

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КЛАПАННОГО АППАРАТА СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА В РАННЕМ ЭМБРИОГЕНЕЗЕ

А.Р. Ромбальская

УО «Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск, Беларусь
E-mail: rombalskaya@rambler.ru

УДК 612.171.3:611.013

Ключевые слова: эмбриогенез, человек, сердце, клапанный аппарат.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ. ЕА.Р. Ромбальская. Особенности строения клапанного аппарата сердца человека в раннем эмбриогенезе. *Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски*, 2019, Т. 3, № 2, С. 760–764.

В статье представлены данные об особенностях развития структур предсердно-желудочковых клапанов (сухожильных хорд, сосочковых мышц) человека в раннем эмбриогенезе, а также показано развитие мясистых трабекул, как структур, из которых формируются сосочковые мышцы. Приведены стадии развития этих структур. Установлено, что первыми в желудочках сердца эмбрионов 6 мм теменно-копчиковой длины (ТКД) визуализируются мясистые трабекулы в виде сетевидного сплетения, а отдельные из них, выпячиваясь в полость желудочка,

образуют сосочковые мышцы. По мере увеличения размеров сердца эмбриона человека створки предсердно-желудочковых клапанов и сосочковые мышцы отдаляются друг от друга и между ними появляются тяжи с мышечным компонентом – будущие сухожильные хорды (у эмбрионов 18–19 мм ТКД). Постепенно мышечная ткань в сухожильных хордах и створках предсердно-желудочковых клапанов замещается соединительной тканью и внутривентрикулярные образования приближаются к definitivo-строению (у эмбрионов 65–70 ТКД).

STRUCTURAL FEATURES OF THE VALVULAR APPARATUS OF THE HUMAN HEART IN EARLY EMBRYOGENESIS

A.R. Rombalskaya

Belarusian State Medical University, Minsk, Belarus

Key words: embryogenesis, human, heart, valvular apparatus.

FOR REFERENCES. A.R. Rombalskaya. Structural features of the valvular apparatus of the human heart in early embryogenesis. *Neotlozhnaya kardiologiya i kardiovaskulyarnye riski* [Emergency cardiology and cardiovascular risks], 2019, vol. 3, no. 2, pp. 760–764.

The article presents the data on the structural features of the development of atrioventricular valves (tendon chords, papillary muscles) in early embryogenesis and shows the development of fleshy trabeculae as structures from which papillary muscles are formed. The stages of development of these structures are described. It has been found that fleshy trabeculae in the form of a reticular plexus are the first to be visualized in the ventricles of the heart of embryos of 6 mm parietal-coccygeal length (TCD), and some

of them, protruding into the ventricular cavity, form papillary muscles. As the size of the human embryo heart increases, the leaflets of atrioventricular valves and papillary muscles move away from each other and strands with a muscular component appear between them – future tendon chords (in embryos 18–19 mm TCD). Gradually, the muscle tissue in the tendon chords and atrioventricular valves is replaced by connective tissue and intraventricular formations approach the definitive structure (in embryos 65–70 TCD).

Изучению развития и строения сердечно-сосудистой системы человека посвящено большое количество работ [1, 2, 3], в том числе и строению стенки желудочков, внутрижелудочковых образований и клапанного аппарата сердца человека. Известно, что клапанный аппарат сердца человека включает правый и левый предсердно-желудочковые клапаны, фиброзные кольца, сухожильные хорды, сосочковые мышцы, легочный и аортальный клапаны.

Створки предсердно-желудочковых клапанов препятствуют обратному току крови из желудочков в предсердия сердца [4]. При этом наличии врожденных дефектов предсердно-желудочковых клапанов, аномальное отхождение или прикрепление сухожильных хорд может сочетаться с тяжелыми нарушениями ритма сердца и проводимости, инфекционным эндокардитом, сердечной недостаточностью, что еще более усугубляет нарушения гемодинамики [5]. Поэтому установление особенностей строения клапанного аппарата сердца в раннем эмбриогенезе человека является актуальным направлением.

По данным литературы [2, 4] у эмбрионов человека 34 недель трабекулы сердца формируются из среднего слоя миокарда и проникают в полость желудочков в виде тяжей, язычков и валиков. Сосочковые мышцы в сердце возникают у 5-месячного плода из мясистых трабекул и вместе с сухожильными хордами не дают створкам предсердно-желудочковых клапанов прогибаться в предсердие при повышении давления в желудочке. Сосочковые мышцы представляют собой преимущественно конусовидные мышечные выступы, своими верхушками направленные в полость желудочка, а основаниями переходящие в его стенки [4, 6]. Таким образом, сосочковые мышцы сердца представляют собой сложную систему, участвующую в обеспечении нормального функционирования клапанов, регулируя их работу с помощью сухожильных хорд. По данным исследований [7] сухожильные хорды в сердце эмбрионов человека имеют вид тяжей и покрыты эндокардом. Они отходят от боковых поверхностей и верхушек сосочковых мышц и прикрепляются к желудочковой поверхности и свободным краям створок предсердно-желудочковых клапанов. Наличие сухожильных хорд увеличивает площадь поверхности присоединения сосочковых мышц к створке клапана и позволяет мышце лучше контролировать его деятельность. По данным литературы [1] на ранних стадиях эмбрионального развития человека на вентрикулярной поверхности створок предсердно-желудочковых клапанов в течение определенного времени присутствует большое

количество мышечных пучков, которые соединяются с трабекулами стенок желудочков. В процессе пренатального развития створки предсердно-желудочковых клапанов сердца человека истончаются, с их вентрикулярных поверхностей исчезают мышечные пучки, а мясистые трабекулы, которые были прежде прикреплены к развивающимся створкам клапанов, замещаются фиброзными образованиями. Те части трабекул, которые соединены со стенкой желудочка, остаются и образуют сосочковые мышцы.

Несмотря на большое количество исследований о развитии и строении сердечно-сосудистой системы человека, в настоящее время имеются пробелы, а порой и противоречивые сведения по данному вопросу. В данных литературы фрагментарно описаны общие закономерности формирования и строения сосочковых мышц и мясистых трабекул, не описаны стадии их формирования. Нет детального описания ориентации мясистых трабекул на стенках желудочков сердца в раннем эмбриогенезе сердца человека.

Цель – выявить особенности формирования структур клапанного аппарата (сосочковых мышц, сухожильных хорд) и мясистых трабекул желудочков сердца человека в раннем эмбриогенезе и установить последовательность развития мясистых трабекул, сосочковых мышц и сухожильных хорд.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили серии сагиттальных, фронтальных и горизонтальных срезов 60 зародышей человека от 6 до 70 мм теменно-копчиковой длины (ТКД), что соответствует сроку от 25 до 81 суток внутриутробного развития, из эмбриологической коллекции кафедры нормальной анатомии УО «Белорусский государственный медицинский университет». Эмбрионы фиксированы в 10% растворе нейтрального формалина, импрегнированы солями азотнокислого серебра по методу Бильшовского-Буке. Часть зародышей окрашена гематоксилином и эозином и по Фельгину. Методы исследования: эмбриологический, морфометрический.

Исследование проводилось под бинокулярным стереоскопическим микроскопом МБС-9, МБС-1, МБИ-3 и аппаратно-программным комплексом «Bioskan AT+».

Результаты и обсуждение. В результате исследования структур клапанного аппарата (сосочковых мышц, сухожильных хорд) и мясистых трабекул желудочков сердца человека в раннем эмбриогенезе было установлено, что первые признаки формирования мясистых трабекул и трабекулярной сети выявляются у эмбрионов 6мм ТКД: пучки кардиомиобластов выпячиваются в полость желудочков и образуют там густую сеть, по-

Рисунок 1.
Слияние мясистых трабекул с образованием сосочковых мышц сердца у зародыша человека 10 мм ТКД (левый желудочек). Сагиттальный срез. Увеличение об. 10х

1 – мясистые трабекулы;
2 – сосочковая мышца

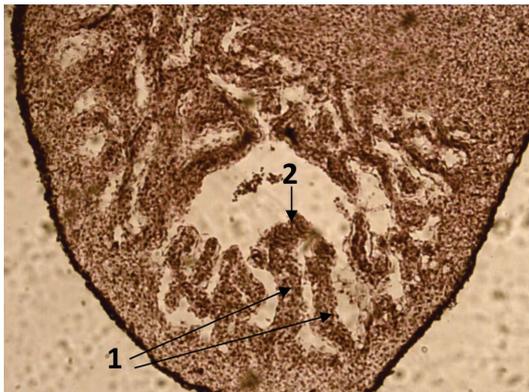


Рисунок 2.
Формирование сосочковой мышцы из мясистых трабекул в левом желудочке сердца зародыша человека 13 мм ТКД. Сагиттальный срез. Увеличение об. 20х

1 – мясистые трабекулы;
2 – сосочковая мышца

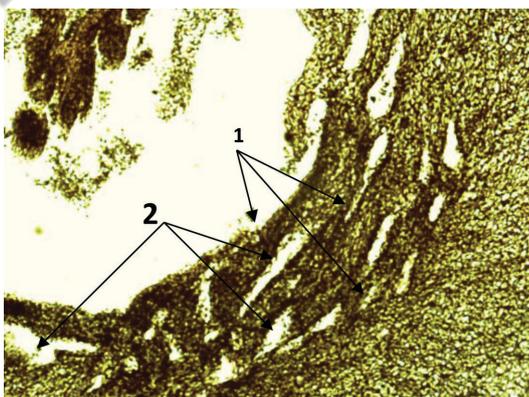


хожую на пористую структуру. В будущем (у эмбрионов 9–10 мм ТКД) они формируют мясистые трабекулы и трабекулярную сеть. Других внутрижелудочковых образований в этом периоде выявить не удастся.

На стадии развития эмбрионов 9–10 мм ТКД намечается тенденция отдельных мясистых трабекул сердца, расположенных преимущественно в средней трети желудочков,

Рисунок 3.
Ярусы трабекулярной сети в левом желудочке сердца зародыша человека 17 мм ТКД. Сагиттальный срез. Увеличение об. 10х.

1 – мясистые трабекулы различных ярусов трабекулярной сети;
2 – межтрабекулярные пространства



к слиянию и формированию сосочковых мышц (рис. 1).

Касательно противоречий между авторами [3, 5, 8] по поводу строения миокарда и участия миокардиальных пучков в формировании мясистых трабекул, нами не установлено четкого расположения в миокарде пучков кардиомиобластов, формирующих слои мышечной оболочки сердца эмбрионов. Действительно, пучки кардиомиобластов по своему ходу переплетаются, имея в определенных участках миокарда соответствующую ориентацию: пучки кардиомиобластов, образующие наружную часть миокарда расположены продольно, среднюю – циркулярно, внутреннюю – продольно. Такое расположение пучков кардиомиобластов легче выявляется на поперечных и фронтальных срезах эмбрионов. На сагиттальных срезах представляется затруднительным определить конкретное направление пучков кардиомиобластов. У эмбрионов человека 11–13 мм ТКД мясистые трабекулы расположены близко друг к другу и трабекулярная сеть выглядит компактной с незначительными просветами и напоминает скорее губчатую структуру, нежели сеть. В средней трети левого желудочка некоторые мясистые трабекулы, расположенные рядом, дугообразно изгибаются навстречу друг к другу и сливаются верхушками, либо единичные трабекулы просто выпячиваются краниально в полость желудочка, образуя сосочковые мышцы (рис. 2).

Ярусная и спиралеобразная ориентация мясистых трабекул по направлению к основанию сердца отмечается у эмбрионов 14–15 мм ТКД. А у эмбрионов 16–17 мм ТКД уже можно выделить до 3 ярусов трабекулярной сети в правом желудочке и до 5 ярусов – в левом, образованных мясистыми трабекулами, расположенными на внутренней поверхности желудочков (рис. 3).

Также в средней трети обоих желудочков на этой стадии развития визуализируются сосочковые мышцы, образованные из слившихся трабекул. Они связаны непосредственно со свободным краем или с желудочковой поверхностью створки (плотно примыкают к створке).

В сердце эмбрионов человека 18–19 мм ТКД створки клапана с увеличением размеров сердца смещаются краниально, начинает происходить отдаление сосочковых мышц от клапана с формированием соединительнотканых образований – сухожильных хорд. Последние отходят от сосочковых мышц к створкам предсердно-желудочковых клапанов. По ходу сухожильные хорды имеют утолщения за счет мышечного компонента, присутствующего в их составе (рис. 4).

У эмбрионов человека 24 мм ТКД сосочковые мышцы отдаляются от трабекулярной сети в полость желудочков, а створки предсердно-желудочковых клапанов – от верхушек мышц. За счет этого сухожильные хорды удлиняются и становятся тоньше, в них появляются участки, не содержащие пучков кардиомиобластов (процесс демускуляризации).

У эмбрионов 37–40 мм ТКД выявляется четкая ориентация мясистых трабекул на стенках: спиралеобразно справа налево, что характерно для передней стенки обоих желудочков, и слева направо, что характерно для задней их стенки.

Для внутрижелудочковых образований сердца эмбрионов человека 65 и 70 мм ТКД характерны черты дефинитивного строения: хорошо выражены ярусы трабекулярной сети (в правом желудочке их количество меньше, чем в левом), мясистые трабекулы ярусов, расположенных дальше от полости желудочка, более плотно прилежат друг к другу, сеть мелкопетлистая; трабекулярная сеть ярусов, расположенных ближе к полости желудочка – крупнопетлистая. Мясистые трабекулы имеют четкую ориентацию: трабекулы внутренних ярусов, расположенных ближе к полости желудочка, ориентированы преимущественно спиралеобразно, а ярусы, расположенные в глубоких слоях трабекулярной сети, имеют в своем составе не только спирально направленные трабекулы, но также и трабекулы, направленные продольно и поперечно. Сосочковые мышцы, сформированные за счет выпячивания мясистых трабекул в полость желудочка либо слившимися между собой трабекулами, имеют в своей нижней трети несколько корней (источников), выходящих из трабекулярной сети. От верхушки сосочковых мышц отходят к створкам предсердно-желудочковых клапанов сухожильные хорды. В результате процесса демускуляризации пучки кардиомиобластов из будущих сухожильных хорд и створок предсердно-желудочковых клапанов практически исчезают и сохраняются только в области отхождения сухожильных хорд от сосочковых мышц. Иногда по ходу хорды встречаются очаги мышечной ткани.

Таким образом, основываясь на результатах эмбриологического исследования, в формировании компонентов клапанного аппарата (сосочковых мышц и сухожильных хорд) и мясистых трабекул сердца в эмбриогенезе человека можно выделить следующие стадии:

- 1) формирования мясистых трабекул и сосочковых мышц – у эмбрионов 9–13 мм ТКД;
- 2) перехода трабекулярной сети к ярусному строению – у эмбрионов 14–17 мм ТКД;
- 3) образования сухожильных хорд – у эмбрионов 18–23 мм ТКД;

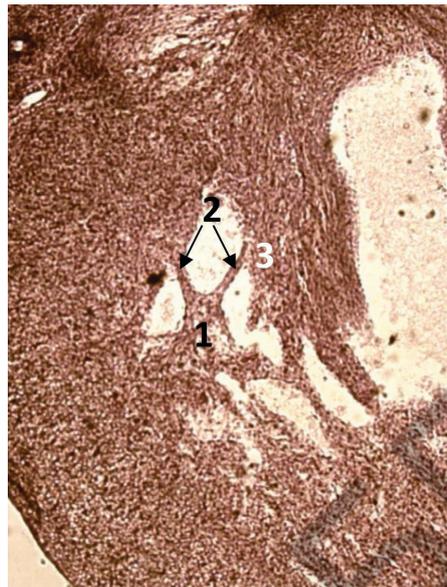


Рисунок 4.
Связь сосочковой мышцы со створкой предсердно-желудочкового клапана посредством будущей сухожильной хорды у зародыша человека 19 мм ТКД.
Сакитальный срез

1 – сосочковая мышца;
2 – кардиомиоциты в составе будущей сухожильной хорды;
3 – створка предсердно-желудочкового клапана

4) демускуляризации – у эмбрионов 24–64 мм ТКД;

5) окончательного формирования и близкого по строению к дефинитивному состоянию внутрижелудочковых образований (мясистых трабекул, сосочковых мышц, сухожильных хорд) сердца человека – у эмбрионов 65–70 мм ТКД.

Кроме этого, нами определены два варианта формирования сосочковых мышц:

- 1) путем слияния расположенных рядом мясистых трабекул за счет дугообразного направления их навстречу друг другу;
- 2) путем дугообразного выпячивания мясистых трабекул краниально в полость желудочка.

Выводы. 1. В процессе эмбрионального развития в формировании мясистых трабекул сердца человека принимают участие пучки кардиомиобластов всего миокарда. Трабекулы имеют определенную ориентацию и образуют трабекулярную сеть в виде ярусов.

2. Мясистые трабекулы в сердце эмбрионов человека, сливаясь друг с другом преимущественно на уровне средней трети желудочков, формируют сосочковые мышцы, непосредственно связанные со створками предсердно-желудочковых клапанов, имеющих в своем составе мышечный компонент.

3. По мере увеличения размеров сердца эмбрионов человека створки и сосочковые мышцы отдаляются друг от друга и между ними появляются тяжи с мышечным компонентом – будущие сухожильные хорды (у эмбрионов 18–23 мм ТКД). Помимо этого, сухожильные хорды формируются из мясистых трабекул, отходящих от трабекулярной сети непосредственно к створкам предсердно-желудочковых клапанов.

4. В процессе демускуляризации мышечная ткань в сухожильных хордах и створках предсердно-желудочковых клапанов сердца

эмбрионов человека замещается соединительной и внутрижелудочковые образования приближаются к дефинитивному состоянию.

REFERENCES:

- Berishvili I.I., Sabirov B.N., Vachromeeva M.N. Embriogenez predserdno-zheludochkovykh klapanov [Atrial Ventricular Valve Embryogenesis]. *Morfologiya*, 1996, vol. 109, no. 1, pp. 106–110. (in Russian).
- Gabchenko A.K. Vazoidy trabekulyarnoy chasti gubchatogo miokarda embriona kak osnova formirovaniya sosudistoy sistemy serdza cheloveka [Vasoids of trabecular part of spongy myocardium of the embryo as the basis of vascular system formatum in the human heart]. *Morfologiya*, 2008, vol. 133, no. 2, pp. 28a. (in Russian).
- Wenink A.C., Knaapen M.W., Vrolijk B.C., VanGroningen J.P. Development of myocardial fiber organization in the rat heart. *Anat Embryol (Berl)*, 1996, vol. 193, no. 6, pp. 559–567.
- Michaylov S.S. *Klinicheskaya anatomiya serdza* [Clinical anatomy of the heart]. M.: Medizina, 1987, 288 s. (in Russian).
- Motalin S.B. Morfogenez struktur serdza i sudov, opredelyayuschich dvizhenie krovi v nich v ontogeneze [Morphogenesis of the structures of the heart and blood vessels that determine the movement of blood in them in ontogenesis]. *Kratkie tez. dokl. 70-y itog. nauch. sessii Astrachan. gos. med. in-ta*. Astrachan', 1989, pp. 46. (in Russian).
- Bokeriya L.A., Berishvili I.I. *Chirurgicheskaya anatomiya serdza : v 2 t. M.: NZSSCh im. A. N. Bakuleva RAMN*, 2006. Vol. 1: *Normal'noe serdze i fiziologiya krovoobrascheniya* [Normal heart and circulatory physiology], 365 s. (in Russian).
- Grzybiak M. Number of the tendinous cords in the human left ventricle during fetal and postnatal period. *Folia Morphol (Warsz)*, 1986, vol. 45, no. 3, pp. 158–168.
- Torrent-Guasp F., Buckberg G.D., Clemente C., Cox J.L., Coghlan H.C., Gharib M. The structure and function of the helical heart and its buttress wrapping. The normal macroscopic structure of the heart. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2001, vol. 13, no. 4, pp. 301–319.

Поступила 15.10.2019