

Д.Н. Лященко¹, Л.М. Железнов¹, Э.Н. Галеева¹, Г.А. Спирина², Л.О. Шаликова¹

ОСОБЕННОСТИ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ ПЛОДНОМ ПЕРИОДЕ ОНТОГЕНЕЗА

¹ Кафедра анатомии человека (зав. — проф. Л.М. Железнов), ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава РФ; ² кафедра анатомии человека (зав. — доц. П.В. Ивачев), ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, г. Екатеринбург

Целью настоящего исследования стало получение новых количественных данных по анатомии сердца человека в промежуточном плодном периоде онтогенеза на основе изучения секционного фетального материала. Материалом исследования послужили торсы 250 плодов человека без патологии органов грудной полости 16–22 нед развития. В ходе проведенного исследования получены новые данные по фетальной секционной анатомии сердца в целом, каждой его камеры. Детально изучены клапаны сердца плода, определены их размеры и описаны особенности строения.

Ключевые слова: анатомия плода, сердце плода, камеры сердца, клапаны сердца

Современное развитие неонатологии и критерии живорождения, применяемые в Российской Федерации, позволяют рассматривать глубоко недоношенных новорожденных с экстремально низкой массой тела как особых пациентов. В последнее десятилетие активно развивается фетальная хирургия, показания к которой четко определены. Выполнение лечебно-диагностических манипуляций у плода и глубоко недоношенных новорожденных требует особенно тщательного обоснования. В связи с этим ценность детальных сведений об анатомии плода, в том числе о строении сердца человека и его структур на разных этапах пренатального онтогенеза, значительно выросла [18].

В настоящее время накоплен большой объем знаний по нормальной анатомии сердца новорожденных, детей, людей зрелого возраста [1, 2, 6, 19]. Значительное число работ по фетальной анатомии посвящены изучению особенностей строения сердца при различных патологических состояниях плода и пороках его развития [10–12]. Для изучения анатомии развивающегося плода широко используются ультразвуковое сканирование и магнитно-резонансная томография [9, 13, 15, 16]. Однако возможности современной ультразвуковой диагностики ограничиваются недостаточной визуализацией органов и тканей [20], что дает возможность оценить в целом развитие сердца человека в пренатальном перио-

де развития, но не позволяет детально изучить его строение. Единичны работы, в которых приводятся данные изучения анатомии сердца на секционном фетальном материале и в норме [2, 8]. В связи с этим современная клиническая практика испытывает дефицит в детальных количественных сведениях о строении сердца плода в норме, полученных на основе изучения секционного, а не прижизненного материала.

Цель настоящего исследования — получение новых количественных данных о строении сердца человека в промежуточном плодном периоде онтогенеза на основе изучения секционного фетального материала.

В задачи исследования входило изучение на секционном материале морфометрических характеристик сердца плода человека на 16–22-й неделях развития, включая количественные параметры камер сердца, его перегородок, клапанов и проводящей системы.

Материал и методы. Материал исследования составили торсы 250 плодов человека обоего пола со сроком гестации 16–22 нед. Сбор материала осуществляли в патологоанатомических отделениях г. Оренбурга и Оренбургской области в соответствии с действующими законодательными актами Российской Федерации [4, 5]. Возраст плодов определяли по теменно-пяточному и теменно-копчиковому размерам (Б.Пэттен, 1959), а также с учетом акушерского анамнеза. С учетом действующей Terminologia Embryologica [17] рассматриваемый в исследовании возраст плодов относился к промежуточному плодному периоду онтогенеза

Сведения об авторах:

Лященко Диана Наилевна (e-mail: lyaschenkod@mail.ru), Железнов Лев Михайлович (e-mail: lmz-a@mail.ru), Галеева Эльвира Науфатовна (e-mail: galeewa.elwira@yandex.ru), Шаликова Людмила Олеговна (e-mail: l.o.shalikova@yandex.ru), кафедра анатомии человека, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, 460000, г. Оренбург, ул. Советская, 6

Спирина Галина Алексеевна (e-mail: profspirina@yandex.ru), кафедра анатомии человека, ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет», 620149, г. Екатеринбург, ул. Онуфриева, 20-а

(ПППО). Исследование одобрено ЛЭК ОрГМА (протокол № 7 от 01.04.2013 г.). Исходя из поставленных задач исследования, все плоды группировали по следующим возрастным группам: 16–17, 18–19, 20–21, 22 нед.

Для обработки материала использовали комплекс методик, включающий макромикроскопическое препарирование и морфометрию. Распилы по Н.И.Пирогову и изготовление гистотопограмм выполняли в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Фотографирование препаратов производили цифровым фотоаппаратом «Panasonic-Lumix DMC-TZ3». Для изучения материала гистотопографическим методом распилы выполняли на микротоме в горизонтальной, сагиттальной и фронтальных плоскостях. Горизонтальные срезы проводили на уровне каждого позвонка от C_{VII} до L_{II} . Сагиттальные секции осуществляли путем рассечения всего торса по срединной линии, а также по грудинной, окологрудинной, среднеключичной и передней подмышечной линиям справа и слева. Во фронтальной плоскости распилы полного торса проводили по среднеключичным, передним, средним и задним подмышечным линиям. Средний шаг среза составил 3–6 мм в зависимости от возраста плода и плоскости среза. Часть срезов после обезжиривания в спиртах нарастающей концентрации заливали в целлоидин и готовили серийные гистотопограммы с шагом 1 мм, которые обрабатывали в соответствии с методикой Ван-Гизона. Морфометрию выполняли с помощью окулярного микрометра с ценой деления 0,001 (ISO 9002 DIN 862). Для изучения срезов по Н.И.Пирогову и гистотопограмм применяли микроскоп МБС и автоматизированный компьютерный комплекс «Motic Images Plus Mac 5x».

Морфометрию выполняли на изолированных макропрепаратах сердца, при этом за длину органа принимали его максимальный размер по продольной оси, за ширину — поперечник, измеренный по венечной борозде. Длину и ширину камер сердца измеряли на четырехкамерном срезе в горизонтальной плоскости как максимальный размер каждого параметра, уточнение некоторых параметров проводили на сагиттальных и фронтальных срезах. При изучении кла-

панов сердца за ширину заслонок принимали расстояние между двумя их крайними точками (комиссурами клапана), а за ширину синусов — расстояние между этими же точками, но по стенке клапана. Высоту заслонок определяли в их средней части от основания до свободного края, а высоту синусов — от фиброзного кольца клапана до вала, расположенного над синусом. В трехстворчатом и митральном клапанах изучали длину, ширину и площади их створок, длину и толщину сосочковых мышц, длину сухожильных хорд. Площадь створок митрального и трехстворчатого клапанов, заслонок полулунных клапанов, а также внутреннего просвета клапанов аорты и легочного ствола рассчитывали по программе Calculating area 1.8. Площадь внутреннего просвета предсердно-желудочковых отверстий определяли по формуле $S=\pi r^2$, где r — радиус отверстия.

Полученные морфометрические данные подвергали статистической обработке в среде Windows XP с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office и Statistica 6.0. Количественные данные анализировали с применением параметрических методов статистики согласно рекомендациям [3, 7], затем вычисляли их среднюю величину, стандартную ошибку средней, среднеквадратическое отклонение, минимальное и максимальное значения. Для оценки изменений морфометрических показателей от 16-й к 22-й неделе развития рассчитывали прирост средней величины показателя (%). Значимость полученных различий между средними величинами определяли при помощи t -критерия Стьюдента при $P \geq 95\%$.

Результаты исследования. На 16–22-й неделях развития сердце как орган, уже сформировано и находится в полости перикарда. Отчетливо определяются основание и верхушка сердца, оба желудочка, правое и левое ушки, оба предсердия, а также основные борозды сердца, его венечные артерии, выходящие и входящие сосуды (рис. 1). От 16–17-й недели к 22-й неделе сердце

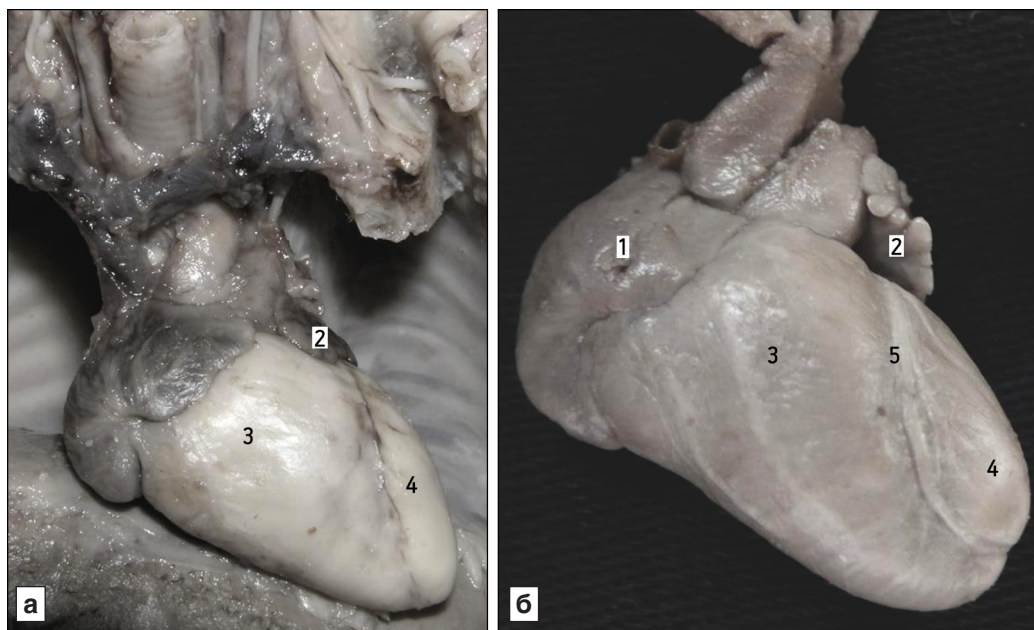


Рис. 1. Сердце плода на макропрепарате (а) и изолированном препарате сердца (б).

а — возраст 18–19 нед; б — 18–19 нед. 1 — правое ушко сердца; 2 — левое ушко сердца; 3 — правый желудочек сердца; 4 — левый желудочек сердца; 5 — передняя межжелудочковая борозда

нарастает в длину от $15,8 \pm 2,9$ до 25 мм, а также в ширину от 13 ± 3 до 15 ± 3 мм. За этот период прирост длины составляет 57%, прирост ширины — 14%.

Камеры сердца на протяжении 16–22 нед развития растут неравномерно и разнонаправленно. Правое предсердие сердца плода сформировано конечными отделами полых вен, в его полости отчетливо выражена заслонка нижней поллой вены. Левое предсердие в отличие от правого имеет хорошо развитую полость (рис. 2). Размеры обоих предсердий не различаются: длина правого предсердия в 16–17 нед составила $5,5 \pm 1,1$ мм, в 22 нед — $7,0 \pm 1,4$ мм, левого предсердия — $5,5 \pm 1,6$ и $7,0 \pm 1,3$ мм соответственно. Ширина правого предсердия за тот же срок увеличилась с $5,9 \pm 0,9$ до $10,1 \pm 1,6$ мм, а левого предсердия — от $5,6 \pm 1,4$ до $10,8 \pm 1,6$ мм. Нарастание предсердий происходит преимущественно за счет увеличения их ширины: ее прирост в левом предсердии составил 91%, в правом — 72%. Длина предсердий увеличивалась в меньшей степени: слева прирост составил 26%, справа — 28%. При этом прирост толщины стенки левого предсердия составил 23%, правого предсердия — 2%.

Ушки сердца плода растут более интенсивно, чем предсердия. От 16–17-й недели к 22-й неделе длина левого ушка сердца увеличивается от $6,7 \pm 1,1$ до $11,1 \pm 2,0$ мм, правого — от $3,8 \pm 0,4$ до $6,5 \pm 1,1$ мм. Прирост длины левого ушка составляет 65%, правого — 71%. При этом ширина левого ушка увеличивается на 28%, а правого — на 31%. Во всех возрастных группах левое ушко длиннее правого, а правое ушко шире левого ($P < 0,05$) при практически одинаковой толщине стенок обоих ушек.

У желудочков сердца отчетливо сформированы все поверхности, борозды, вырезка на верхушке сердца.

От 16–17-й недели к 22-й неделе длина левого желудочка увеличивается от $10,6 \pm 2,2$ до $16,8 \pm 1,1$ мм, ширина — от $6,1 \pm 1,6$ до $8,2 \pm 1,2$ мм, толщина стенки — от $1,8 \pm 0,4$ до $3,0 \pm 0,5$ мм. Прирост длины левого желудочка сердца плода составляет 58%, ширины — 35%, толщины стенки — 68%. Видно, что все параметры левого желудочка сердца по мере роста плода увеличиваются.

За тот же возрастной промежуток длина правого желудочка увеличивается от $9,6 \pm 1,3$ до $13,1 \pm 0,9$ мм, ширина — от $6,3 \pm 1,4$ до $8,3 \pm 1,4$ мм, толщина стенки — от $1,64 \pm 0,20$ до $3,0 \pm 0,5$ мм. Прирост длины правого желудочка сердца составляет 37%, ширины — 32%, толщины стенки — 85%.

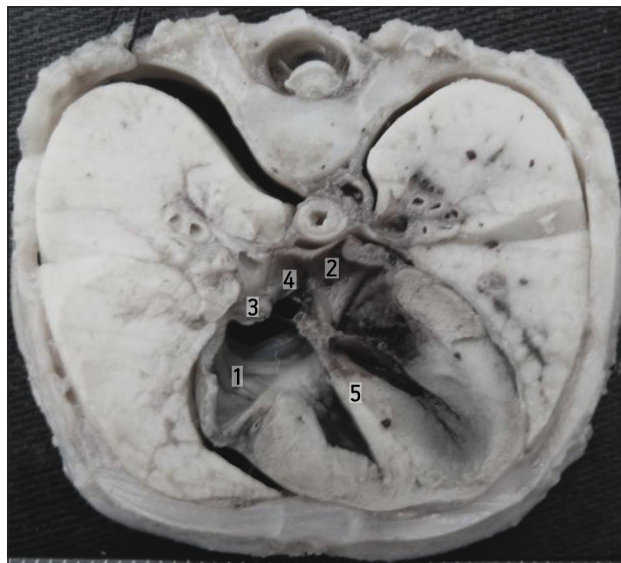


Рис. 2. Перегородки и овальное отверстие сердца у плода на горизонтальном срезе торса по Н.И.Пирогову.

Срез на уровне верхнего края T_v , срок развития — 20–21 нед.
1 — правое предсердие; 2 — левое предсердие; 3 — межпредсердная перегородка; 4 — овальное отверстие; 5 — межжелудочковая перегородка

На этапе ПППО полулунные и створчатые клапаны сердца плода полностью сформированы (рис. 3). На 16-й неделе в полулунных клапанах четко дифференцируются фиброзные кольца, полулунные заслонки и синусы. Отмечается выраженное расширение начального отдела клапана легочного ствола и незавершенность формирования луковицы аорты.

От 16–17-й недели к 22-й неделе длина окружности фиброзного кольца клапана легочного ствола увеличивается от $7,71 \pm 0,21$ до $11,58 \pm 0,24$ мм, клапана аорты — от $6,6 \pm 0,3$ до $10,85 \pm 0,23$ мм.

Высота синусов клапана легочного ствола и аорты практически в 1,3 раза превосходила высоту заслонок, а ширина полулунных заслонок в 1,2 раза превосходила ширину синусов. Прирост высоты и ширины синусов и полулунных заслонок обоих клапанов составлял от 37 до 40,1%. В местах прикрепления заслонок клапанов аорты и легочного ствола образуется существенное утолщение стенки сосуда, что придает просвету сосуда в зоне клапана форму трилистника. На свободном крае заслонок отчетливо дифференцируются узелки.

На этапе ПППО предсердно-желудочковые клапаны также характеризуются наличием всех основных структур. Предсердно-желудочковые отверстия имеют округлую форму. Обращает на себя внимание вариабельность сосочковых мышц, касающаяся их количества и местоположения. В левом желудочке в 72% случаев

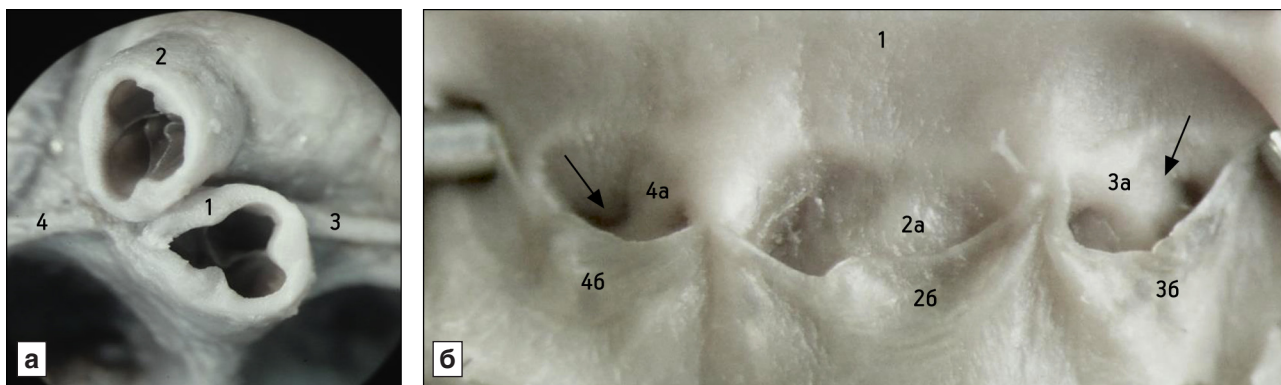


Рис. 3. Клапаны сердца.

а — полулунные клапаны. Изолированное сердце плода (вид сверху), возраст плода — 20–21 нед: 1 — аорта; 2 — легочный ствол; 3 — правая венечная артерия; 4 — левая венечная артерия; б — клапан аорты. Препарат изолированного клапана, фиброзное кольцо пересечено и развернуто. 1 — аорта; 2а — задний синус; 2б — задняя полулунная заслонка; 3а — левый синус; 3б — левая полулунная заслонка; 4а — правый синус; 4б — правая полулунная заслонка. Стрелки — устья правой и левой венечных артерий. Фото с препаратов через МБС-10. Об. 2, ок. 8

передняя сосочковая мышца была одна, в 28% спереди определяются 2 сосочковые мышцы — переднелатеральная и заднемедиальная. Среди задних сосочковых мышц в 36% случаев встречаются единичные мышцы, в 74% — множественные. Среди множественных задних сосочковых мышц в 59% случаев их число доходит до 4. В правом желудочке всегда наблюдается только одна передняя сосочковая мышца, а среди задних встречаются в 46% случаев единичные и в 54% случаев — множественные (чаще до 3 мышц). В 60% случаев определяется перегородочная мышца.

В проводящей системе сердца плода предсердно-желудочковые узел и пучок, правая и левая ножки пучка сформированы и имеют четкую локализацию и строение. При квадратной форме синусной части правой стороны межжелудочковой перегородки предсердно-желудочковый пучок имеет наименьшую длину, а при прямоугольной форме перегородки — наибольшую. Данные случаи представляют собой крайние варианты соотношения формы межжелудочковой перегородки и архитектоники предсердно-желудочкового отдела проводящей системы сердца, но наиболее часто встречающимися являются промежуточные варианты анатомического строения.

Обсуждение полученных данных. Анализ результатов работы позволил установить, что наиболее динамично из всех камер сердца у плодов в 16–22 нед развиваются желудочки сердца. Одной из характерных особенностей строения сердца плодов 16–22 нед, выявленной в ходе исследования, является одинаковая толщина стенки правого и левого желудочков. Еще одна особенность — это активно растущие ушки, количественные характеристики которых сопоставимы с показателями предсердий, а некоторые размеры ушек даже больше, чем у предсердий,

что согласуется с данными других исследователей [4, 5].

Подводя итог изучению особенностей строения сердца в ПППО, следует отметить достаточную сформированность его клапанов как анатомических образований, равномерный характер их роста, взаимосвязь ряда количественных параметров клапанного аппарата с формой сердца. К особенностям строения предсердно-желудочковых клапанов можно отнести отсутствие гребней в их створках. Интерес представляют также недоразвитие луковички аорты, сужение просвета аорты и легочного ствола в зоне прикрепления заслонок до 25%, расширение легочного ствола в области клапана до 30% диаметра.

Можно с уверенностью отметить, что варианты анатомического соответствия проводящей системы сердца формируются уже во внутриутробном возрасте. Предсердно-желудочковый пучок и синусная часть межжелудочковой перегородки составляют корреляционную пару, как и на последующих этапах развития [2].

Результаты работы являются морфологической основой для правильной интерпретации результатов ультразвукового обследования плода во втором скрининге, при его МРТ-исследовании. Полученные данные целесообразно использовать при выборе оптимального доступа и объема вмешательств у плода при врожденных стенозах аортального клапана, пороках его камер. Выявленные особенности анатомии сердца, его камер и клапанов, элементов проводящей системы послужат основой для прогнозирования и диагностики возможных пороков развития плода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронеску А. Анатомия ребенка. Бухарест: Меридиан, 1970.

2. Бокерия Л. А., Беришвили И. И. Хирургическая анатомия сердца. М.: Изд-во НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, 2006.
3. Гланц С. Медико-биологическая статистика М.: Практика, 1998.
4. Постановление Правительства Российской Федерации «О перечне социальных показаний для искусственного прерывания беременности» от 11 августа 2003 г. № 485.
5. Приказ Минздравсоцразвития России «О медицинских критериях рождения, форме документа о рождении и порядке ее выдачи» от 27 декабря 2011 г. № 1687.
6. Сакс Ф. Ф. Атлас по топографической анатомии новорожденных. М.: Медицина, 1993.
7. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных М.: Медиа Сфера, 2003.
8. Ялунин Н. В. Анатомия предсердно-желудочкового отдела проводящей системы сердца плода человека 18–27 недель развития: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2013.
9. Dhanantwari P. Human cardiac development in the first trimester: a high-resolution magnetic resonance imaging and episcopic fluorescence image capture atlas // *Circulation*. 2009. Vol. 120. P. 343–351.
10. Gembruch U., Shi C., Smrcek J. M. Biometry of the fetal heart between 10 and 17 weeks of gestation // *Fetal Diagn. Ther.* 2000. Vol. 15, № 1. P. 20–31.
11. Keyte A., Hutson M. R. The neural crest in cardiac congenital anomalies // *Differentiation*. 2012. Vol. 84. P. 25–40.
12. Meyer-Wittkopf M., Hofbeck M. Two- and three-dimensional echocardiographic analysis of congenital heart disease in the fetus // *Herz*. 2003. Vol. 28, № 3. P. 240–249.
13. Sandaite I., De Catte L., Moerman P. et al. A morphometric study of the human fetal heart on post-mortem 3-tesla magnetic resonance imaging // *Prenat. Diagn.* 2013. Vol. 33, № 4. P. 318–322.
14. Sedmera D. Function and form in the developing cardiovascular system // *Cardiovasc. Res.* 2011. Vol. 91. P. 252–259.
15. Seed M. Feasibility of quantification of the distribution of blood flow in the normal human fetal circulation using CMR: a cross-sectional study // *J. Cardiovasc. Magn. Reson.* 2012. Vol. 14. P. 79.
16. Simioni C., Nardoza L. M. et al. Heart stroke volume, cardiac output, and ejection fraction in 265 normal fetus in the second half of gestation assessed by 4 D ultrasound using spatio-temporal image correlation // *J. Matern. Fetal Neonat. Med.* 2011. Vol. 24, № 9. P. 1159–1167.
17. Terminologia Embryologica. Международные термины по эмбриологии человека с официальным списком русских эквивалентов / Под ред. Л. Л. Колесникова, Н. Н. Шевлюка, Л. М. Ерофеевой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014.
18. Wenstrom K. D., Carr S. R. Fetal surgery: principles, indications, and evidence // *Obstet. Gynecol.* 2014. Vol. 124, № 4. P. 817–835.
19. Wilcox B. R., Cook A. C., Anderson R. N. Surgical anatomy of the heart. Cambridge University Press. Cambridge, 2004.
20. Yagel S. et al. Detailed transabdominal fetal anatomic scanning in the late first trimester versus the early second trimester of pregnancy // *J. Ultrasound Med.* 2015. Vol. 34, № 1. P. 143–149.

Поступила в редакцию 14.04.2017
Получена после доработки 29.05.2017

PECULIARITIES OF THE ANATOMICAL STRUCTURE OF THE HUMAN HEART IN THE INTERMEDIATE FETAL PERIOD OF THE ONTOGENESIS

*D. N. Lyashchenko¹, L. M. Zheleznov¹, E. N. Galeeva¹,
G. A. Spirina², L. O. Shalikova¹*

The purpose of this study was to obtain new quantitative data on the anatomy of the human heart in the intermediate fetal period of ontogenesis based on the study of autopsy fetal material. The research was based on the study of torsos of 250 human fetuses at 16–22 weeks of development without pathology of the thoracic cavity organs. In the course of the study the data were obtained on fetal sectional anatomy of the heart including both general characteristics and those of each camera. The valves of the fetal heart were studied in detail, their sizes were measured and structural features were described.

Key words: *fetal anatomy, fetal heart, heart chambers, heart valves*

¹ Department of Human Anatomy, Orenburg State Medical University; ² Department of Human Anatomy, Ural State Medical University, Yekaterinburg