

Тема 12. Анатомия сердца и кровеносных сосудов плода

Впервые кровеносные сосуды образуются в желточном мешке на 3-й неделе эмбриогенеза. Вскоре около желточного мешка, в области передних кишечных ворот возникает закладка сердца и центральных артерий. На 4-й неделе формируется первичная кровеносная система. Она замкнута и включает двухкамерное венозное сердце. Дефинитивная кровеносная система намечается в течение 2-го месяца эмбриогенеза в связи с развитием 4-х-камерного сердца и отделением лимфатической системы. Окончательное строение сосудистой системы приобретает после рождения, в связи с переходом в воздушную среду обитания и резким расширением «ассортимента» антигенов различной природы.

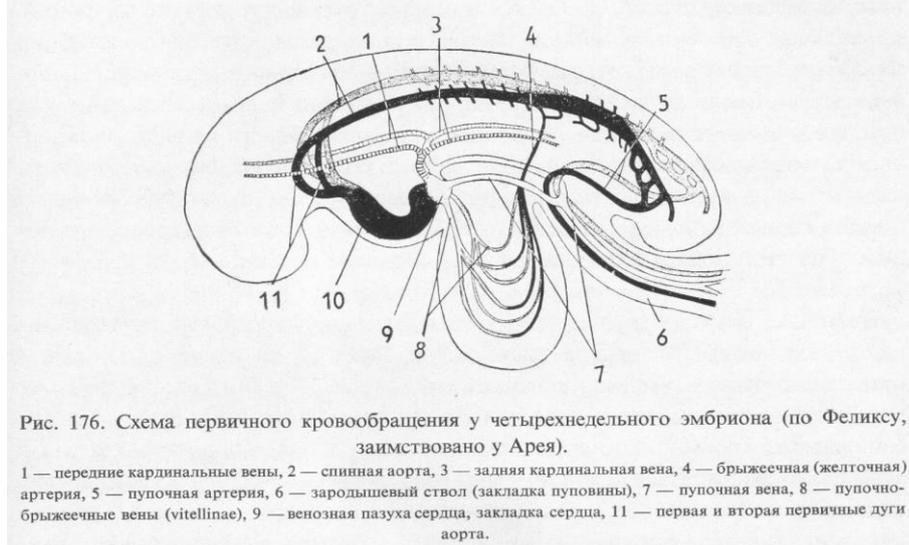


Рис. 176. Схема первичного кровообращения у четырехнедельного эмбриона (по Феликсу, заимствовано у Арея).

1 — передние кардинальные вены, 2 — спинная аорта, 3 — задняя кардинальная вена, 4 — брыжечная (желточная) артерия, 5 — пупочная артерия, 6 — зародышевый ствол (закладка пуповины), 7 — пупочная вена, 8 — пупочно-брыжечные вены (vitellinae), 9 — венозная пазуха сердца, закладка сердца, 11 — первая и вторая первичные дуги аорта.

Развитие сердца в онтогенезе человека

Закладка сердца начинается очень рано, у эмбриона 1,5 мм длины (середина 3-й недели), когда появляются первые сомиты. Источниками развития сердца служат проэндотелиальные зачатковые клетки (ангиобласты) и окружающие их мезенхимные клетки. Ангиобласты образуют парное скопление в области передних кишечных ворот, между желточным мешком и передней кишкой.

Основой сердца у человека является область кардиогенной пластинки (под краниальным концом тела эмбриона в сгущенной мезодерме спланхноплевры). В этой области возникают две продольно идущие трубки, располагающиеся по обе стороны от передних кишечных ворот. Формирование складок эктодермы и мезодермы в виде головной туловищной складки приводит к соединению зачатков сердца вентральнее средней линии. Слияние зачатков сердца происходит в краниокаудальном направлении, от артериального конуса к предсердию. Зачатковые кардиомиоциты существуют еще до появления сердечных трубочек. Парная закладка сердца врастает в толщу вентральной брыжейки передней кишки.

17-й день (стадия 2 сомитов): *правый и левый зачатки сердца* состоят из 2-3 пузырьков-мешочков с ангиобластами в стенках.

18-й день (стадия 4 сомитов): правый и левый зачатки сердца представлены *полый эндотелиальной трубкой*. Снаружи от них определяется парная закладка миокарда. Между эндотелиальной трубкой и миокардиальной пластинкой появляется бесструктурный *кардиальный гель*. Он является источником развития плотной фиброзной основы будущих предсердно-желудочковых клапанов.

19-й день (стадия 7 сомитов): сближающиеся эндотелиальные трубки сердца погружены в кардиальный гель и содержат первичные кровяные клетки. Это свидетельствует о подключении закладки сердца к кровеносному руслу желточного мешка.

20-й день (стадия 10 сомитов): 2 эндотелиальные трубки сливаются в одну, полностью окруженную упругим кардиальным гелем. Таким образом, в конце 3-й недели эмбриогенеза формируется *непарная закладка сердца*. Однокамерное сердце имеет вид прямой, почти вертикально расположенной трубки. В ней выделяют 3 отдела:

- 1) верхний — *примитивная луковича (bulbus cordis)*, переходящая в артериальный конус (truncus arteriosus);
- 2) средний — *собственно сердце*;
- 3) нижний — *венозный синус (sinus venosus)*, расположенный в поперечной перегородке.

Часть вентральной брыжейки между сердцем и передней кишкой получила название дорсальной брыжейки сердца — дорсальный мезокард (mesocardium). Уже в эти сроки *сердце начинает пульсировать и определяется циркуляция кровяных клеток (20-21-й день, зародыш 2 мм длины)*.

На 4-й неделе происходят неравномерный рост закладки сердца, ее деформация и разделение на предсердие и желудочек (*двухкамерное сердце*). Средний отдел закладки сердца растет ускоренно и

образует петлю (*сигмовидное сердце*): ее передняя, нисходящая часть – *общий желудочек*; задняя, восходящая часть – *общее предсердие*. Поскольку задний, атриальный отдел сердца фиксирован дорсальным мезокардом, короткой брыжейкой, а нижний отдел, венозный синус сердца – поперечной перегородкой, то в процессе роста опускается вниз передний, вентрикулярный отдел сердца. В результате общее предсердие оказывается выше общего желудочка и позади артериального конуса. Дорсальному росту предсердия препятствует широкая закладка легких, а вентральному росту – более узкий артериальный конус. Предсердие огибает конус по бокам и образует 2 полых выроста – *правое и левое ушки*. Одновременно сердце достигает громадных относительных размеров – самый крупный внутренний орган зародыша 4-х недель.

Сердце в процессе роста опускается из области шеи в формирующуюся грудную полость – опущение сердца (*descensus cordis*). При этом опускании за закладкой сердца следуют оба возвратных нерва (*nervi recurrentes*) и соответствующие сердечные нервы. Поэтому сердце в definitivoном состоянии получает симпатическую иннервацию и из шейных, и из грудных паравerteбральных узлов. Позже, после того, как диафрагма займет свое окончательное положение, сердце совершает частичный поворот, причем таким образом, что область желудочков, которые сначала по отношению к предсердиям располагались вентрально, теперь занимают к ним каудальное положение.

В течение 2-го месяца эмбриогенеза сердце становится *четырёхкамерным*. К этому приводит рост перегородок в полости сердца, в местах фиксации его закладки. *Первичная межпредсердная перегородка* (*septum primum*) появляется в конце 4-й недели на верхнезадней стенке общего предсердия, где находится место впадения общих кардинальных вен. Первичная межпредсердная перегородка полностью разделяет правое и левое предсердия, которые растут назад. Затем перегородка прорывается под давлением крови в правом предсердии: левое предсердие почти пустое – малый круг кровообращения не функционирует. Образуется вторичное межпредсердное отверстие – примитивное, первичное, овальное отверстие (*foramen ovale primum*). Несколько позже (*≈7-я нед.*) растущая из верхнезадней стенки правого предсердия *вторичная межпредсердная перегородка* (*septum secundum*) ограничивает *овальное отверстие* на месте межпредсердного сообщения. Вторичная перегородка в значительной степени перекрывает первичное овальное отверстие, так что кровь в сердце из правого предсердия может проникать в левое предсердие, поскольку перегородки из-за более высокого кровяного давления в правом предсердии под действие тока крови расступаются и делают, таким образом, овальное отверстие доступным для протока крови. Протекание крови в обратном направлении невозможно, поскольку кровоток прижимает обе перегородки одну к другой и, таким образом, почти полностью закрывает овальное отверстие. После родов давление крови в правом предсердии сильно падает, а в левом предсердии оно, наоборот, значительно поднимается, в результате чего перегородки окончательно примыкают друг к другу и срастаются между собой; благодаря этому овальное отверстие навсегда закрывается, и возникает окончательная совершенная предсердная перегородка – *septum atriorum*. Однако, в месте бывшего овального отверстия стенка этой перегородки образована только одним слоем, в связи с чем она является более тонкой. В этом месте располагается овальная ямка – *fossa ovalis*, ограниченная серповидным краем вторичной перегородки (*limbus fossae ovalis*). Первичная перегородка, перекрывающая сначала вторичное овальное отверстие, отчасти сохраняется, формируя заслонку овального отверстия – *valvula foraminis ovalis*. Однако очень часто даже после рождения полного замыкания овального отверстия не происходит, и оно частично или же полностью остается зияющим (*foramen ovale apertum*). Высокая степень данного порока развития может служить причиной различных нарушений циркуляции крови.

В эти же сроки (5-6 недель) задненижняя стенка общего желудочка растет вверх и образует *межжелудочковую перегородку* (*septum interventriculare*). Она возникает как складка стенки в процессе каудального роста общего желудочка, в результате ограничения его латерального роста быстро увеличивающимися легкими. Межжелудочковая перегородка неполная: между правым и левым желудочками сохраняется *межжелудочковое отверстие* (*foramen interventriculare*). Охваченный предсердиями и ушками артериальный конус также деформируется и разделяется на 2 части: в процессе роста его стенки образуют 2 *продольные складки*. Они разделяют *артериальный конус* на *легочный ствол* и *восходящую аорту*, а также дополняют *межжелудочковую перегородку* (*перепончатая часть*) и закрывают межжелудочковое отверстие в связи с развитием клапанов.

После рождения начинает активно функционировать малый (легочный) круг кровообращения в связи со становлением самостоятельного дыхания ребенка. В результате происходит выравнивание давлений в полостях предсердий. Это способствует заращению овального отверстия в межпредсердной перегородке: по мере растяжения растущих стенок предсердий происходит сужение овального отверстия. Овальное отверстие зарастает у большинства грудных детей 3-12 месяцев. На его месте остается овальная ямка межпредсердной перегородки. Таким образом, завершается разобщение большого и малого кругов кровообращения. Их функциональное разобщение, за счет сокращения мышц, наступает раньше анатомического.

Аномалии развития сердца

Аномалии развития сердечно-сосудистой системы встречаются часто и составляют 16-40% всех пороков развития человека. Особенно опасны пороки сердца:

1. **Акардия** – отсутствие сердца (нежизнеспособный плод).
2. **Дистопия сердца**, чаще всего встречается декстракардия – правостороннее положение сердца, изолированная аномалия или как часть системной аномалии (обратное положение внутренних органов).
3. **Дефект межпредсердной перегородки:**
 - *первичный дефект* – неразвитие вторичной межпредсердной перегородки, часто сочетается с пороками развития предсердно-желудочковых клапанов и высоким дефектом межжелудочковой перегородки;
 - *вторичный дефект* – незаращение овального отверстия.
4. **Дефект межжелудочковой перегородки:**
 - *отсутствие перегородки* – трехкамерное сердце (общий желудочек) или двухкамерное сердце (предсердие и желудочек);
 - *межжелудочковое отверстие* – вторичный дефект.
5. **Пороки предсердно-желудочковых клапанов, клапанов аорты и легочного ствола.**
6. **Общий артериальный ствол** – неразделенные легочный ствол и восходящая аорта (отсутствие продольной перегородки), приводит к смешению артериальной и венозной крови.
7. **Транспозиция легочного ствола и восходящей аорты** – они меняются местами при неправильном росте продольной перегородки артериального конуса.
8. **Стеноз и атрезия легочного ствола** возникают при смещении продольной перегородки артериального конуса вправо.
9. **Стеноз и атрезия восходящей аорты** возникают при смещении продольной перегородки артериального конуса влево.
10. **Коарктация аорты** – сужение вплоть до атрезии перешейка аорты – места перехода дуги в нисходящую аорту.
11. **Открытый артериальный (боталлов) проток** – соединение дуги аорты и левой легочной артерии.
12. **Триада Фалло** – комбинированный порок сердца (результат нарушения роста межжелудочковой перегородки):
 - а) дефект межжелудочковой перегородки;
 - б) стеноз легочного ствола;
 - в) гипертрофия миокарда правого желудочка (вторичный, компенсаторный процесс).
13. **Тетрада Фалло** – к указанной триаде присоединяется декстрапозиция аорты. Тетрада Фалло составляет 40-50% всех пороков сердца.
14. **Пентада Фалло** – к тетраде присоединяется дефект межпредсердной перегородки.
15. **Дистопия левой венечной артерии** – отходит от легочного ствола (несет венозную кровь).
16. **Непарная венечная артерия**, формирующая кольцо или разделяющаяся на разные ветви (повышенный риск инфаркта миокарда).

Развитие артерий

Развитие всех сосудов, включая сердце, происходит из 2-х источников – ангиобласта и мезодермы. *Ангиобласт* – это специализированный зачаток сосудистого эндотелия. Прозендотелиальные зачатковые клетки возникают в эпибласте, а затем из него выселяются в первичную полосу у зародышей 2-2,5 недель, далее – в мезодерму. Из мезодермы ангиобласты мигрируют в мезенхиму одновременно с выселением энтомеzenхимы и смешиваются с ней.

В составе мезенхимы ангиобласты образуют компактные скопления – *превазоиды*. Их канализация приводит к формированию пузырьков-мешочков и трубочек – это *вазоиды*. *Полимеризация вазоидов* сопровождается развитием сердца и главных кровеносных стволов у зародышей 2,5-3,5 недель. Так появляются аорта, легочный ствол, кардинальные вены, пупочные и желточнобрыжеечные *сосуды*. Их ветвление приводит к образованию в теле зародыша протокапиллярной сети. Развитие органов сопровождается постепенной магистральной частью сосудов и дифференциацией первичной кровеносной системы.

Первичное кроветворение в составе вазоидов наблюдается только в стенке желточного мешка. Первые кровяные островки появляются уже на 12-й день эмбриогенеза (конец имплантации, двухслойная гастрюла). Кровь поступает в тело зародыша только после закладки сердца и центральных кровеносных сосудов. Позднее, в период активной циркуляции крови (эмбрионы 4-5 недель), центром кроветворения становится печень. В густой сети ее синусоидов определяется множество делящихся эритробластов.

У эмбриона 3-х недель артериальный конус разделяется на 2 короткие восходящие (вентральные) аорты (aortae ascendentes). Они поворачивают вниз и переходят в 2 нисходящие (дорсальные) аорты (aortae descendentes), которые сливаются в непарный ствол нисходящей аорты (aorta descendens) в средней части тела зародыша. В его нижней части аорта разделяется на конечные ветви – 2 пупочные артерии (arteriae umbil-

icales), которые проходят вместе с протоком аллантаоиса (*ductus allantoideus*), направляясь в пуповину. На уровне жаберных дуг (промежутков между жаберными карманами головной кишки) 2 вентральные и 2 дорсальные аорты соединяются 6 парами аортальных дуг (жаберные артерии).

Редукция жабер и развитие дефинитивных органов, прежде всего легких, сопровождаются адекватными изменениями артериальной системы у зародышей 4-7 недель:

- 1) артериальный конус разделяется на легочный ствол (передняя часть) и восходящую аорту;
- 2) VI (нижняя) пара аортальных дуг преобразуется в легочные артерии: правая дуга – правая легочная артерия, левая дуга – левая легочная артерия и артериальный проток (*ductus arteriosus, Botalli*);
- 3) начало вентральных аорт и IV пара аортальных дуг: левые – дуга аорты, правые – плечеголовный ствол (из вентральной аорты) и правая подключичная артерия (из дуги аорты);
- 4) средний отдел вентральных аорт (между IV и III парами аортальных дуг) – общие сонные артерии;
- 5) III пара аортальных дуг и начало дорсальных аорт (между III и I парами аортальных дуг) – внутренние сонные артерии;
- 6) конечный отдел вентральных аорт (между III и I парами аортальных дуг) – наружные сонные артерии;
- 7) I, II и V пары аортальных дуг редуцируются.

Из нисходящей аорты (исходной дорсальной аорты) отходят парные и сначала сегментно расположенные артерии, которые снабжают кровью как соответствующие сегментные мышцы, так и органы эмбриона. В соответствии с их ходом их можно разделить на 3 вида:

- 1) дорсальные (межсегментные) ветви;
- 2) латеральные (висцеральные) ветви;
- 3) вентральные (спланхнические) ветви.

В течение 5-7-й недель эти сосуды различным образом трансформируются, благодаря чему возникают в общем такие взаимоотношения, которые наблюдаются во взрослом организме. Например, в грудной области крупные ветви образуются по мере формирования стенки тела. Они расположены между ребрами и называются соответственно межреберными артериями. Краниальнее подключичных артерий шейные межсегментарные артерии соединяются серией анастомозов, в результате чего образуются позвоночные артерии. После появления позвоночных артерий все корни межсегментарных артерий исчезают, и позвоночные артерии становятся ветвью подключичной артерии.

Латеральные (висцеральные) ветви нисходящей аорты не располагаются сегментно, они отходят в латеральном направлении и идут ко всем органам, которые возникают из мочеполовой пластинки (почечная артерия, брюшная артерия диафрагмы, семенная артерия, яичниковая артерия).

Вентральные (спланхнические) ветви с самого начала располагаются не совсем сегментно. К ним относятся пупочно-брыжеечные (желточные) артерии – *arteriae omphalomesentericae (vitellinae)*, сначала парные, которые отходят от дорсальной аорты и идут по направлению к желточному мешку. Со временем их число снижается до трех артерий, кровоснабжающих область брюшной полости: утробная артерия – *arteria coeliaca* (область желудка и поджелудочной железы), верхняя, краниальная, брыжеечная артерия – *arteria mesenterica cranialis* (область тонкого кишечника), нижняя, каудальная, брыжеечная артерия – *arteria mesenterica caudalis* (область толстого кишечника).

Кроме того, от дорсальной артерии отходят парные пупочные артерии (*arteriae umbilicales*). Впоследствии место их устья перемещается в наружную подвздошную артерию – *arteria iliaca externa*, которая вместе с внутренней подвздошной артерией (подчревной артерией – *a. iliaca interna, arteria hypogastrica*) и общей подвздошной артерией – *arteria iliaca communis* образуется из проксимальных отделов пупочной артерии.

Артерии конечностей образуются в результате врастания некоторых латеральных ветвей дорсальной аорты в закладки конечностей. Когда на 5-й неделе развития у зародыша человека начинают формироваться почки передних конечностей, они располагаются на уровне 7-й пары межсегментарных артерий, возникновение которых связано с шейными сомитами. Поэтому вполне естественно, что именно эти сосуды, увеличиваясь в дальнейшем, образуют подключичные артерии – главный артериальный ствол верхней конечности, которая продолжается в плечевую артерию – *arteria brachialis*, разветвляясь далее в закладке конечности.

Почки задних конечностей возникают вскоре после установления плацентарного кровообращения. От пупочных артерий, которые к этому периоду достигают внушительных размеров, ответвляются мелкие сосуды (5 недель), снабжающие почки конечностей. По мере роста конечностей эти небольшие сосуды растут вместе с ними и превращаются в наружные подвздошные артерии (*a. iliaca externa*).

Конечными ветвями нисходящей дорсальной аорты у зародыша являются пупочные артерии, направляющиеся в плаценту. После рождения плацентарное кровообращение прекращается и пупочные артерии редуцируются до размеров небольших сосудов, снабжающих кровью ткани между местом их отхождения от аорты и пупком. Их проксимальные участки теперь называются внутренними подвздошными, или подчревыми, артериями (*a. iliaca interna*), а фиброзные тяжи, которые идут вдоль стенки мочевого пузыря, – латеральными, или медиальными, пупочными связками.

Аномалии и пороки развития артерий

1. **Стенозы** (сужение полости) и **коарктация** (перетяжка ствола) **легочного ствола и аорты**, их ветвей.
2. **Правосторонняя дуга аорты** с транспозицией ее ветвей (встречается при редукции левого корня дорсальной аорты).
3. **Две дуги аорты** (сохранение IV пары аортальных дуг).
4. **Удвоение аорты**, отсутствие обычной дуги аорты (сохранение обеих корней нисходящей аорты и редукция IV пары аортальных дуг).
5. **Аортальное кольцо**, которое охватывает трахею и пищевод, может привести к нарушению глотания. Опасность повреждения при трахеотомии. Аномалия обусловлена персистированием IV пары аортальных дуг и обеих корней нисходящей аорты.
6. **Аномалии ветвления дуги аорты:**
 - удвоение плечеголового ствола (правый и левый);
 - сонноплечеголовой ствол (до 1/3 случаев): левая общая сонная артерия начинается общим стволом с плечеголовным стволом от дуги аорты, затем пересекает спереди трахею – возможно повреждение при трахеотомии;
 - непарная общая сонная артерия;
 - 4 ветви дуги аорты – 2 общие сонные и 2 подключичные артерии;
 - левая позвоночная артерия как ветвь дуги аорты (возможны таким образом 5 ветвей дуги аорты);
 - непарная щитовидная артерия, чаще отходит от плечеголового ствола, иногда – от дуги аорты.Можно повредить при трахеотомии или других оперативных вмешательствах.
7. **Отсутствие чревного ствола** (его ветви самостоятельно отходят от аорты).
8. **Общий ствол верхней брыжеечной артерии и чревного ствола.**
9. **Общий ствол верхней брыжеечной и печеночной артерий.**
10. **Добавочная печеночная артерия**, отходящая от левой желудочной артерии.
11. **Добавочная почечная артерия**, отходящая от брюшной аорты или верхней брыжеечной артерии.
12. **Аномальное положение правой почечной артерии** впереди нижней полой вены, что может затруднить отток венозной крови.

Развитие вен

В конце 1-го месяца эмбриогенеза венозный синус (sinus venosus) сердца располагается в толще поперечной перегородки. В синус впадают: с боков – общие кардинальные вены, или кювьеровы протоки (venae cardinales или ductus Cuvieri), снизу – желточно-пупочные стволы. Кювьеровы протоки объединяют передние и задние кардинальные вены (venae precardinales et postcardinales), которые располагаются на задней целомической стенке. Желточно-пупочные стволы объединяют желточно-брыжеечные (vena omphalomesentericae) и пупочные вены (vena umbilicalis). Пупочные вены выходят из аллантаоиса (плаценты). Желточнобрыжеечные вены выходят из стенок желточного мешка и восходят вдоль средней кишки. Их верхние концы охвачены трабекулами печени и расчлняются на сеть печеночных синусоидов. Ниже печени желточно-брыжеечные вены объединены 3 анастомозами: верхний и нижний огибают среднюю кишку спереди, разделены вентральным зачатком поджелудочной железы; средний анастомоз огибает среднюю кишку сзади, под дорсальным зачатком поджелудочной железы. Дальнейший неравномерный рост дефинитивных органов приводит к коренной перестройке первичного венозного русла, образованию дефинитивных вен и закладке лимфатической системы.

Воротная вена, ее корни и ветви возникают у эмбрионов 4-6 недель на базе подпеченочной системы желточно-брыжеечных вен. Неравномерный рост желудка, двенадцатиперстной кишки и зачатков поджелудочной железы сопровождается перерывом среднего сегмента левой желточно-брыжеечной вены и нижнего анастомоза. Средний сегмент правой желточно-брыжеечной вены и средний анастомоз образуют ствол воротной вены, средний анастомоз и нижний сегмент левой желточно-брыжеечной вены – верхнюю брыжеечную вену, нижний сегмент правой желточно-брыжеечной вены – нижнюю брыжеечную вену, верхние сегменты обеих желточно-брыжеечных вен и верхний анастомоз – ветви воротной вены. Селезеночная вена дифференцируется на 6-й неделе в связи с ростом селезенки и впадает в общий ствол брыжеечных вен. Общий угол слияния брыжеечных и селезеночной вен обнаруживается в начале 7-й недели позади закладки головки поджелудочной железы. Дефинитивный вариант формирования воротной вены определяется в процессе вторичных сращений брюшины.

Аномалии воротной вены:

- 1) преудоденальное расположение в случае редукции среднего и персистирования нижнего анастомоза желточно-брыжеечных вен;
- 2) кольцевидная воротная вена – при персистировании обоих указанных анастомозов. Данные аномалии могут привести к нарушению кишечной проходимости.

Нижняя полая вена формируется у эмбрионов 4-7 недель в процессе перестройки системы посткардинальных вен (v.subcardinales). Замена первичных почек вторичными сопровождается редукцией

брюшной части задних кардинальных вен. Их грудные отрезки сохраняются, но удаляются от сердца и превращаются в непарную и полунепарные вены. Притоки задних кардинальных вен объединяются продольными анастомозами: передние притоки – *субкардинальными венами*, задние притоки – *супракардинальными венами*. Вторичные кардинальные вены расширяются и получают значительное развитие в брюшной полости, где замещают задние кардинальные вены.

Закладка хвостатой доли печени (4 нед.) сопровождается образованием дивертикула правого желточно-пупочного ствола – это *примитивная полая вена*. Она объединяет печеночные синусоиды на дорсальной поверхности печени. Синусоиды образуют *печеночные вены*.

На 6-й неделе примитивная полая вена достигает закладки правого надпочечника и вовлекает в свой состав правую верхнюю субкардинальную вену около надпочечника. Она служит продольным анастомозом передних, брыжеечных притоков посткардинальной вены. При этом расширяется *верхний интерсубкардинальный анастомоз*. Он объединяет верхние субкардинальные вены.

В начале 7-й недели сближаются быстрорастущие закладки почек и надпочечников. Расположенный между ними верхний интерсубкардинальный анастомоз принимает нижние субкардинальные вены и резко расширяется в *субкардинальный синус*. В него впадают нижние *мезокардинальные вены* – это продольные анастомозы вен, соединяющих около почек нижние субкардинальные и супракардинальные вены. Ствол нижней полой вены дополняют правая часть субкардинального синуса, правая нижняя мезокардинальная вена и правая часть *сакрокардинального анастомоза* (соединение *сакрокардинальных вен* – тазовых концов посткардинальных вен, а также их медиальных коллатералей – каудальных вен).

Субкардинальный синус разделяется на левую почечную вену (центральная часть синуса) и забрюшинный лимфатический мешок.

Сакрокардинальный анастомоз дифференцируется соответственно на левую общую подвздошную вену и субаортальный лимфатический мешок.

Аномалии нижней полой вены:

1) двухствольная полая вена – удвоение нижней полой вены до уровня почек (персистирование обеих нижних мезокардинальных вен, соединенных левой почечной веной);

2) штопоробразная полая вена возникает в случае редукции правой и персистирования левой нижних мезокардинальных вен.

Аномалии левой почечной вены:

1) ретроаортальное положение (редукция субкардинального венозного синуса и магистрализация предпозвоночного венозного сплетения);

2) кольцевидная почечная вена, окружающая брюшную аорту, развивается из центральной части субкардинального синуса и предпозвоночного сплетения вен;

3) замещение сплетением мелких вен в случае избыточной деформации субкардинального синуса, расчленяемого артериями мезонефроса (преаортальное положение), или полной редукции синуса (ретроаортальное положение левой почечной вены).

Непарная (полунепарная) вена развивается параллельно нижней полой вене из персистировавшей грудной части посткардинальной вены. Ее значение в брюшной полости падает в связи с развитием нижней полой вены. Супракардинальные вены брюшной полости образуют восходящие поясничные вены. Они продолжают в непарную (полунепарную) вену.

Верхняя полая вена развивается из резко расширяющейся правой общей кардинальной вены и частично – из передней кардинальной вены. Соответственно преимущественное развитие получает грудная часть правой посткардинальной (непарной) вены. Прекардинальные вены дают начало внутренним яремным венам, а их латеральные притоки – подключичным венам. Средние отрезки прекардинальных вен и их анастомоз образуют плечеголовые вены.

Венечный синус сердца образуется из остатка левой общей кардинальной вены.

Аномалии верхней полой вены:

1) удвоение верхней полой вены, при этом левая плечеголовая вена отсутствует или недоразвита. Левая полая вена переходит в венечный синус сердца. Редукция поперечного анастомоза прекардинальных вен способствует персистированию обеих прекардинальных вен на всем протяжении и удвоению верхних полых вен;

2) удвоение непарной вены – полунепарная и добавочная полунепарная вена образуют единый ствол. В результате полунепарная вена становится притоком левой плечеголовой вены. Между непарной и полунепарной венами поперечный анастомоз может отсутствовать. Эту аномалию можно объяснить редукцией левой общей кардинальной вены, но с одновременным персистированием нижнего отрезка левой прекардинальной вены. Он дополняет левую посткардинальную вену до уровня поперечного анастомоза прекардинальных вен.

Легочные вены являются новообразованиями и сливаются в общую легочную вену. Она втягивается в левое предсердие. Поэтому дефинитивные легочные вены впадают в него раздельно.

Аномалии легочных вен: 1-2 легочные вены впадают в верхнюю полую или непарную вену (сохранение эмбриональных анастомозов).

Пупочная (аллантаисная) вена (venae umbilicales). В конце 1-го месяца эмбриогенеза зародыш связан с формирующейся плацентой 2 пупочными венами. Они несут оксигенированную кровь в венозный синус сердца. Рост печени приводит к перерыву краниальных отрезков пупочных вен. Под печенью левая пупочная вена образует 2 ветви: одна ветвь соединяется с левой ветвью воротной вены, другая ветвь – с печеночными синусоидами и образует аранциев или *венозный проток печени, ductus venosus (Arantii)*. Аранциев проток по выходу из печени соединяется с печеночными венами и впадает в нижнюю полую вену. Связь с пупочной веной объясняет содержание смешанной крови в левой ветви воротной вены и потому значительное развитие левой доли печени у плода. Редукция правой пупочной вены обусловлена преимущественным ростом правой доли печени.

Кровообращение плода

У эмбрионов 3-4 недель формируются 3 круга кровообращения – *желточный, телесный и аллантаисный (пупочный)*. С развитием легких телесный круг разделяется на большой, или собственно телесный, и малый, или легочный. Поскольку легочное дыхание у зародышей отсутствует, легкие малы, то легочное кровообращение ограничено.

Желточный круг кровообращения вначале является основным, поскольку желточный мешок служит центром эмбрионального кроветворения. Кровеносное русло мешка связано с закладкой сердца желточнобрыжеечными артериями и венами. Между этими органами и начинается первичная циркуляция крови у эмбриона 3-х недель. На 4-й неделе начинается формирование телесного круга кровообращения: сосуды соединяют сердце с другими органами зародыша.

Нервы и кровеносные сосуды развиваются в тесной связи с обслуживаемыми структурами. Ориентация матрикса, в котором растут сосуды, и гидростатическое давление содержащейся в сосудах жидкости влияют на путь кровеносных сосудов, их ветвление и толщину стенок. Как и нервы, кровеносные сосуды растут главным образом по направлению к органам с активным обменом веществ.

Кровеносная система высших позвоночных развивается в тесной связи с внезародышевыми оболочками, которые образуют четыре мешка – амнион, намечающийся у человека уже в начале имплантации, с началом выселения энтодермы (выделение гипобласта); хорион; желточный мешок (внезародышевая печень) и аллантаис (первичный мочевого мешок).

Желточный стебелек служит границей между непосредственно переходящими друг в друга внезародышевыми и зародышевыми оболочками, висцеральным листком боковой пластинки мезодермы. В мезодермальной части желточного мешка развивается густая сеть первичных кровеносных сосудов. Кровь из желточного мешка обязательно проходит через печень, прежде чем попасть в другие области зародыша. В мезодерме аллантаиса проходят пупочные сосуды, связанные с сосудистой сетью хориона, а затем – хориоаллантаиса, который формируется путем слияния мезодермальных слоев аллантаиса и хориона. В результате образуется орган, с помощью которого зародыш прикрепляется к стенке матки, т.е. плацента.

Уже в конце второй недели эмбриогенеза висцеральном листке боковой мезодермы дифференцируются *кровяные островки*. Внутренние мезодермальные клетки островков трансформируются в первичные кровяные клетки, поверхностные образуют эндотелиальные мешочки. Множество таких мешочков сливается и в результате возникают первичные кровеносные сосуды, которые удлиняются и разветвляются.

По обе стороны от переднего конца первичной полоски возникают два мезодермальных скопления. Экспериментально показано, что они являются двумя мезодермальными зачатками сердца, которые возникают из клеток эпибласта, прошедших через первичную полоску и собравшихся по обе стороны от гензеновского узелка.

Образовавшиеся складки эктодермы и энтодермы в процессе обособления первичной кишки зародыша приводят к объединению двух зачатков сердца по средней линии в одну срединную трубку с двойной стенкой. Эндокард состоит из типичного эндотелия. Из висцерального листка боковой пластинки мезодермы, лежащей под эндотелием, возникает эпимиокард. Его толстый слой образует миокард, а тонкий слой – эпикард. С самых ранних стадий *развитие сердца тесно связано с головной энтодермой, которая определяет нормальное формирование сердца*. Слияние зачатков сердца начинается у переднего края будущего сердца, а затем постепенно распространяется назад. У зародыша на стадии 7 сомитов слияние происходит в области будущего желудочка, а предсердие в это время представлено двумя отдельными трубками. К стадии 10 сомитов завершается слияние зачатков желудочка и начинается формирование предсердия. На стадии 14 сомитов еще не объединились зачатки венозного синуса. Полностью однокамерное сердце определяется на стадии 21 сомита. Еще до полного слияния зачатков сердца сердечная трубка изгибается и приобретает S-образную форму. Уже на стадии 7 сомитов, когда только начинается объединение зачатков органа в единую трубку, задолго до установления полного круга кровообращения закладка сердца может уже сокращаться. Сокращения начинаются около правого края закладки, около будущей артериальной луковицы и желудочка.

Первичная система кровообращения зародыша включает в себя и зародышевые, и внезародышевые сосуды – *желточные, пупочные и аорту*. Первоначально именно желточные вены сливаются в венозный синус сердца. Аллантаисные сосуды впадают в кювьеровы протоки, открывающиеся в желточные вены.

Последующие изменения размеров и функциональной значимости экстраэмбриональных органов сопровождаются изменениями в соотношениях размеров и значимости соответствующих сосудов. На первый план выходят пупочные сосуды и общие кардинальные вены. Именно последние служат основой для формирования дефинитивной системы полых вен и синуса полых вен в правом предсердии. На начальных стадиях кровообращения зародыша главенствующую роль играют желточные сосуды, соединяющие желточный мешок, первичный орган кроветворения, и тело зародыша, его сердце. При объединении желточных вен поначалу формируется венозный проток печени. Печеночные перекладины расчлениают желточные вены на сеть печеночных синусоидов. Краниальнее печени венозный проток образует печеночные вены и участвует в формировании примитивной полой вены, хотя у человека главенствующую роль приобретают пупочные сосуды. Каудальнее печени анастомозирующие желточные вены трансформируются в систему примитивной воротной вены печени.

На 2-м месяце эмбриогенеза желточный мешок редуцируется, а желточное кровообращение вытесняется аллантоисным. Аллантоисные или пупочные сосуды соединяют сердце с аллантоисом, затем – с хорионом и, наконец, с плацентой. Поэтому аллантоисное кровообращение получает другое название – *плацентарное*. Плацента является важным метаболическим органом. Она опосредует обмен веществ между кровью матери и кровью плода, служит в том числе дыхательным органом. По конечным ветвям нисходящей аорты, по пупочным артериям в плаценту поступает венозная кровь, а из плаценты в тело зародыша по пупочным венам притекает артериальная кровь.

На 2-м месяце пупочная вена становится непарной (персистирует левая пупочная вена). По пупочной вене часть артериальной крови поступает через левую ветвь воротной вены в печень (орган эмбрионального кроветворения), а часть артериальной крови через венозный (аранциев) проток печени направляется в нижнюю полую вену. Таким образом, в правое предсердие поступает уже смешанная кровь. Большую часть крови из нижней полых вены *евстахиева заслонка* (складка эндокарда на нижнем крае устья) направляет через овальное отверстие в левое предсердие. *Ловеров венозный бугорок* ограждает этот поток сверху от смешения с венозной кровью из верхней полых вены.

В правое предсердие поступает венозная кровь из верхней полых вены. Далее эта кровь через правый желудочек попадает в легочный ствол и легочные артерии. Но из левой легочной артерии, через *артериальный (боталлов) проток* большая часть венозной крови правого желудочка попадает в конец дуги аорты и далее в нисходящую аорту. Устье артериального протока находится позади от начала плечеголового ствола, левых общей сонной и подключичной артерий. Поэтому голова, шея и верхние конечности, а также сердце и тимус получают смешанную кровь из нижней полых вены. Ее состав лишь немного ухудшает небольшой приток венозной крови из малого круга кровообращения. Органы же нижней части туловища и нижних конечностей получают кровь смешанного состава: основной сброс венозной крови из легочного ствола совершается в нисходящую аорту. В особом положении находится печень: состав крови в ветвях воротной вены улучшается благодаря ее связи с пупочной веной. Таким образом, *худшим питанием можно объяснить отставание в развитии органов нижней части тела у плода человека, за исключением печени.*

Изменения кровообращения после рождения. Активная вентиляция легких и отделение плаценты от материнского организма приводят к коренной перестройке сердечно-сосудистой системы у новорожденного. Происходит *скачкообразный переход от плацентарного кровообращения к легочному*. Этому способствует перевязка пуповины. В первые 2-3 дня облитерируется большая часть пупочных артерий. Они превращаются в медиальные пупочные связки на протяжении от пупка до верхушки мочевого пузыря. На 1-й неделе зарастает пупочная вена: от пупка к печени протягивается круглая связка печени. Таким образом выключается и редуцируется плацентарный круг кровообращения.

В первые 10 дней жизни закрывается артериальный проток: левая легочная артерия и дуга аорты соединяются артериальной связкой. У большинства грудных детей (3-12 мес.) зарастает овальное отверстие. На его месте в правом предсердии остается овальная ямка межпредсердной перегородки. Таким образом наступает *разобщение большого и малого кругов телесного кровообращения*, что улучшает оксигенацию тканей всех органов человека. Функциональное разобщение большого и малого кругов, за счет сокращения мышц, наступает раньше анатомического. В 1/3 случаев овальное межпредсердное отверстие сохраняется на всю жизнь, но обычно оно маленькое и перекрывается при сокращении миокарда.

Развитие лимфатической системы

Лимфатическая система в пренатальном онтогенезе человека проходит 3 стадии развития:

- 1) синусную (5-7 нед.);
- 2) презумптивных сосудов и мешков – первичная система (6- 10 нед.);
- 3) сосудов и узлов – вторичная система, формируется с 3-го месяца.

Первичные лимфатические коллекторы имеют эндотелиальную стенку. Главными лимфатическими коллекторами в эмбриогенезе являются *лимфатические мешки* – парные яремный и подвздошный, непарный забрюшинный. Они формируют вторичные мешки (подключичные, субаортальный).

Лимфатические мешки образуются в результате слияния обособленных венозных карманов крупных первичных вен или, иначе, лимфатических щелей. В процессе обособления венозных карманов из кровотока выключается часть вен, притоков таких карманов. Так возникают закладки грудных протоков, поясничных и кишечных стволов. **Грудные протоки соединяют вначале яремные и забрюшинный лимфатические мешки, а поясничные стволы – забрюшинный и подвздошные лимфатические мешки.** На 8-й неделе расширяются поперечные анастомозы правого и левого грудных протоков, особенно нижний, расположенный в аортальной отверстии диафрагмы. Так появляется **первичная цистерна парного грудного протока**. Презумптивные поясничные стволы значительно расширены на уровне II-IV поясничных позвонков (цистерны). Их краниальные ветви образуют корни цистерны грудных протоков. Презумптивные кишечные стволы формируются у зародышей 7-9 недель. Они не участвуют в формировании грудных протоков и поясничных стволов, а служат притоками забрюшинного лимфатического мешка.

На 8-9-й неделе начинается массовая закладка лимфатических узлов. Они формируются вокруг кровеносных сосудов, инвагинирующих в просвет лимфатических мешков и коллекторных сосудов вместе с их стенками. У плодов 3-4 месяцев лимфатические мешки и часть лимфатических стволов замещаются лимфатическими узлами и их лимфатическими сосудами. **У плодов 4-5 месяцев лимфатическая система начинает приобретать черты дефинитивного строения.** Грудной проток и другие лимфатические сосуды приобретают четковидную форму. В их стенках дифференцируются дефинитивные слои (оболочки). Первые клапаны в грудном протоке обнаруживаются на 8-й неделе эмбриогенеза, наибольшее их число определяется у плодов 5 месяцев, а затем немного уменьшается в связи с развитием мышечных манжеток лимфангионов. После рождения расширяются цистерны, увеличиваются размеры и количество миоцитов в стенках лимфатических сосудов и капсулах лимфатических узлов. В лимфоидных узелках узлов появляются светлые центры размножения.

Аномалии лимфатической системы

Обычно сочетаются с другими аномалиями сосудистой системы и/или внутренних органов человека. Выделяют следующие виды аномалий лимфатической системы:

1) **аплазия лимфатического русла** – отсутствие отводящих лимфатических сосудов какой-либо области, что приводит к отеку тканей, органа (**лимфедема или слоновость**);

1а) **врожденное отсутствие грудного протока** как вариант аплазии лимфатического русла встречается в 0,1% случаев;

2) **гипоплазия лимфатического русла** – количество лимфатических сосудов резко уменьшено. При гипертрофии или повреждении органа это может привести к нарушению лимфооттока и отеку органа;

2а) **замещение части грудного протока сплетением мелких лимфатических сосудов** можно рассматривать как вариант его гипоплазии;

3) **перерыв грудного протока собственным лимфатическим узлом**, как и предыдущая аномалия, затрудняет отток центральной лимфы;

4) **лимфангиоматоз** – редкий порок. Обнаруживается разрастание конгломерата лимфатических щелей с эндотелиальной выстилкой. В стенках щелей могут находиться миоциты. В грудной полости лимфангиоматоз обнаруживают в средостении и по ходу грудного протока, в брюшной полости – около почек. Возникает как персистенция ранних стадий развития лимфатической системы, например, закладки лимфатических мешков и некоторых стволов, как результат избыточной деформации первичных вен и лимфатических коллекторов инвагинациями кровеносных сосудов и нервов;

5) **врожденные кисты лимфатических сосудов** представляют собой крупные расширения стенки отводящего лимфатического сосуда, включая грудной проток, не имеющие сообщения с полостью сосуда. Кисты могут сдавливать органы, возможен разрыв кист. Их можно рассматривать как ограниченный лимфангиоматоз;

6) **лимфангиэктазия** – значительное расширение лимфатических сосудов, обусловленное нарушением развития их клапанов и гладкомышечных клеток, приводит к лимфостазу и лимфедеме.