

О.Ю.Потоцкая

Днепропетровская государственная медицинская академия

Ключевые слова: проэпикард, проэпикардоподобные структуры, поперечная перегородка, куриный эмбрион, трехмерное компьютерное моделирование.

Надійшла: 15.10.2009
Прийнята: 02.12.2009

УДК [611.11: 611.013.395:611.26](611.068)

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОЭПИКАРДА, ПРОЭПИКАРДОПОДОБНЫХ СТРУКТУР И ПОПЕРЕЧНОЙ ПЕРЕГОРОДКИ НА РАННИХ ЭТАПАХ ПРЕНАТАЛЬНОГО ОНТОГЕНЕЗА КУР КРОССА Cobb 500

Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы „Анализ нормального и аномального гистогенеза тканевых компонентов сердечно-сосудистой системы человека и экспериментальных животных” (номер государственной регистрации 0105U007837).

Резюме. Проэпикард является мультипотентной эмбриональной структурой и считается источником многих клеточных популяций сердца, хотя окончательное происхождение некоторых из них остается предметом дискуссий. В понимании этой проблемы важно иметь правильное представление о взаимной связи между проэпикардом и соседними мезенхимными образованиями, которыми являются поперечная перегородка и проэпикардоподобные структуры. Таким образом, целью нашей работы было определить взаимосвязь между упомянутыми элементами, а также описать особенности поперечной перегородки и проэпикардоподобных структур птиц. В качестве материала были использованы эмбрионы кур кросса Cobb 500; на основании фотографий серийных срезов, при помощи программного обеспечения Photoshop CS2, Amira for microscopy 5.0, 3ds max 8.0 были созданы модели сердца, проэпикарда, проэпикардоподобных структур на 17 стадии развития по Hamburger-Hamilton (НН). Обнаружено, что проэпикардоподобные структуры, начиная с 16 стадии по НН, сообщаются с проэпикардом, поперечной перегородкой и, с 17-й стадии, – с мезенхимой правой стенки тела. Проэпикардоподобные структуры и поперечная перегородка закладываются как симметричные структуры, но их правые отделы развиваются более активно. На 17 стадии по НН в верхних отделах поперечной перегородки наблюдаются апоптотические клетки; на той же стадии в мезенхиме основания проэпикарда располагается зачаток печени. Иногда, с 14 по 17 стадию по НН, в поперечной перегородке обнаруживаются кровяные островки.

Морфология. – 2009. – Т. III, № 4. – С. 62-70.
© О.Ю.Потоцкая, 2009

Pototskaya O.Yu. Interrelation of proepicardium, proepicardium-like structures and septum transversum on early stages of prenatal ontogenesis of Cobb 500 hens.

Summary. Proepicardium is multipotential temporal embryonic structure which is the source of many cellular populations of heart, but derivation of some of them is still under debate. In understanding of this problem it is very important to imagine interconnections between proepicardium and neighbor mesenchymal structures, such as septum transversum and proepicardium-like structures. Thus, the goal of our research was to reveal interconnection between abovementioned elements; to describe the features of septum transversum and proepicardium-like structures in birds. We used Cobb 500 chick embryos as a material; on the basis of pictures of serial sections, with the help of Photoshop CS2, Amira for microscopy 5.0, 3ds max 8.0 computer programs, three-dimensional models of proepicardium, proepicardium-like structures, heart and septum transversum on 17 stage of development by Hamburger-Hamilton (НН) were made. Proepicardium-like structures, beginning from 16 stage by НН, were connected with proepicardium, septum transversum and, from 17 stage by НН, - with mesenchyme of right body wall. Proepicardium-like structures and septum transversum appeared as symmetrically structures, but their right components developed more actively. On the 17 stage by НН in apical part of septum transversum it were observed apoptotic cells; on the same stage in the basis of proepicardium was situated the liver bud. Sometimes, from 14 to 17 stages by НН, in septum transversum localized blood islands.

Key words: proepicardium, proepicardium-like structures, septum transversum, chick embryo, three-dimensional computer modeling.

Введение

Эмбриональный эпикард привлекает внимание многих исследовательских коллективов из

различных стран мира поскольку, подвергаясь процессу эпителио-мезенхимной трансформации, генерирует ряд клеточных популяций мио-

карда, коронарных сосудов и субэпикардiallyного пространства (Winter E.M., Gittenberger-de Groot A.C., 2007). При этом остается не выясненным, происходит ли таким же образом и коронарный эндотелий, гемагиобласты или их предшественники иммигрируют из проэпикарда или из окологепечочной мезенхимы поперечной перегородки. Для более детального исследования проблемы необходимо установить возможность связи проэпикарда с соседними мезенхимными образованиями во времени и в пространстве.

Классически в формировании эмбрионального эпикарда принимает участие проэпикард (ПЭ) – временная эмбриональная структура, которая, по аналогии с сердцем и большинством серозных оболочек, является производным целомического мезотелия. Рядом ученых в перикардiallyной полости описаны также проэпикардоподобные структуры (ПЭПС), которые по своей клеточной композиции сходны с проэпикардом, но не принимают участия в формировании эпикарда (Nahirney P. et al., 2003). Несмотря на это, в ходе наших исследовательских работ напротив ПЭПС была обнаружена группа везикул, фиксированных на поверхности сердца (Потоцкая О.Ю., 2008). Таким образом, впервые была описана структура, которая потенциально является дополнительным источником эпикарда. Уникальность наблюдения мы в некоторой степени связываем с использованием в ходе работ эмбрионов кур кросса Cobb500, в то время как большинство научных исследований проэпикарда птиц проводится на белых леггорнах.

До недавнего времени ученые выделяли определенные классовые особенности в структуре ПЭ (симметричность) (Schlueter J., Brand T., 2009), источнике его происхождения (поперечная перегородка у млекопитающих и мезотелий венозного синуса у птиц) (Vrancken Peeters M.-P.F.M. et al, 1995; Ratajska A. et al., 2006) и способе генерации эпикарда (приростание целостных отростков и продукция везикул) (Winter E.M., Gittenberger-de Groot A.C., 2007). В последнее время стали накапливаться данные, свидетельствующие о наличии скорее взаимосвязи между структурой ПЭ и способом образования из него эпикарда, при этом прослеживается отсутствие зависимости от уровня эволюционного развития того или иного класса и, тем более, вида. Окончательного мнения на этот счет еще не сформировано, очевидным является лишь обусловленность этих особенностей спектром генной экспрессии латеральной плоской мезодермы и проэпикарда.

Целью нашей работы было описать особенности поперечной перегородки птиц, ее взаимоотношения с прилежащими мезенхимными структурами; определить симметричность, источник происхождения и способ генерации эпикарда для ПЭПС.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили эмбрионы кур кросса Cobb 500; яйца инкубировали при температуре 38,5°C, относительной влажности 80%. Вращение яиц осуществлялось с интервалом 8 часов. Стадию развития определяли по V.Hamburger, H.Hamilton, (1951) (НН) с учетом рекомендаций В.Ж.Мартинсен (2005). Материал фиксировали в жидкости Буэна, обезвоживали в спиртах возрастающей концентрации, пропитывали хлороформом, заливали в парапласт. Серийные срезы толщиной 5 мкм (ориентированные в горизонтальной плоскости) окрашивали железным гематоксилином Гейденгайна, по Сиддмену, гематоксилином и эозином.

Для создания компьютерных моделей использовали программное обеспечение Photoshop CS2 (подготовка фотографий), Amira for microscopy 5.0 (создание и выравнивание контуров), 3ds max 8.0 (окончательная обработка и визуализация). Реконструкцию проводили согласно рекомендациям I.B.Твердохліба (2007).

Результаты и их обсуждение

Поскольку ПЭПС в своем развитии (подобно проэпикарду) тесно связаны с магистральными сосудами, для дальнейшего понимания топографических взаимоотношений ПЭПС и окружающих структур необходимо учитывать расположение друг относительно друга основных вен, впадающих в сердце. Для более подробного иллюстрирования была создана трехмерная компьютерная модель – рис. 1. Итак, книзу венозный синус (ВС на рис.1Б) раздваивается над передними кишечными воротами с образованием желточных вен (ЖВ1 на рис.1Д), прилегающих по бокам к воронке желточного протока (ПКВ на рис. 1Д). От каждого из этих сосудов, в свою очередь, отходят желточные вены второго порядка (ЖВ2 на рис. 1Д), которые ветвятся с образованием более мелких вен, проходящих в составе желточной оболочки. При этом в пространстве между венозным синусом – желточными венами с одной стороны, и желточными венами второго порядка с другой, над местом их слияния, в виде паруса располагается поперечная перегородка – мезенхимная структура, которая служит источником развития серповидной связки печени, малого сальника, а у млекопитающих также и диафрагмы (ПП на рис. 1А,Б). Снаружи она покрыта целомическим мезотелием и, будучи «натянутой» между двумя сосудами прилежащими к сердцу дорсально (ВС) и вентромедиально (ЖВ2), формирует ложе для верхушки сердца на 16-17 стадии по НН (рис. 1Д, Е).

На 14 стадии по НН ПЭПС обнаруживались в виде выростов мезотелия, покрывающего правую желточную вену второго порядка на уровне петли желудочков, которые содержали внутри единичные мезенхимные клетки. Напротив ПЭПС, на венозном синусе располагался ПЭ.

Следует отметить, что на этой стадии еще не наблюдались признаки формирования попереч-

ной перегородки.

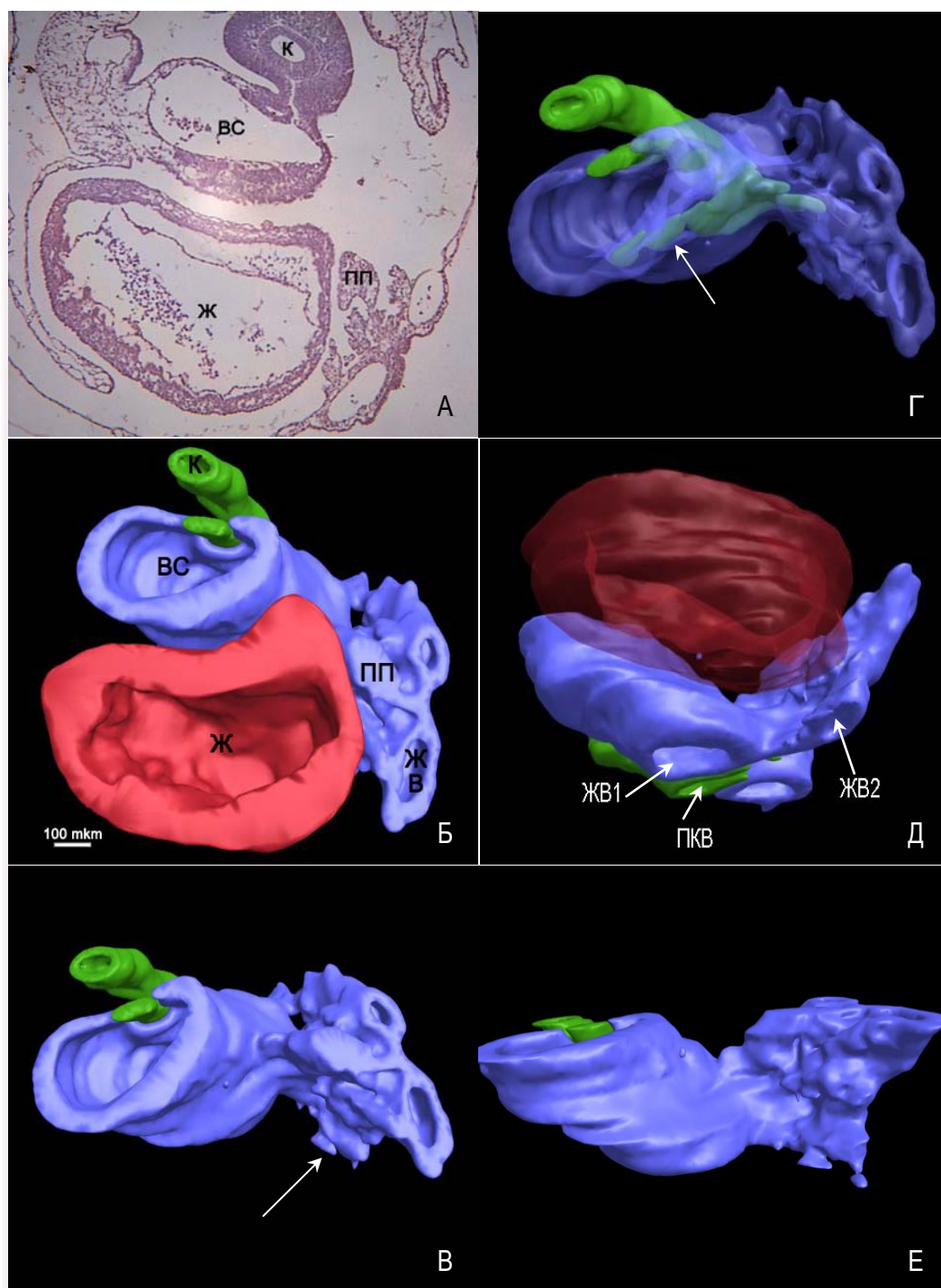


Рис. 1. Куриный эмбрион на 17 стадии развития по НН. А – окраска гематоксилином и эозином. Б, В, Г, Д, Е – модели поперечной перегородки (ПП), венозного синуса (ВС), верхушки желудочков (Ж), переднего отдела пищеварительной трубки (К) того же эмбриона. На Д модель сердца, на Г поперечная перегородка – прозрачность 50%. Стрелка на В указывает на ПЭПС, на Г – зачаток печени. ЖВ – желточная вена, ЖВ1, ЖВ2 – желточные вены первого и второго порядков соответственно, ПКВ – передние кишечные ворота.

На 15 стадии по НН существенных изменений в строении ПЭПС не происходило; отмеча-

лось появление первых признаков формирования поперечной перегородки, что проявлялось в на-

коплении мезенхимы под целомическим мезотелием (скорее всего в результате эпителио-мезенхимной трансформации последнего), покрывающего передние кишечные ворота, желточные вены первого, второго порядков и венозный синус. При этом мезенхимная ткань достигала уровня ПЭ и сообщалась с его собственной мезенхимой снизу и справа. С момента появления поперечной перегородки, в ней обнаруживались выросты подлежащей энтодермы переднего отдела пищеварительной трубки, являющиеся первыми признаками закладки печени. Интересно, что этот зачаток прорастал мезенхиму поперечной перегородки в вертикальном направлении, и его верхние отделы располагались на границе поперечной перегородки и проэпикарда.

На 16 стадии по НН размеры ПЭПС увеличивались по сравнению с предыдущей стадией, наблюдались места их соприкосновений с поверхностью миокарда (рис. 2А, Б).

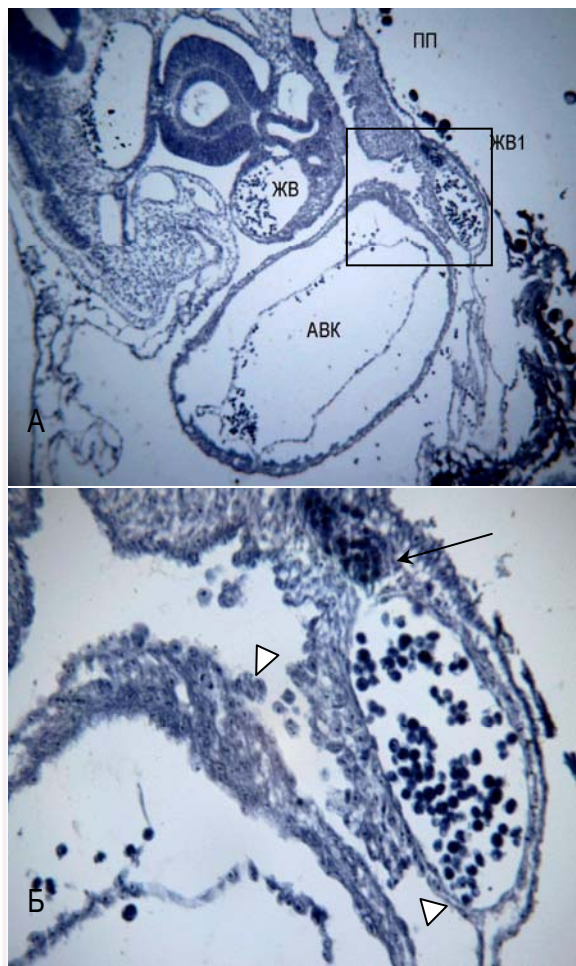


Рис. 2. Куриный эмбрион на 16 стадии развития по НН. Окраска железным гематоксилином Гейденгайна. Б является увеличенным фрагментом А. АВК – атриоventрикулярный канал, ЖВ – желточная вена первого порядка, ЖВ1 – желточная вена второго порядка, ПП – поперечная перегородка. Головки стрелок на Б указывают на ПЭПС, стрелка – кровяной островок.

Поперечная перегородка увеличивалась в объеме, границы ее распространения и расположение зачатка печени существенным образом не изменялись. Поскольку проэпикард птиц является асимметричной структурой, и достаточно много исследовательских работ посвящено выяснению причины этого явления (Schulte I. et al, 2007; Schlueter J., Brand T., 2009), необходимо заметить, что поперечная перегородка, как и ПЭПС, в отличие от проэпикарда, располагались симметрично. Но, ввиду положения эмбриона на левом боку, и расположении сердца справа (что увеличивает расстояние между венозным синусом и желточными венами), именно с этой стороны их отделы были более развиты (рис. 1В). Иногда в поперечной перегородке рядом с желточными венами обнаруживались кровяные островки (рис. 2Б), что характерно для многих мезенхимных структур эмбриона на данном этапе развития (Ratajska A. et al., 2006). На некоторых срезах удавалось выявить мигрирующие эритроциты, проникающие сквозь стенку ЖВ2 в поперечную перегородку.

На 17 стадии по НН ПЭПС продолжали увеличиваться в размерах и располагались главным образом на поперечной перегородке в участке между ЖВ1 и ЖВ2 (рис. 3А). На этой стадии от поверхности ПЭПС отпочковывались везикулы, которые, прилипая к миокарду, распластывались на его поверхности (рис. 3Б, В).

Особенностью проэпикарда птиц считается отсутствие образования везикул на всех этапах развития; для проверки этого утверждения были созданы трехмерные компьютерные модели ПЭ и ПЭПС одного эмбриона на 17 стадии развития по НН (рис. 4). Как видно по иллюстрациям, проэпикард представляет собой целостную структуру (рис. 4Г, Д), в то время как ПЭПС продуцируют значительную группу везикул (те из них, которые обнаруживались на поверхности сердца, обозначены зеленым цветом) (рис. 4А, Б, В). При этом лишь один отросток проэпикарда переходит в эпикард (не продемонстрировано). На задней поверхности модели ПЭПС можно увидеть канал, – место расположения ЖВ2 (рис. 4В). Обращает на себя внимание преобладание размеров ПЭПС над ПЭ.

Для лучшего понимания топографических взаимоотношений также была создана модель сердца с желточными венами и расположенными на ней ПЭ и ПЭПС (рис. 5). Как видно из этого рисунка, проэпикард располагается на правом роге венозного синуса, над атриоventрикулярным отделом в области малой кривизны сердца; ПЭПС размещаются между правыми ЖВ1 и ЖВ2. При рассмотрении модели с разных проекций можно заключить, что ПЭ находится на значительном расстоянии от ПЭПС и не может участвовать в продукции везикул (рис. 5Б, В, Г, Д).

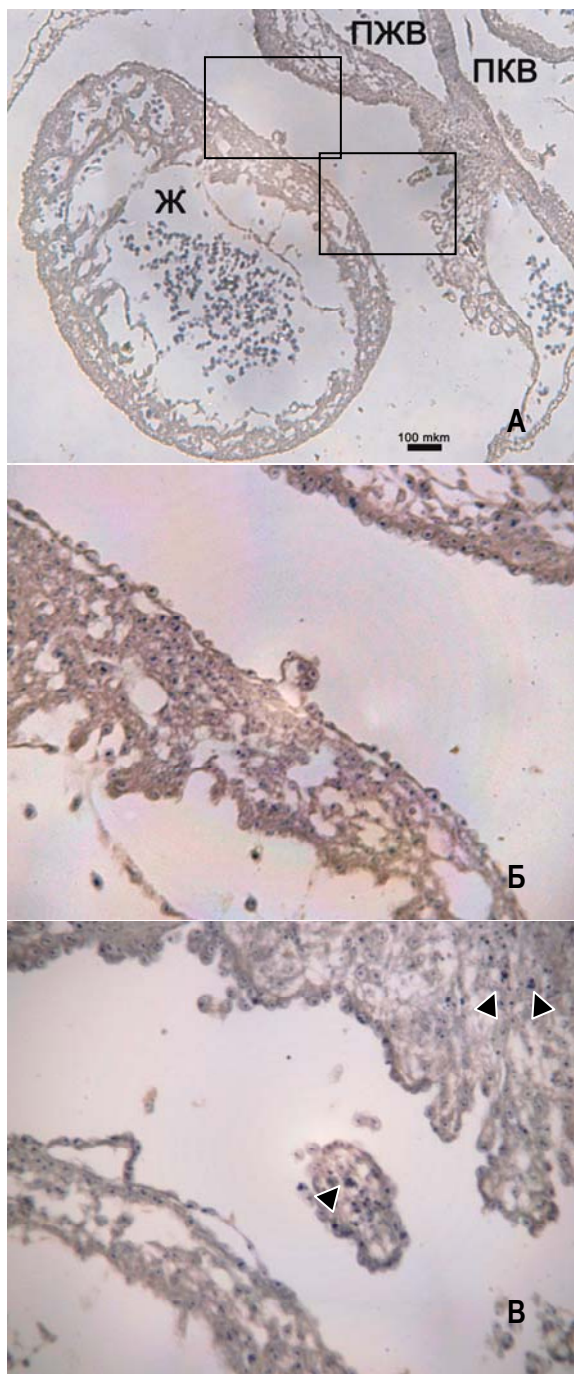


Рис. 3. Куриный эмбрион на 17 стадии по НН. Окраска железным гематоксилином Гейденгайна. Б является увеличенным верхним фрагментом А; В является увеличенным нижним фрагментом, на 120 мкм выше среза, изображенного на А. Головки стрелок на В указывают на клетки, подвергшиеся апоптозу. Ж – верхушка желудочка, ПЖВ – правая желточная вена, ПКВ – передние кишечные ворота.

При помощи компьютерного моделирования стало возможным измерение площади поверхности везикул ПЭПС, она составила $4,85 \times 10^3$ мкм², при площади поверхности сердца $4,02 \times 10^6$ мкм², а также объема везикул – $8,01 \times 10^3$ мкм³. Следует

заметить, что это лишь те везикулы, которые одновременно обнаруживались на поверхности миокарда, их общее количество установить достаточно затруднительно.

Сама поперечная перегородка на этой стадии развития продлевала свои границы выше проэпикарда и с левой стороны, около места впадения левой общей кардинальной вены в венозный синус, сообщалась с мезенхимой боковой стенки тела. Таким образом, мезенхимная ткань поперечной перегородки объединяла между собой не только проэпикард и проэпикардоподобные структуры, но и правую стенку тела (рис. 1А). Это особенно важно с учетом данных, по которым дорсальная мезенхима эмбриона проникает в эндокардиальные подушки атриовентрикулярного канала через дорсальный мезокардий и принимает участие в септации сердца (Snarr B.S. et al., 2007). Кроме того, сообщение мезенхимных структур делает возможным иммиграцию в ПЭ ангиобластов из мезенхимы околопеченочного региона и правой стенки тела (Winter E.M., Gittenberger-de Groot A.C., 2007). Также сообщение этих структур между собой следует учитывать при введении меток непосредственно в ПЭ, как это продемонстрировано в некоторых работах (Pérez-Pomares J.M. et al., 2002; Tomanek R.J. et al., 2006).

С развитием поперечной перегородки увеличивался в размерах и зачаток печени; на 17 стадии по НН он располагался в мезенхиме основания ПЭ, вероятно, оказывая индуктивное влияние на дифференцировку окружающих клеточных компонентов (рис. 1Г). Одной из основных методик, направленных на изучение потенциалов проэпикарда, является микрохирургическое удаление ПЭ на 16-17 стадии по НН и пересадка его другому виду животного либо на питательную среду (Pérez-Pomares J.M. et al., 2002, 2004, 2006). Часто при этом неизбежно захватывают участок венозного синуса; таким образом, во-первых, клетки проэпикарда уже испытали индуктивное влияние печени, а во-вторых, высока вероятность, что в удаленном фрагменте венозного синуса окажется зачаток печени.

В одном случае было обнаружено необычное явление: поперечная перегородка в своих верхних отделах соприкасалась с сердцем (рис. 6А, Б); при этом ПЭПС располагались ниже этого участка. Обращало на себя внимание образование «вмятины» на поверхности миокарда в месте прирастания ПП (стрелки на рис. 6Б), что дополнительно свидетельствовало о механическом взаимодействии названных структур. Вероятно, это связано с изменением топографии клеточных адгезионных молекул, принимающих участие во взаимодействии ПЭПС и миокарда.

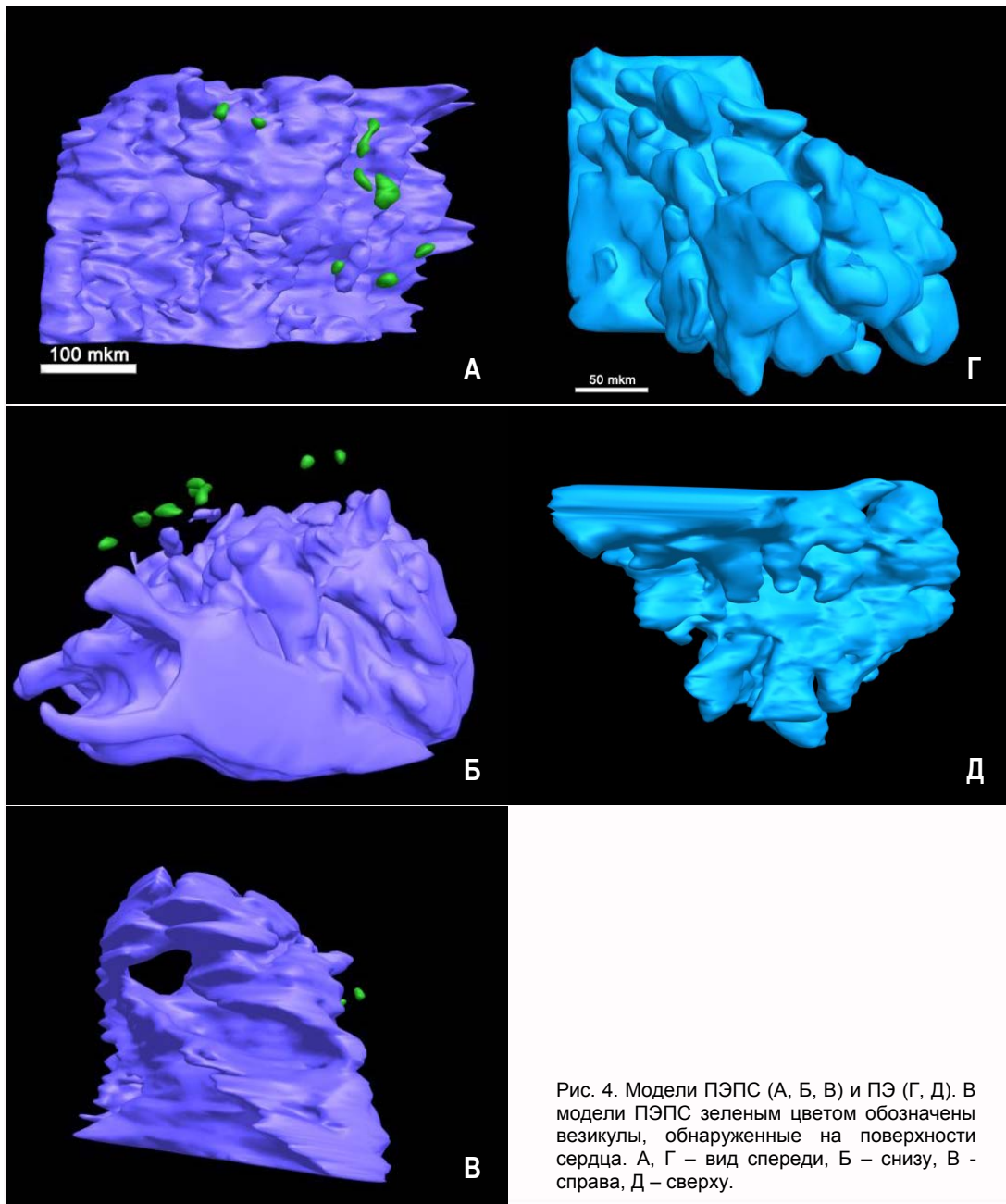


Рис. 4. Модели ПЭПС (А, Б, В) и ПЭ (Г, Д). В модели ПЭПС зеленым цветом обозначены везикулы, обнаруженные на поверхности сердца. А, Г – вид спереди, Б – снизу, В – справа, Д – сверху.

На 18-19 стадии по НН, благодаря постепенному закрытию передних кишечных ворот, а также, вероятно, апоптозу поперечная перегородка вместе с зачатком печени и ПЭПС смещалась книзу по отношению к верхушке сердца и уменьшалась в размерах. Таким образом, в формировании сердца на дальнейших этапах ПЭПС участия не принимали. Сообщение мезенхим ПЭ, поперечной перегородки и боковой стенки тела сохранялось вплоть до прекращения существования проэпикарда на 26 стадии по НН.

Выводы

1. В формировании эпикарда птиц принима-

ют участие 2 источника: ПЭ, который прирастает к сердцу своими отростками, и ПЭПС, которые генерируют ряд везикул, прилипающие к поверхности сердца. При этом ПЭ и ПЭПС птиц на 14 стадии по НН являются производными мезотелия венозного синуса и желточной вены второго порядка соответственно, затем (на 16-17 стадиях по НН) распространение границ поперечной перегородки приводит к тому, что ПЭ и ПЭПС фактически оказываются ее выростами. Эти три мезенхимные структуры сообщаются между собой и, с 17 по 26 стадии развития по НН, – с мезенхимой боковой (правой) стенки тела.

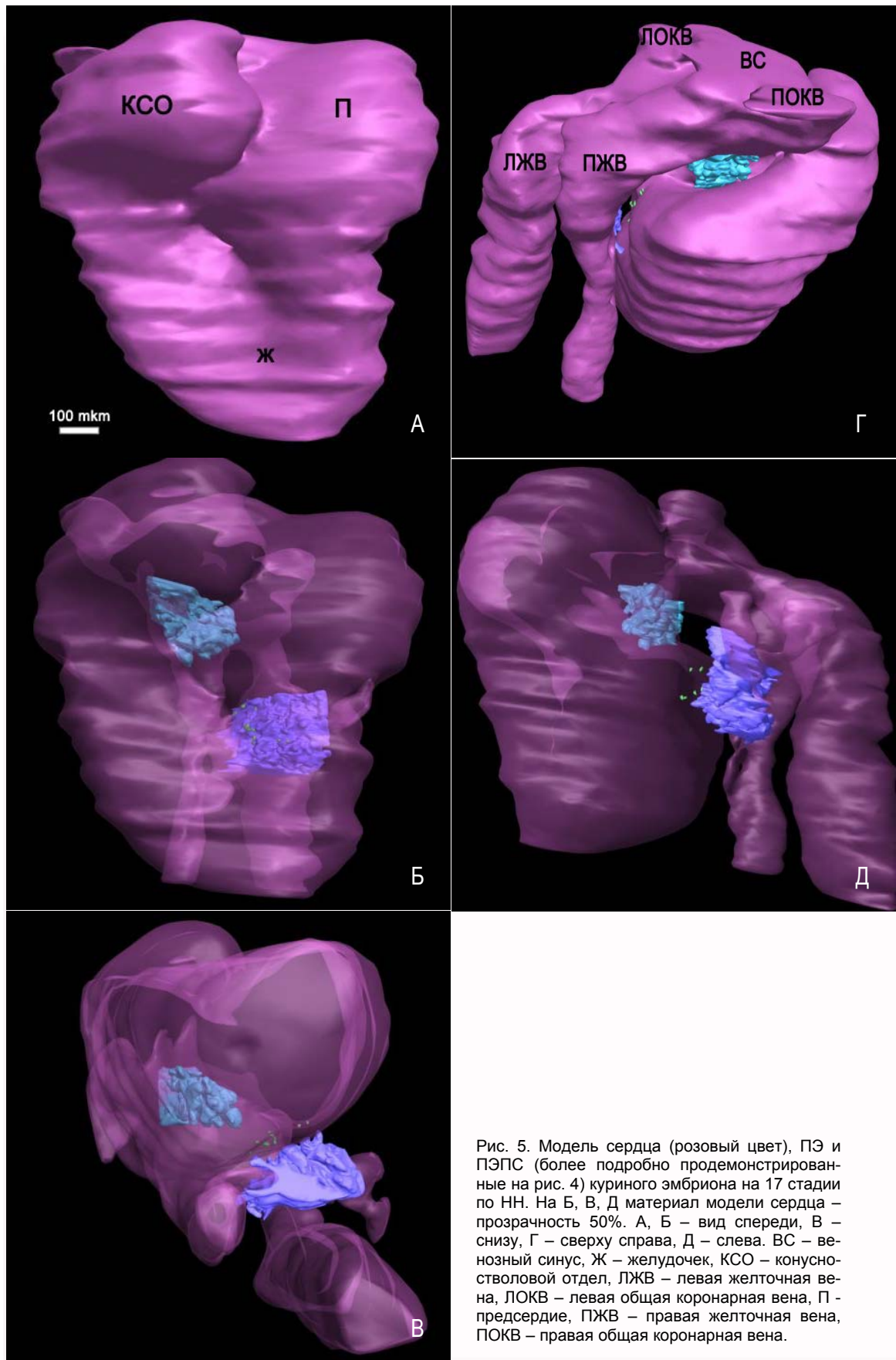


Рис. 5. Модель сердца (розовый цвет), ПЭ и ПЭПС (более подробно продемонстрированные на рис. 4) куриного эмбриона на 17 стадии по НН. На Б, В, Д материал модели сердца – прозрачность 50%. А, Б – вид спереди, В – снизу, Г – сверху справа, Д – слева. ВС – венозный синус, Ж – желудочек, КСО – конусно-стволовой отдел, ЛЖВ – левая желточная вена, ЛОКВ – левая общая коронарная вена, П – предсердие, ПЖВ – правая желточная вена, ПОКВ – правая общая коронарная вена.

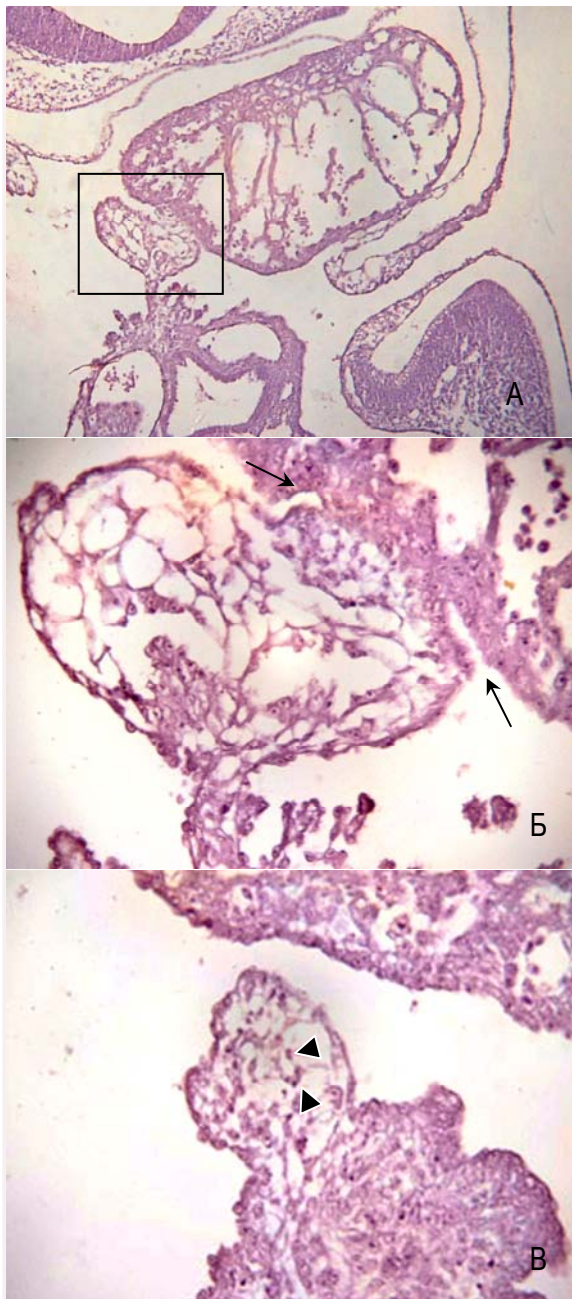


Рис. 6. Куриный эмбрион на 17 стадии по НН. Окраска гематоксилином и эозином. Выделенный фрагмент на А - поперечная перегородка. Б является увеличенным фрагментом А. Срез В расположен на 125 мкм выше среза А. Головки стрелок на В указывают на клетки, погибшие путем.

2. Поперечная перегородка, как и ПЭПС, в отличие от проэпикарда, располагаются симметрично, но, ввиду положения эмбриона на левом боку и расположения сердца справа, именно с этой стороны их отделы более развиты. Уменьшение размеров поперечной перегородки, начиная с 17 стадии по НН, происходит за счет апоптоза мезенхимных клеток в верхних и боковых отделах.

3. На 16, 17 стадиях по НН в мезенхиме основания ПЭ обнаруживается зачаток печени, иногда также выявляются кровяные островки, которые образуются путем иммиграции эритроцитов из желточной вены.

Перспективы дальнейших исследований

Поскольку поперечная перегородка является субстратом для развития проэпикарда млекопитающих, а также учитывая значительные классовые и видовые отличия в развитии этого региона, целесообразно изучить их особенности непосредственно в процессе эмбрионального развития человека с использованием иммуногистохимических методик.

Литературные источники

Потоцкая О. Ю. Трехмерное компьютерное моделирование проэпикарда птиц на этапах эмбриогенеза / О. Ю. Потоцкая // Морфология. – 2008. – Т. 2, № 4. – С. 37-43.

Твердохліб І. В. Просторова реконструкція біологічних об'єктів за допомогою комп'ютер-

ного моделювання / І. В. Твердохліб // Морфологія. – 2007. – Т. 1, № 1. – С. 135-139.

A spatiotemporal evaluation of the contribution of the dorsal mesenchymal protrusion to cardiac development / Brian S. Snarr, Elaine E. Wirrig, Aimee L. Phelps [et al.] // Develop. Dyn. – Vol. 236.

– 2007. – P. 1287–1294.

Contribution of mesothelium-derived cells to liver sinusoids in avian embryos / J. M. Pérez-Pomares, R. Carmona, M. González-Iriarte [et al.] // *Develop. Dyn.* - 2004. - Vol. 229. - P. 465-474.

Cytokeratins as a marker for epicardial formation in the quail embryo / Vrancken Peeters M.-P., Mentink M. M., Poelmann R. E., Gittenberger-de Groot A. C. // *Anat. Embryol.* – 1995. – Vol. 191. – P. 503–508.

Hamburger V. A series of normal stages in the development of the chick embryo / Viktor Hamburger, Howard L. Hamilton // *J. Morphol.* – 1951. - Vol. 88, № 1. – P. 49-92.

In vitro self-assembly of proepicardial cell aggregates: An embryonic vasculogenic model for vascular tissue engineering / J. M. Pérez-Pomares, V. Mironov, J. A. Guadix [et al.] // *Anat. Rec.* - 2006. - Vol. 288A. - P. 700-713.

Martinsen B. J. Reference guide to the stages of chick heart embryology / Brad J. Martinsen // *Develop. Dyn.* - 2005. – Vol. 233. – P. 1217–1237.

Morphological and molecular left-right asymmetries in the development of the proepicardium: A comparative analysis on mouse and chick embryos / Inga Schulte, Jan Schlueter, Radwan Abu-Issa [et al.] // *Anat. Embryol.* - 2007. - Vol. 176, № 2. - P. 9-183.

Nahirney P. C. Evidence for an extracellular matrix bridge guiding proepicardial cell migration to the myocardium of chick embryos / Patrick C. Nahirney, Takashi Mikawa, Donald A. Fischman // *Develop. Dyn.* - 2003. - Vol. 227. - P. 511-523.

Origin of coronary endothelial cells from epicardial mesothelium in avian embryos / J. M. Pérez-Pomares, R. Carmona, M. Gonzales-Iriarte [et al.] // *Int. J. Dev. Biol.* - 2002. - Vol. 46. - P. 1005-1013.

Schlueter J. A right-sided pathway involving FGF8/Snai1 controls asymmetric development of the proepicardium in the chick embryo / Jan Schlueter, Thomas Brand // *PNAS.* - 2009. - Vol. 106, № 18. – P. 7485–7490.

Vasculogenesis of the embryonic heart: origin of blood island-like structures / Anna Ratajska, Elzbieta Czarnowska, Agnieszka Kołodzinska [et al.] // *Anatomical record.* – 2006. - Vol. 288A. – P. 223–232.

VEGF family members regulate myocardial tubulogenesis and coronary artery formation in the embryo / R. J. Tomanek, Y. Ishii, J. S. Holifield [et al.] // *Circ Res.* - 2006. - Vol. 98. - P. 947–953.

Winter E. M. Epicardium-derived cells in cardiogenesis and cardiac regeneration / E. M. Winter, A. C. Gittenberger-de Groot // *Cell. Mol. Life Sci.* - 2007. - Vol. 64. - P. 692-703.

Потоцька О.Ю. Взаємозв'язок проепікарда, проепікардоподібних структур та поперечної перегородки на ранніх етапах пренатального онтогенезу курей кросу Cobb 500.

Резюме. Проепікард являє собою мультипотентну тимчасову ембріональну структуру та вважається джерелом багатьох клітинних популяцій серця, хоча походження деяких з них лишається предметом дискусій. В розумінні цієї проблеми велике значення відіграє правильне уявлення про взаємний зв'язок між проепікардом та сусідніми мезенхімними структурами, якими є проепікардоподібні структури та поперечна перегородка. Таким чином, метою нашої роботи було виявити взаємозв'язок між вищезгаданими елементами, а також описати особливості поперечної перегородки та проепікардоподібних структур у птахів. В якості матеріалу були використані курячі ембріони кросу Cobb 500; на основі знімків серійних зрізів, за допомогою програмного забезпечення Photoshop CS2, Amira for microscopy 5.0, 3ds max 8.0 були створені моделі серця, проепікарда, проепікардоподібних структур та поперечної перегородки на 17 стадії розвитку за Hamburger-Hamilton (НН). Було виявлено, що проепікардоподібні структури, починаючи з 16 стадії за НН, сполучаються з проепікардом та поперечною перегородкою та, з 17-ої стадії, – з мезенхімою правої стінки тіла. Проепікардоподібні структури та поперечна перегородка закладаються як симетричні структури, але їх праві відділи розвиваються більш активно. На 17 стадії за НН у верхніх відділах поперечної перегородки спостерігались групи апоптотичних клітин; на тій же стадії в мезенхімі основи проепікарда розташовувалася печінкова брунька. Іноді, з 14 по 17 стадії за НН, в поперечній перегородці виявлялись кров'яні островці.

Ключові слова: проепікард, проепікардоподібні структури, поперечна перегородка, курячий ембріон, комп'ютерне тривимірне моделювання.