

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья

УДК 611.013.81.018

doi:10.18499/2225-7357-2025-14-3-31-38

1.5.22 – анатомия человека



Желточный мешок человека при физиологической беременности: гистологическое строение и связь с эмбриональной кишкой

Н. Н. Дубинина[✉], С. В. Айдагулова

Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

Аннотация. Цель исследования – изучить структурную организацию компарментов желточного мешка человека в первом триместре физиологической беременности и возможную связь органа с эмбриональной кишкой. **Материал и методы.** Исследовали 27 желточных мешков и 23 фрагмента тонкой кишки зародыша человека, полученные в результате прерывания физиологической беременности по желанию пациенток (срок 5–12 нед). Морфологические особенности органов изучали на серийных парафиновых срезах, окрашенных гематоксилином и эозином, а также по Маллори. **Результаты.** На ранних этапах развития человека стенка желточного мешка образована преимущественно эпителием энтодермального типа. Уникальной структурой органа является «глобус-подобное тело», имеющее складчатую форму и содержащее развитую капиллярную сеть. Желточный мешок связан с эмбриональной кишкой при помощи желточного протока, по которому содержимое органа до 6-й нед развития транспортируется в просвет кишки. В указанный период продолжается процесс формирования всех ее оболочек и рельефных образований. Микроворсинки на поверхности энтероцитов позволяют считать их клетками, занятыми в процессе абсорбции. Фиброз стенки желточного мешка и ее истончение, уменьшение размеров глобус-подобного тела с одновременной облитерацией желточного протока свидетельствуют о завершении основных функций данного органа к концу первого триместра беременности. **Заключение.** Желточный мешок человека является уникальной по строению провизорной структурой, функционирующей в тесном взаимодействии с зародышевыми энтодермальными производными. Жизненный цикл желточного мешка подчиняется принципу опережающего развития, характерному для системы внезародышевых органов в целом.

Ключевые слова: желточный мешок человека; беременность; глобус-подобное тело; желточный стебелек; эмбриональная кишка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дубинина Н.Н., Айдагулова С.В. Желточный мешок человека при физиологической беременности: гистологическое строение и связь с эмбриональной кишкой // Журнал анатомии и гистопатологии. 2025. Т. 14, №3. С. 31–38. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-3-31-38>

ORIGINAL ARTICLES

Original article

The Human Yolk Sac During Physiological Pregnancy: Its Histological Structure and Relationship with the Primitive Gut

N. N. Dubinina[✉], S. V. Aidagulova

Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract. The aim of the study is to investigate the structural organization of the human yolk sac compartments during the first trimester of physiological pregnancy and the potential connection of this organ to the primitive gut. **Material and methods.** 27 human yolk sacs and 23 fetal small intestine fragments obtained from voluntary termination of physiological pregnancy (gestational age: 5–12 weeks) were examined. The morphological features of the organs were studied on serial paraffin sections stained with hematoxylin and eosin, as well as with Mallory's stain. **Results.** In the early stages of human development, the wall of the yolk sac is primarily composed of an endodermal-type epithelium. A unique structure of this organ is the “glomus-like body”, which has a folded form and contains a developed capillary network. The yolk sac is connected to the primitive gut via the vitelline duct, through which the contents of the organ are transported into the intestinal lumen until the 6th week of development. During this period, the formation of all its layers and structural features continues. The presence of microvilli on the surface of the enterocytes suggests their involvement in the absorption process. Fibrosis and thinning of the yolk sac wall, reduction in the size of the glomus body, and simultaneous obliteration of the vitelline duct indicate the completion of the organ's primary functions by the end of the first trimester of pregnancy. **Conclusion.** The human yolk sac is a provisional structure with a unique organization, which

functions in close interaction with embryonic endodermal derivatives. Its life cycle follows the principle of accelerated development, which is characteristic of the extraembryonic organ system as a whole.

Keywords: human yolk sac; pregnancy; glomus-like body; vitelline duct; primitive gut

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Dubinina N.N., Aidagulova S.V. The human yolk sac during physiological pregnancy: its histological structure and relationship with the primitive gut. *Journal of Anatomy and Histopathology*. 2025. V. 14, №3. P. 31–38. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-3-31-38>

Введение

В течение многих лет желточный мешок человека считался рудиментарным, не играющим существенной роли провизорным органом. Несмотря на то, что в эмбриогенезе большинства хордовых животных он обеспечивает поступление питательных веществ к развивающемуся зародышу [1, 12, 17, 18, 22], основными его функциями у человека считаются участие в кроветворении [11] и создание условий для дифференцировки гонцитов [15].

Интерес к желточному мешку возобновился с появлением ультразвуковой диагностики. При проведении данного исследования этот орган является одной из первых структур, видимых внутри плодного яйца. Это позволяет считать желточный мешок важнейшим диагностическим критерием, подтверждающим имплантацию человеческого эмбриона в матку [2, 5, 6, 20].

В последнее десятилетие в зарубежной литературе появился ряд исследований дискуссионного характера, которые расширили представления о функциях желточного мешка, этапах его формирования и деталях строения [4, 6, 17, 18]. Особое внимание сосредоточилось на взаимодействии данного органа с тканями материнского организма при непосредственном участии ворсинчатого хориона [3]. Очевидно, что причиной возросшего интереса к системе провизорных структур человека со стороны врачей-эмбриологов стало активное использование ими вспомогательных репродуктивных технологий.

Первые фундаментальные исследования по изучению структуры желточного мешка были выполнены во второй половине прошлого столетия [9, 14, 21]. Основным способом его извлечения вместе с плодным яйцом из организма пациентки являлась процедура сальпинготомии (либо сальпингэктомии). Указанный способ взятия материала в значительной степени ограничивал временной отрезок, доступный для изучения органа – как правило, он не превышал 8-недельный рубеж. К указанному периоду желточный мешок заметно снижал свою функциональную активность, но не завершал ее полностью. Этим объясняется тот факт, что структурные преобразования самого органа в период инволюции до сих пор остаются практически не изученными.

Ряд вопросов вызывает и корректность результатов, полученных в исследованиях по-

добного рода. При развитии зародыша в маточной трубе, в условиях необычного для имплантированного плодного яйца микроокружения, нельзя исключать влияния последнего как на формирование, так и функционирование системы внезародышевых органов. Более того, это может сопровождаться рядом структурных перестроек как в составе отдельных ее элементов, так и всей системы в целом.

Практически не изученной на сегодняшний день проблемой остается и взаимодействие желточного мешка с эмбриональной кишкой. Между тем, такая связь интересна не только с позиций общего (энтодермального) происхождения данных структур, но и в рамках концепции опережающего развития провизорных органов. Полученные результаты позволили бы глубже взглянуть на эмбриональный гистогенез и его составные компоненты – клеточную дифференцировку, межклеточные взаимодействия, внутрисистемную тканевую интеграцию.

Поиск ответов на поставленные вопросы длительное время был осложнен весомой причиной – получение желточного мешка при прогрессировании беременности маточной локализации требовало высокого уровня технической сложности либо больших затрат.

Целью данного исследования явилось изучение макро- и микроструктурных особенностей стенки желточного мешка человека в первом триместре физиологической беременности, а также обоснование взаимосвязи данного провизорного органа с эмбриональной кишкой.

Материал и методы исследования

Место и время проведения исследования. Исследование проведено в Новосибирском государственном медицинском университете на кафедре гистологии, эмбриологии и цитологии им. проф. М.Я. Субботина с 2011 по 2025 гг. Абортивный материал получен из ГБУЗ Новосибирской области «Гинекологическая больница № 2» за период 2011–2014 гг.

Характеристика объекта исследования. Изучено 27 желточных мешков человека на сроках от 5 по 12 нед физиологической беременности и 23 фрагмента эмбриональной кишки. Искусственное прерывание беременности осуществлялось по желанию женщин (все пациентки подписывали «Информированное добровольное согласие»).

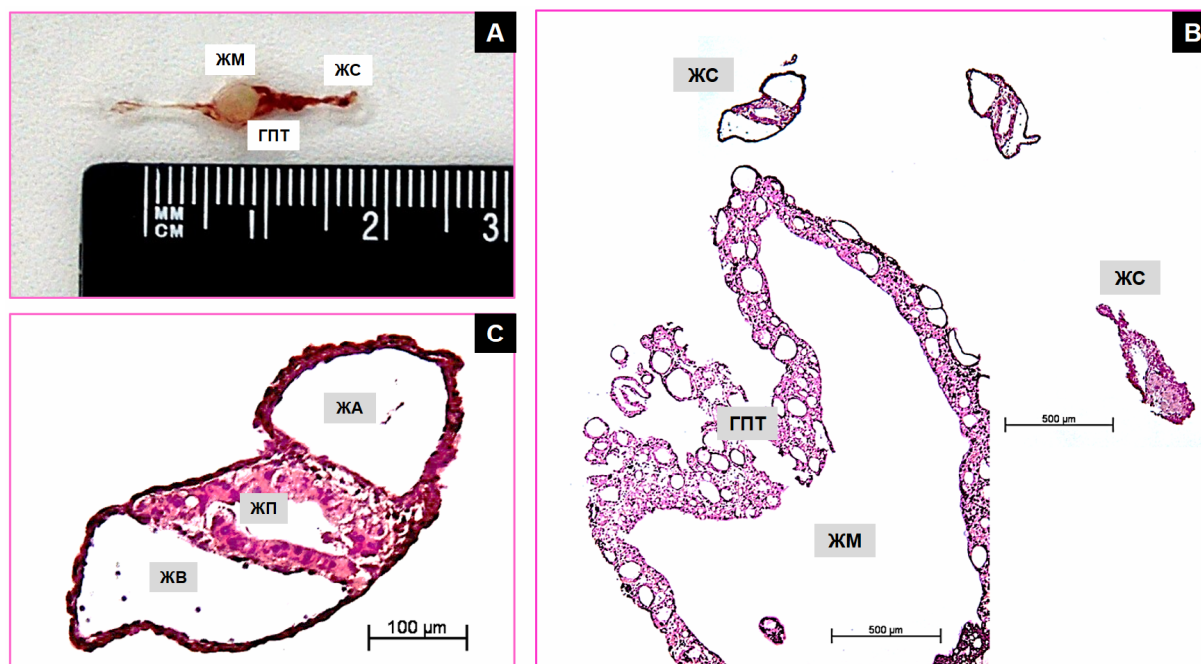


Рис. 1. Желточный мешок человека, беременность 6 нед. А – макроскопическое; В – микроскопическое строение (монтаж из двух микрофото); С – желточный стебелек, поперечный срез. Обозначения: ЖМ – желточный мешок; ЖС – желточный стебелек; ГПТ – гломус-подобное тело; ЖА – желточная артерия; ЖП – желточный проток; ЖВ – желточная вена. Окраска гематоксилином и эозином (В, С); $\times 40$ (В), $\times 100$ (С).

Fig. 1. Human yolk sac, 6 weeks of pregnancy. A – Macroscopic view; B – Microscopic structure (composite of two micrographs); C – Vitelline stalk, cross-section. Abbreviations: ЖМ – yolk sac; ЖС – vitelline stalk; ГПТ – glomus-like body; ЖА – vitelline artery; ЖП – vitelline duct; ЖВ – vitelline vein. Staining with hematoxylin and eosin (B, C); $\times 40$ (B), $\times 100$ (C).

Способ формирования выборки – случайный. Срок беременности устанавливался врачом акушером-гинекологом, факт наличия плодного яйца в матке был подтвержден протоколом ультразвукового исследования.

Дизайн исследования. Ввиду малых размеров желточного мешка (не более 6 мм в диаметре), отдельной задачей исследования стояла идентификация органа в содержимом абортивного материала. Для ее решения весь полученный от каждой пациентки ($n=109$) материал фиксировали в индивидуальной емкости в большом объеме формалина (0,5–0,7 л). Смену формалина проводили каждые 2 дня в течение недели. В зафиксированном материале в результате тщательного осмотра было обнаружено 7, 15 и 5 желточных мешков ($n=27$) разной степени зрелости, т.е. 5–6, 7–9 и 10–12 нед беременности соответственно.

Методы. Для светооптического исследования орган забирали целиком, обезжизивали в этиловом спирте возрастающей концентрации, выдерживали в ксилоле, смеси ксилола и парафина и заливали в парафин. В зависимости от возраста эмбриона, кишку забирали в составе фрагмента тела зародыша (до 8-й нед развития) либо отдельно. Предпочтение отдавали средней части, имеющей связь с желточным мешком. Серийные гистологические срезы получали при помощи ротационного микротомы Epradia HM 325 (Carl Zeiss, Германия). Срезы окрашивали гематок-

силином Эрлиха и эозином («БиоВитрум», Россия), а также по методу Маллори. Гистологические препараты изучали с помощью микроскопа ZEISS Primo Star и фотографировали при помощи цифровой видеокамеры AxioCam ICc 1 (Carl Zeiss, Германия).

Статистический анализ не проводился. Результаты исследования носят описательный характер.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено Комитетом по этике ФГБОУ ВО НГМУ Минздрава России (протокол № 32 от 17.03.2011 г.). Выполнены все требования о защите персональных данных.

Результаты и их обсуждение

Желточный мешок человека представляет собой тонкостенный орган округлой или эллипсовидной формы диаметром 4,0–5,5 мм, заполненный жидким содержимым (рис. 1 А). От него отходит длинный (7,0–9,0 мм) тонкий желточный стебелек (рис. 1 А, В), который связывает орган с эмбриональной кишкой [4]. В составе стебелька проходят желточные артерия и вена; центральную часть занимает желточный проток (рис. 1 С).

В стенке органа, недалеко от стебля, имеется особый компартмент – «гломус-подобное тело» (рис. 1 В), представляющее собой выраженное утолщение стенки желточного мешка, хорошо заметное в стереомикроскоп и отличающееся по строению от основ-

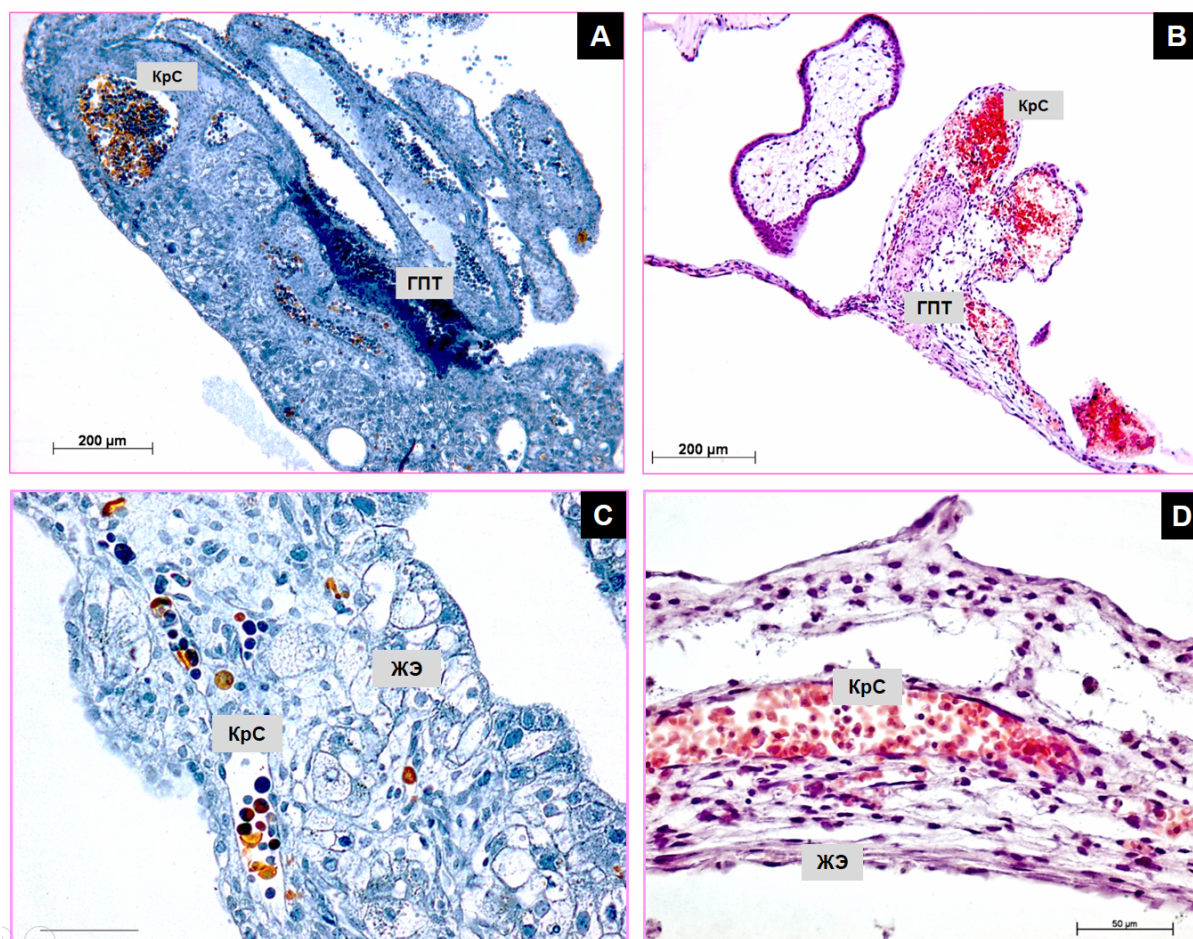


Рис. 2. Гистологическое строение различных компартментов желточного мешка человека. А – гломус-подобное тело; беременность 6 недель; В – гломус-подобное тело; беременность 12 недель; С – стенка органа, беременность 7-8 недель; D – стенка органа, беременность 12 недель. Обозначения: ГПТ – гломус-подобное тело; ЖЭ – желточный эпителий; КрС – кровеносный сосуд. Окраска по Маллори (А, С); гематоксилином и эозином (В, D); $\times 100$ (А, В), $\times 400$ (С, D).

Fig. 2. Histological structure of different compartments of the human yolk sac. A – Glomus-like body; 6 weeks of pregnancy; B – Glomus-like body; 12 weeks of pregnancy; C – Organ wall, 7-8 weeks of pregnancy; D – Organ wall, 12 weeks of pregnancy. Abbreviations: ГПТ – glomus-like body; ЖЭ – yolk sac epithelium; KC – blood vessel. Staining: Mallory's stain (A, C); hematoxylin and eosin (B, D); $\times 100$ (A, B), $\times 400$ (C, D).

ной части органа, впервые описанное J. Pereda и соавт. [13].

После публикации эти авторы лишь однажды возвращались к данной структуре, сосредоточив основное внимание на особенностях протекания «желточного» гемопоэза [15]. При этом ими был сделан ряд существенных предположений о ее функциональной роли, которые основывались на результатах, полученных при использовании сканирующей электронной микроскопии [13].

В доступной литературе нам не удалось обнаружить ни деталей морфологического строения гломусного тела, ни демонстрации его микрофотографий. Поскольку факт присутствия данной структуры в желточном мешке человека не вызывает никаких сомнений, мы решили расширить имеющиеся о ней представления.

На серийных срезах желточного мешка заметно, что на ранних сроках эмбриогенеза «гломус-подобное тело» представляет собой сложную карманообразную складку стенки

органа, выступающую в полость экзоцелома (рис. 2 А). Максимальный размер структуры на срезе не превышает $1,0 \times 0,8$ мм.

Основой складки является соединительная ткань, в которой располагается сеть анастомозирующих кровеносных сосудов, напоминающая по форме «клубочек». Макроскопически (рис. 1 А) и на микропрепаратах заметно, что основанием такого «клубочка» являются 3 крупных тонкостенных сосуда, которые формируются в результате слияния капилляров стенки желточного мешка.

Достигнув в составе гломусного тела его вершины, сосуды объединяются с расположенной рядом желточной веной. Последнюю (наряду с одноименной артерией) можно наблюдать в дистальном отделе желточного стебелька на поперечном (рис. 1 С) и парасагитальном срезах. Проксимальный отдел стебля (вблизи гломусного тела) содержит 3–4 ветви этих сосудов меньшего диаметра.

В целом, наши находки согласуются с результатами Z.W. Jin и соавт. [10], получен-

ными методом микрокомпьютерной томографии. Однако эти авторы усомнились в существовании желточного мешка человека в виде, описанном другими исследователями [9, 14, 21], с чем мы не можем согласиться. Причина их сомнений легко объяснима – за «остатки» желточного мешка был принят его проток, а не сам орган [10], расположенный далеко за пределами исследованного комплекса образований.

Окончание первого триместра беременности сопровождается уменьшением размера «гломус-подобного тела» (до $0,5 \times 0,4$ мм на срезе) и изменением его структуры. Несмотря на период инволюции, в его составе вблизи сосудов присутствовали тяжи эпителиальной ткани, а также многочисленные гиперхромные ядра (рис. 2 В), принадлежащие расположенным в просвете этих сосудов энucleированным эритроцитам.

О функциях «гломус-подобного тела» в настоящее время практически ничего не известно, хотя ряд интересных предположений все же имеется. Во-первых, указанная структура может играть ключевую роль в поддержании постоянства формы и размера желточного мешка (наряду с одновременным препятствием компрессии органа со стороны жидкости экзоцеломы) [13], а также принимать участие в мезобластическом этапе эмбрионального гемопоэза [8, 23, 24].

Во-вторых, высокая степень васкуляризации гломусного тела может быть определяющим фактором, индуцирующим миграцию гоноцитов в желточный мешок для дальнейшей их дифференцировки. Временное расположение предшественников зародышевых половых клеток за пределами тела эмбриона снижает степень мутационного риска в их геноме, поскольку позволяет избежать «сигнальной бомбардировки», предназначенной для специализации соматических клеток [20]. Заметим, что подобную спецификацию гоноциты проходят несколько раньше, находясь еще в составе зародышевого эпибласта [11].

Наконец, присутствие эпителиальных тяжей в составе «гломус-подобного тела» (рис. 2 В) в период завершения основных функций желточного мешка и его тканевой перестройки отражает участие данной структуры в синтетических процессах вплоть до окончания первого триместра беременности.

Представленные факты позволяют считать гломусное тело поистине уникальной структурой, окончательную роль которой в эмбриогенезе человека еще предстоит осознать.

За пределами гломусного тела основа стенки желточного мешка представлена «желточным» эпителием, образующим энтодермальные трубки. Противоположная поверхность органа покрыта экзоцеломическим эпителием, который тесно связан с соедини-

тельной тканью и кровеносными сосудами в ее составе (рис. 2 С).

К 11–12 нед беременности стенка желточного мешка истончается, уменьшается количество сосудов, а сам энтодермальный эпителий редуцируется до единственного слоя клеток. В результате за короткий (5–6 нед) период времени желточный мешок из хорошо васкуляризованного, функционально активного органа, трансформируется в структуру фиброзного типа (рис. 2 D), что совпадает с окончанием первого триместра беременности. Преобразования, наблюдаемые в стенке желточного мешка в указанный период, являются еще одним доказательством существования принципа опережающего развития и функционирования провизорных органов.

Одной из важнейших задач современной эмбриологии остается поиск путей, обеспечивающих взаимодействие структурных элементов в системе «мать – внезародышевые органы – плод». Но если наличие таких связей между организмом матери и внезародышевыми органами (в частности, ворсинчатым хорионом) подтверждено многочисленными исследованиями [1, 3, 4, 15, 17], то информации о взаимодействии провизорных и дефинитивных составляющих зародыша имеется крайне мало [10, 13]. В связи с вышеизложенным, наше внимание привлеч желточный проток, который связывает желточный мешок с эмбриональной кишкой.

Исследование ее стенки показало, что на 6-й нед развития формируются все ее оболочки и основные рельефные образования, и просвет кишки заполнен гетерогенным содержимым, связанным с ворсинами. Щеточная каемка на поверхности энтероцитов (рис. 3 А) свидетельствует в пользу активно протекающего здесь процесса пищеварения.

Ответ на вопрос о происхождении усваиваемого кишкой материала выглядит вполне логичным. На ранних сроках развития эмбрион не способен заглатывать амниотические воды, поэтому все свое содержимое кишка получает из полости желточного мешка через временно открытый желточный проток (рис. 3 В, С). Согласно данным J. Pereda и соавт. [15], такая связь между органами устанавливается еще на 4-й нед развития зародыша и служит для транспорта первой генерации безъядерных эритроцитов в просвет эмбрионального желудочно-кишечного тракта [16]. Однако уже на 6-й нед мы наблюдали облитерацию просвета желточный проток, которая постепенно распространялась со стороны зародышевой кишки в направлении желточного мешка (рис. 3 В).

Концепция «открытого» желточного протока позволяет считать указанные органы элементами единой функциональной системы и заставляет по-новому взглянуть на процесс их взаимодействия, формирования и дифференцировки. Внутри такой системы вновь

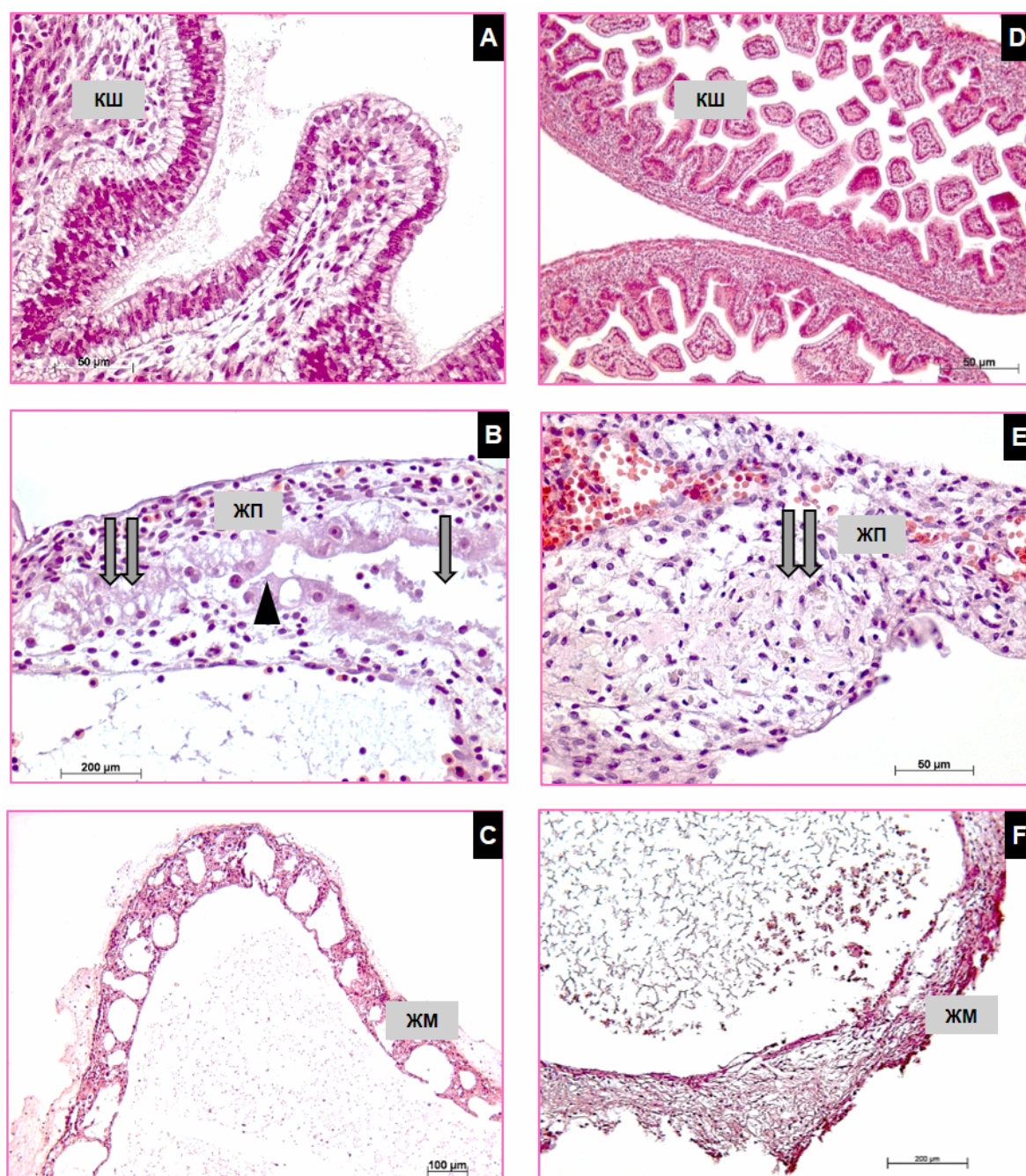


Рис. 3. Взаимосвязь желточного мешка, желточного стебелька и эмбриональной кишки у зародыша человека. А, D – эмбриональная кишка; беременность 5 нед (А), 11 нед (D); В, Е – желточный стебелек (продольный (В) и поперечный (Е) срезы), беременность 5 нед (В), 12 нед (Е); С, F – желточный мешок, беременность 6 нед (С), 10 нед (F). Обозначения: ЖМ – желточный мешок; ЖП – желточный проток; КШ – эмбриональная кишка; ↓ – открытый (В); ↓↓ – облитерированный (В, Е) желточный проток; ▲ – граница облитерации. Окр. гематоксилином и эозином; ×400 (А, В, Е), ×100 (С, D, F).

Fig. 3. Interrelationship of the yolk sac, vitelline stalk, and primitive gut in the human embryo. A, D – Primitive gut; 5 weeks (A), 11 weeks (D) of pregnancy; B, E – Vitelline stalk (longitudinal (B) and cross (E) sections), 5 weeks (B), 12 weeks (E) of pregnancy; C, F – Yolk sac, 6 weeks (C), 10 weeks (F) of pregnancy. Abbreviations: ЖМ – yolk sac; ЖП – vitelline duct; КШ – primitive gut; ↓ – patent (B); ↓↓ – obliterated (B, E) vitelline duct; ▲ – site of obliteration. Staining with hematoxylin and eosin; ×400 (A, B, E), ×100 (C, D, F).

образующиеся структуры зародыша оказываются под паракринным влиянием со стороны сигнальных молекул, производимых в указанный момент уже функционирующими провизорными органами. Этот факт, вероятно, и лежит в основе феномена асинхронности, характерного для зародышевых и внезародышевых структур, объединенных общим

происхождением и выполняемыми ими функциями.

Начиная с 9-й нед развития, просвет эмбриональной кишки выглядит пустым (рис. 3 D); облитерация на всех исследованных уровнях отмечена и в желточном протоке (рис. 3 E). Полость желточного мешка заполнена «клеточным детритом» из разрушенных

эпителиоцитов (рис. 3 F). Облитерация желточного протока затрудняет транспорт последних в эмбриональную кишку, однако это не отменяет дальнейшего взаимодействия между эмбриональными и провизорными структурами. Их связь становится возможной благодаря желточным сосудам, с которыми в указанный период связано гистиотрофное питание зародыша [19].

В конечном итоге, двустороннее влияние зародышевых и внезародышевых органов приводит к повышению степени дифференцировки и усложнению структурной организации одних и завершению жизненного цикла других, выполнивших в эмбриогенезе основные свои задачи.

Заключение

Желточный мешок человека при физиологической беременности из-за этических проблем и ограниченного доступа к нему остается недостаточно изученным внезародышевым органом. Это касается не только его строения, но и функциональной связи с рядом эмбриональных структур. Решение данной проблемы усугубляется ограничением в выборе животных, желточный мешок которых соответствует таковому у человека. Лишь создание новых моделей (органойдов) в отдаленной перспективе позволит ответить на ряд оставшихся еще вопросов и раскрыть окончательную роль этого провизорного органа в эмбриогенезе человека.

Таким образом, желточный мешок человека является уникальной по строению провизорной структурой, функционирующей в тесном взаимодействии с зародышевыми энтодермальными производными. Жизненный цикл желточного мешка подчиняется принципу опережающего развития, характерному для системы внезародышевых органов в целом.

Список источников / References

1. Дубинина Н.Н., Склянов Ю.И., Пopp E.A., Залавина С.В., Правоторов Г.В., Сажина Т.В. Гистогенетические параллели в дифференциации желточной энтодермы у некоторых позвоночных. *Морфология*. 2019;156(6):93. Dubinina NN, Sklyanov YuI, Popp EA, Zalavina SV, Pravotorov GV, Sazhina TV. Gistogeneticheskie paralleli v differentsiatsii zheltochnoi entodermu u nekotoryh pozvonochnyh. *Morfologija*. 2019;156(6):93 (In Russ).
2. Дубинина Н.Н., Склянов Ю.И., Пopp E.A., Саматова И.М., Залавина С.В. Эхографическая и морфологическая оценка состояния некоторых внезародышевых органов человека при неразвивающейся беременности. *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета*. 2018;18(6):124-127. Dubinina NN, Sklyanov YuI, Popp EA, Samatova IM, Zalavina SV. Ehograficheskaja i

morfologicheskaja otsenka sostojanija nekotoryh vnezarodyshevyh organov cheloveka pri nerazvivayushchejsja beremennosti. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo universiteta*. 2018;18(6):124-127. (In Russ).

3. Burton GJ, Cindrova-Davies T, Turco MY. Review: Histotrophic nutrition and the placental-endometrial dialogue during human early pregnancy. *Placenta*. 2020;102:21-26. doi: 10.1016/j.placenta.2020.02.008.
4. Burton GJ, Jauniaux E, Cindrova-Davies T, Turco MY. The human gestational sac as a choriovitelline placenta during early pregnancy; the secondary yolk sac and organoid models. *Dev Biol*. 2025;518:28-36. doi: 10.1016/j.ydbio.2024.11.007.
5. Detti L, Francillon L, Christiansen ME, Peregrin-Alvarez I, Goedecke PJ, Bursac Z, Roman RA. Early pregnancy ultrasound measurements and prediction of first trimester pregnancy loss: A logistic model. *Sci Rep*. 2020;10(1):1545. doi: 10.1038/s41598-020-58114-3.
6. Donovan MF, Arbor TC, Bordoni B. Embryology, Yolk Sac. 2023. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan.
7. Goh I, Botting RA, Rose A, Webb S, Engelbert J, Gitton Y, et al. Yolk sac cell atlas reveals multiorgan functions during human early development. *Science*. 2023;381(6659):eadd7564. doi: 10.1126/science.add7564.
8. Golub R, Cumano A. Embryonic hematopoiesis. *Blood Cells Mol Dis*. 2013; 51(4):226-31. doi: 10.1016/j.bcmd.2013.08.004.
9. Gonzalez-Crussi F, Roth LM. The human yolk sac and yolk sac carcinoma. An ultrastructural study. *Hum Pathol*. 1976;7(6):675-91. doi: 10.1016/s0046-8177(76)80079-2.
10. Jin ZW, Kim JH, Yamamoto M, Murakami G, Abe SI, Rodríguez-Vázquez JF. Topographical relationships of the yolk sac remnant and vitelline vessels with the midgut loop in the extra-embryonic coelom of human embryos. *Anat Cell Biol*. 2022;55(3):356-366. doi: 10.5115/acb.22.054.
11. Kobayashi T, Zhang H, Tang WWC, Irie N, Withey S, Klisch D, et al. Principles of early human development and germ cell program from conserved model systems. *Nature*. 2017;546(7658):416-420. doi: 10.1038/nature22812.
12. Kuzmina IV. The yolk sac as the main organ in the early stages of animal embryonic development. *Front Physiol*. 2023;14:1185286. doi: 10.3389/fphys.2023.1185286.
13. Pereda J, Corral E, Franchitto G. Emergence of a glomus-like body in the human yolk sac: a microanatomical analysis of its structure. *Ital J Anat Embryol*. 2005;110(2 Suppl 1):167-74.
14. Pereda J, Correr S, Motta PM. The structure of the human yolk sac: a scanning and transmission electron microscopic analysis. *Arch Histol Cytol*. 1994;57(2):107-17. doi: 10.1679/aohc.57.107.
15. Pereda J, Monge JI, Niimi G. Two different pathways for the transport of primitive and definitive blood cells from the yolk sac to the embryo in humans. *Microsc Res Tech*. 2010;73:803-9. doi.org/10.1002/jemt.20823.
16. Pereda J, Sulz L, Monge JI. The role of the gastrointestinal epithelium as a possible pathway for the transfer of nutrients to the embryo's circulation. *Microsc Res Tech*. 2015;78(6):500-7. doi: 10.1002/jemt.22501.

17. Ross C, Boroviak TE. Origin and function of the yolk sac in primate embryogenesis. *Nat Commun.* 2020;11(1):3760. doi: 10.1038/s41467-020-17575-w.
18. Shibata M, Makihara N, Iwasawa A. The Yolk Sac's Essential Role in Embryonic Development. *Rev. Agric. Sci.* 2023;11:243–258. doi: 10.7831/ras.11.o_243.
19. Spencer TE. Biological roles of uterine glands in pregnancy. *Semin Reprod Med.* 2014;32(5):346–57. doi: 10.1055/s-0034-1376354.
20. Suguna B, Sukanya K. Yolk sac size & shape as predictors of first trimester pregnancy outcome: A prospective observational study. *J Gynecol Obstet Hum Reprod.* 2019;48(3):159–164. doi: 10.1016/j.jogoh.2018.10.016.
21. Ukeshima A, Hayashi Y, Fujimoto T. Surface morphology of the human yolk sac: endoderm and mesothelium. *Arch Histol Jpn.* 1986;49(4):483–94. doi: 10.1679/aohc.49.483.
22. White M, Arif-Pardy J, Bloise E, Connor KL. Identification of novel nutrient sensitive human yolk sac functions required for embryogenesis. *Sci Rep.* 2024;14(1):29734. doi: 10.1038/s41598-024-81061-2.
23. Wittamer V, Bertrand JY. Yolk sac hematopoiesis: does it contribute to the adult hematopoietic system? *Cell Mol Life Sci.* 2020;77(20):4081–4091. doi: 10.1007/s00018-020-03527-6.
24. Yamane T. Cellular Basis of Embryonic Hematopoiesis and Its Implications in Prenatal Erythropoiesis. *Int J Mol Sci.* 2020;21(24):9346. doi: 10.3390/ijms21249346

Информация об авторах

✉ Дубинина Наталья Николаевна – канд. биол. наук, доцент кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии им. проф. М.Я. Субботина; Новосибирский государственный медицинский университет; ул. Красный Проспект, д. 52, Новосибирск, 630091, Россия; anna.dubinina05@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-6725-9445>
 SPIN 6724-9437
 Айдагулова Светлана Владимировна – д-р. биол. наук, профессор, зав. лабораторией клеточной биологии и фундаментальных основ репродукции; Новосибирский государственный медицинский университет;
 asvetvlad@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7124-1969>
 SPIN 5661-9765

Information about the authors

✉ Natal'ya N. Dubinina – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor at the Department of Histology, Embryology and Cytology; Novosibirsk State Medical University; ul. Krasnyi Prospekt, 52, Novosibirsk, 630091, Russia;
 anna.dubinina05@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-6725-9445>
 SPIN 6724-9437
 Svetlana V. Aidagulova – Doct. Sci. (Biol.), Professor, Head of Laboratory of Cell Biology and Fundamental Principles of Reproduction; Novosibirsk State Medical University;
 asvetvlad@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7124-1969>
 SPIN 5661-9765

Статья поступила в редакцию 29.01.2025; одобрена после рецензирования 14.04.2025; принята к публикации 29.09.2025.
 Submitted 29.01.2025; Revised 14.04.2025; Accepted 29.09.2025.