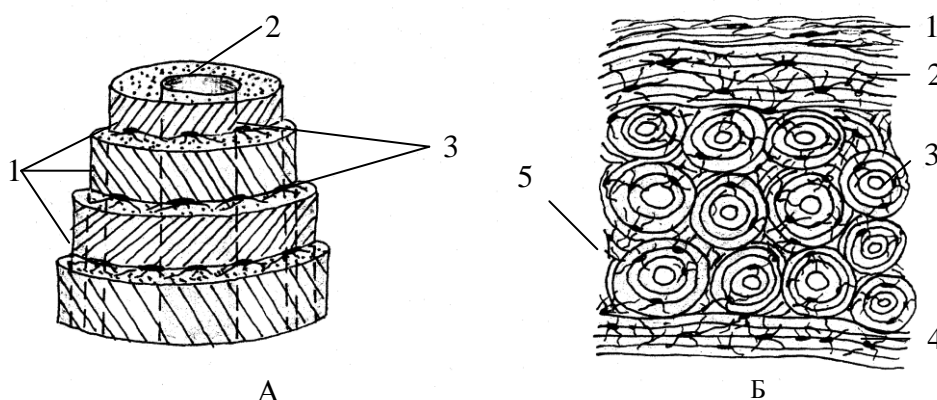


Рис. 11. Пластинчатая костная ткань. **А** – схема остеона: 1 – костные пластинки; 2 – центральный (Гаверсов) канал; 3 – остеоциты. **Б** – компактное вещество трубчатой кости: 1 – надкостница; 2 – слой наружных генеральных костных пластинок; 3 – слой остеонов; 4 – слой внутренних генеральных костных пластинок; 5 – вставочные пластинки

### Примеры контрольных вопросов

1. Назовите скелетные ткани, их эмбриональный источник развития и стволовые клетки.
2. Разновидности хрящевых тканей и примеры их локализаций.
3. Общий план строения хрящевых тканей. Клетки и межклеточное вещество
4. Хондрогистогенез
5. Хрящ в составе органов.
6. Общий план строения и разновидности костных тканей.
7. Клетки и межклеточное вещество костных тканей.
8. Костные пластинки и формы их компоновки в составе кости.
9. Кость как орган
10. Структура компактного и губчатого вещества кости.

11. Структура и функции периоста и эндоста.
12. Биологическое значение и механизмы эмбрионального и постэмбрионального остеогистоорганогенеза.
13. Стадии остеогенеза
13. Прямой и непрямой остеогистогенез
10. Регенерация костной ткани.
11. Костная мозоль – ее значение и тканевое представительство.
12. Возрастные и половые особенности остеогистоорганогенеза особенности

### **Примеры тестов первого уровня**

1. Следующие места локализации характерны для гиалинового хряща, кроме: а) ушная раковина; б) поверхность суставов; в) трахея; г) эмбриональный скелет.
2. Какие клетки находятся во внутреннем слое надхрящницы: а) хондробласты; б) хондроциты; в) остеобласты; г) остеоциты?
3. Какие клетки участвует в синтезе компонентов межклеточного вещества костной ткани: а) остеоцит; б) остеобласт; в) остеокласт; г) стволовая клетка остеогистогенеза?
4. Какие из перечисленных структурных компонентов костной ткани минерализуются в физиологических условиях? Верно все, кроме: а) оссеиновые волокна пластинчатой костной ткани; б) аморфный матрикс пластинчатой костной ткани; в) аморфный матрикс грубоволокнистой костной ткани; г) остеобласты.
5. Какие волокна входят в состав межклеточного вещества пластинчатой костной ткани: а) эластические; б) ретикулярные; в) оссеиновые (коллагеновые); г) хондриновые?
6. Что называется костной пластинкой: а) компактное вещество пластинчатой кости; б) компактное вещество диафиза; в) организованное в пространстве межклеточное вещество пластинчатой костной ткани; г) остеон?
7. Все названные формы компоновки костных пластинок правильны, кроме: а) остеон; б) ячейка; в) вставочная пластинка; г) костная лакуна.

### **Примеры тестов второго уровня**

1. Какие виды хрящевой ткани входят в состав межпозвоночных дисков (а), реберных (б) и суставных хрящей (в), ушных раковин (г). Подчеркните ткани, способные к минерализации.
2. Перечислите клетки костной ткани (а, б, в). Какая из них имеет гематогенное происхождение (г)? Назовите её функцию (д).
3. Какие компоненты межклеточного вещества пластинчатой костной ткани

минерализуются (а, б)? Какие клетки синтезируют ферменты минерализации (в), а какие разрушают минерализованное межклеточное вещество (г)?

4. Что называется костной мозолью (а)? Какими тканями она может быть представлена (б, в, г)? Подчеркните ткань, для образования которой необходима усиленная оксигенация?

### **Примеры практико-ориентированных задач**

1. Суставные поверхности эпифизов трубчатых костей покрывают плотно прикрепленные к костной ткани хрящи. С возрастом они нередко подвергаются деструктивным изменениям, связанным с нарушением их трофики. Это приводит к серьезным повреждениям суставов. Какая хрящевая ткань входит в состав суставного хряща (а)? Назовите его отличительную структурную особенность (б). Какими путями осуществляется трофика этого хряща (в, г, д)? Может ли он с возрастом подвергаться минерализации (е)?

2. Остеохондрозы – распространенная патология опорно–двигательного аппарата человека. Одной из причин этой группы заболеваний служат деструктивные изменения хрящей межпозвоночных дисков вследствие нарушения в них процессов физиологической регенерации. Какая хрящевая ткань составляет основу межпозвоночных дисков (а)? Имеют ли они надхрящницу (б)? В чем заключается физиологическая регенерация хрящевой ткани (в)? Снижение функциональной активности каких клеток приводит к нарушениям процессов физиологической регенерации хрящевой ткани (г)? Сделайте обоснованное гистогенетическое заключение о причинах учащения остеохондрозов у пожилых людей (д).

3. В результате автокатастрофы мужчина получил серьезную травму нижней конечности. Бедренная кость на значительном протяжении оказалась лишенной надкостницы, что привело к повреждению периостального кровоснабжения костной ткани. Какие основные функции надкостницы оказались нарушенными (а, б, в)? Какие клетки костной ткани бедра в этих условиях снизят свою активность (г), а какие усилят (д)? Как эта ситуация отразится на структурной организации костной ткани (е)?

4. На электронной микрофотографии костной ткани обнаружена большая многоядерная клетка, содержащая много лизосом, фагосом и пищеварительных вакуолей. Как называется эта клетка (а)? Какова её функция (б)? Какой процесс в костной ткани стимулирует эту функцию (в)? Способна ли эта клетка к делению митозом (г) и к дифференцировке в другие клетки костной ткани (д)?

5. На гистологическом препарате верхней челюсти эмбриона человека при окраске среза гематоксилином-эозином среди мезенхимального синцития определяются зачатки костной ткани в виде трабекул. На их периферии локализуются контактирующие друг с другом одноядерные призматические клетки. Между ними располагаются одиночные крупные с неровными контурами многоядерные клетки, внедряющиеся в минерализованный матрикс. В центральных зонах костных зачатков имеются лакуны с отростчатыми одноядерными клетками. Как называются одноядерные клетки на периферии трабекул (а) и каковы их основные функции (б, в, г)? Как называются многоядерные клетки (д) и какова их основная функция (е)? Как называются клетки в центральных зонах трабекул (ж) и какова их основная функция (з)?

## Ответы

### Тесты первого уровня

1. а)
2. а)
3. б)
4. г)
5. в)
6. в)
7. г)

### Тесты второго уровня

1. а) *волокнистая*; б) *гиалиновая*; в) *гиалиновая*; г) *эластическая*.
2. а) *остеобласт*; б) *остеокласт*; в) *остеоцит*; г) *остеокласт*; д) *макрофагическая*.
3. а) *оссеиновые волокна*; б) *аморфный матрикс*; в) *остеобласты*; г) *остеокласты*.
4. а) *временное образование в зоне сращения отломков кости*; б) *гиалиновая хрящевая*; в) *грубоволокнистая костная*; г) *пластинчатая костная*.

### Практико-ориентированные задачи

1. а) *гиалиновая*; б) *отсутствует надхрящница*; в) *из синовиальной жидкости*; г) *из сосудов суставной сумки*; д) *из подлежащей костной ткани эпифиза*; е) *да*.
2. а) *волокнистая*; б) *да*; в) *восстановление утраченных в процессе нормальной жизнедеятельности компонентов межклеточного вещества и клеток*; г) *хондроциты*; д) *с возрастом уменьшается количество и активность хондроцитов, а склонность хряща к*



*минерализации возрастает.*

3. а) защитная; б) трофическая; в) камбиальная; г) остеобласты; д) остеокласты; е) будут преобладать процессы резорбции над костеобразованием.

4. а) остеокласт; б) макрофагическая; в) минерализация; г) нет; д) нет.

5. а) остеобласты; б) образование оссеиновых волокон; в) синтез органических компонентов матрикса; г) синтез ферментов минерализации; д) остеокласты; е) резорбция минерализованной костной ткани; ж) остеоциты; з) транспортная.