

© А. А. Якимов, 2013
УДК 612.647:611.127

А. А. Якимов

ТРАБЕКУЛЫ СИНУСНОЙ ЧАСТИ МЕЖЖЕЛУДОЧКОВОЙ ПЕРЕГОРОДКИ СЕРДЦА В ПЛОДНОМ ПЕРИОДЕ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕКА

Кафедра анатомии человека (зав. — проф. Г. А. Спирина), Уральская государственная медицинская академия, г. Екатеринбург

На препаратах сердца плодов человека на 17–28-й неделях развития ($n=91$), сформированных без пороков и малых аномалий, изучен рельеф синусной части (СЧ) мышечной межжелудочковой перегородки (МЖП) со стороны правого желудочка (ПЖ). Мясистые трабекулы имелись в СЧ в 96,7% случаев. Трабекулы, связанные с миокардом МЖП на всём своём протяжении (пристеночные), встречались в СЧ вдвое чаще, нежели трабекулы мостовидного типа. Трабекулы, как правило, концентрировались вблизи заднего угла ПЖ; здесь встречались исключительно мостовидные трабекулы. Наиболее часто трабекулы отсутствовали вблизи перепончатой части МЖП. Показано существование индивидуальной анатомической изменчивости рельефа ПЖ в сердце плода. В зависимости от количества, анатомического типа и взаимного положения трабекул выделены три варианта рельефа СЧ: гипертрабекулярный, гипотрабекулярный и промежуточный. Установлено, что в интервале от 17 до 28 нед внутриутробной жизни сердце плодов может различаться по форме трабекул, однако количество трабекул и их анатомический тип в пределах того или иного варианта СЧ остаются постоянными. Существование в СЧ МЖП продольных трабекул пристеночного типа предложено считать одним из признаков анатомически «нормального» (обычно сформированного) сердца плода человека.

Ключевые слова: сердце, плод, межжелудочковая перегородка, правый желудочек, мясистые трабекулы

Распространённость врожденных дефектов перегородок сердца за последнюю четверть XX в. каждые пять лет возрастала на 20–25%, и с начала 1990-х годов она остаётся стабильно высокой [12]. Наибольшую группу врождённых пороков сердца составляют изолированные дефекты межжелудочковой перегородки (МЖП). Развитие МЖП тесно связано с образованием мясистых трабекул [9], форма и ориентация которых во многом отражают особенности внутрисердечной гемодинамики. Важную роль в идентификации желудочков играют трабекулы правой стороны МЖП [1]. При описании этих структур в специальной литературе преимущественное внимание уделяют трабекулам выводного отдела правого желудочка (ПЖ) [11, 13], тогда как рельеф синусной части (СЧ) мышечной МЖП остаётся практически неизученным. Количественные анатомические исследования трабекул СЧ в нормальной (сформированной без пороков) МЖП плода человека до настоящего времени не проводились. Между тем, успешная пренатальная диагностика и хирургическая коррекция пороков невозможны без чёткого представления о нормальной анатомии внутрисердечных структур.

Цель настоящей работы — изучить анатомические особенности правожелудочковых тра-

бекул СЧ МЖП в сформированном без пороков сердце плодов человека от 17 до 28 нед развития.

Материал и методы. Исследование проводили на препаратах сердца плодов человека, полученных в результате спонтанных аборт и прерывания беременности по социальным или медицинским показаниям. Материал был получен из патоморфологического отделения Детской муниципальной больницы № 9 г. Екатеринбурга. Работу с трупным материалом и медицинской документацией осуществляли в строгом соответствии с нормами биомедицинской этики и действующим законодательством. *Критерии включения в исследование:* 1) прерывание беременности на 17–28-й неделе гестации; 2) соответствие антропометрических показателей плода сроку гестации; 3) внешне правильно сформированное сердце; 4) конкордантные соотношения камер сердца и присердечных сосудов; 5) остановка сердца в фазе ранней диастолы. *Критерии ограничения исследования:* 1) повреждение и деформация МЖП при вскрытии и фиксации сердца; 2) врождённые пороки развития плода; 3) диссоциированное развитие плодов при многоплодной беременности. Материал ($n=91$) распределили по четырём возрастным группам: 1-я — 17–19 нед ($n_1=17$); 2-я — 20–22 нед ($n_2=29$); 3-я — 23–25 нед ($n_3=30$); 4-я — 26–28 нед ($n_4=15$).

Проксимальной (по кровотоку) границей СЧ считали прикрепление перегородочной створки правого предсердно-желудочкового клапана к МЖП; дистальной границей — условную линию, проведённую по вершинам сосочковых мышц, берущих начало на МЖП и не достигающих указанной створки. Подобное определение границ правожелудочковой поверхности СЧ МЖП осуществляли в соответствии с имеющимися рекомендациями [1].

Сведения об авторе:

Якимов Андрей Аркадьевич (e-mail: Ayakimov07@mail.ru), кафедра анатомии человека, Уральская государственная медицинская академия, 620219, Екатеринбург, ул. Репина, 3

Таблица 1

**Частота встречаемости пристеночных трабекул
синусной части межжелудочковой перегородки
в сердце плодов разного возраста (%)**

Количество трабекул	Возраст плода, нед			
	17–19	20–22	23–25	26–28
1–2	27 (3/11)	21 (4/19)	11 (2/18)	30 (3/10)
3–5	9 (1/11)	26 (5/19)	28 (5/18)	30 (3/10)
6–8	64 (7/11)	37 (7/19)	39 (7/18)	20 (2/10)
9 и более	0	16 (3/19)	22 (4/18)	20 (2/10)

Примечание. В скобках: в числителе — количество препаратов с данным числом трабекул, в знаменателе — общее количество препаратов, имеющих пристеночные трабекулы. В таблице учтены лишь те препараты, в синусной части которых встречались исключительно пристеночные трабекулы.

Для измерений использовали микроскоп МБС-9 (ЛЗОС, Россия) и окулярную вставку, проверенную по объект-микрометру (ГОСТ 7513-75). Морфометрию проводили с использованием окуляра 8; точность измерений от 0,17 мм при об. 0,6 и до 0,014 мм при об. 7. На препаратах, фиксированных в 5–7% формалине, измеряли длину, ширину и толщину сердца, длину и ширину МЖП и её СЧ со стороны ПЖ, определяли индекс сердца — отношение ширины сердца к его длине. В каждой трабекуле измеряли минимальную и максимальную ширину, при сопоставлении результатов получали представление о форме трабекулы.

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Statistica 6.0 (StatSoft Inc.). Если распределение отличалось от нормального, результаты представляли в виде медиан и процентилей. Для оценки значимости различий между возрастными группами использовали тест медиан и Unequal N HSD test — аналог t-критерия Стьюдента, адаптированный для групп разной численности. Для корреляционного анализа использовали коэффициент Спирмена (Rs).

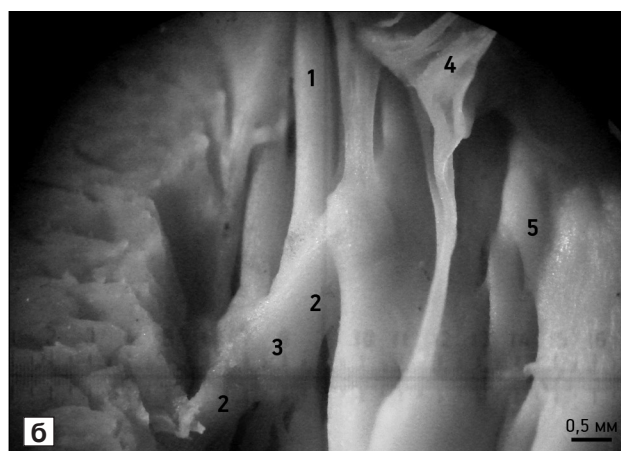
Результаты исследования. Установлено, что в 73,9% случаев в СЧ имелось от 2 до 7 трабекул (рисунк, а). Реже количество трабекул достигало 9–10. Максимальное количество трабекул (14) было отмечено на одном препарате. В 3,3% случаев (3 из 91) вся СЧ была совершенно гладкой.

В СЧ встречались как пристеночные, так и мостовидные трабекулы. Если трабекула на каком-то протяжении обособлена от миокарда перегородки и под ней формировалось пространство, то её считали мостовидной. В противном случае трабекулу считали пристеночной. Мостовидные трабекулы были отмечены в СЧ на 30,7% препаратов (27 из 88), причём в 19 случаях из 27 количество мостовидных трабекул не превышало 2. В разных возрастных группах мостовидные трабекулы СЧ имелись на 28,6–34,5% препаратов. Частота встречаемости таких трабекул не зависела от возраста. Более характерными

для СЧ были трабекулы пристеночного типа. Они встречались в 65,9% (58 из 88) препаратов. Различия в частоте встречаемости этих трабекул у плодов разного возраста, по-видимому, имели случайный характер (табл. 1).

Количество трабекул СЧ и выраженность их рельефа обычно возрастали в переднезаднем и базеоапикальном направлении. Трабекулы, как правило, концентрировались вблизи заднего угла ПЖ; исключительно здесь встречались мостовидные трабекулы (рисунк, б). При этом передний участок СЧ, расположенный под перегородочной створкой правого предсердно-желудочкового клапана, отличался бедным рельефом.

Подстворочный участок СЧ был полностью занят типичными мясистыми трабекулами в 22,7% наблюдений. В 13,7% случаев его рельеф был представлен слабо выраженными миокардиальными валиками. Последние, в отличие от мясистых трабекул, не имели чётких границ и всегда являлись пристеночными. В 63,6% случаев этот



Гипертрабекулярный (а) и промежуточный (б) варианты рельефа синусной части мышечной межжелудочковой перегородки (МЖП) плодов человека 20–22 нед развития.

1 — трабекулы пристеночного типа; 2 — трабекулы мостовидного типа в заднем углу правого желудочка; 3 — перекрест трабекул; 4 — перегородочная створка правого предсердно-желудочкового клапана (отогнута); 5 — участок синусной части МЖП, лишенный трабекул

Таблица 2

**Ширина трабекул синусной части межжелудочковой перегородки
у плодов разного возраста**

Ширина трабекул, мм	Возраст плода, нед			
	17–19	20–22	23–25	26–28
Минимальная	0,45 (0,33–0,60)	0,45 (0,35–0,50)	0,43 (0,35–0,55)	0,73 (0,55–0,90)
Максимальная	0,83* (0,75–1,0)	1,0* (0,8–1,25)	1,23* (1,0–1,45)	1,3 (1,2–1,5)

Примечание. В скобках — 25-й и 75-й процентиля.

* Различия между медианами максимального и минимального размера значимы при $P < 0,01$.

Таблица 3

**Вторичные морфометрические параметры трабекул
синусной части межжелудочковой перегородки
у плодов разного возраста**

Параметр	Возраст плода, нед			
	17–19	20–22	23–25	26–28
Разность $\text{Ш}_{\max}$ и $\text{Ш}_{\min}$	0,38	0,55	0,8	0,57
Отношение $\text{Ш}_{\max}$ и $\text{Ш}_{\min}$	1,8	2,2	2,9	1,8

Примечание. $\text{Ш}_{\max}$ и $\text{Ш}_{\min}$ — максимальная и минимальная ширина трабекул.

участок был совершенно гладким. Гладкий участок СЧ закономерно располагался вблизи перепончатой части МЖП.

Ширина гладкого участка СЧ в 17–19 нед составляла 1,95 мм ($p_{25}-p_{75}=1,3-2,4$ мм). В сердце плодов 2-й возрастной группы она увеличилась до 2,88 мм ($p_{25}-p_{75}=2,1-3,3$ мм), большая часть значений находилась в интервале от 1,5 до 3,0 мм. Ширина данного участка не зависела от размеров сердца, но были выявлены взаимосвязи этого параметра с длиной и шириной МЖП (R_s 0,358 и 0,524 соответственно, $P < 0,03$). Чем шире СЧ, тем шире был её гладкий участок под перегородочной створкой (R_s 0,709, $P < 0,001$). Наиболее часто (в 13 наблюдениях из 17; 76,5%) гладкий подстворочный участок СЧ встречался у плодов 17–19 нед. В 20–25 нед частота встречаемости снизилась до 41,4–42,9%, а к 26–28 нед гладкая СЧ была отмечена лишь на 2 из 14 препаратов (14,3%).

Минимальная ширина трабекул СЧ не изменялась от 17-й до 26-й недели (табл. 2). Были обнаружены значимые различия по этому параметру лишь между объединённой группой 17–25 нед и группой 26–28 нед ($P < 0,01$).

При этом максимальная ширина трабекул возрастала линейно, но к 26 нед темпы увеличения этого показателя снизились в 4 раза. Показатели максимальной ширины трабекул СЧ формировали корреляционные пары с размерами сердца (длиной, шириной и переднезадним размером), а также с длиной и шириной МЖП ($R_s > 0,33$, $P < 0,01$), в то время как минимальная ширина тех же трабекул зависела лишь от ширины СЧ и МЖП, следовательно, являлась более вариабельным показателем. Не было выявлено корреляционной связи между шириной трабекул и индексом сердца.

Анализ темпов роста трабекул позволил предположить, что к концу раннего плодного периода происходило принципиальное изменение их форм (табл. 3). С 17–19 до 23–25 нед всё чаще встречались трабекулы, отдалённо напоминавшие вытянутые треугольники, но в 25–26 нед трабекулы вновь, как и в 17–19 нед, приобретали лентовидную или уплощённо-цилиндрическую форму.

На основании трабекулярного рельефа, представлялось возможным выделить следующие варианты строения СЧ: 1) гипотрабекулярный вариант (см. рисунок, а). СЧ полностью занята трабекулами, их количество варьирует от 5 до 8. Трабекулы, как правило, пристеночные. В заднем углу ПЖ и/или на границе синусной и трабекулярной части МЖП встречаются мостовидные тра-

бекулы, здесь же трабекулы формируют ярусы и перекрёсты; 2) гипотрабекулярный вариант. Под перегородочной створкой правого предсердно-желудочкового клапана трабекулы отсутствуют. Могут встречаться единичные невысокие продольные мышечные валики без чётких границ. Расстояние между валиками превышает их ширину. У заднего края СЧ могут находиться 1–2 пристеночные трабекулы; 3) промежуточный вариант (см. рисунок, б). Трабекулы (преимущественно пристеночные) занимают не более половины СЧ, располагаются параллельно друг другу; их ширина обычно превышает ширину межтрабекулярных пространств. В направлении от заднего угла ПЖ к перепончатой части МЖП и к прикреплению перегородочной створки клапана количество и размеры трабекул уменьшаются. Подстворочный участок СЧ вблизи перепончатой части МЖП всегда гладкий. В месте перехода МЖП в заднюю стенку ПЖ могут находиться 1–2 трабекулы мостовидного типа.

Обсуждение полученных данных. Проведённое исследование показало, что для СЧ нормально сформированной МЖП сердца плода характерны пристеночные трабекулы, ориентированные в направлении кровотока: от основания сердца к его верхушке (см. рисунок, а). Полученные результаты согласуются с данными [10], согласно которым трабекулы отдела притока в базальной части МЖП сердца плода образованы волокнами подэндокардиального мышечного слоя,

расположенными косопродольно. В желудочке сердца эмбриона первичные трабекулы расположены радиально, но в связи с перестройкой внутрисердечной гемодинамики по мере образования МЖП радиальная ориентация сменяется на апико-базальную [14]. Доказано, что в плодном периоде внутренний рельеф желудочков сердца формируется с 5-й по 20-ю неделю внутриутробного развития, после чего изменяются лишь количественные параметры внутрисердечных структур [6].

Существование продольных трабекул у основания стенок желудочков в сердце взрослых людей было описано Н. И. Ёлкиным [3]. Продольное направление межтрабекулярных пространств СЧ ПЖ отмечено С. С. Михайловым [5] и А. М. Фоминым [5, 7]. С функциональных позиций продольное (от основания к верхушке сердца) расположение трабекул оптимально для быстрого заполнения ПЖ в диастолу. Скорость проникновения «потока наполнения» к верхушке ПЖ относят к важным показателям, характеризующим фазу диастолы желудочков [4]. Следовательно, продольную ориентацию трабекул СЧ МЖП можно считать одним из признаков анатомически «нормального» (обычно сформированного) сердца человека.

Рельеф СЧ МЖП в сердце плодов одного и того же возраста может различаться, что предположительно можно объяснить различиями в пролиферативной активности эндотелия кровеносных капилляров, врастающих в трабекулоподобные тяжи кардиомиоцитов [2]. На зависимость между формой и размерами трабекул и насыщением миокарда трабекул кислородом указывают S. Goo и соав. [8].

Настоящим исследованием установлено, что рельеф СЧ правожелудочковой стороны МЖП в сердцах плодов 17–28 нед характеризуется анатомической изменчивостью. В изученном возрастном интервале сердца плодов могут различаться между собой по форме мясистых трабекул, однако количество трабекул и их анатомический тип в пределах того или иного варианта СЧ остаются постоянными.

ЛИТЕРАТУРА

- Беришвили И. И., Вахромеева М. Н. и Джананян В. Л. Анатомия межжелудочковой перегородки сердца и анатомическая номенклатура. *Арх. анат.*, 1991, т. 100, вып. 3, с. 26–35.
- Горбунов А. А. и Твердохлеб И. С. Морфологические основы трабекуляции и компактизации эмбрионального миокарда. *Морфология*, 2008, т. 2, № 3, с. 21–24.
- Ёлкин Н. И. К анатомии камер полости сердца человека: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 1972.
- Кузнецова Л. М. и Сандриков В. А. Эхокардиография в оценке функции правого желудочка. *Кардиология*, 2009, т. 49, № 2, с. 63–65.
- Михайлов С. С. Клиническая анатомия сердца. М., Медицина, 1987.
- Савенкова О. О. Формоутворення внутрішнього рельєфу шлуночків серця людини у пренатальному періоді онтогенезу: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Харьков, 2009.
- Фомин А. М. Структурная организация межтрабекулярных пространств в желудочках сердца человека и лабораторных животных: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Ярославль, 1988.
- Goo S., Joshi P., Sands G. et al. Trabeculae carneae as models of the ventricular walls: implications for the delivery of oxygen. *J. Gen. Physiol.*, 2009, v. 134, № 4, p. 339–350.
- Icardo J. M. Heart anatomy and developmental biology. *Experientia*, 1988, v. 44, № 11–12, p. 910–919.
- Jouk P.-S., Usson Y., Michalowicz G. and Grossi L. Three-dimensional cartography of the pattern of the myofibres in the second trimester fetal human heart. *Anat. Embryol.*, 2000, v. 202, p. 103–118.
- Kosiński A., Nowiński J., Kozłowski D. et al. The crista supraventricularis in the human heart and its role in the morphogenesis of the septomarginal trabecula. *Ann. Anat. — Anat. Anz.*, 2007, v. 189, № 5, p. 447–456.
- Qyen N., Poulsen G., Boyd H. et al. National time trends in congenital heart defects, Denmark, 1977–2005. *Amer. Heart J.*, 2009, v. 157, № 3, p. 467–473.
- Rocha H., Eliziário L. F., Wafae G. C. et al. Anatomy of the septomarginal trabecula in Landrace pig hearts. *Morphologie*, 2010, v. 94, № 305, p. 26–29.
- Sedmera D., Pexieder T., Vuillemin M. et al. Developmental patterning of the myocardium. *Anat. Rec.*, 2000, v. 258, p. 319–337.

Поступила в редакцию 25.06.2012

TRABECULAE OF THE SINUS PART OF THE HEART INTERVENTRICULAR SEPTUM IN THE FETAL PERIOD OF HUMAN DEVELOPMENT

A. A. Yakimov

In the series of 91 samples of human heart obtained from fetuses at developmental weeks 17–28 and formed without major defects and minor anomalies, the relief of the sinus part (SP) of the interventricular septum (IVS) was studied on the side of right ventricle (RV). Myocardial trabeculae carneae (MTC) were found in SP in 96.7% of the cases. MTC, associated with the IVS myocardium along their entire length (parietal MTC), were twice as frequent as bridge-like MTC. MTC were predominantly concentrated at the posterior corner of the RV; these were exclusively bridge-like MTC. Most frequently, MTC were absent near the IVS membranous region. An individual anatomical variability of the relief of the RV in the fetal heart was demonstrated. Depending on the number, anatomical type and mutual position of the MTC, three variants of the SP relief were distinguished: hypertrabecular, hypotrabecular and intermediate. From week 17 to week 28 of the intrauterine life, the hearts of the fetuses may differ in the form of MTC, however their number and the anatomical type within a particular variant of the SP remained constant. The existence of the parietal longitudinal MTC on the right side of the IVS SP is proposed to be one of the hallmarks of the anatomically «normal» (ordinarily formed) heart in the human fetuses.

Key words: heart, fetus, interventricular septum, right ventricle, trabeculae carneae

Department of Human Anatomy, Ural State Medical Academy, Yekaterinburg