

Особенности морфологии плаценты табунных кобыл при абортах, связанных с плацентитом

К. Р. Нифонтов¹, В. С. Авдеенко^{2✉}, В. И. Федоров¹

¹ Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,

Санкт-Петербург, Россия

✉ E-mail: avdeenko0106@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – провести структурное анатомическое и гистохимическое изучение плаценты кобыл, содержащихся в табунах Якутии, при абортах, связанных с плацентитом. **Методика исследования.** Проанализированы образцы плацент (размером 1 × 1 см) от 5 шестилетних и семилетних кобыл непосредственно после аборта. Образцы были взяты у 2 кобыл с нормальной структурой плаценты и у 3 кобыл после аборта с признаками плацентита). Образцы плацент (толщиной 5 мм, площадью до 3 см²) фиксировались в 10-процентном растворе формалина HistoSafe. Далее проводилось обезвоживание в «Изопрепе» с постепенным повышением концентрации и заливка в парафин «Гистомикс». Для статистической обработки данных использовались программы IBM SPSS Statistics 26 и Microsoft Excel. **Результаты.** У кобыл после аборта в плодных оболочках были выявлены морфологические изменения в структуре плаценты. Наблюдалось разрушение эпителия амниона с образованием вакуолей. Клетки цитотрофобласта имели разнообразную форму (кубическую, округло-овальную, уплощенную, полигональную) и различный объем цитоплазмы, часто содержащей мелкие вакуоли. Ядра клеток были небольшими. Под цитотрофобластом располагалась пластинка из ретикулярной соединительной ткани. В клетках фибробластического ряда отмечалось значительное образование внутриклеточных вакуолей, что делало клетки похожими на кольца. В хориоаллантоисе обнаружены полиморфная инфильтрация соединительной ткани ворсин и стромы микротилеодонов, а также выраженное полнокровие (гиперемия) капилляров ворсин. В срезах сосудисто-аллантоисных оболочек наблюдалась вакуольная дистрофия фибробластов, проявляющаяся в образовании вакуолей и изменении формы клеток. У кобыл при плацентите установлена сильная аллантохориальная структура фиброзного характера и значительно больше соединительной ткани в аллантохориальных ворсинках, чем у кобыл с физиологическим течением беременности и родами. **Научная новизна.** Впервые для табунных кобыл детально проанализирована топография плаценты и микроскопическая структура ее клеточных компонентов. Исследование также направлено на выявление специфических биомаркеров, указывающих на плацентит, и определение его прогнозирующих индикаторов.

Ключевые слова: плацентит, топология и гистоморфометрия, аборт, анализ клеточных плацентарных структур

Благодарности. Исследование выполнено за счет регионального гранта Российского научного фонда № 25-16-20118.

Для цитирования: Нифонтов К. Р., Авдеенко В. С., Федоров В. И. Особенности морфологии плаценты табунных кобыл при абортах, связанных с плацентитом // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 07. С. 1274–1283. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-07-1274-1283>.

Дата поступления статьи: 16.02.2026, **дата рецензирования:** 10.04.2026, **дата принятия:** 06.05.2026.

Features of placenta morphology in herd mares during abortions associated with placentitis

K. R. Nifontov¹, V. S. Avdeenko²✉, V. I. Fedorov¹

¹ Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

² Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: avdeenko0106@mail.ru

Abstract. The purpose of the study was to conduct a detailed anatomical and histochemical study of the placenta of mares kept in herds of Yakutia during abortions associated with placentitis. **Methods.** Placenta samples (1 × 1 cm in size) from 5 six- and seven-year-old mares were analyzed immediately after the abortion. Samples were taken from 2 mares with normal placental structure and from 3 mares with signs of placentitis after abortion. Placenta samples (5 mm thick, up to 3 cm² in area) were fixed in a 10 % “HistoSafe” formalin solution. Next, dehydration was carried out in “Isoprep” with a gradual increase in concentration and pouring into “Histomix” paraffin. The IBM SPSS Statistics 26 and Microsoft Excel programs were used for statistical data processing. **Results.** Morphological changes in the structure of the placenta were revealed in mares after abortion in the fetal membranes. The destruction of the epithelium of the amnion with the formation of vacuoles was observed. Cytotrophoblast cells had a diverse shape (cubic, rounded-oval, flattened, polygonal) and a different volume of cytoplasm, often containing small vacuoles. The cell nuclei were small. A plate of reticular connective tissue was located under the cytotrophoblast. Significant formation of intracellular vacuoles was noted in fibroblastic cells, which made the cells look like rings. Polymorphic infiltration of the connective tissue of the villi and stroma of the microcotyledons, as well as pronounced fullness (hyperemia) of the villi capillaries, was found in the chorioallantosis. Vacuolar fibroblast dystrophy was observed in sections of vascular-allantoic membranes, which manifested itself in the formation of vacuoles and cell shape changes. Mares with placentitis have a strong allantochorial fibrous structure and significantly more connective tissue in the allantochorial villi than in mares with a physiological course of pregnancy and childbirth. **Scientific novelty.** For the first time, placental topography and the microscopic structure of its cellular components have been analyzed in detail for herd mares. The study is also aimed at identifying specific biomarkers indicating placentitis and determining its predictive indicators.

Keywords: placentitis, topology and histomorphometry, abortion, analysis of cellular placental structures

Acknowledgements. The research was carried out at the expense of the regional grant of the Russian Science Foundation No. 25-16-20118.

For citation: Nifontov K. R., Avdeenko V. S., Fedorov V. I. Features of placenta morphology in herd mares during abortions associated with placentitis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (07): 1274–1283. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-07-1274-1283>. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.02.2026, **date of review:** 10.04.2026, **date of acceptance:** 06.05.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В клинической практике у лошадей осмотр плаценты проводится с помощью макроскопического исследования и является стандартной процедурой [1]. У кобыл изменения в плаценте могут быть признаком нарушения работы организма [2]. Несмотря на диагностические исследования крови, опыт врача, осматривающего кобылу, имеет большое значение [3]. Несмотря на проведенную визуализацию плодной части плаценты, полученные данные оказались недостаточными для всесторонней оценки. Они не позволяют ни точно определить время отделения плаценты, ни выявить ключевые структурные характеристики, такие как ее масса, площадь, количество ворсин и общая площадь ворсинчатого

аппарата. Без этих параметров невозможно адекватно оценить жизнеспособность новорожденных. Хорошо известно, что внутриутробное питание плода влияет как на здоровье [4; 5], так и на результаты развития жеребенка.

Исследования показывают, что нарушения в структуре и функциях плаценты могут приводить к нарушению развития и роста плода, а также к снижению массы тела новорожденных [6; 7]. Поэтому была выдвинута гипотеза, что у кобыл, в отличие других животных, в плаценте усиливается фиброз и снижается микроциркуляция, что приводит к снижению массы тела новорожденных жеребят с очень серьезными последствиями для их дальнейшего существования. Для оценки адекватности плаценты с

морфологической точки зрения используются следующие критерии [8]:

- иммуномодулирующая активность эпителиальных и мезенхимальных клеток на этапах имплантации и последующего развития беременности;
- динамика метаболизма в системе «мать – плацента – плод» и митотического индекса клеток микрокотиледонной диффузной эпителиохориальной плаценты на протяжении внутриутробного развития.

Неспособность продолжать внутриутробное развитие плода у кобыл, т. е. аборт, что может быть опасным для жизни кобылы. Частота аборт у кобыл колеблется от 1 до 10 % [9]. У тяжеловозных лошадей аборт прежде всего связан со спайкой между аллантохорионом и эндметрием, причем эта спайка зависит от фиброза, чрезмерного развития соединительной ткани [10]. Хотя молекулярные детали неизвестны, электронно-плотный характер материала между эпителием матери и плода, по-видимому, указывает на наличие адгезивного контакта между ними.

Для того чтобы обеспечить дальнейшую беременность, была выдвинута гипотеза развития плацентита и, как следствие, прерывания беременности, что приводит к аборту [11]. Кроме того, если молекулы клеточной адгезии соединяют аллантохорион и эндометрий, их, вероятно, необходимо будет разрушить протеазами, т. е. их ингибиторами [12]. Более того, известно, что вышеупомянутые гистологические аномалии в плаценте, связанные с абортом, связаны также с ремоделированием внутриклеточного матрикса. Устранение пробелов в понимании этой области знаний критически важно для выявления ключевых процессов, которые напрямую или косвенно способствуют развитию плацентарной недостаточности. Это, в свою очередь, позволит прояснить механизмы репродуктивных нарушений у самок и, как следствие, снизить генетический потенциал выживаемости популяции.

Цель исследования – изучение особенностей морфометрических и гистохимических изменений плаценты кобыл табунных лошадей при плацентите, связанного с абортом у лошадей.

Методология и методы исследования (Methods)

Экспериментальные процедуры настоящего исследования были проведены с учетом стандартов Санкт-Петербургского университета ветеринарной медицины и получили одобрение Комитета по этике исследований и экспериментов на животных (Протокол № 19/2025-СПбГУВМ). В 2025 году в Якутии были подвергнуты анализу плацентарные образцы, извлеченные от 6-летней табунной кобылы, перенесшей аборт на поздних стадиях гестации вследствие плацентита.

Морфометрические параметры включали точное определение массы плодных оболочек (до

0,1 г), вычисление площади фетальной поверхности плаценты посредством планиметрии (подсчет квадратов на миллиметровой бумаге), измерение длины пупочного канатика от места его фиксации до точки разрыва, а также количественный подсчет хориальных ворсин на единицу площади (1 см^2) с применением лупы и калибровочной палетки. Процесс гистологического анализа плаценты начинался с фиксации образцов в 10-процентном нейтральном формалине при 4°C в течение 4–5 дней. Для гистологического анализа ткани подвергались стандартизированной подготовке. Сначала проводились их дегидратация и последующее просветление в хлороформе с использованием автоматизированного гистопроцессора Cytadel 2000. После этого образцы заливались в парафин с помощью системы Histomix (Биовитрум). Полученные парафиновые блоки были нарезаны на тонкие срезы толщиной 5 мкм на микротоме MICROM HM340E и закреплены на предметных стеклах.

Для общей оценки клеточной и тканевой структуры срезы окрашивали гематоксилином и эозин-флоксинном по стандартной процедуре. Для выявления и характеристики компонентов внеклеточного матрикса применялась окраска по Массону. Исследование содержания кислых и нейтральных гликозаминогликанов проводилось с помощью двух методов окрашивания: по Сиддмену позволял идентифицировать сульфатированные мукоидные вещества, гиалуроновые кислоты и сиаломуцины; ШИК-реакция по Макманусу, в свою очередь, обнаруживала гексозосодержащие мукопротеины, окрашивая их в ярко-малиновый цвет. Для лучшей визуализации ядер дополнительно применялся гематоксилин Майера.

Для гистологического исследования плаценты, полученной от кобыл во время родов, образцы подвергались многоступенчатой обработке. Сначала фрагменты плаценты (толщиной не менее 5 мм и площадью не более 3 см^2) фиксировали в 10-процентном нейтральном забуференном формалине HistoSafe в течение суток. Затем для подготовки к заливке материал последовательно обезвоживали в дегидратирующем растворе «Изопреп» с возрастающей концентрацией (по 30 минут на серию) и уплотняли в двух сериях парафиновых сред «Гистомикс» (по 50 минут каждая). После этого на ротационном микротоме «Ротмик-2» изготавливали тонкие гистологические срезы (5 мкм), которые затем монтировали на предметные стекла и окрашивали для микроскопического анализа.

В рамках общего гистологического анализа образцы окрашивались гематоксилином и эозином (производитель – ООО «ЭргоПродакшн», Россия). Для более точного выявления определенных компонентов ткани применялись специальные окраски: альциановый синий использовался

для обнаружения кислых гликозаминогликанов, а ШИК-реакция – для определения нейтральных гликозаминогликанов (производитель – ООО «Эрго-Продакшн», Россия). Эти процедуры проводились в соответствии с установленными методиками.

Микроскопическое исследование и последующее документирование изображений осуществлялись на базе микроскопа AxioScope.A1 (ZEISS), к которому была подключена цифровая камера AxioCam MRc5. Обработка полученных изображений производилась с помощью специализированного программного обеспечения ZENpro 2012 (ZEISS).

В ходе статистической обработки данных сначала были рассчитаны описательные статистики для каждой группы. Для нормально распределенных непрерывных переменных использовались среднее значение $\pm$ стандартное отклонение, а для категориальных переменных – межквартильный размах. Нормальность распределения непрерывных переменных, в частности для визуальных микрофотографий, проверялась с помощью теста Колмогорова – смирнова. Сравнение категориальных данных проводилось с использованием точного теста Фишера, если ожидаемое число наблюдений в ячейке было меньше 5. Статистически значимыми считались результаты с уровнем значимости $p < 0,05$. Анализ проводился с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics 26, Microsoft Excel 2000 и SPSS 10.0.5 for Windows.

Результаты (Results)

Изучение плаценты кобыл с фетальной стороны осуществлялось путем тщательного визуального осмотра ее морфологических признаков. В ходе этого осмотра внимание уделялось таким аспектам, как степень целостности и сохранности ее структу-

ры, характерный цвет, выявление любых участков, где ворсины были редуцированы, присутствие отложений кальциевых солей, а также идентификация областей, пораженных некрозом или инфарктами. У кобыл, чья беременность и роды протекали без патологий, были зафиксированы следующие характеристики пупочного канатика: его длина составляла $57,68 \pm 0,75$ см, а толщина – $3,76 \pm 0,07$ см. Сосуды пупочного канатика, представленные артериями и веной, имели сопоставимый диаметр (11–12 мм) и узкий просвет. Толщина стенок артерий и вены варьировалась в пределах 5–6 мм (таблица 1).

Аллантоамнион представлял собой желеобразное вещество бело-серого оттенка. В его структуре обнаруживались крупные толстостенные кровеносные сосуды (таблица 2). В аллантоамнионе наблюдались в основном суженные (облитерированные) сосуды, отличающиеся характерной спиралевидной структурой. Средняя толщина аллантоамниона оценивалась в $6,2 \pm 0,58$ мм, а его габариты варьировались в диапазоне 5–10 мм. Сосуды были распределены по всей поверхности аллантоамниона неравномерно, с диаметром от 4 до 6 мм. Плотность сосудистой сети составляла от 5 до 10 сосудов на 100 см^2 (таблица 2).

Толщина хориона составляла от 5 до 10 мм, а плотность ворсин варьировалась в пределах 38–46 на квадратный сантиметр (см. рис. 1).

Околоплодная жидкость является вязкой слизистой массой, в которой присутствуют волосы и другие производные эпидермиса, такие как гиалиновая ткань копытца. Исследования показывают, что средняя масса плодной части плаценты составляет приблизительно 8,02 кг. Этот показатель имеет погрешность в 0,24 кг, что позволяет определить минимальное значение 7,35 кг и максимальное 8,85 кг.

Таблица 1
Сравнительная характеристика пупочного канатика кобыл при плацентите, связанном с абортom

Показатели Топология плодных оболочек	Длина пупочного канатика, см	Толщина пупочного канатика, см	Диаметр артерий / вены, мм	Толщина стенки пупочных артерий / вены, мм
Физиологическая беременность и роды				
Роды в срок	$57,68 \pm 0,75$	$3,76 \pm 0,07$	11/12	5/6
Беременность и роды с осложнениями				
Аборт, плацентит	$60,00 \pm 0,84$	$3,62 \pm 0,06$	9/6	7/6

Table 1
Comparative characteristics of the umbilical cord of mares with placentitis associated with abortion

Indicators Topology of the membranes	Length of the umbilical cord, cm	Thickness of the umbilical cord, cm	Diameter of the arteries / vein, mm	Wall thickness of the umbilical arteries / vein, mm
Physiological pregnancy and childbirth				
Delivery on time	57.68 ± 0.75	3.76 ± 0.07	11/12	5/6
Pregnancy and childbirth with complications				
Abortion, placentitis	60.00 ± 0.84	3.62 ± 0.06	9/6	7/6

Таблица 2

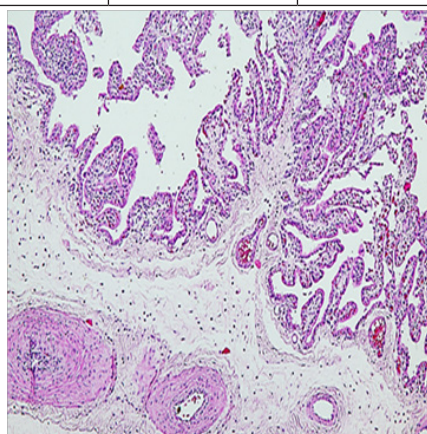
Топологические параметры плодных оболочек у кобыл при плацентите, связанного с абортom

Показатели	Масса плодных оболочек, кг	Площадь хориоаллантоиса, см ²	Толщина хориона, мм / аллантоамниона, мм	Количество ворсин на 1 см ² хориона	Диаметр сосудов и количество сосудов на участке аллантоамниона площадью 100 см ²
Физиологическая беременность и роды					
Роды в срок	8,02 ±0,24	14 287,48 ±311,72	8,00 ±0,91 / 6,20 ±0,58	41,80 ±1,56	4/6; 5/10
Беременность и роды с осложнениями					
Аборт, плацентит	3,79 ±0,58	6 574,35 ±277,28	2,25 ±0,22 / 3,43 ±0,55	19,32 ±0,81	2/5; 3/4

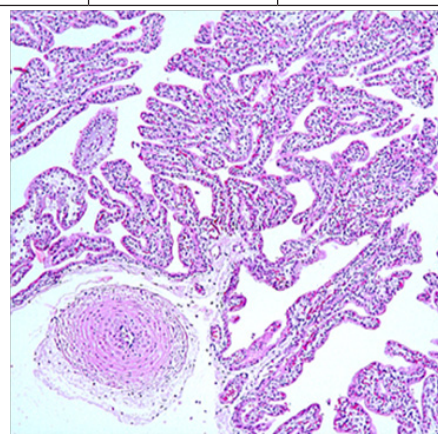
Table 2

Topological parameters of fetal membranes in mares with placentitis

Indicators	Weight of fetal membranes, kg	Area of chorioallantosis, cm ²	Thickness of chorion, mm / allantoamnion, mm	Number of villi per 1 cm ² of chorion	Diameter of vessels and number of vessels in the area of allantoamnion with an area of 100 cm ²
Physiological pregnancy and childbirth					
Delivery on time	8.02 ±0.24	14 287.48 ±311.72	8.00 ±0.91 / 6.20 ±0.58	41.80 ±1.56	4/6; 5/10
Pregnancy and childbirth with complications					
Abortion, placentitis	3,79 ±0.58	6 574.35 ±277.28	2.25 ±0.22 / 3.43 ±0.55	19.32±0.81	2/5; 3/4



А



В

Рис. 1. Образец фетальной части плаценты кобылы:

А. Ворсины плаценты развиты хорошо и имеют значительную длину, без заметных повреждений сосудов или участков некроза. В. Сосуды насыщены кровяными компонентами, однако тромбы не выявлены

Fig. 1. A sample of the fetal part of the mare's placenta:

A. The villi of the placenta are well developed and have a considerable length, without noticeable vascular damage or areas of necrosis. B. The vessels are saturated with blood components, but no blood clots have been detected

Что касается хориоаллантоиса, наружной (сосудистой) оболочки плода, его площадь в среднем составляет 14 287,48 см² с возможным отклонением в 311,72 см² (рис. 2). При плацентите плодная поверхность плаценты становится серовато-розовой, гладкой и приобретает блеск. Толщина хориона сократилась до 4–6 мм (среднее значение 5,20 ±0,37 мм), что соответствует уменьшению на 35 % (рис. 2).

Отмечаются снижение толщины аллантоамниона при плацентите (в среднем до 4 мм) и менее выраженная студенистая консистенция. Диаметр сосудов, проходящих в аллантоамнионе, варьируется от 4 до 6 мм. На участке площадью 100 см² их на-

считывается от 3 до 7. Общая масса плодной части плаценты составляет примерно 6 кг.

Участки плаценты, связанные с плацентитом и абортom, занимают значительную площадь – более 10 800 см². У таких лошадей длина пупочного канатика составляет около 60 см, а его диаметр – около 3,6 см. Структура сосудов пупочного канатика имеет особенности: диаметры артерий и вены не соответствуют стандартным показателям. Пупочная вена заметно шире артерий, достигает 12 мм в диаметре, в то время как артерии имеют размеры 11 мм и 8 мм. Пространство внутри этих сосудов (просвет) сужено, и стенка вены выглядит более массивной, чем стенки артерий.

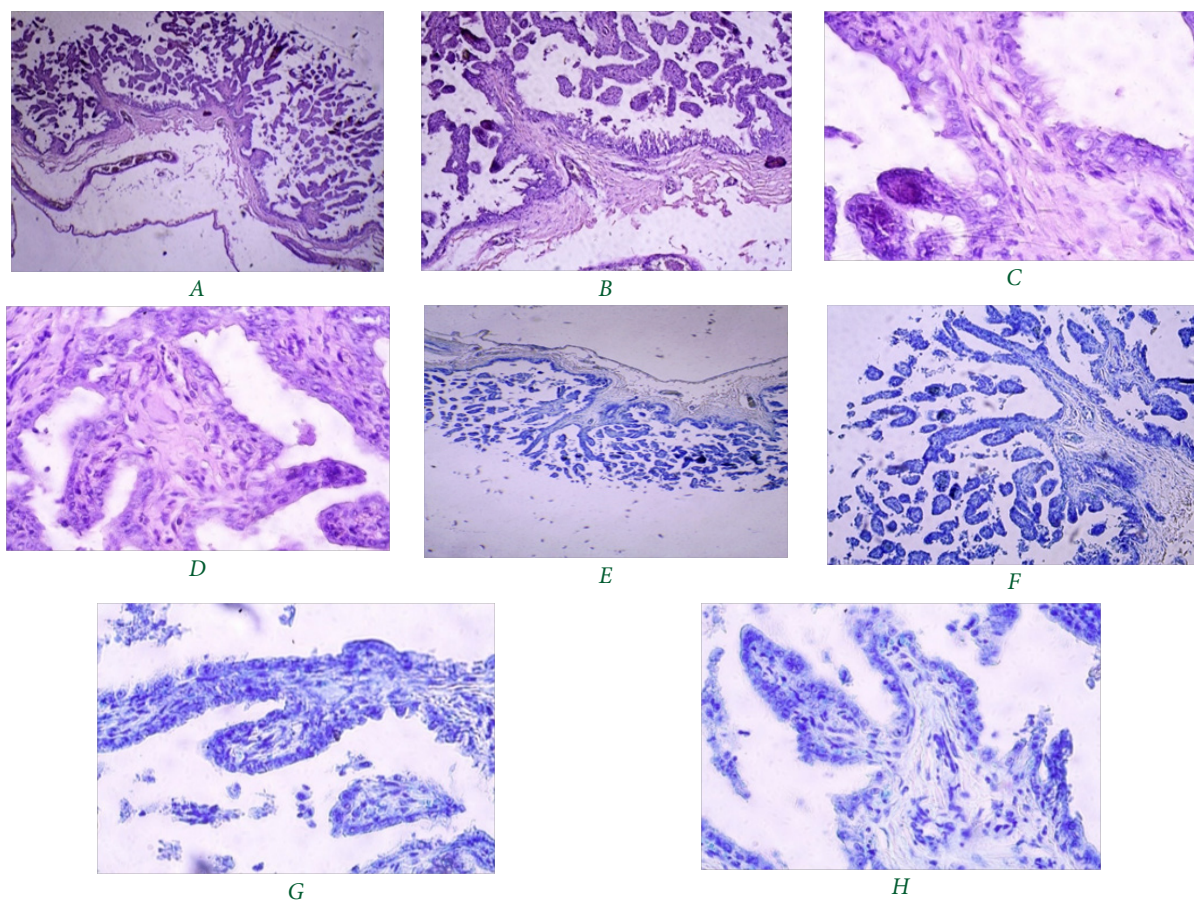


Рис. 2. Морфологические и гистохимические изменения в фетальной части плаценты у кобыл при плацентите, связанного с абортom:

А. Микроскопический срез плаценты кобылы демонстрирует хориоаллантоис с сосудистой сетью. Трофобласт, представленный простым кубическим эпителием, формирует покров хориальной пластинки. В. Образец кобылы демонстрирует наличие гликогена, РНК, нейтральных и сульфатированных гликопротеинов в цитоплазме клеток хориоаллантоиса. Протеогликаны обнаружены в строме ворсинок хориоаллантоиса. С. Фрагмент плаценты кобыл при плацентите. Коллагеновые волокна в соединительной ткани ворсин хориоаллантоиса. D. Ворсинки хориоаллантоиса покрыты простым кубическим эпителием, среди клеток которого обнаруживаются отдельные одно-, реже двоядерные клетки. E. Соединительная ткань, прилегающая к аллантоисной оболочке, и во внешней части хориальной оболочки. F. В хорионических клетках ворсин хориоаллантоиса наблюдается высокое содержание РНК, а также в glandulocytes и plasmocytes. G. Фрагмент плаценты кобылы. Показаны хориоаллантоис и трофобласт (кубический эпителий), выстилающий хориальную пластинку. H. Фрагмент плаценты кобылы. Ворсинки хориоаллантоиса, покрытые снаружи трофобластом, а внутри состоящие из соединительной ткани.

Fig. 2. Morphological and histochemical changes in the fetal part of the placenta in mares with abortion-related placentitis. A. Microscopic section of a mare's placenta showing the chorioallantois with its vascular network. The trophoblast, consisting of simple cuboidal epithelium, forms the covering of the chorionic plate. B. Mare placental sample demonstrating the presence of glycogen, RNA, and neutral and sulfated glycoproteins in the cytoplasm of chorioallantoic cells. Proteoglycans are detected in the stroma of the chorioallantoic villi. C. Fragment of a mare's placenta affected by placentitis. Collagen fibers are visible in the connective tissue of the chorioallantoic villi. D. Chorioallantoic villi covered by simple cuboidal epithelium, interspersed with occasional uninucleate—or less frequently, binucleate—cells. E. Connective tissue adjacent to the allantoic membrane and in the outer part of the chorionic membrane. F. High RNA content is observed in the chorionic cells of the chorioallantoic villi, as well as in glandulocytes and plasmocytes. G. Fragment of mare placenta. Shown are the chorioallantois and the trophoblast (cuboidal epithelium) lining the chorionic plate. H. Fragment of mare placenta, covered externally by trophoblast and composed internally of connective tissue.

Гистологическое исследование выявляет существенные адаптивные изменения в плодовой части плаценты. Ворсины хориоаллантоиса укорочены, а трофобластический слой истончен. Соединительная ткань характеризуется увеличенным объемом внеклеточного матрикса и деградацией коллагеновых волокон. В норме хориоаллантоис имеет крас-

новатый цвет. Однако в данном случае он менее насыщен кровью и, соответственно, имеет более бледную окраску. Ворсины на поверхности хориона мелкие, слабо разветвленные и тусклые. Их плотность снижена, в среднем составляя 30 штук на 1 см². Фетальная поверхность хориона серая, гладкая и матовая.

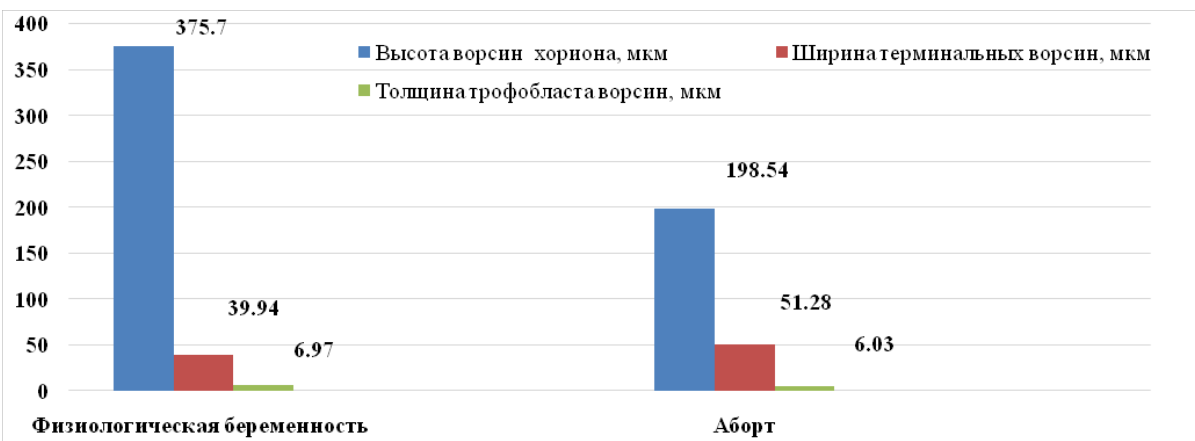


Рис. 3. Структурные и клеточные характеристики плаценты плода у кобыл, содержащихся в табуне

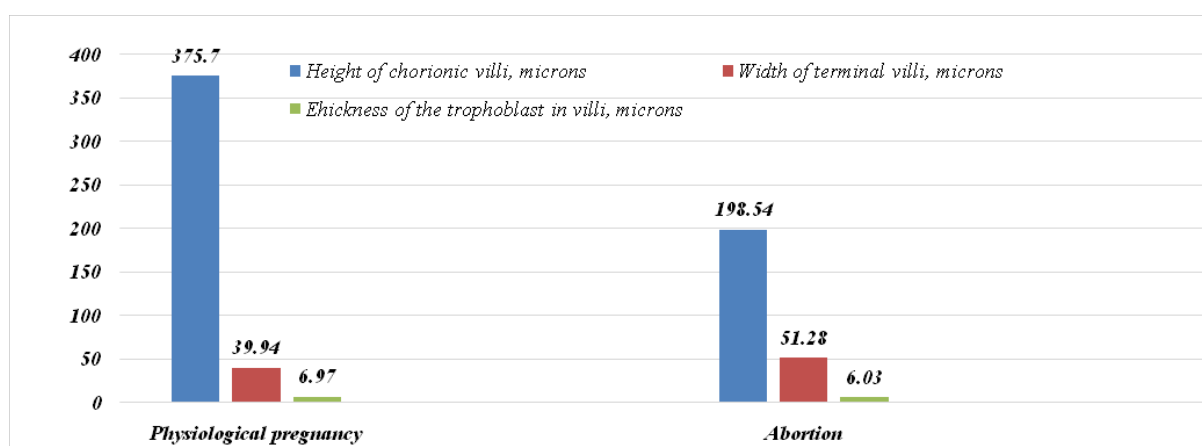


Fig.3. Structural and cellular characteristics of the fetal placenta in mares kept in the herd

Исследование микроскопических срезов тканей (гистопрепаратов) позволило количественно оценить структуру ворсин хориона. Измерения выявили, что створчатые ворсины хориона имели среднюю длину 370 мкм, однако их размеры значительно варьировались, находясь в пределах от 246,53 до 1131,50 мкм (подробности на рис. 3).

Ширина конечных (терминальных) ворсин составляла около 39 мкм, а толщина слоя клеток, покрывающих ворсины (трофобласта), была в среднем 7 мкм. Также было подсчитано, что на каждом см² поверхности хориона располагалось в среднем 12,5 ворсин. При детальном изучении клеток трофобласта под микроскопом были замечены клетки, содержащие два ядра (двуядерные клетки, или диплокарициты). Эти клетки находились на разных этапах своего развития и были особенно многочисленны среди цилиндрических клеток, в особенности на вершинах ворсин плодной части плаценты.

Внутренняя часть ворсин (хориальная пластинка) имела уплотненную соединительную ткань, насыщенную волокнами. Внутри ворсин хориона, расположенных в плодной части плаценты, наблюдаются пучки волокнистых структур, ориентированных перпендикулярно направлению самих ворсин. Среди этих волокон можно различить фи-

бробласты, а также клетки, напоминающие макрофаги, которые отличаются пенистым содержимым цитоплазмы и неровными, фестончатыми краями (рис. 1, 2).

Соединительная ткань в ворсинах хориона представлена скудно и имеет рыхлую структуру с редкими волокнами. Центральные фибробласты ворсин свободно расположены и контактируют друг с другом посредством отростков. Однако под эпителием, в межворсинчатом пространстве и вблизи кровеносных сосудов эти клетки уплощаются, вытягиваются и формируют внутреннюю оболочку ворсин. Под микроскопом также заметны клетки, напоминающие макрофаги, и различные клетки крови. Соединительная ткань образует тонкие прослойки, в которых фибробласты и их волокна выстроены параллельно по всей длине ворсин. Капилляры при этом встроены в эпителиальный слой. У кобыл в этой области развивается особая структура, которая отделяет ворсины хориона от промежуточной пластины, простираясь к поверхности аллантохориона. Морфологически данная структура способствует формированию интерфейса между спланхноплеврой аллантоиса и соматоплеврой хориона. Ее внутреннее строение характеризуется наличием септ, демонстрирующих дихотомическое ветвление, с

последующим отхождением вторичных ответвлений от их латеральных поверхностей. Эти ответвления эффективно компартментализируют агрегаты хориальных эпителиальных клеток.

Дополнительно в плацентарном матриксе идентифицированы интерстициальные зоны, варьирующие по форме от округлой до вытянутой. Были выделены условные светлые зоны интерстиция, каждая из которых содержала один-два сосуда мышечного типа. При изучении ворсинок выявлена выраженная симпластическая структура, характеризующаяся оксифильной цитоплазмой и множественными ядрами различной формы и плотности хроматина.

Симпласты имели плотную, окрашивающуюся в розовый цвет (оксифильную) цитоплазму, в которой располагалось множество ядер. Ядра были округлыми или овальными и имели разную степень плотности хроматина. Вакуоли имели утолщенные, окрашивающиеся стенки и были пустыми внутри, то есть не содержали видимых структур. В одном из образцов плаценты, который мы исследовали, были обнаружены фрагменты эпителиальных клеток, которые выглядели поврежденными (дистрофически измененными). На фоне всех этих наблюдений мы заметили увеличение количества гигантских клеток Кашенко – Гофбауэра. Эти клетки являются разновидностью макрофагов или похожих на них клеток. Они располагались неравномерно, собираясь в группы, и находились в непосредственной близости от поврежденных участков эпителиальной ткани хориона. Наблюдается деградация коллагеновых волокон. На финальной стадии беременности в аллантохорионе формируются микроскопические участки пикринофилии, что говорит о глубоких молекулярных перестройках в коллагене. Изменения в гистоархитектонике и окрашивании ретикулиновых волокон в этих зонах подтверждают трансформацию соединительной ткани. У кобыл с нормальной беременностью подобные явления обычно обнаруживаются в виде скоплений под аллантохорионом или мелкодисперсных отложений в цитоплазме эпителиальных клеток хориона в центральных отделах плаценты.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Несмотря на то что визуальный осмотр плаценты (макроскопическое исследование) может не выявить повреждений, микроскопические изменения же могут быть связаны с проблемами у плода (например, смерть, низкий вес при рождении, болезни), обнаруживаются только при более детальном анализе, таком как гистологическое исследование или электронная микроскопия [13]. У кобыл, помимо этих микроскопических изменений, часто наблюдается усиление фиброза эндометрия, что

также отражается в плаценте [14]. Во время беременности у кобыл, кроме изменений в структуре плаценты (микроплацентомах), происходит уменьшение количества капилляров внутри них. Это ухудшает обмен веществ между плодом и матерью, что может замедлить рост плода [15]. Фиброзная ткань характеризуется избыточным накоплением компонентов внеклеточного матрикса, таких как коллаген, фибронектин и гиалуроновая кислота. Это происходит из-за увеличения активности, размножения и накопления фибробластов и миофибробластов [16]. Фиброзная ткань, разрастаясь в органе, способна нарушать его нормальную работу и структуру. Развитие фиброза обусловлено длительным воспалением, в котором задействованы механизмы как врожденного, так и приобретенного иммунитета. Воспалительный процесс и перестройка тканей происходят параллельно. Активированные фибробласты превращаются в миофибробласты, которые стимулируют образование соединительной ткани, ремоделирование и постепенное разрушение структуры органа.

Установленные морфологические изменения могут объяснить плацентит (аборт), в частности:

- терапевтический потенциал: идентификация ключевых регуляторов этих процессов открывает возможности для разработки методов лечения, направленных на предотвращение абортов незаразной этиологии;
- биомаркеры: исследование предоставляет данные о потенциальных регуляторах плацентита; биомаркеры, экспрессирующиеся в плаценте, могут служить предиктивными индикаторами для плацентита;
- диагностика: белки, кодируемые генами, могут попадать в материнскую циркуляцию и служить надежными биомаркерами для диагностики плацентита;
- дальнейшие исследования: некоторые из этих генов кодируют белки, которые могут быть предложены в качестве потенциальных биомаркеров внутриамниотической инфекции или воспаления, как это наблюдается у женщин с преждевременными родами.

В целом выявленные особенности гистоархитектоники плаценты кобылы являются адаптацией этого вида к успешному вынашиванию и рождению потомства в экстремальных условиях арктического климата Республики Саха (Якутия). У кобыл при плацентите наблюдается сильная аллантохориальная/эндометриальная агдезия и значительно больше соединительной ткани в аллантохориальных ворсинках, чем у кобыл с физиологическим течением беременности и родами.

Библиографический список

1. Wynn M. A., Ball B. A., May J., Esteller-Vico A., Canisso I., Squires E., Troedsson M. Changes in maternal pregnane concentrations in mares with experimentally-induced, ascending placentitis // *Theriogenology*. 2018. Vol. 122. Pp. 130–136. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.09.001.
2. Fernandes C. B., Ball B. A., Loux S. C., Boakari Y. L., Scoggin K. E., El-Sheikh Ali H., Cogliati B., Esteller-Vico A. Uterine cervix as a fundamental part of the pathogenesis of pregnancy loss associated with ascending placentitis in mares // *Theriogenology*. 2020. Vol. 145 Pp. 167–175. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019.10.017.
3. Pereyra S., Sosa C., Bertoni B., Sapiro R. Transcriptomic analysis of fetal membranes reveals pathways involved in preterm birth // *BMC Medical Genomics* 2019. Vol. 12. Article number 53. DOI: 10.1186/s12920-019-0498-3.
4. Park Y. S., Kim S., Park D. G., Kim D. H., Yoon K. W., Shin W., Han K. Comparison of library construction kits for mRNA sequencing in the Illumina platform. // *Genes Genomics* 2019. Vol. 41. Pp. 1233–1240. DOI: 10.1007/s13258-019-00853-3.
5. El-Sheikh Ali H., Boakari Y. L., Loux S. C., Dini P., Scoggin K. E., Esteller-Vico A., Kalbfleisch T., Ball B. A. Transcriptomic analysis reveals the key regulators and molecular mechanisms underlying myometrial activation during equine placentitis // *Biology of Reproduction* 2020. Vol. 102. Pp. 1306–1325. DOI: 10.1093/biolre/iaaa020.
6. Fedorka C. E., Ball B. A., Scoggin K. E., Loux S. C., Troedsson M. H. T., Adams A. A. The fetal-maternal immune response to equine placentitis // *American Journal of Reproductive Immunology*. 2019. Vol. 82. Article number e13179. DOI: 10.1111/aji.13179.
7. El-Sheikh Ali H., Legacki E. L., Scoggin K. E., Loux S. C., Dini P., Esteller-Vico A., Conley A. J., Stanley S. D., Ball B. A. Steroid synthesis and metabolism in the equine placenta during placentitis // *Reproduction*. 2020. Vol. 159. Pp. 289–302. DOI: 10.1530/REP-19-0577.
8. Wynn M. A., Ball B. A., May J., Esteller-Vico A., Canisso I., Squires E., Troedsson M. Changes in maternal pregnane concentrations in mares with experimentally-induced, ascending placentitis // *Theriogenology*. 2018. Vol. 122. Pp. 130–136. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.09.001.
9. Dini P., Carossino M., Loynachan A. T., El-Sheikh Ali H., Wolfsdorf K. E., Scoggin K. E., Daels P., Ball B. A. Equine hydrallantois is associated with impaired angiogenesis in the placenta // *Placenta*. 2020. Vol. 93. Pp. 101–112. DOI: 10.1016/j.placenta.2020.03.001.
10. Antczak D. F., de Mestre A. M., Wilsher S., Allen W. R. The equine endometrial cup reaction: a fetomaternal signal of significance // *Annual Review of Animal Biosciences*. 2013. Vol. 1. Pp. 419–442. DOI: 10.1146/annurev-animal-031412-103703.
11. Черных В. Г. Морфофункциональные показатели эндометрия кобыл // *Актуальные проблемы развития АПК Монголии: материалы международной российско-монгольской научно-практической конференции*. Новосибирск, 1998. С. 90–91.
12. Neto da Silva A. C., Costa A. L., Teixeira A., Alpoim-Moreira J., Fernandes C., Fradinho M. J., Rebordão M. R., Silva E., Ferreira da Silva J., Bliedernicht M., Alexandre-Pires G., Ferreira-Dias G. Collagen and microvascularization in placentas from young and older mares // *Veterinary Science*. 2022. Vol. 8. Article number 772658. DOI: 10.3389/fvets.2021.772658.
13. Saenko N., et al. The adaptive potential of newborn calves under conditions of technogenic anthropobioscenes // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 265. Pp. 108–114. DOI: 10.1051/e3sconf/202126501010.
14. Саенко Н. В. Морфология провизорных органов лошади во взаимосвязи с жизнеспособностью новорожденных жеребят // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 7. С. 143–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-143-150.
15. Presicce P., Park C. W., Senthamarakannan P., et al. IL-1 signaling mediates intrauterine inflammation and chorio-decidua neutrophil recruitment and activation // *JCI Insight* 2018. Article number e98306. DOI: 10.1172/jci.insight.98306.
16. Foden A. L., Giussani D. A., Forhead A. J. Physiological development of the horse fetus in late pregnancy // *Equine Veterinary Journal*. 2020. Vol. 52. Pp. 165–73. DOI: 10.1111/evj.13206.

Об авторах:

Константин Револьевич Нифонтов, кандидат ветеринарных наук, доцент, проректор по научной работе, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия;

ORCID 0000-0002-3414-127X, AuthorID 663057. E-mail: kosnijf@yandex.ru

Владимир Семенович Авдеенко, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры генетических и репродуктивных биотехнологий, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-8739-7535, AuthorID 129120. E-mail: avdeenko0106@mail.ru

Валерий Иннокентьевич Федоров, доктор биологических наук, профессор, ректор, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия; ORCID 0000-0002-8454-6531, AuthorID 460042. E-mail: vfedorov_09@mail.ru

References

1. Wynn M. A., Ball B. A., May J., Esteller-Vico A., Canisso I., Squires E., Troedsson M. Changes in maternal pregnane concentrations in mares with experimentally-induced, ascending placentitis. *Theriogenology*. 2018; 122: 130–136. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.09.001.
2. Fernandes C. B., Ball B. A., Loux S. C., Boakari Y. L., Scoggin K. E., El-Sheikh Ali H., Cogliati B., Esteller-Vico A. Uterine cervix as a fundamental part of the pathogenesis of pregnancy loss associated with ascending placentitis in mares. *Theriogenology*. 2020; 145: 167–175.
3. Pereyra S., Sosa C., Bertoni B., Sapiro R. Transcriptomic analysis of fetal membranes reveals pathways involved in preterm birth. *BMC Medical Genomics*. 2019; 12: 53. DOI: 10.1186/s12920-019-0498-3.
4. Park Y. S., Kim S., Park D. G., Kim D. H., Yoon K. W., Shin W., Han K. Comparison of library construction kits for mRNA sequencing in the Illumina platform. *Genes Genomics*. 2019; 41: 1233–1240. DOI: 10.1007/s13258-019-00853-3.
5. El-Sheikh Ali H., Boakari Y. L., Loux S. C., Dini P., Scoggin K. E., Esteller-Vico A., Kalbfleisch T., Ball B. A. Transcriptomic analysis reveals the key regulators and molecular mechanisms underlying myometrial activation during equine placentitis. *Biology of Reproduction*. 2020; 102: 1306–1325. DOI: 10.1093/biolre/iaaa020.
6. Fedorka C. E., Ball B. A., Scoggin K. E., Loux S. C., Troedsson M. H. T., Adams A. A. The fetomaternal immune response to equine placentitis. *American Journal of Reproductive Immunology*. 2019; 82: e13179. DOI: 10.1111/aji.13179.
7. El-Sheikh Ali H., Legacki E. L., Scoggin K. E., Loux S. C., Dini P., Esteller-Vico A., Conley A. J., Stanley S. D., Ball B. A. Steroid synthesis and metabolism in the equine placenta during placentitis. *Reproduction*. 2020; 159: 289–302. DOI: 10.1530/REP-19-0577.
8. Wynn M. A., Ball B. A., May J., Esteller-Vico A., Canisso I., Squires E., Troedsson M. Changes in maternal pregnane concentrations in mares with experimentally-induced, ascending placentitis. *Theriogenology*. 2018; 122: 130–136. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.09.001.
9. Dini P., Carossino M., Loynachan A. T., El-Sheikh Ali H., Wolfsdorf K. E., Scoggin K. E., Daels P., Ball B. A. Equine hydrallantois is associated with impaired angiogenesis in the placenta. *Placenta*. 2020; 93: 101–112. DOI: 10.1016/j.placenta.2020.03.001.
10. Antczak D. F., de Mestre A. M., Wisher S., Allen W. R. The equine endometrial cup reaction: a fetomaternal signal of significance. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2013; 1: 419–442. DOI: 10.1146/annurev-animal-031412-103703.
11. Chernykh V. G. Morphofunctional indicators of the endometrium of mares. *Current problems of development of the agro-industrial complex of Mongolia: materials of the international Russian-Mongolian scientific and practical conference*. Novosibirsk, 1998. Pp. 90–91. (In Russ.)
12. Neto da Silva A. C., Costa A. L., Teixeira A., Alpoim-Moreira J., Fernandes C., Fradinho M. J., Rebor-dão M. R., Silva E., Ferreira da Silva J., Bliebernicht M., Alexandre-Pires G., Ferreira-Dias G. Collagen and microvascularization in placentas from young and older mares. *Veterinary Science*. 2022; 8: 772658. DOI: 10.3389/vets.2021.772658.
13. Saenko N., et al. The adaptive potential of newborn calves under conditions of technogenic anthropobio-cenosis. *E3S Web of Conferences*. 2021; 265: 108–114. DOI: 10.1051/e3sconf/202126501010.
14. Saenko N. V. Morphology of provisional organs of the horse in relation to newborn foals viability. *Bulletin of KSAU*. 2024; 7: 143–151. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-143-150. (In Russ.)
15. Presicce P., Park C. W., Senthamarakannan P., et al. IL-1 signaling mediates intrauterine inflammation and chorio-decidua neutrophil recruitment and activation. *JCI Insight*. 2018; e98306. DOI: 10.1172/jci.insight.98306.
16. Foden A. L., Giussani D. A., Forhead A. J. Physiological development of the horse fetus in late pregnancy. *Equine Veterinary Journal*. 2020; 52: 165–73. DOI: 10.1111/evj.13206

Authors' information:

Konstantin R. Nifontov, candidate of veterinary sciences, associate professor, vice-rector for research, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0002-3414-127X, AuthorID 663057.

E-mail: kosnif@yandex.ru

Vladimir S. Avdeenko, doctor of veterinary sciences, professor of the department “Genetic and Reproductive Biotechnologies”, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-8739-7535, AuthorID 129120. E-mail: avdeenko0106@mail.ru

Valeriy I. Fedorov, doctor of biological sciences, professor, rector, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0002-8454-6531, AuthorID 460042. E-mail: vfedorov_09@mail.ru