



ФГБОУ ВО СЗГМУ ИМ. И.И. МЕЧНИКОВА МИНЗДРАВА РОССИИ
кафедра медицинской биологии

Принципы преобразования органов хордовых.

Сравнительный обзор систем органов ПОЗВОНОЧНЫХ.

Доц., к.б.н. Казанская Е.А.
2016 г.

Эволюционная морфология

**синтетическая дисциплина, изучающая
закономерности эволюционных изменений
организмов**

- 1. выявление родственных связей между организмами,**
- 2. выявление направлений и способов филогенетических изменений в строении организмов,**
- 3. выявление взаимосвязи между характером изменений организмов и изменением условия окружающей среды**

Эволюционная морфология

- 1. сравнительная анатомия,**
- 2. сравнительная эмбриология,**
- 3. палеонтология,**
- 4. цитология,**
- 5. гистология,**
- 6. молекулярная биология**

Предпосылки филогенетических преобразований органов:

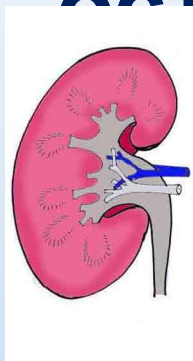
- ✓ мультифункциональность органов
- ✓ способность количественного изменения функций

Мультифункциональн

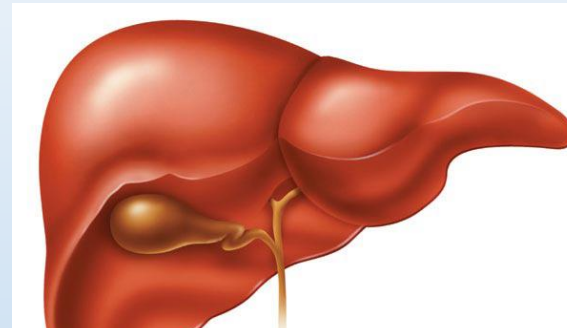
ость



Полет
Терморегуляц
ия
Осязание
Синтез Vit D
Улавливание
добычи



Выделение
Регуляция
АД
Синтез БАВ
и др...



Детоксикация
Синтез ферментов
Синтез желчи
Накопление
гликогена
Участие в лип.
Обмене
и др...

Способы преобразования органов и функций

Количественные

- Расширение функций
- Разделение органов
- Олигомеризация
- Полимеризация
- Иммуобилизация
- Дифференциация
- Интеграция и др.

Качественные

- Смена функций
- Разделение функций
- Усиление главной функции

Субституция

- Субституция органов
- Субституция функций

Гетерохрония – это смещение времени закладки органа

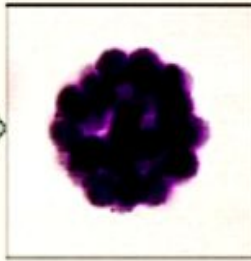
Гетеротопия – это смещение места закладки органа

Гетеробатмия – разная скорость преобразования различных систем

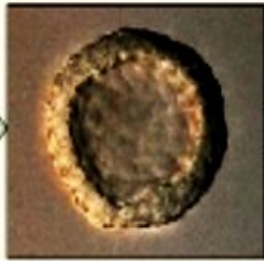
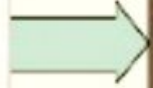
Онтогенез



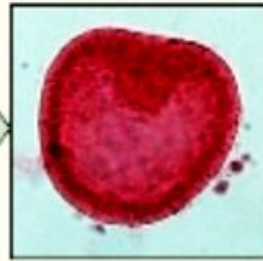
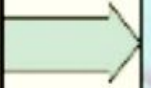
Зигота



Морула



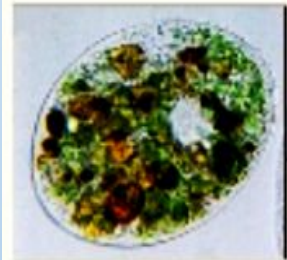
Бластула



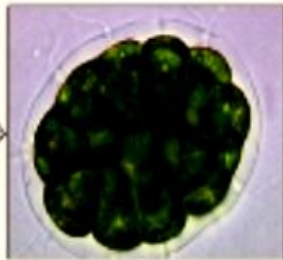
Гаструла

Онтогенез –
индивидуальное развитие
организмов

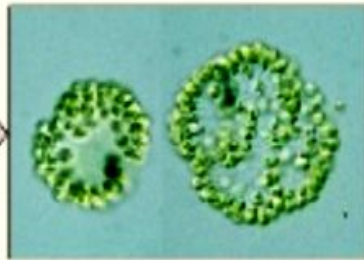
Филогенез



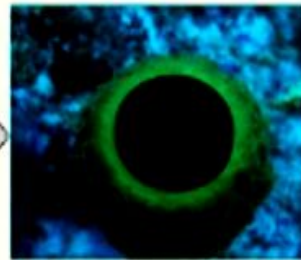
Одноклеточный
организм



Колониальный
организм



Колониальный организм с
полостью внутри



Двухслойный
организм

Филогенез – историческое
развитие любой биологической
системы (макроэволюция)

Филогенез – исторический ряд онтогенезов, прошедших отбор, связанных между собой связью предок-потомок (И. И. Шмальгаузен)

Онтогенез ↔ филогенез

Филогенез и эмбриогенез

К. Бэр: закон
зародышевого
сходства

- на ранних стадиях эмбриогенеза зародыши разных видов сходны между собой

Ч. Дарвин: принцип
рекапитуляции

- признаки взрослых предков, так или иначе, повторяются в эмбриогенезе их

Э. Геккель, Ф.
Мюллер:
биогенетический
закон

- онтогенез есть быстрое и краткое повторение филогенеза

Современная
формулировка
биогенетического
закона

- в онтогенезе возможна частичная рекапитуляция

- эмбриогенез

- палингенез

- признак или процесс в эмбриогенезе организмов, повторяющий соответствующий признак или процесс филогенеза данного вида

филаэмбриогенез

- ценогенез

- приспособление организма к специфическим условиям эмбрионального или личиночного развития
- (напр. провизорные органы)

Филэмбриогенезы - эмбриональные перестройки, которые происходят у взрослых организмов (А.Н.Северцов)

эмбриогенез

Архаллакисы – это изменения на ранних стадиях эмбриогенеза

- Формирование зародышевых листков, хорды, нервной трубки и головного мозга у позвоночных

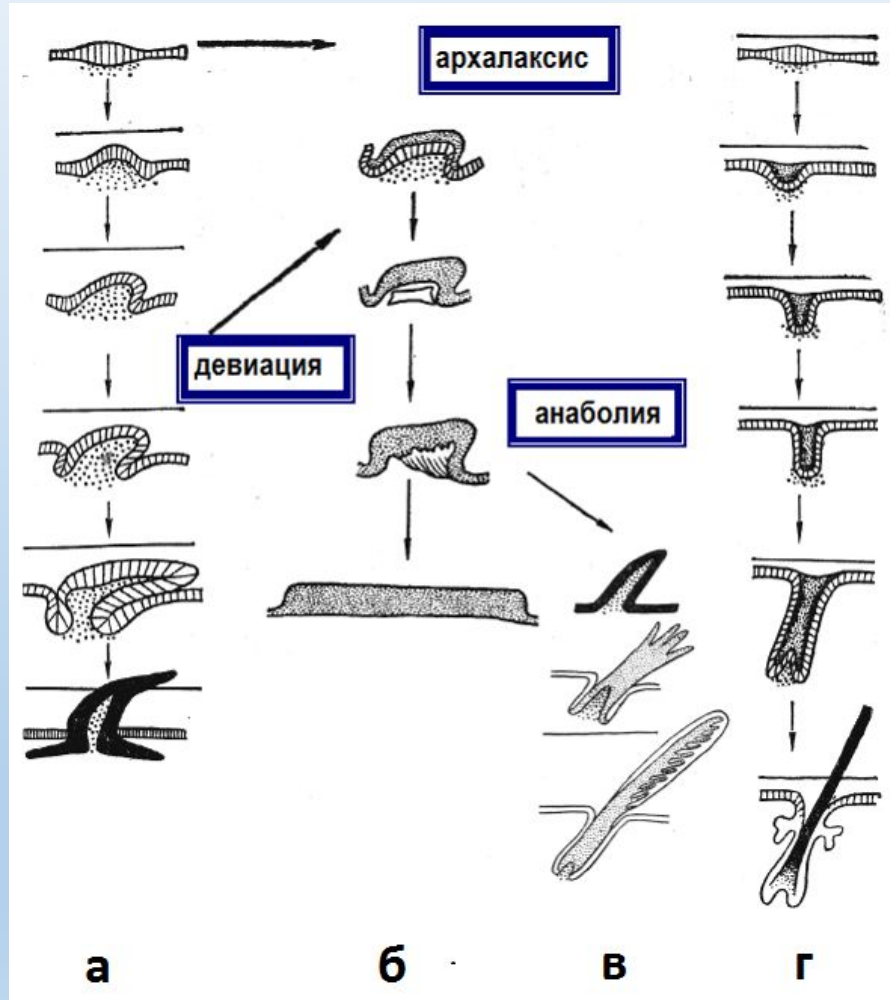
Девииации – изменения органов на средних этапах эмбриогенеза

- возникновение сложных коренных зубов у млекопитающих
- полость среднего уха, большинства

Анаболии – изменения эмбриогенеза на поздних стадиях развития

- формирование четырехкамерного сердца у теплокровных позвоночных, редукция пальцев у копытных, перья у птиц

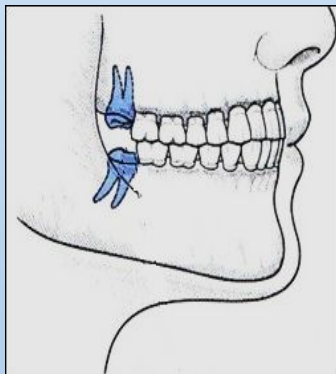
Развитие роговых производных кожи позвоночных



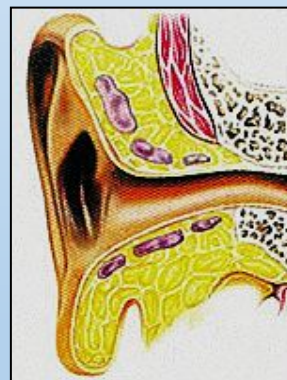
- а. – чешуя рыбы;
- б. – чешуя рептилии;
- в. – перо птицы;
- г. – волос млекопитающего

Онто-филогенетические предпосылки формирования врожденных пороков развития у человека

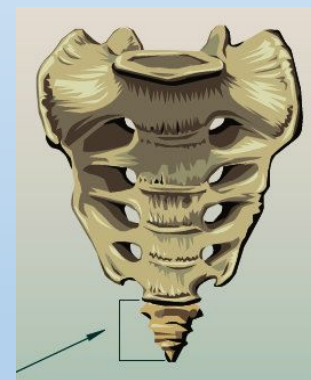
Рудимент – это орган предковых форм, утративший свое функциональное значение, вследствие чего его развитие прекращается на определенной стадии онтогенеза



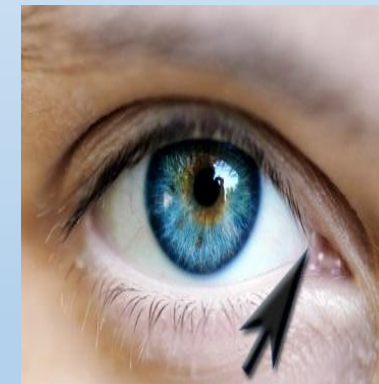
Зубы
«мудрости»



Мышцы ушной
раковины



Копчиковы
е
позвонки

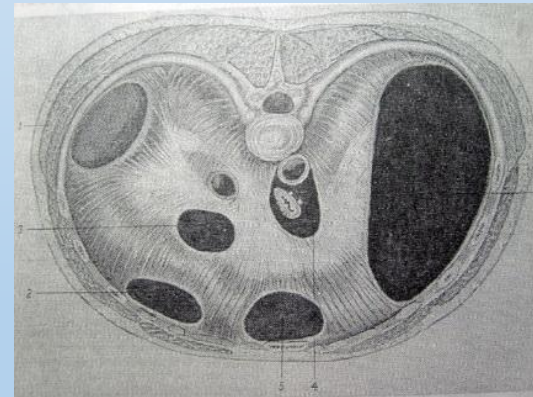


Третье
веко

Атавизм – это полное развитие рудиментарного органа, не характерное для данного вида

По механизму формирования различают 4 варианта атавистических аномалий :

1. Связанные с недоразвитием органов на тех этапах морфогенеза, когда они рекапитулировали предковое состояние



Гипоплазия диафрагмы

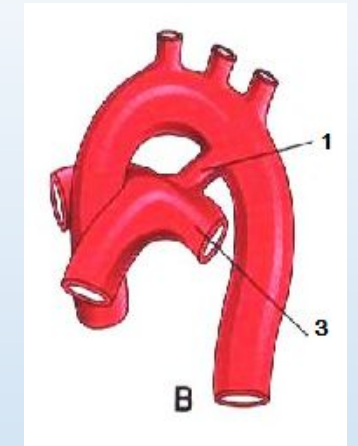


“Волчья пасть”

2. Результат нарушения редукции



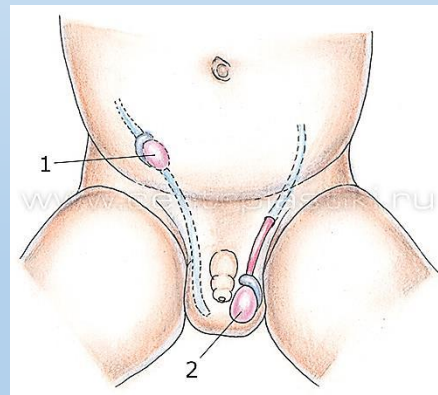
Латеральные свищи
шеи



Персистирование
(сохранение)
боталова протока
(1)



Тазовое
расположени
е почки



Крипторхиз
м

3. Нарушение перемещения органов в онтогенезе

4. Развитие структур, характерных в норме для предковых форм, до функционирующего состояния



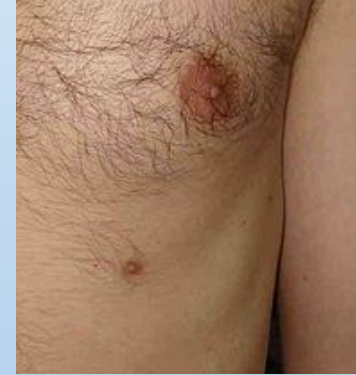
Хвостатость



Гипертрихоз
(волосатость)



сохранение
ребер в шейном
отделе



Полимастия
(многососковость)

Тип Хордовые

П/т
Голово-хордовые

П/т Оболочники

П/т Позвоночные
(черепные)

Раздел
Бесчелюстные
Кругло-
ротые

Челюстные

Классы
Щелевые рыбы
Тенерыбы
Норводные
Классы
Клюющие
Птицы
Классы
Опитающие

Хордовые

1. Формирование внутреннего скелета
 2. Появление нервной трубки
 3. Развитие органов дыхания внутри тела
 4. Трехслойность зародыша
 5. Билатеральная симметрия
 6. Вторичноротость
 7. Вторичнополостность
 8. Раздельнополость
 9. Формирование в эмбриогенезе осевого комплекса (нервная трубка, хорда, кишечник)
 10. Кровеносная система замкнута
- Ароморфозы

Позвоночные (черепные)

1. Формирование позвоночного столба
 2. Развитие черепа
 3. Формирование головного мозга
 4. Появление мускульного сердца
 5. Появление двух пар конечностей
 6. Прогрессивное развитие всех систем органов
 7. Формирование эндокринной системы
 8. Развитие системы органов чувств
- Ароморфозы**

- **Анамнии**

- Круглоротые

- Хрящевые рыбы

- Костные рыбы

- Земноводные

- (амфибии)

- **Амниоты**

- Пресмыкающиеся

- (рептилии)

- Птицы

- Млекопитающие

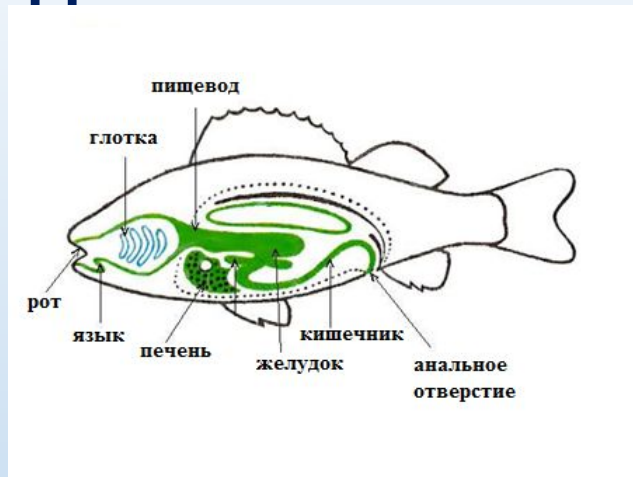
Филогенез систем органов

Органы
пищеварения

У низших хордовых – слабая дифференцировка пищеварительной трубки, имеется печеночный вырост.

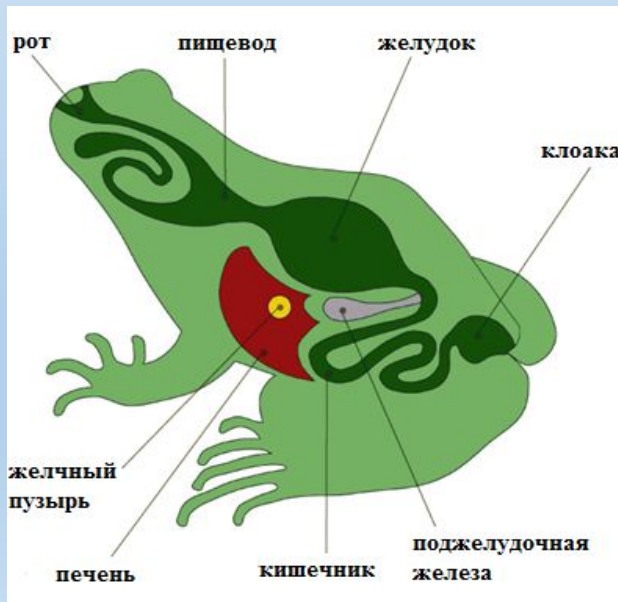


Рыб



- Пищеварительный тракт дифференцирован: ротовая полость → пищевод → желудок (мешковидный) → кишечник;
- имеются складки и появляются ворсинки;
- сформированы поджелудочная железа, печень, желчный пузырь.

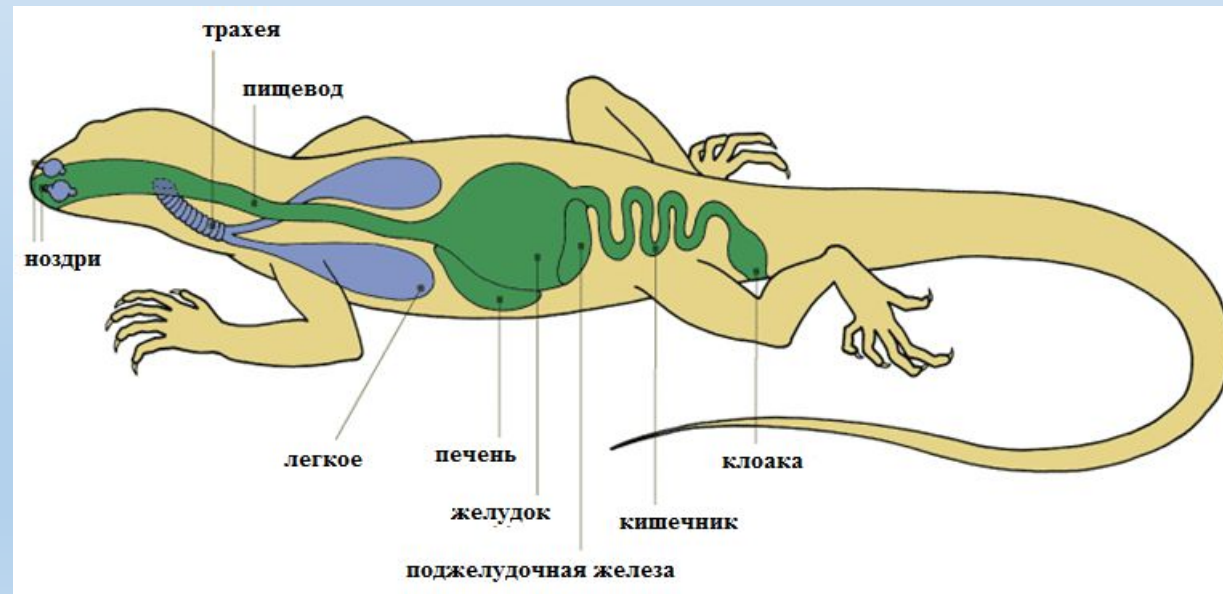
Земноводн



- ротовая полость не обособлена от глотки (открываются хоаны, евстахиевы трубы, гортанная щель) → пищевод → желудок → кишечник (тонкий и толстый отделы) → клоака;
- появляются слюнные железы для смачивания пищи, химического действия не оказывают;
- имеются поджелудочная железа, печень, желчный пузырь.

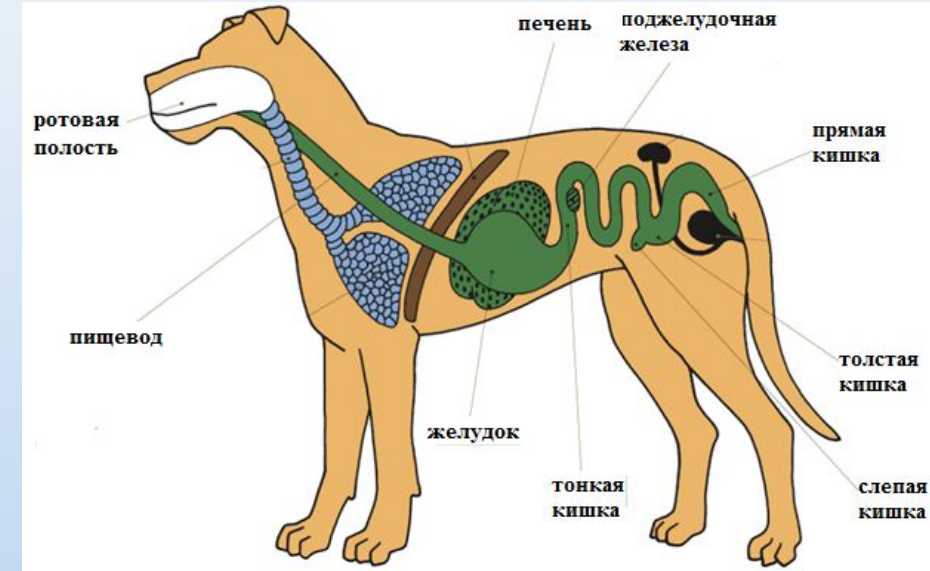
Рептилии

- ротовая полость обособлена от глотки; формируются зачатки вторичного неба;
- строение глотки, пищевода, желудка не имеют существенного отличия от такового же у земноводных;
- тонкий и толстый кишечник, на границе – слепой вырост (зачатки слепой кишки). Длина кишечника увеличивается, имеется клоака.
- появляются подъязычные, губные и зубные железы



Млекопитающи

- Ротовая полость ограничена сверху твердым небом, которое продолжается в мягкое, отделяющее полость от глотки. В глотку открыты носоглоточные ходы, евстахиевы трубы, гортанная щель.
- Разнообразие желез желудка.
- Кишечник дифференцирован на отделы – двенадцатиперстная, тонкая, толстая, слепая, прямая кишка.
- Ротовые железы достигают наибольшего развития: мелкие слизистые, слюнные (подъязычная, заднеязычная, подчелюстная и околоушная).



Направление эволюции пищеварительной системы

1. Дифференциация кишечной

трубки

2. Увеличение всасывательной

3. Развитие пищеварительных желез

Основные эволюционные преобразования пищеварительной системы хордовых

❖ Усиление главной

функции

- а) органов захвата и механической обработки пищи: челюстей, зубов, языка;
- б) увеличение секретлируемой поверхности пищеварительного тракта за счет удлинения и дифференцировки кишечной трубки на отделы;
- в) развитие пищеварительных желез, их секреторной эффективности;
- г) развитие структур, обеспечивающих наиболее интенсивное усвоение питательных веществ (продольные и поперечные складки, ворсинки, микроворсинки тонкого кишечника);
- д) развитие мышечного слоя стенок пищеварительного тракта, обеспечивающих перемещение химуса, жомов, отделяющих один отдел от другого.

❖ Разделение органов и функций. Разделение ротовой полости на отделы: дыхательный и пищеварительный

❖ **Расширение количества выполняемых функций:** пищеварительной, защитной, гормональной, синтеза витаминов, терморегуляторной.

Врожденные пороки кишечной трубки

- на месте нижних глоточных карманов сохраняются щели – рудименты жаберных щелей,
- врожденные свищи;
- агезия любого отдела;
- гипоплазия (уменьшение размеров отделов или кишечного тракта, недоразвитие органа);
- гетеротопия тканей поджелудочной железы в стенке тонкого кишечника или желудка
- персистирование клоаки, при которой мочеполовые пути и прямая кишка объединены
- гиперплазия (расширение отделов кишечного тракта);
- удвоение.

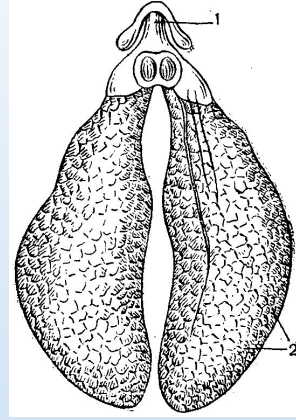
Филогенез дыхательной системы позвоночных.

Филогенез дыхательной системы



Рыбы.

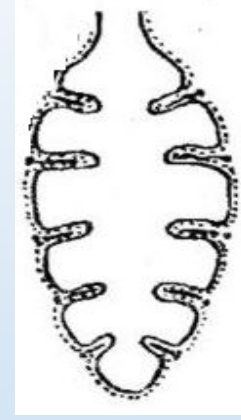
Жабры – тонкие складки слизистой оболочки глотки; лежат на жаберных дугах (ребенках); снабжаются кровью через жаберные артерии, распадающиеся на капилляры.



Земноводные.

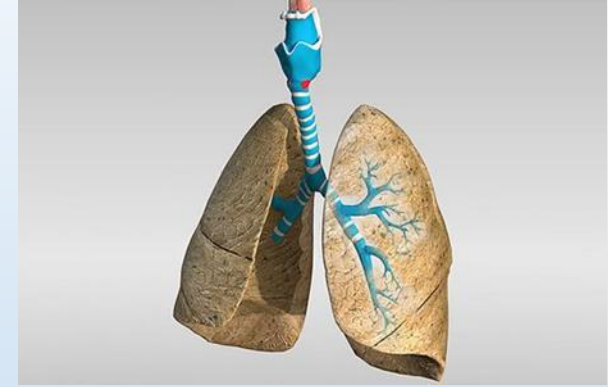
В личиночном состоянии – жабры.
У взрослых амфибий – легкие.

- Появляется гортань.
- Воздухопроводящие пути не развиты.
- Легкие начинаются непосредственно от гортани.
- Легкие мешковидные, крупноячеистые с малой дыхательной поверхностью.



Пресмыкающиеся.

- легкие содержат много перегородок, покрытых мерцательным эпителием (увеличение дыхательной поверхности);
- стенки легких образуют складки;
- дифференцируются воздухоносные пути (гортань, трахеи, бронхи);
- впервые появляется диафрагма;
- механизм дыхания основан на сокращении межреберных мышц, приводящих в движение



Млекопитающие.

- легкие полностью отделены от пищеварительной системы и только перекрещиваются с ней в глотке;
- формируется “бронхиальное дерево”;
- дыхательные пути выстланы мерцательным эпителием;
- основной мышцей, изменяющей объем грудной полости, становится диафрагма.

Направление эволюции дыхательной системы:

1. Дифференцировка воздухопроводящих путей
2. Увеличение дыхательной поверхности
3. Достижение тесного контакта между респираторным эпителием и кровеносной системой

Основные эволюционные преобразования в дыхательной системе хордовых

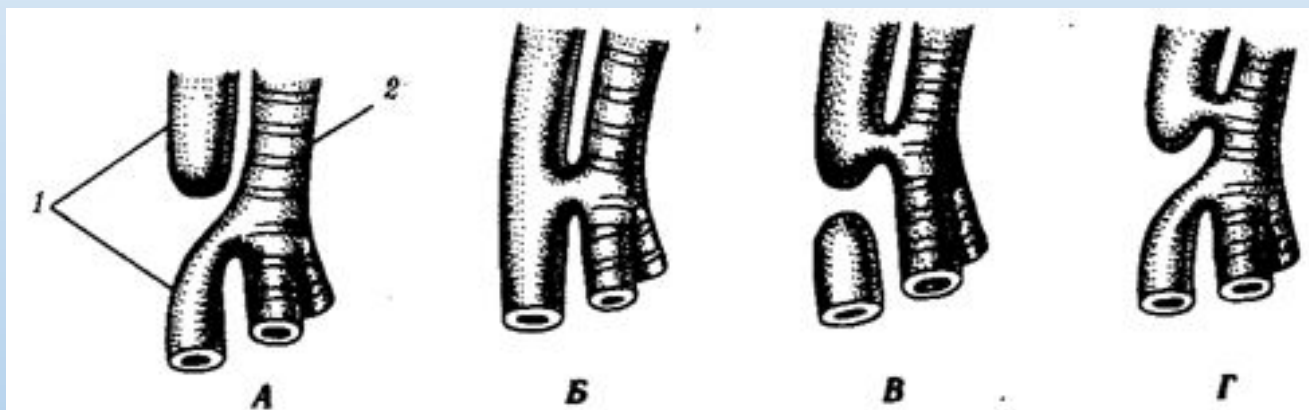
- ❖ **Усиление главной функции:**· увеличение поверхности газообмена;· дифференцировка воздухоносных и респираторных отделов;· совершенствование механизмов дыхания (появление грудной клетки, дыхательной мускулатуры).
- ❖ **Расширение числа выполняемых функций:** очищение, согревание, увлажнение воздуха; терморегуляция, звукообразование.
- ❖ **Субституция функций:** дыхание с помощью жабр у наземных позвоночных замещается газообменом в легких.
- ❖ **Смена функций:** плавательный пузырь древних кистеперых рыб преобразуется в орган дыхания.
- ❖ **Разделение функций и органов:**
 - у наземных позвоночных отделение дыхательных путей от первичной пищеварительной трубки;
 - в легких позвоночных разделение воздухоносных и респираторных отделов.

Онто-филогенетически обусловленные врождённые пороки развития дыхательной системы у человека.

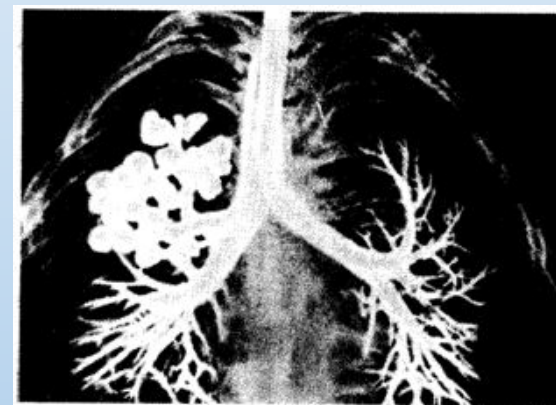
- ❖ Пороки, отражающие первоначальную общность пищеварительной и дыхательной систем:
 - а) Незаращение твердого неба;
 - б) Эзофаготрахеальные свищи - каналы, соединяющие пищевод и трахею.

- ❖ Пороки легких человека, базирующиеся на остановке развития легких на разных этапах органогенеза и отражающие филогенез легких ПОЗВОНОЧНЫХ:
 - а) Агенезия - остановка роста бронхолегочных почек на третьей -четвертой неделе эмбриогенеза, при этом легкое не развивается;
 - б) Аплазия - есть только слепо заканчивающийся главный бронх. Бронхиальное древо и паренхима легкого не развиваются;
 - в) Гипоплазия - недоразвитие или неправильное формирование структур легкого: пороки ветвления, редукция части бронхов и легочной паренхимы. При остановке ветвления бронха возможно образование бронхолегочных кист.

Пороки развития



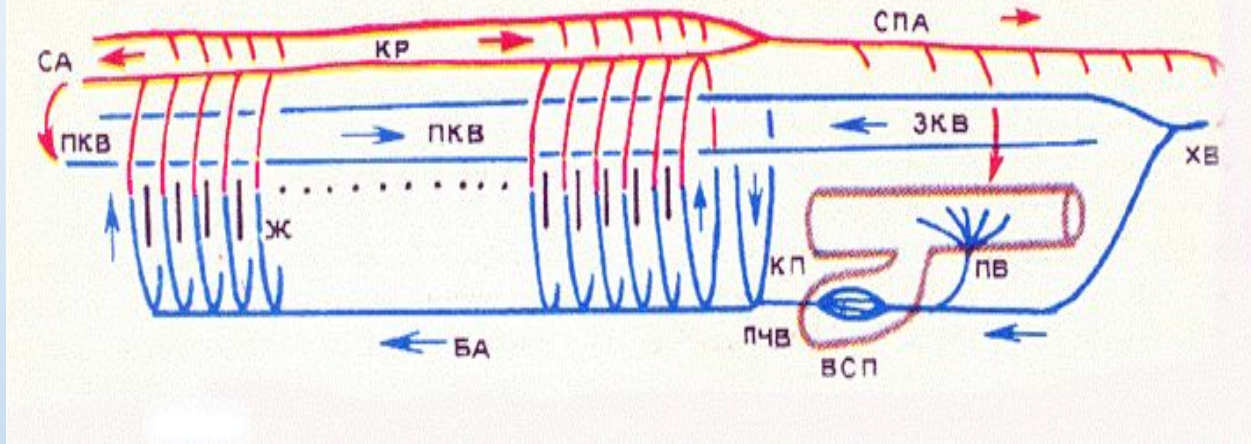
Различные формы эзофаготрахеальных свищей (А—Д): 1— пищевод, 2— трахея



Кистозная гипоплазия легкого

Филогенез сердечно-сосудистой системы ПОЗВОНОЧНЫХ.

Кровеносная система бесчерепных



ба — брюшная аорта

ж — жаберные артерии (их основания также пульсируют),

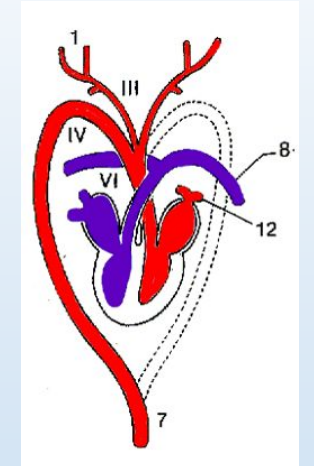
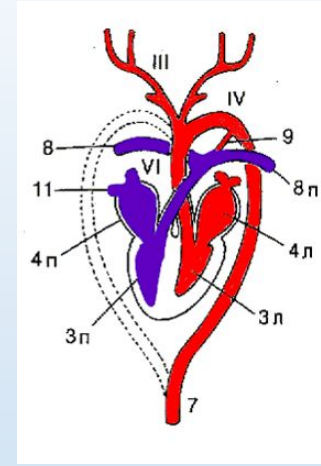
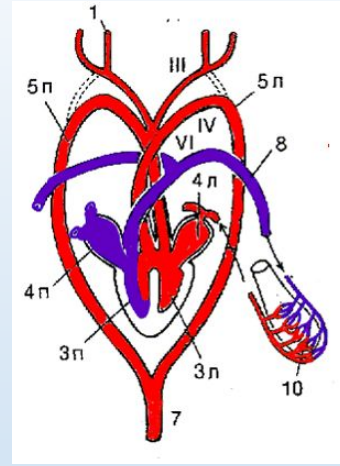
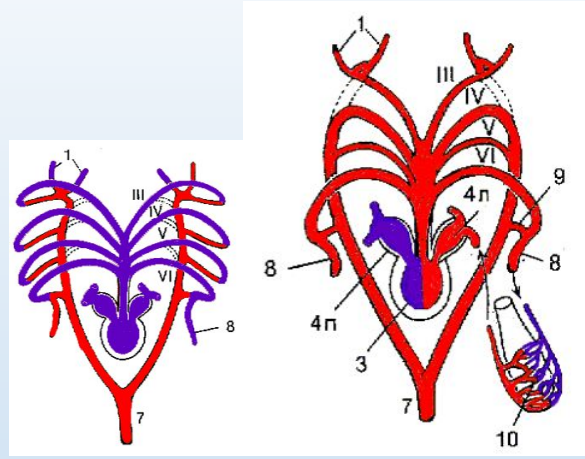
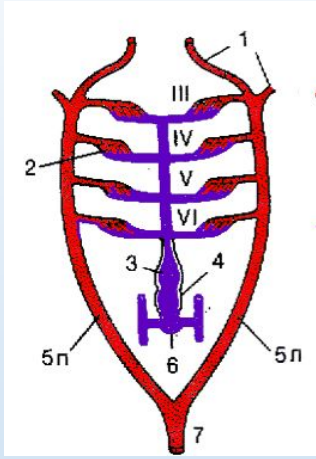
кр — корни спинной аорты

са — сонные артерии (продолжения корней спинной аорты спереди, несут артериальную кровь к голове),

спа — спинная аорта (продолжение корней спинной аорты сзади, несет артериальную кровь к задней части тела),

Ланцетник

- кровеносная система замкнутая
- один круг кровообращения
- роль сердца выполняет пульсирующий сосуд – брюшная аорта.



рыбы

Земноводные (личинка и взрослая особь)

рептилии

млекопитающие

птицы

Рыбы

- один круг кровообращения
- двухкамерное сердце, состоящее из предсердия и желудочка (венозная кровь);
- жаберные сосуды распадаются на

Рептилии

- два круга кровообращения
- трехкамерное сердце
- неполная перегородка в желудочке
- от сердца отходит три сосуда: правая и левая дуги аорты, легочная артерия

Млекопитающие

- два круга кровообращения
- сердце четырехкамерное
- кровь не смешивается и т.д.

Амфибии

- два круга кровообращения;
- трехкамерное сердце
- в правое предсердие собирается вся венозная кровь;
- в левое предсердие поступает артериальная из легких и кожных вен;

Направление эволюции сердечно-сосудистой системы:

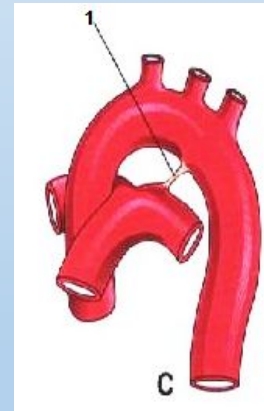
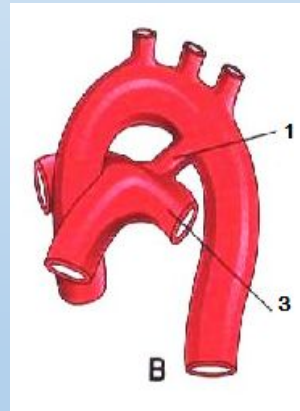
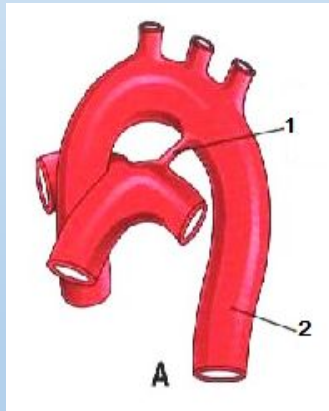
1. Совершенствование строения сердца
2. Дифференцировка крупных сосудов
3. Полное разделение венозной и артериальной крови

Основные эволюционные преобразования в сердечно-сосудистой системе хордовых

- ❖ Усиление главной транспортной функции за счет формирования сердца, крупных артерий с выраженным мышечным слоем, разветвленной сосудистой системы, полного разделения артериальной и венозной крови, и как следствие - повышение уровня оксигенизации тканей, возникновение гомотермности.
- ❖ Расширение числа выполняемых функций: участие в гуморальной регуляции, защитных реакциях, терморегуляции.
- ❖ Изменения, связанные со сменой среды обитания (наземный образ жизни, легочное дыхание, формирование парных конечностей наземного типа):
 - редукция артериальных жаберных дуг
 - появление малого круга кровообращения
 - разделение общего предсердия и общего желудочка на правый и левый отделы
 - смещение сердца из шейной области в грудную для установления оптимальных соотношений с легкими (гетеротопия)
 - редукция кардинальных вен и кьювьеровых протоков, преобразование их в полые, яремные вены и коронарный синус.

ПОРОКИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

- дефекты (незаращивании) межпредсердной и межжелудочковой перегородок, что ведет к возникновению 3-х камерного и очень редко 2-х камерного сердца.
- отклонения в развитии аорты и крупных сосудов, являющихся производными жаберных дуг.

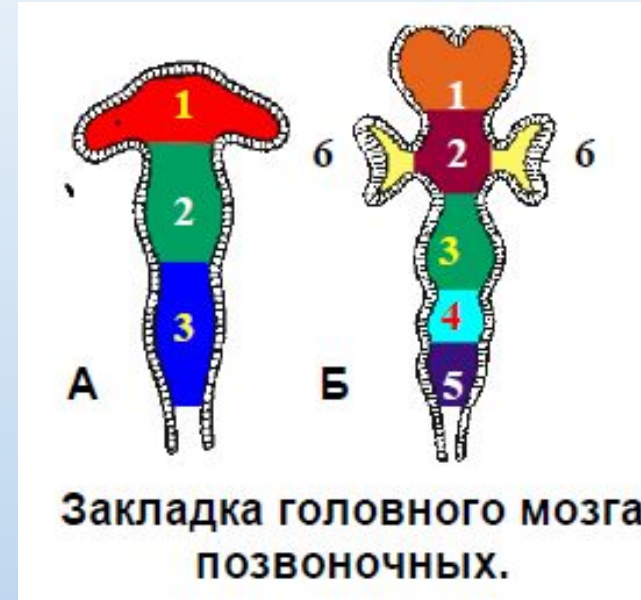


1.Баталов проток;
2.Аорта;
3.Левая легочная
артерия

Филогенез головного мозга позвоночных.

У ланцетника ЦНС - нервная трубка.

У позвоночных на переднем конце нервной трубки образуются 3 мозговых пузыря, затем 5 пузырей, а из них 5 отделов.

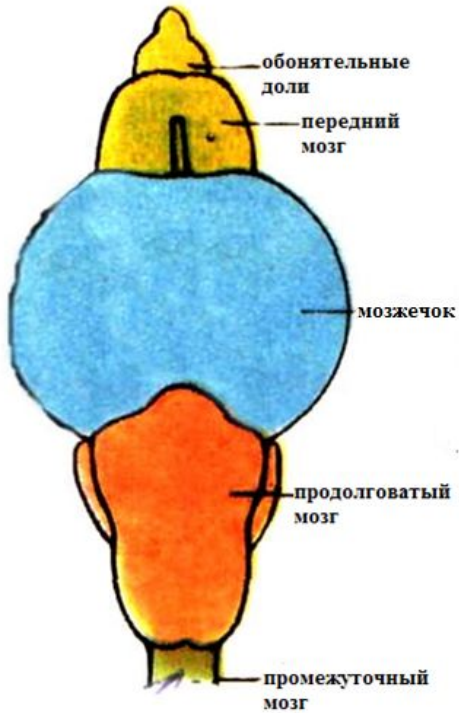


← Ихтиопсидный тип мозга (рыбы)

- передний мозг не разделен на полушария.
- Крыша состоит из эпителия, дно мозга – полосатые тела.
- Самый крупный отдел – средний мозг является интегрирующим центром
- В его области появляется изгиб.
- Хорошо развит мозжечок.

Ихтиопсидный тип мозга (земноводные) →

- Передний мозг разделен на 2 полушария
- В крыше есть нервная ткань, хорошо развиты полосатые тела.
- Интегрирующий центр – средний мозг
- Мозжечок развит слабо.
- 10 пар черепно-мозговых нервов.

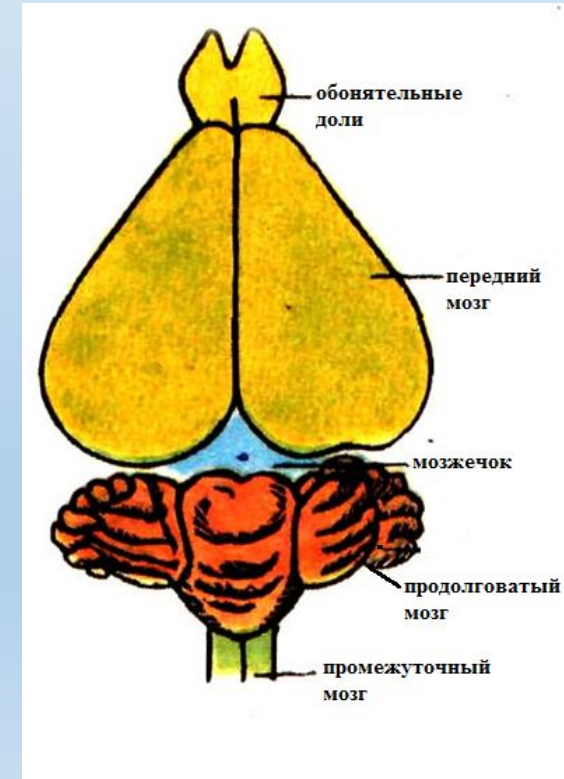
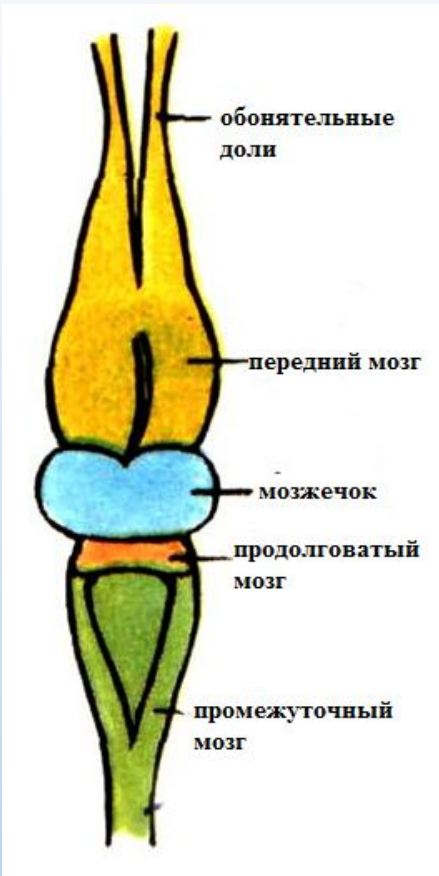


← Зауропсидный тип мозга (пресмыкающиеся, птицы)

- Самый крупный отдел – передний мозг.
- Полушария имеют зачатки коры (древняя кора в виде латерального и медиального островков).
- интегрирующий центр – передний мозг.
- Размеры среднего мозга уменьшены, мозжечок увеличен,
- продолговатый мозг образует изгиб в вертикальной плоскости.
- 12 пар черепно-мозговых нервов

Маммальный тип мозга (млекопитающие) →

- Передний мозг наиболее развит.
- Новая кора развивается из латерального островка коры рептилий.
- Интегрирующий центр – кора.
- У высших млекопитающих есть борозды и извилины.
- Имеется 3 изгиба.
- 12 пар черепно-мозговых нервов.



Направление эволюции головного мозга:

1. Образование относительно крупного головного мозга
2. Увеличение количества нервных клеток и их концентрации
3. Формирование коры больших полушарий и центров высшей нервной деятельности

Основные эволюционные преобразования нервной системы

у позвоночных.

- ❖ **Усиление главной функции** (координирующей и регулирующей) за счет увеличения числа нейронов, усложнения, дифференцировки, появления новых отделов и центров.
- ❖ **Замещение** (постепенное) ихтиопсидного типа головного мозга позвоночных более прогрессивными зауропсидным, а затем млекопитающим. Развитие переднего мозга за счет мантии - формирование новой коры, концентрация в коре высших центров всех видов жизнедеятельности (субституция).
- ❖ **Расширение числа выполняемых функций**, активное участие в гуморальной регуляции, преобразование в единую нейро-гуморальную регулируемую систему.
- ❖ **Смена функций** - передний мозг, выполняющий функцию двигательного центра, становится главным координирующим и интегрирующим отделом мозга.
- ❖ **Дифференцировка** спинного мозга в соответствии с сегментами туловища, редукция его нижнего отдела в связи с исчезновением хвоста и формированием парных задних конечностей.
- ❖ **Гетерохрония**. Передний мозг у млекопитающих опережает в развитии остальные отделы мозга (у других позвоночных развитие идет одновременно).

Онто-филогенетически обусловленные пороки развития нервной системы человека.

- отсутствие полушарий
- ихтиопсидный тип головного мозга
- зауропсидный тип головного мозга
- прозэнцефалия (неразделенные полушария, недоразвитие коры)
- агирия (отсутствие извилин)
- отсутствие головного мозга - анэнцефалия.
- отсутствие переднего мозга - ариэнцефалия.
- микроэнцефалия
- общий желудочек переднего мозга
- несмыкание заднего шва нервной трубки спинного мозга
- отсутствие мозолистого тела

Филогенез мочеполовой системы позвоночных.

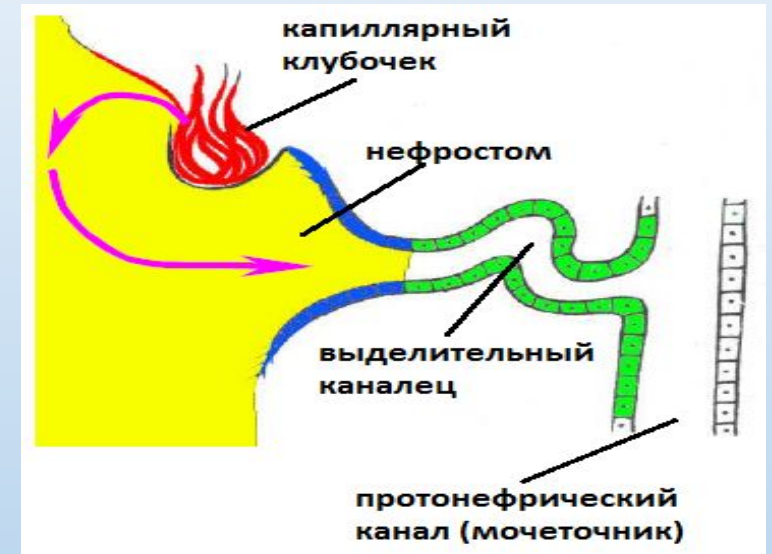
Выделительная

система

Предпочка – головная почка

(пронефрос)

- Закладывается в головной части тела
- Структурно-функциональная единица – воронка с выделительным канальцем (2-12 шт.)
- Воронка открывается в целом, а выделительные канальца в протонефрический канал, соединенный с клоакой
- Непосредственная связь между выделительной кровеносной системами отсутствует
- Низкая эффективность работы



Пронефрос функционирует у круглоротых (миксин)

Закладывается в эмбриогенезе у всех позвоночных

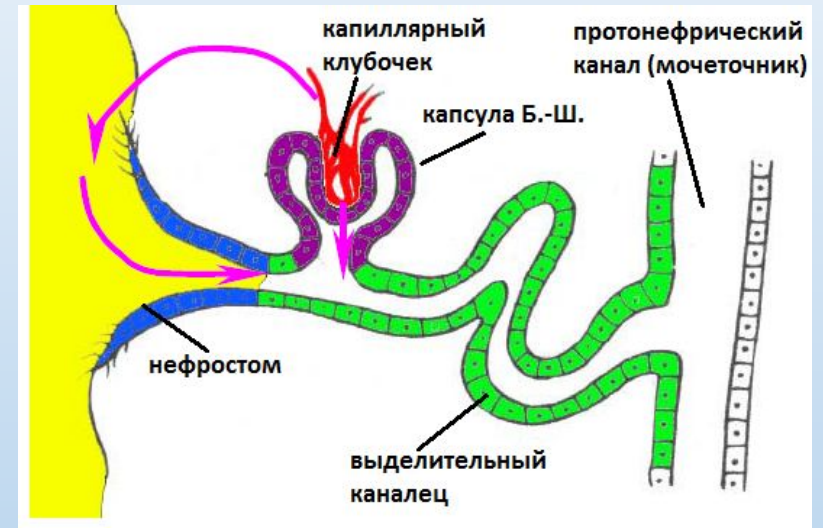
Выделительная

система

Первичная почка – туловищная почка (мезонефрос)

Закладывается в туловищной части.

- Структурно-функциональных единиц – около 100.
- Формируется капсула Боумена-Шумлянского вокруг капиллярных клубочков
- Удлиняются выделительные канальца (обратная адсорбция)
- Воронка сохраняется, но не функционирует.
- Эффективность работы увеличивается



Мезонефрос функционирует у круглоротых, рыб и амфибий

Закладывается в эмбриогенезе у всех позвоночных

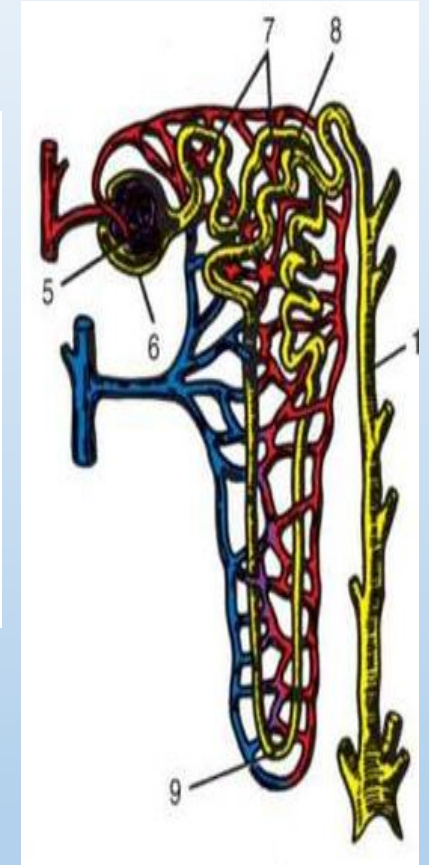
Выделительная система

Вторичная почка – тазовая почка

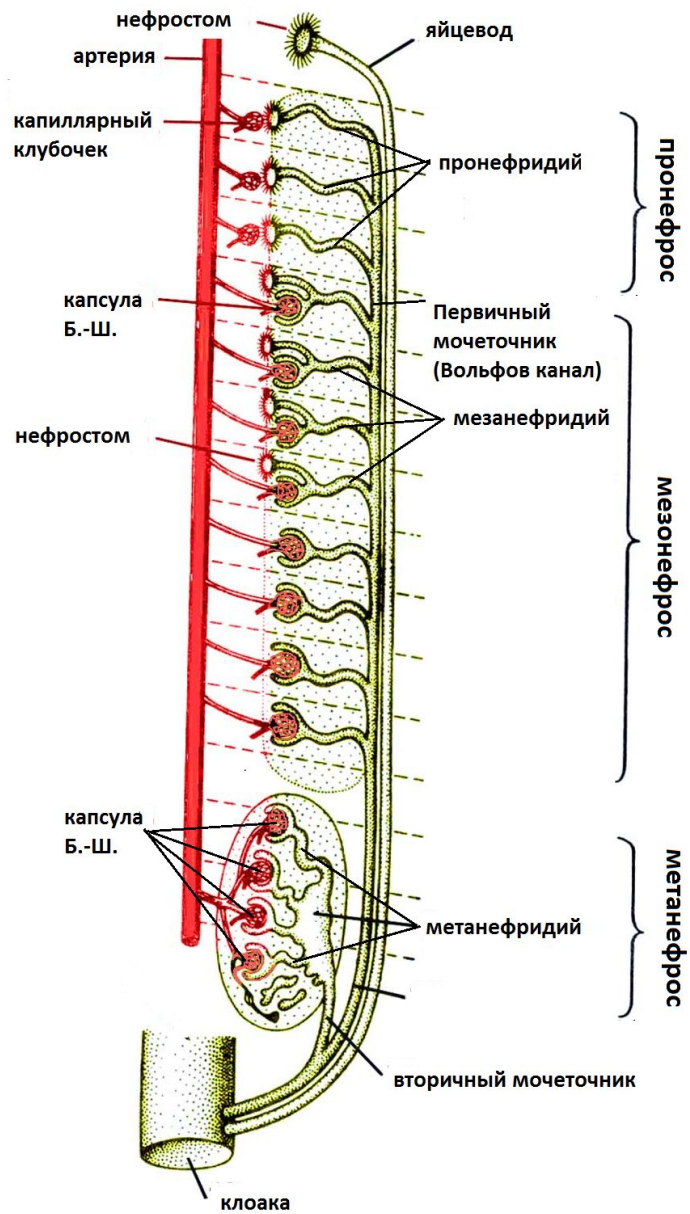
(метанефрос)

Закладывается в тазовом отделе.

- Структурно-функциональных единиц – около 1млн (нефроны).
- Нефроны не имеют воронки. Связь с целомом утрачивается полностью
- Удлиняются и дифференцируются выделительные канальца
- Воронка сохраняется, но не функционирует.
- Высокая эффективность работы (полноценная фильтрация плазмы крови и обратное всасывание воды и веществ)



Закладывается только у рептилий, птиц, млекопитающих.



Направление эволюции выделительной системы:

1. Тесный контакт кровеносной и выделительной систем
2. Увеличение числа структурно-функциональных единиц
3. Избирательное удаление из организма ненужных веществ

Развитие почки
млекопитающих

Эволюционные преобразования в выделительной системе позвоночных животных.

- ❖ Субституция - замещение предпочки первичной, а у высших позвоночных вторичной почкой;
- ❖ Полимеризация однородных структур - увеличение количества нефронов от 6 - 12 в предпочке, до нескольких сотен в первичной и до одного миллиона и более во вторичной почке;
- ❖ Усиление главной функции почек проявляется в значительном возрастании уровня клубочковой фильтрации и канальцевой реабсорбции. Это достигается рядом преобразований:
 - а) увеличением количества нефронов;
 - б) формированием почечного тельца и редукцией воронки, что приводит к установлению непосредственного контакта выделительных канальцев с кровеносной системой и к утрате связи с целомом;
 - в) увеличением размеров почечных телец и усилением почечного кровотока;
 - г) удлинением и дифференцировкой извитых канальцев, образованием петли нефрона.
- ❖ Разделение функций.
Формирование яйцевода из парамезонефрального канала и семяпровода из мезонефрального канала.

Пороки развития:

- Аплазия - отсутствие, гипоплазия - уменьшение, дистопия - смещение почки.
- Блуждающая почка.
- Сращение – подковообразная почка.
- Удвоение почек.
- Отсутствие или удвоение мочеточника.
- Аплазия или удвоение мочевого пузыря.

Пронефритический

канал

Пронефритический
канал

Парамезонефральн
ый
(Мюллеров)

Мезонефральный
(Вольфов)

Низшие
позвоночные



яйцево

редуцируе
тся

мочеточни

мочеточник,
семяпровод

Высшие
позвоночные



маточные трубы,
матка
редуцируе
тся

редуцируе
тся
семяпров
од

Онто-филогенетически обусловленные пороки развития выделительной и половой систем у человека.

1. Гартнеров канал - сохранение мезонефрального канала у женщин - источник кист и злокачественных перестроек.
2. Различные аномалии развития матки и влагалища (двойная, седловидная, двурогая, разделенная, асимметричная матка; двойное или разделенное перегородками влагалище)
3. Крипторхизм - неопущение яичек.
4. Незаращение пахового канала - предрасположенность к грыжам
5. Неразделение клоаки (в норме на седьмой неделе она делится на мочеполовой синус и прямую кишку) - различные свищи между прямой кишкой и мочеполовой системой - ректовезикальный свищ; ректовагинальный свищ.

Источники:

- Биология: учебник: в 2 т. / под ред. В. Н. Ярыгина. - 2011. - Т. 2. - 560 с. : ил.
- Биология : рук. к практ. занятиям : учеб. пособие / под ред. В. В. Маркиной. 2010. - 448 с. : ил.
- Биология / Под ред. А.А.Слюсарева. - Киев.: Вища школа, 1987 г.
- Руководство к лабораторным занятиям по биологии / Под ред. Ю. К.Богоявленского. - М.: Медицина, 1988 г.
- Интернет ресурсы