

**В.Н.Антипов**

Донецкий национальный  
медицинский университет  
им. М.Горького

**Ключевые слова:** проводящая система сердца, сосуды гемокциркуляции, морфогенез, морфометрия.

Надійшла: 26.08.2009

Прийнята: 17.09.2009

УДК: 616.16+616.12

## **ОСОБЕННОСТИ СТАНОВЛЕНИЯ СОСУДИСТО-КАПИЛЛЯРНОГО РУСЛА ПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ СЕРДЦА В ПРЕ- И РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ**

*Исследование проведено в рамках научно-исследовательской работы «Анатомические особенности кровеносного русла сердца и некоторых внутренних органов» (номер государственной регистрации 018U009895).*

**Резюме.** Целью исследования было установление особенностей структурной организации сосудов гемокциркуляции в проводящей системе сердца человека в раннем онтогенезе, выявление степени корреляции морфометрических параметров ПСС и прилежащего сократительного миокарда. На 26 сердцах плодов и детей в возрасте до 3-х лет рассмотрены гистоструктурные особенности становления сосудов гемокциркуляции проводящей системы сердца и прилежащего миокарда. Показано, что становление сосудов гемокциркуляции происходит поэтапно в два периода - межтрабекулярный и экстракардиальный, каждый из которых соответствует переходу от гистотрофного к гемотрофному типу питания. Установлено, что, несмотря на синхронность развития и функционирования проводящей системы и сократительного миокарда, их сосуды гемокциркуляции морфологически и пространственно отличаются. Кровеносная система ПСС в раннем постнатальном онтогенезе имеет в основном такие же структурные элементы сосудов гемокциркуляции, как и в сократительном миокарде. Наряду с процессами формообразования в проводящей системе после рождения, уплотнением и переплетением проводящих миоцитов, их компактизацией, сосуды гемокциркуляции пространственно приобретают сетевидную форму, и здесь образуются особой формы сосуды - синусоидальные вены. Анализ удельного объема сосудов гемокциркуляции показал, что наименее интенсивное кровоснабжение имеет ПЖП, его перфорирующая часть, а, учитывая что это самая узкое место предсердно-желудочкового отдела ПСС, то незначительное уменьшение кровотока в нем или склеротические процессы в центральном фиброзном теле могут влиять на формирование аритмогенного сердца.

**Морфология.** – 2009. – Т. III, № 3. – С. 32-36.

© В.Н.Антипов, 2009

**Antipov V.N. The peculiarities of vascular-capillary bed formation of the cardiac conduction system in pre- and early postnatal ontogenesis.**

**Summary.** The research purpose was to establish the features of structural organization of hemomicrocirculatory vessels in a human cardionector in early ontogenesis, to expose the degree of correlation of morphometric parameters of CCS and being alongside retractive myocardium. On 26 foetuses and under 3 years old children's hearts the histostructural peculiarities of hemomicrocirculation vessels formation in the cardiac conduction system and nearby myocardium were considered. It has been determined that the formation of hemomicrocirculatory vessels takes place in two stages – intertrabecular and extracardial, each corresponding to transition from histotrophic to hemotrophic feeding types. It has been established that apart from simultaneous development and functioning of cardiac conduction system and contractive myocardium their hemomicrocirculatory vessels differ both in location and in morphology. The circulatory system of CCS in early postnatal ontogenesis has the same structural elements of hemomicrocirculatory vessels mainly, as well as in retractive myocardium. Along with the processes of formbuilding in the about-leading system after birth, by a compression and interlacing of conducting myocytes, their compactisation, the hemomicrocirculatory vessels acquire a net-form spatially, and the vessels of a special form – sinusoid veins – appear here. The analysis of specific volume of hemomicrocirculatory vessels rotined that AVP, its perforation part, has the least intensive bloodsupply, and, taking into account that it same the bottleneck of atrio-ventricular department of CCS, the insignificant diminishing of blood stream in it or sclerotic processes in a central fibrous body can influence on forming of arhythmhogeny heart.

**Key words:** cardiac conduction system, hemocirculatory vessels, morphogenesis, morphometry.

## Введение

В последние годы в литературе все больше внимания уделяется вопросам сосудистых расстройств, лежащих в основе патогенеза заболеваний сердца, в том числе дизритмий (Грицина И.В., 1997; Гавриш А.С. и соавт., 2000, 2005; Герасименко А.И. и соавт., 2007). В то же время, на аутопсии умерших не всегда удается установить истинную причину смерти, так как она, в ряде случаев, связана с аномальным морфогенезом проводящей системы сердца (ПСС), который при жизни протекает латентно или с повреждением ее кровеносных сосудов (Соколов В.В. и соавт., 2002; Герасименко А.И. и соавт., 2007). На сосудистый фактор повреждения миокарда, как главную причину расстройств его структурно-функционального единства, указывают ряд авторов (Гавриш А.С. и соавт., 2000; “Актуальні питання морфології”, 2002), единичные работы посвящены кровоснабжению узлов ПСС (Соколов В.В. и соавт., 2002) и анатомо-гистологической характеристике ПСС (Грицина И.В., 1997); работ же по становлению сосудисто-капиллярного русла ПСС, структурным преобразованиям его в процессе раннего постнатального онтогенеза, количественным показателям структуры компонентов ПСС не найдено.

## Цель

Целью исследования было установление особенностей структурной организации сосудов гемомикроциркуляции в проводящей системе сердца человека в раннем онтогенезе, выявление степени корреляции морфометрических параметров ПСС и прилежащего сократительного миокарда.

## Материалы и методы

Структурная организация сосудов гемомикроциркуляции исследовалась на 14 сердцах детей в возрасте до 3 лет, умерших от причин, не связанных с заболеваниями сердца. Кроме того, исследовались 12 плодов человека от 12 до 20 недель. Возраст плодов определяли по теменно-копчиковой и копчико-пяточной длине. Сосудисто-капиллярное русло ПСС исследовалось путем инъекции коронарных артерий тушь-желатиновой массой, массой Герота, берлинской лазурью на хлороформе. Материал фиксировали в 12,0% нейтральном формалине, заливали в парафин; также срезы изготавливали на замораживающем микротоме; докрашивали гематоксилином и эозином, по Вергофу - ван Гизон с дальнейшим просветлением и морфометрией. Статистическую обработку проводили по общепринятой методике с использованием компьютерной программы MedStat.

## Результаты и обсуждение

Анализируя полученные данные о сосудах гемомикроциркуляторного русла (ГМЦР) было отмечено, что в дефинитивном состоянии оно в ПСС структурно представлено так же, как и зве-

нья ГМЦР сократительного миокарда: артериолами, прекапиллярными артериолами, капиллярами, посткапиллярными венулами и венулами (Steady G., 1990). Во-вторых, становление системы кровоснабжения в ПСС от эмбриогенеза до дефиниции, как и в сократительном миокарде, обусловлено последовательностью и топологией морфогенетических процессов, и происходит в два периода – межтрабекулярный, то есть кровоснабжение непосредственно из камер сердца, и второй – развитие системы кровоснабжения посредством почкования от прорастающих в миокард ветвей венечных артерий. Эти периоды характеризуются не только отличием в морфологии кровеносного русла, но и соответствуют по времени сменой типа питания у зародыша с гистотрофного на гемотрофный. Необходимо также отметить, что нет четкой границы перехода названных периодов в развивающейся проводящей системе и сократительном миокарде, и какое-то время они продолжают кровоснабжаться как из межтрабекулярных пространств, так и из развивающихся субэпикардиальных источников. Некоторые авторы (Габченко А.К., 2004) называют это третьим или промежуточным периодом развития кровеносного русла и указывают на некую целесообразность выделения его, как периода «смешанного» кровоснабжения.

При исследовании первичных сосудов гемомикроциркуляции в миокарде различались два их типа по строению сосудистой стенки. Стенка первичных гемомикрососудов первого типа состоит только из одного слоя клеток (эндотелиоцитов). В стенке первичных гемомикрососудов второго типа к эндотелиальной оболочке снаружи прилежат клетки второго слоя, которые в ходе развития дифференцируются в гладкие миоциты или перициты. Из материалов научного симпозиума “Актуальные вопросы морфогенеза сердца” (Днепропетровск, 1996) известно, что источником развития первичных гемомикрососудов первого типа являются выстланные эндотелием эмбриональные межтрабекулярные пространства, а источник развития первичных гемомикрососудов второго типа это сосуды эпикарда. В дальнейшем своем развитии гемомикрососуды дифференцируются в артериальные, венозные микрососуды и капилляры.

Между основными структурными элементами ГМЦР располагается сеть капилляров, совместно со всеми окружающими их кровеносными сосудами они составляют  $17,5 \pm 2,07\%$  поля зрения микроскопа. Детальное исследование показывает, что все сосудистое русло состоит из многочисленных комплексов таких формирований и они анастомозируют с артериями, последние порядки которых имеют диаметр 30-35 мкм с доверительным интервалом  $\pm 3,2$  мкм. Далее следуют артериолы с диаметром в два раза меньше -  $14,3 \pm 1,3$  мкм. Они, как и артерии, могут сопро-

вождаться большими по диаметру венозными сосудами. Артериолы переходят в прекапилляры непосредственно или своими боковыми ветвями. В среднем диаметр прекапилляров равняется  $10,0 \pm 1,1$  мкм. Они имеют различную длину и располагаются, в основном, вдоль миоцитов. Некоторые прекапилляры переходят в капилляры магистрального типа, они связывают артериолы с венулами и являются разновидностью артериоло-венулярных анастомозов. Другие капилляры заканчиваются сетью капилляров либо, анастомозируя друг с другом, формируют особые конструкции или модули.

Как указывают В.И.Козлов и соавторы (2002) возникновение сетевой системы капилля-

ров обусловлено не только требованиями, которые предъявляют к конструкции сосудистой системы - «принцип минимальных затрат энергии», но и другим, - «принцип надежности» функционирования системы. Он обеспечивается созданием поперечных анастомозов, связывающих между собой одноименные сосуды, что приводит к бесперебойному кровотоку в них.

Методом морфометрии нами установлено, что в раннем постнатальном онтогенезе, наряду с ростом показателей удельного объема гемоциркуляторного русла, в ПСС также увеличивается и соединительно-тканый компонент; при этом значительно уменьшается доля миоцитов (таблица 1).

Таблица 1

Количественный анализ структурных компонентов проводящей системы сердца в раннем постнатальном онтогенезе ( $V_{vi}$  - %)

Область исследования	Возрастные группы					
	1 год		2 года		3 года	
	М	ГЦР	М	ГЦР	М	ГЦР
СПУ	57,3	$6,51 \pm 4,3$	$60,1 \pm 3,71$	$7,8 \pm 0,47$	$58,2 \pm 1,72$	$3,8 \pm 0,28$
ПП	$58,3 \pm 7,56$	$6,73 \pm 1,26$	$71,5 \pm 5,65$	$5,9 \pm 0,29$	$70,0 \pm 3,02$	$10,0 \pm 0,27$
ПЖУ	$63,1 \pm 4,39$	$8,93 \pm 1,11$	$59,6 \pm 4,68$	$7,3 \pm 0,77$	$68,6 \pm 2,59$	$6,8 \pm 0,21$
ПЖП	$53,2 \pm 4,39$	$6,9 \pm 0,66$	$63,8 \pm 4,71$	$8,7 \pm 0,62$	$63,5 \pm 2,48$	$6,5 \pm 0,30$
МЖП	$69,2 \pm 5,61$	$8,3 \pm 1,31$	$65,4 \pm 6,31$	$9,6 \pm 0,93$	$71,5 \pm 2,70$	$8,3 \pm 0,49$

Примечание:  $V_{vi}$  - удельный объем структурных компонентов в процентах; М – миоциты; ГЦР – сосуды гемоциркуляторного русла; СПУ – синусно-предсердный узел; ПП – правое предсердие; ПЖУ, ПЖП – предсердно-желудочковый узел и пучок; МЖП – межжелудочковая перегородка.

Удельный объем сосудов гемоциркуляции ПЖ части ПСС в узле, пучке Гиса и его ножках достоверно отличаются друг от друга, однако, выявить какие-то закономерности кровоснабжения ПСС в возрастном аспекте в этих частях ПСС нам не удалось. Хотя, в целом, в ПЖ части ПСС, как и в синусно-предсердном узле, по мере постнатального развития (старения) интенсивность кровоснабжения увеличивается, превосходя значения периода новорожденности в 1,5-2 раза. Вместе с тем известно, что пейсмерная активность проводящих миоцитов в пожилом возрасте снижена за счет склероза венечных артерий, инволютивных изменений в миокарде и увеличения удельного объема в ПСС соединительно-тканного компонента (Герасименко А.И. та співавт., 2007).

Разветвление капилляров в миокарде происходит между мышечными волокнами с образованием вытянутых прямоугольников. Размеры таких капиллярных петель разные и в среднем равняются  $45-50 \times 15-20$  мкм. Из капиллярного русла кровь поступает в довольно короткие сосуды - посткапиллярные венулы и венулы. В отличие от сократительных миоцитов направление проводящих миоцитов не ориентировано, а в узловой ткани пейсмерные клетки переплетены и на-

правление сосудов гемоциркуляции не имеет строгой полигональной формы. Говоря о типе капиллярной сети в ПСС, можно определить ее как сетевидную. По-видимому, возникновение сетевидной системы капилляров обусловлено не только требованиями минимальных затрат к конструкции трубчатой системы, но и соблюдением «принципа надежности» в функционировании этой системы.

Изучение пространственной организации гемоциркуляторного русла в проводящей системе показало, что для него характерно полимерное построение микрососудистых композиций. В.И.Козлов и соавторы (2002) называют их микрососудистыми модулями. Такое модульное построение ГМЦР обеспечивает мозаичность и автономность включения и выключения из кровотока отдельных органных микрорегионов ткани в зависимости от локальных потребностей в доставке крови. Комплекс сосудов гемоциркуляции ПСС и сократительного миокарда включают также особые структуры, - синусоиды, анатомическая композиция которых задает пространственно-временные координаты жизнедеятельности клеток.

Изучение полусерийных срезов позволило проследить ход кровеносных сосудов ПСС и

прилежащего сократительного миокарда на протяжении и установить некоторые морфологические их различия. В миокарде мелкие артерии и вены проходят или в непосредственной близости от межтрабекулярных пространств (МТП), или следуют через их просвет в составе мышечных перекладин. Соустий между артериями, венами и МТП не обнаружено. Вместе с тем гистотопографически обнаружены единичные сосуды, на уровне которых осуществляется сообщение между полостью правого желудочка и кровеносным руслом миокарда. Это вены, сформированные после слияния посткапилляров и открывающиеся в просвет межтрабекулярного пространства уже более крупным устьем в диаметре 50-60 мкм. Такие соустья единичны и они встречались только в правом желудочке у гребня МЖП и в основании сосочковых мышц. В исследуемых частях ПСС таких соустий не обнаружено, хотя между проводящими миоцитами обнаружено множество сосудистых полостей, характеризующихся расширенным просветом до 80-90 мкм в месте впадения в них посткапилляров. Важной особенностью является и то, что венозные синусоиды ПСС и межтрабекулярные пространства располагаются в глубоких слоях миокарда желудочков и МЖП, характеризуются наличием тонкой стенки, неравномерным расширением просвета и соустий с венозным отделом сосудов микроциркуляции, но это две его обособленные дискретные структуры. ПСС закладывается на 30 сутки развития эмбриона и с этого момента сердечная трубка начинает пульсацию (Steady G., 1990). К этому времени развивается экстракардиальная система гемокциркуляции, и, по всей видимости, этим и объясняется

факт отсутствия в частях ПСС межтрабекулярных щелей и соустий с ними ее кровеносных сосудов. К тому же сама ПСС в пренатальном периоде развития имеет рыхлое строение, а в раннем постнатальном развитии ее предсердно-желудочковый отдел окружен соединительнотканым футляром и центральным фиброзным телом.

#### **Заключение**

Кровеносная система ПСС в раннем постнатальном онтогенезе имеет в основном такие же структурные элементы сосудов гемокциркуляции, как и в сократительном миокарде. Наряду с процессами формообразования в проводящей системе после рождения, уплотнением и переплетением проводящих миоцитов, их компактизацией, сосуды гемокциркуляции пространственно приобретают сетевидную форму, и здесь образуются особой формы сосуды - синусоидальные вены.

Анализ удельного объема сосудов гемокциркуляции показал, что наименее интенсивное кровоснабжение имеет ПЖП, его перфорирующая часть, а, учитывая, что это самая узкое место предсердно-желудочкового отдела ПСС, то незначительное уменьшение кровотока в нем или склеротические процессы в центральном фиброзном теле могут влиять на формирование аритмогенного сердца.

#### **Перспектива дальнейших разработок**

Перспективой дальнейшего исследования может быть разработка вопросов уточнения природы происхождения синусоидальных вен в ПСС и взаимосвязи их с лимфозеном микроциркуляторного русла.

### **Литературные источники**

Габченко А. К. Основные сосудистые системы сердца человека и их компенсаторно-приспособительное и резервно-заменительное значение / А. К. Габченко // Морфология. – 2004. – Т. 126, № 4. – С. 32.

Гавриш А. С. Морфогенез гипертрофии сердца при хронической коронарной недостаточности / А. С. Гавриш // Український кардіологічний журнал. – 2005. – № 5. – С. 100-106.

Герасименко А. І. Морфологічні зміни в скорочувальному міокарді при раптовій серцевій смерті / А. І. Герасименко, О. Г. Кузнецов, М. В. Антіпов // Питання експериментальної та клінічної медицини. – 2007. – Т. 1., Вип. 11. – С. 245-247.

Грицина І.В. Анатомогістологічна характеристика провідної системи серця / І. В. Грицина // Львівський медичний часопис. – 1997. – Т. 3, № 1-2. – С. 14-18.

Материалы научного симпозиума посв. 80-

летию кафедры анатомии человека ДГМА [“Актуальные вопросы морфогенеза сердца”], (Днепропетровск, 1996 р.). – Днепропетровск, 1996. – С. 70-71.

Матеріали наукової конференції [«Морфологія лімфатичних та кровоносних судин»], (Київ, 2000 р.). – К., 2000. – С. 39-40.

Модульная организация микроциркуляторного русла и ее гистофизиологическое значение / В. И. Козлов, К. Т. Зайцев, О. А. Гурова, Н. Н. Данченко // Морфология. – 2002. – Т. 117, № 3. – С. 59.

Наукові праці III національного конгресу АГЕТ України [“Актуальні питання морфології”], (Київ, 21-23 жовтня 2002 р.). – Тернопіль : Укрмедкнига, 2002. – С. 114-115.

Соколов В. В. Вариантная ангиоархитектоника узловых структур проводящей системы сердца человека и ее значение в вариабельности сердечного ритма / В. В. Соколов, М. П. Варегин,

А. В. Евтушенко // Морфология. – 2002. – Т. 121, № 2-3. – С. 146.

Чернух А. Н. Микроциркуляция / А. Н. Чернух, П. И. Александров, О. В. Алексеев - [2-е изд. стереотип.]. – М. : Медицина, 1984. – С. 254-256.

Steding G. Developmental aspects in the sinus valves and the sinus venosus septum of the right atrium in human embryos / G. Steding // Anatomy and embryology. – 1990. – Vol. 181, № 5. – P. 469-475.

**Антіпов В.М. Особливості становлення судинно-капілярного русла провідної системи серця в пре- і ранньому постнатальному онтогенезі.**

**Резюме.** Метою дослідження було встановлення особливостей структурної організації судин гомомікроциркуляції в провідній системі серця людини в ранньому онтогенезі, виявлення міри кореляції морфометричних параметрів ПСС і прилеглого скоротливого міокарду. На 26 серцях плодів та дітей віком до 3-х років розглянуто гістоструктурні особливості становлення судин гомомікроциркуляції провідної системи серця та прилеглого міокарду. Показано, що становлення судин гомомікроциркуляції відбувається поетапно у два періоди - міжтрабекулярний і екстракардіальний, кожен з яких відповідає переходу від гістотрофного до гемотрофного типам живлення. Незважаючи на синхронність розвитку, функціонування провідної системи та скорочувального міокарду, їх судини гомомікроциркуляції морфологічно та просторово відрізняються. Кровоносна система ПСС в ранньому постнатальному онтогенезі має в основному такі ж структурні елементи судин гомомікроциркуляції, як і в скоротливому міокарді. Поряд з процесами формоутворення в провідній системі після народження, ущільненням і переплетенням провідних міоцитів, їхньою компактизацією, судини гомомікроциркуляції просторово набувають сітковидної форми, і тут утворюються особливі форми судини - синусоїдальні вени. Аналіз питомого об'єму судин гомомікроциркуляції показав, що найменш інтенсивне кровопостачання має ПШП, його перфоруюча частина, а, враховуючи, що це найвузькіше місце передсердно-шлуночкового відділу ПСС, незначне зменшення кровотоку в ньому або склеротичні процеси в центральному фіброзному тілі можуть впливати на формування аритмогенного серця.

**Ключові слова:** провідна система серця, судини гемоциркуляції, морфогенез, морфометрія.