

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

Краткое сообщение

УДК 591.463.12

doi:10.18499/2225-7357-2025-14-4-70-76

1.5.22 – клеточная биология



Сравнительное электронно-микроскопическое и микроскопическое исследование сперматид на ранних этапах спермиогенеза у млекопитающих

И. А. Ульянов³, А. Г. Ульянов¹, В. И. Котарев², Н. Т. Алексеева³, П. М. Торгун¹✉, С. В. Ключкова⁴, Д. Б. Никитюк^{5, 6}, К. А. Лободин¹, Н. М. Лозовой¹, Е. Г. Лозовая¹, Е. И. Мозговая¹

¹Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, Воронеж, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Воронеж, Россия

³Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия

⁴Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

⁵Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

⁶Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Аннотация. Цель исследования – сравнительная электронно-микроскопическая и микроскопическая характеристика первых двух фаз спермиогенеза у семи видов млекопитающих. **Материал и методы.** Для электронной микроскопии образцы яичек фиксировали в 2,5%-ном глютаровом альдегиде и в 1% осмиевом фиксаторе. Готовили срезы на ультрамикротоме БС-490 и ЛКБ-4800. Срезы контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца и изучали в электронном микроскопе «Тесла БС-500». **Результаты.** В первой фазе Гольджи аппарат Гольджи образует акросомический пузырек и мелкие гранулы. В период второй фазы колпачка в акросомическом пузырьке мелкие гранулы объединяются в одну большую гранулу. Акросомический пузырек вместе с акросомической гранулой расплывается над ядром, образуя колпачок. У северного морского котика, черно-бурого лиса, норки выявлены углубления в ядре сперматид в местах расположения акросомического пузырька. У барана, калана и речного бобра углубление в ядрах сперматид в месте прилегания пузырька отсутствует. **Заключение.** В период фазы Гольджи происходит формирование акросомического пузырька и акросомической гранулы. В период фазы колпачка акросомическая структура расплывается над апикальной поверхностью ядра, формирует колпачок над ядром. У северного морского котика, лиса и норки акросомический пузырек образует глубокое углубление в ядро сперматиды, которое не выявлено у барана, речного бобра и калана.

Ключевые слова: спермиогенез; электронная микроскопия; фазы Гольджи и колпачка; акросомический пузырек; акросомическая гранула

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ульянов И.А., Ульянов А.Г., Котарев В.И., Алексеева Н.Т., Торгун П.М., Ключкова С.В., Никитюк Д.Б., Лободин К.А., Лозовой Н.М., Лозовая Е.Г., Мозговая Е.И. Сравнительное электронно-микроскопическое и микроскопическое исследование сперматид на ранних этапах спермиогенеза у млекопитающих // Журнал анатомии и гистопатологии. 2025. Т. 14, №4. С. 70–76. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-4-70-76>

BRIEF ARTICLES

Brief article

Comparative Electron and Light Microscopy of Early Spermatids during Mammalian Spermiogenesis

I. A. Ul'yanov³, A. G. Ul'yanov¹, V. I. Kotarev², N. T. Alexeeva³, P. M. Torgun¹✉, S. V. Klochkova⁴, D. B. Nikityuk^{5, 6}, K. A. Lobodin¹, N. M. Lozovoi¹, E. G. Lozovaya¹, E. I. Mozgovaya¹

¹Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University, Voronezh, Russia

²All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology, and Therapy, Voronezh, Russia

³N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia

⁴Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

⁵The Federal Research Centre of Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

⁶I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Abstract. The aim of the study was to compare the electron microscopic and microscopic characteristics of the first two phases of spermiogenesis in seven mammalian species. **Material and methods.** For electron microscopy, testicular specimens were fixed in 2.5% glutaraldehyde and 1% osmium fixative. Sections were prepared on BS-490 and LKB-4800 ultramicrotomes. Sections were contrasted with uranyl acetate and lead citrate and examined under a Tesla BS-500 electron microscope. **Results.** During the first Golgi phase, the Golgi apparatus forms an acrosomal vesicle and small granules. During the second cap phase, the small granules in the acrosomal vesicle combine to form a single large granule. The acrosomal vesicle and acrosomal granule spread over the nucleus, forming a cap. In northern fur seals, silver foxes, and minks, indentations in the spermatid nuclei were found at the location of the acrosomal vesicle. In sheep, sea otters, and beavers, indentations in the spermatid nuclei at the vesicle attachment site are absent. **Conclusion.** During the Golgi phase, the acrosomal vesicle and acrosomal granule form. During the cap phase, the acrosomal structure spreads over the apical surface of the nucleus, forming a cap over the nucleus. In the northern fur seal, fox, and mink, the acrosomal vesicle forms a deep depression in the spermatid nucleus, which is not found in the ram, beaver, and sea otter

Keywords: spermiogenesis; electron microscopy; Golgi and cap phases; acrosomal vesicle; acrosomal granule

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

For citation: Ul'yanov I.A., Ul'yanov A.G., Kotarev V.I., Alexeeva N.T., Torgun P.M., Klochkova S.V., Nikityuk D.B., Lobodin K.A., Lozovoi N.M., Lozovaya E.G., Mozgovaya E.I. Comparative electron and light microscopy of early spermatids during mammalian spermiogenesis. Journal of Anatomy and Histopathology. 2025. V. 14, №4. P. 70–76. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-4-70-76>

Введение

В настоящее время в яичках взрослого животного можно выделить около 30 различных типов сперматогенных клеток, однако в одном участке на поперечном срезе извитого семенного канальца можно видеть не более пяти типов клеток. Количество клеточных ассоциаций у разных видов животных может быть разным, но состав каждой клеточной ассоциации для данного вида животного всегда постоянный.

Сперматогенные клетки в каждом участке извитого семенного канальца постоянно меняются и одна группа сперматогенных клеток замещается другой. Количество встречающихся сочетаний клеток в семеннике животного данного вида ограничено и постоянно. Одна группа сперматогенных клеток соответствует одной стадии цикла сперматогенного эпителия, а полный набор определенных сочетаний клеток представляет цикл сперматогенного эпителия.

Полная серия морфологических изменений, которые можно наблюдать в одном участке семенного канальца между появлением одинаковых сочетаний клеток спермато-

генного эпителия, составляет цикл сперматогенного эпителия. Существование определенных сочетаний сперматогенных клеток в извитых семенных канальцах семенника и смена одного сочетания другим были обнаружены еще в конце XIX столетия. Однако описание полной серии всех клеточных сочетаний и точной последовательности при смене их друг другом было осуществлено в 50-е годы XX столетия. В 1952 г. Леблон и Клермон впервые описали подробно цикл сперматогенного эпителия у крыс. Стадии цикла сперматогенного эпителия авторы предложили обозначать римскими цифрами, тогда как этапы спермиогенеза – арабскими цифрами.

Изучение стадий цикла сперматогенного эпителия возможно только на основании изучения этапов и фаз спермиогенеза. Дифференцировка морфологических стадий сперматогенного эпителия с точной детализацией типов сперматогенных клеток, необходима для более глубокого анализа гистогенетических процессов, происходящих в семенном канальце, для выяснения количественных закономерностей сперматогенного процесса, а также для стандартизации материала при экспериментальных воздействиях и при

патологических изменениях. К сожалению, в отечественной литературе анализ яичек на основе стадий цикла сперматогенного эпителия проводят лишь отдельные авторы [4, 6, 7].

Основные закономерности развития сперматид, описанные у крыс Леблон и Клермоном [10, 12] нашли подтверждение при исследовании спермиогенеза у других млекопитающих: мыши [2, 13], хомяка [17], морской свинки [11], обезьяны [8], северного оленя [1], опоссума [15], верблюда [16], речного бобра [2, 3], калана [7], норки [6], быка [4].

Леблон и Клермон [9, 12] у крыс выявили 19 этапов спермиогенеза, 14 из которых использовали для идентификации 14 стадий цикла сперматогенного эпителия.

Первые три этапа спермиогенеза составляют фазу Гольджи. В период этой фазы аппарат Гольджи усиленно функционирует и образует мелкие ШИК-положительные гранулы, которые объединяются в одну большую акросомную гранулу.

Следующие 4 этапа спермиогенеза (4–7) у крыс объединяются во вторую фазу – фазу колпачка. Во время этой фазы в сперматиде формируется сложная акросомическая структура, которая переворачивается на 180° к базальной мембране семенного канальца. Отмечается уплотнение хроматина ядра. Значительная часть ядра покрывается акросомической структурой. В каудальной части цитоплазмы сперматид образуется хвостовая часть будущего спермия.

Следующие шесть этапов спермиогенеза (8–13) в семеннике крысы образуют фазу акросомы. В этот период акросомическая система подвергается наиболее выраженной морфологической трансформации. Акросома удлиняется, приобретает изогнутую форму, цитоплазма сползает в каудальном направлении, удлиняется хвостовая часть, митохондрии перемещаются и спирально располагаются в каудальной части клетки вокруг жгутика.

Последняя фаза спермиогенеза у крыс – фаза созревания включает шесть этапов спермиогенеза (14–19). Сперматиды в этот период завершают морфологическую дифференциацию и превращаются в спермии.

Целью настоящей работы является электронномикроскопическое и микроскопическое исследование сперматид у семи видов млекопитающих в течение ранних фаз спермиогенеза (фазы Гольджи и фазы колпачка).

Материал и методы исследования

Использован материал от 7 видов млекопитающих (бык домашний, баран, северный морской котик, калан, речной бобр, норка, черно-бурый лис). Фрагменты семенников фиксировали в жидкости Штиве, Ценкера, Буэна. Парафиновые срезы окрашивали гематоксилином и эозином, азаном по Гейденгайну.

Применяли ШИК-реакцию и окраску трихром-ШИК.

Для электронной микроскопии образцы яичек фиксировали в 2,5% глутаровом альдегиде и в 1% осмиевом фиксаторе. Готовили срезы на ультрамикротоме БС-490 и ЛКБ-4800. Срезы контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца и изучали в электронном микроскопе «Тесла БС-500».

Результаты и их обсуждение

Количество этапов спермиогенеза у изученных нами млекопитающих варьирует от 15 до 19, при этом у всех млекопитающих выявлено 4 фазы спермиогенеза: фаза Гольджи, фаза колпачка, фаза акросомы и фаза созревания. Количество этапов в фазе колпачка, акросомы и созревания изменяется, но первая фаза спермиогенеза (фаза Гольджи) у изученных нами млекопитающих включает одинаковое количество этапов спермиогенеза [3].

Молодые сперматиды первого этапа развития (рис. 1 А–С) – это клетки круглой или полигональной формы с объемистой цитоплазмой, с круглым светлым ядром, хроматин которого представлен небольшим числом сравнительно крупных глыбок. Ядрышко не выявляется. Обработка с помощью ШИК-реакции в цитоплазме этих клеток обнаруживает мелкозернистый ШИК-положительный материал, заключенный в крупный пузырек, едва заметные стенки которого также дают слабую ШИК-положительную реакцию.

На втором этапе развития сперматид акросомический пузырек становится более заметным, сохраняет еще неправильную форму мешочка, но приближается к ядру клетки. Он значительно обогащается ШИК-положительным материалом.

На третьем этапе развития проакросомический пузырек прилегает к поверхности ядра. ШИК-положительный материал конденсируется, число гранул уменьшается за счет слияния мелких гранул в более крупные ШИК-положительные гранулы. Акросомический пузырек приобретает более правильную сферическую форму.

Таким образом, первые три этапа развития сперматид составляют первую фазу спермиогенеза – фазу Гольджи, в течение которой происходит накопление и конденсация полисахаридного материала, формирование акросомического пузырька и присоединение его к оболочке ядра.

На четвертом этапе спермиогенеза устанавливается плотный контакт акросомического пузырька с оболочкой ядра. ШИК-положительный материал конденсируется в одну крупную полисахаридную гранулу – ее называют акросомической. Она смещается в сторону ядра и прикрепляется к стенке пузырька, контактирующей с ядром.

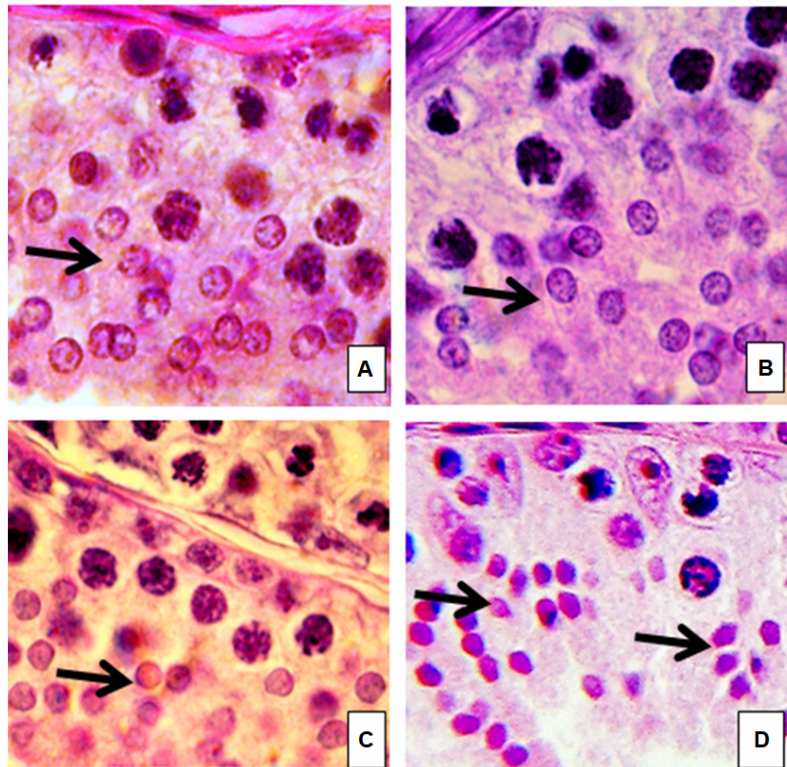


Рис. 1. Фрагменты семенных канальцев в период фазы Гольджи (А–С) и фазы колпачка (D) барана (А, D) и северного морского котика (В, С). Вверху виден участок базальной мембраны. В базальном слое расположены зиготенные первичные сперматоциты, во втором ряду – крупные пахитенные сперматоциты, ниже несколько рядов сперматид, обозначенные черными стрелками. В базальном слое клеток видны прелептотенные первичные сперматоциты (С). Черной стрелкой показаны овальные удлинённые сперматиды в период фазы колпачка (D). Фиксация – жидкость Штieve; окраска – трихром-ШИК, $\times 960$.

Fig. 1. Fragments of seminiferous tubules during the Golgi phase (A–C) and the cap phase (D) in a ram (A, D) and a northern fur seal (B, C). A portion of the basement membrane is visible at the top. The basal layer contains zygotene primary spermatocytes; the second row consists of large pachytene spermatocytes, below which are several rows of spermatids, indicated by black arrows. Preleptotene primary spermatocytes are visible in the basal cell layer (C). An oval, elongated spermatid during the cap phase is indicated by a black arrow (D). Fixation – Stieve's fluid; staining – trichrome-PAS, $\times 960$.

На пятом этапе увеличивается протяженность контактирующей поверхности акросомического пузырька с ядром клетки.

На шестом этапе (рис. 1D) крупный акросомический пузырек контактирует с поверхностью ядра. Область контакта составляет одну четвертую часть поверхности ядра. Акросомическая гранула увеличивается в размере.

На седьмом этапе контактирующая поверхность акросомической структуры составляет одну третью часть поверхности ядра. Акросомическая структура приобретает вид двухслойной шапочки. Электронно-плотная акросомическая гранула приобретает уплощенную форму, прилегает к поверхности ядра (рис. 3B, C). Митохондрии распределены по всей цитоплазме сперматиды. Гипертрофированный комплекс Гольджи располагается рядом с апикальной частью акросомического пузырька. Сперматиды на седьмом этапе спермиогенеза располагаются группами в стенке семенного канальца в соответствии с расположением ядер клеток Сертоли.

На восьмом этапе спермиогенеза круглое ядро сперматиды несколько уменьшается, акросомическая структура становится более

массивной, увеличивает протяженность контакта с ядром, которое удлиняется и приобретает овальную форму. Впереди овального ядра акросомическая структура удлиняется и формирует конус (рис. 3D). В ядре отмечается уплотнение и конденсация хроматина. Акросомическая структура смещается к переднему полюсу клетки и происходит сближение внешней мембраны пузырька с цитолеммой. Однако их пока разделяет узкий слой цитоплазмы.

На этом этапе заканчивается фаза колпачка. Она характеризуется увеличением протяженности контакта акросомальной структуры с ядром, уплощением акросомальной гранулы, преобразованием пузырька в шапочку, охватывающую переднюю часть ядра, смещением ядра и акросомальной структуры к апикальному полюсу клетки, формированием акросомического конуса.

Сравнительный анализ фазы Гольджи спермиогенеза у млекопитающих позволил выявить существенные различия отдельных этапов спермиогенеза у этих животных. Их удалось обнаружить только при электронномикроскопическом исследовании сперматид.

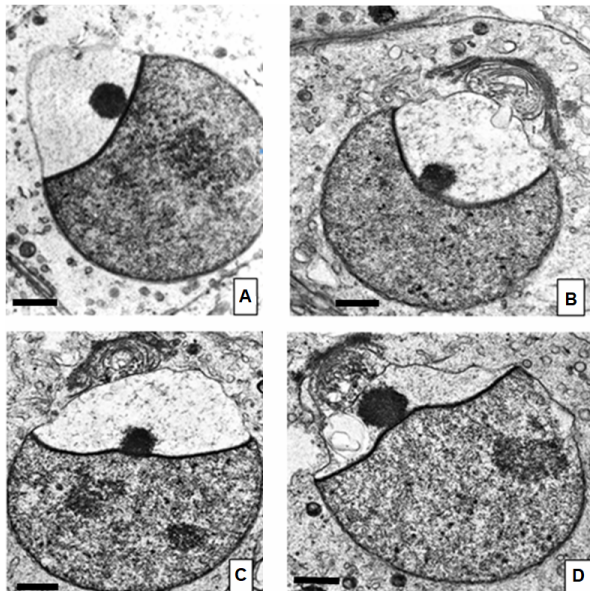


Рис. 2. Электронная микроскопия сперматид в период фазы Гольджи черно-бурого лиса (А, С), северного морского котика (В, D), акросомический пузырек с гранулой образует углубление в ядрах сперматид, плотно прилежит к ядерной мембране. Над акросомическим пузырьком расположен гипертрофированный комплекс Гольджи (В–D), который выделяет крупную вакуоль в полость пузырька (В). В акросомическом пузырьке можно выделить наружную и внутреннюю мембраны. Последняя сливается с ядерной мембраной. Наружная мембрана истончается и местами рассасывается (А–С). Уменьшение акросомического пузырька, гранула увеличивается, хорошо выражен гипертрофированный комплекс Гольджи (D). Внутренняя мембрана пузырька вместе с оболочкой ядра выравнивается (С, D). $\times 8000$, шкала – 1 мкм.

Fig. 2. Electron microscopy of spermatids during the Golgi phase in a silver fox (A, C) and a northern fur seal (B, D). The acrosomic vesicle with its granule forms an indentation in the spermatid nuclei and closely adheres to the nuclear membrane. Above the acrosomic vesicle, a hypertrophied Golgi complex is located (B–D), which releases a large vacuole into the vesicle lumen (B). Within the acrosomic vesicle, outer and inner membranes can be distinguished. The latter fuses with the nuclear membrane. The outer membrane becomes thinner and partially dissolves in places (A–C). Reduction of the acrosomic vesicle, enlargement of the granule, and a well-defined hypertrophied Golgi complex are evident (D). The inner membrane of the vesicle aligns with the nuclear envelope (C, D). $\times 8000$, scale bar – 1 μm .

Выявлены углубления в ядре сперматид в местах расположения акросомического пузырька. В конце фазы Гольджи углубления в ядрах сперматид достигают значительной величины, занимая почти половину ядра клетки. Эти изменения выявлены нами у северного морского котика, черно-бурого лиса, норки. Вначале фазы колпачка ядра сперматид вновь становятся округлыми, а в дальнейшем – приобретают удлиненную овальную форму. У барана, калана и речного бобра крупный акросомический пузырек с акросомической гранулой распластывается на поверхности ядра

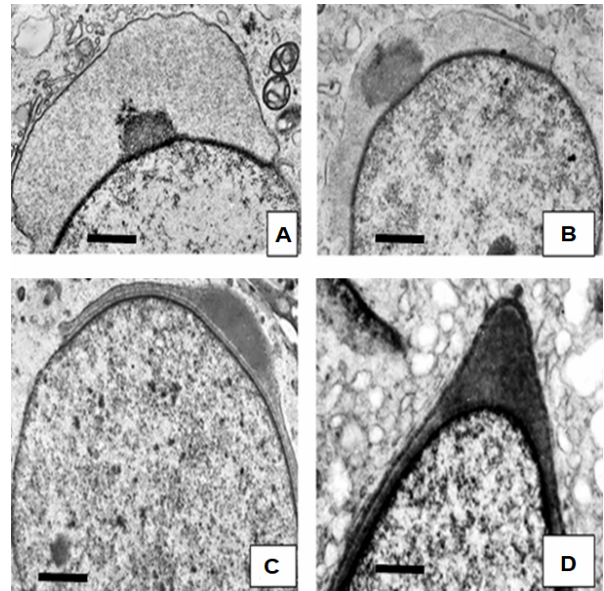


Рис. 3. Электронная микроскопия сперматиды в период фазы колпачка речного бобра (А), северного морского котика (D), калана (В), барана (С). Углубление в ядрах сперматид в месте прилегания акросомического пузырька отсутствует (А–С). Акросомический пузырек покрывает почти половину поверхности ядра. Акросомическая гранула имеет овальную форму (С). Справа от акросомического пузырька расположены две митохондрии (А). Фрагмент овального ядра, впереди акросомической структуры, которая удлиняется и приобретает форму конуса (D). В ядре отмечается уплотнение и конденсация хроматина. Наружная мембрана акросомического пузырька и плазмалемма сперматиды плотно прилегают к акросомической структуре. $\times 8000$, шкала – 1 мкм.

Fig. 3. Electron microscopy of spermatids during the cap phase in a Eurasian beaver (A), a northern fur seal (D), a sea otter (B), and a ram (C). The indentation in the spermatid nuclei at the site of the acrosomic vesicle attachment is absent (A–C). The acrosomic vesicle covers nearly half of the nuclear surface. The acrosomic granule has an oval shape (C). Two mitochondria are located to the right of the acrosomic vesicle (A). A fragment of an oval nucleus with the acrosomic structure at the front, which elongates and assumes a conical shape (D). Chromatin compaction and condensation are evident in the nucleus. The outer membrane of the acrosomic vesicle and the spermatid plasmalemma closely adhere to the acrosomic structure. $\times 8000$, scale bar – 1 μm .

сперматиды и углубление в ядрах сперматид в месте прилегания пузырька отсутствует.

Второе отличие фазы Гольджи у изученных нами млекопитающих состоит в том, что наружная мембрана акросомического пузырька у одних животных (северный морской котик, черно-бурый лис, норка) разрушается (рис. 2В, D) и образующаяся акросома снаружи покрыта только плазмалеммой сперматиды. У других млекопитающих (речной бобр, калан, баран, бык) в акросомическом пузырьке наружная и внутренняя мембраны сохраняются. Акросома у этих животных покрыта

двумя мембранами: плазмалеммой и наружной мембраной акросомического пузырька.

Заключение

Фаза Гольджи включает три этапа спермиогенеза, в течение которых происходит формирование акросомического пузырька и присоединение его к оболочке ядра. В период фазы колпачка увеличивается протяженность контакта акросомической структуры с ядром, отмечается преобразование акросомической структуры в шапочку, которая покрывает переднюю часть ядра. У северного морского котика, лиса и норки акросомический пузырек формирует глубокое вдавление в ядро сперматиды; эти изменения отсутствуют у барана, речного бобра и калана.

Список источников / References

1. Бороздин Э.К. Сперматогенез и цикл семенного эпителия у северного оленя. Архив анатомии. 1964;16(5):33-39. Borozdin EK. Spermatogenez i tsikl semennogo epiteliya u severnogo olenya. Arkhiv anatomii. 1964;16(5):33-39. (In Russ).
2. Иванова Т.М. Строение семенного эпителия и цикл его развития у речного бобра. Труды Воронежского государственного заповедника. Вып. XX. Воронеж: ЦНЗ кн. изд-во; 1974:3-12. Ivanova TM. Stroenie semennogo epiteliya i tsikl ego razvitiya u rechnogo bobra. Trudy Voronezhskogo gosudarstvennogo zapovednika. Vyp. XX. Voronezh: TsNZ kn. izd-vo; 1974:3-12. (In Russ).
3. Иванова Т.М. Годовая цикличность сперматогенного эпителия у речного бобра. Тр. Воронежского гос. заповедника. Вып. XII. Воронежское кн. изд-во; 1961:117-138. Ivanova TM. Godovaya tsiklichnost' spermatogennogo epiteliya u rechnogo bobra. Tr. Voronezhskogo gos. zapovednika. Vyp. XII. Voronezhskoe kn. Izd-vo; 1961:117-138. (In Russ).
4. Лободин К.А., Лозовой Н.М., Ульянов И.А., Ульянова А.В., Лозовая Е.Г., Торгун П.М. Цитологические исследования сперматид на различных этапах спермиогенеза у половозрелых быков симментальской породы. Морфология в XXI веке: теория, методология, практика : Сборник трудов всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 05–07 апреля 2023 года. Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина»; 2023:109-111. Lobodin KA, Lozovoi NM, Ulyanov IA, Ulyanova AV, Lozovaya EG, Torgun PM. Tsitologicheskie issledovaniya spermatid na razlichnykh etapakh spermiogeneza u polovozrelykh bykov simmental'skoi породы. Morfologiya v XXI veke: teoriya, metodologiya, praktika : Sbornik trudov vs Rossiiskoi (natsional'noi) nauchno-prakticheskoi konferentsii. 05–07 aprelya 2023 goda. Moskva: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Moskovskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny i biotekhnologii - MVA imeni K.I. Skryabina»; 2023:109-111. (In Russ).
5. Сурикова К.К. Цитохимическое изучение цикла семенного эпителия у белой мыши. Доклад АН СССР. 1957;112(4):756-759. Surikova KK. Tsitokhimicheskoe izuchenie tsikla semennogo epiteliya u beloi myshi. Doklad AN SSSR. 1957;112(4):756-759. (In Russ).
6. Торгун П.М., Иванова Т.М., Циряниди О.В., Алтунашвили Т.Б. Цикл сперматогенного эпителия у норки: материалы научной конференции Воронежского аграрного университета им К.Д. Глинки. Ч.2. 1997:109-118. Torgun PM, Ivanova TM, Tsiryaniidi OV, Altunashvili TB. Tsikl spermatogennogo epiteliya u noriki: materialy nauchnoi konferentsii Voronezhskogo agrarnogo universiteta im K.D. Glinki. Ch.2. 1997:109-118. (In Russ).
7. Торгун П.М., Горшкова Н.А. Цикл сперматогенного эпителия у калана. Морфология. 2010;137(4):191. Torgun PM, Gorshkova NA. Tsikl spermatogennogo epiteliya u kalana. Morfologiya. 2010;137(4):191. (In Russ).
8. Chowdhury AK, Steinberger E. A study of germ cell morphology and duration of spermatogenic cycle in the baboon, Papio anubis. Anat Rec. 1976 Jun;185(2):155-69. doi: 10.1002/ar.1091850204.
9. Clermont Y. Cycle of the seminiferous epithelium of the guinea pig. A method for identification of the stages. Fertil Steril. 1960 Nov-Dec;11:563-73. doi: 10.1016/S0015-0282(16)33961-9.
10. Clermont Y, Antar M. Duration of the cycle of the seminiferous epithelium and the spermatogonial renewal in the monkey Macaca arctoides. Am J Anat. 1973 Feb;136(2):153-65. doi: 10.1002/aja.1001360204.
11. Clermont Y, Bustos-Obregon E. Re-examination of spermatogonial renewal in the rat by means of seminiferous tubules mounted "in toto". Am J Anat. 1968 Mar;122(2):237-47. doi: 10.1002/aja.1001220205.
12. Leblond CP, clermont Y. Definition of the stages of the cycle of the seminiferous epithelium in the rat. Ann N Y Acad Sci. 1952 Nov 20;55(4):548-73. doi: 10.1111/j.1749-6632.1952.tb26576.x.
13. Leblond CP, Clermont Y. Spermiogenesis of rat, mouse, hamster and guinea pig as revealed by the periodic acid-fuchsin sulfurous acid technique. Am J Anat. 1952 Mar;90(2):167-215. doi: 10.1002/aja.1000900202.
14. Oakberg EF. A description of spermiogenesis in the mouse and its use in analysis of the cycle of the seminiferous epithelium and germ cell renewal. Am J Anat. 1956 Nov;99(3):391-413. doi: 10.1002/aja.1000990303.
15. Orsi AM, Ferreira AL. Definition of the stages of the cycle of the seminiferous epithelium of the opossum (Didelphis azarae, Temminck, 1825). Acta Anat (Basel). 1978;100(1):153-60. doi: 10.1159/000144894.
16. Osman DI, Moniem KA, Tingari MD. Histological observations on the testis of the camel, with special emphasis on spermatogenesis. Acta Anat (Basel). 1979;104(2):164-71. doi: 10.1159/000145065.
17. Oud JL, de Rooij DG. Spermatogenesis in the Chinese hamster. Anat Rec. 1977 Jan;187(1):113-24. doi: 10.1002/ar.1091870109.

Информация об авторах

Ульянов Игнатий Андреевич – аспирант; Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко;

<https://orcid.org/0000-0003-1414-5406>

SPIN 5515-6885

Ульянов Андрей Григорьевич – канд. с.-х. наук, доцент кафедры частной зоотехнии; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I;

agu16@mail.ru

SPIN 8349-9042

Котарев Вячеслав Иванович – д-р. с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории гематологии и биохимии отдела клинико-лабораторных исследований; Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии;

kotarev60@ya.ru

SPIN 6492-4315

Алексеева Наталья Тимофеевна – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко; alexeevant@list.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1510-8543>

SPIN 4846-3772

Торгун Петр Макарович – д-р. ветеринар. наук, профессор кафедры акушерства, анатомии и хирургии; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I; ул. Мичурина, 1, Воронеж, 394087, Россия

pet.torgun@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8232-4858>

SPIN 4310-4233

Клочкова Светлана Валерьевна – д-р мед. наук, профессор кафедры анатомии человека Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы; swetlana.chava@yandex.ru;

<https://orcid.org/0000-0003-2041-7607>

SPIN 1528-6250

Никитюк Дмитрий Борисович – д-р мед. наук, профессор, акад. РАН, директор ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи; dimitrynik@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2259-1222>

SPIN 1236-8210

Лободин Константин Алексеевич – д-р. ветеринар. наук, зав. кафедрой акушерства, анатомии и хирургии; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I;

SPIN 7034-7581

Лозовой Никита Михайлович – аспирант кафедры акушерства, анатомии и хирургии; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I; <https://orcid.org/0009-0002-0029-0143>

SPIN 5622-3671

Лозовая Елена Геннадиевна – доцент кафедры акушерства, анатомии и хирургии; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I; llozovaja@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0006-5001-4963>

SPIN 4466-8261

Мозговая Елена Ивановна – старший преподаватель кафедры акушерства, анатомии и хирургии; Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I; mosgovaja59@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-4543-0135>

SPIN 6077-9850

Information about the authors

Inatii A. Ulyanov – postgraduate; N.N. Burdenko Voronezh State Medical University; germanort@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1414-5406>

SPIN 5515-6885

Andrei G. Ulyanov – Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor at the Department of Private Animal Science; Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University;

agu16@mail.ru

SPIN 8349-9042

Vyacheslav I. Kotarev – Doct. Sci. (Agric.), Chief Researcher of the Laboratory of Hematology and Biochemistry of the Department of Clinical Laboratory Research; All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology, and Therapy;

kotarev60@ya.ru

SPIN 6492-4315

Nataliya T. Alexeeva – Doct. Sci. (Med.), Professor, Head of Human Anatomy Department of N.N. Burdenko Voronezh State Medical University;

alexeevant@list.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1510-8543>

SPIN 4846-3772

Petr M. Torgun – Doct. Sci. (Veterinary), Professor at the Department of Obstetrics, Anatomy and Surgery; Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University; ul. Michurina, 1, Voronezh, 394087, Russia

pet.torgun@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8232-4858>

SPIN 4310-4233

Svetlana V. Klochkova – Doct. Sci. (Med.), Professor of Human Anatomy Department of Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia;

swetlana.chava@yandex.ru;

<https://orcid.org/0000-0003-2041-7607>

SPIN 1528-6250

Dmitrii B. Nikityuk – Doct. Sci. (Med.), Professor, Acad. of RAS, head of Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety; dimitrynik@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2259-1222>

SPIN 1236-8210

Konstantin A. Lobodin – Doct. Sci. (Veterinary), Head of the Department of Obstetrics, Anatomy and Surgery; Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University;

SPIN 7034-7581

Nikita M. Lozovoi – postgraduate of the Department of Obstetrics, Anatomy and Surgery; Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University;

<https://orcid.org/0009-0002-0029-0143>

SPIN 5622-3671

Elena G. Lozovaya – Associate Professor of the Department of Obstetrics, Anatomy and Surgery; Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University;

llozovaja@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0006-5001-4963>

SPIN 4466-8261

Elena I. Mozgovaya – senior lecturer of the Department of Obstetrics, Anatomy and Surgery; Emperor Peter the Great Voronezh State Agrarian University;

mosgovaja59@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-4543-0135>

SPIN 6077-9850

Статья поступила в редакцию 14.04.2025; одобрена после рецензирования 31.05.2025; принята к публикации 25.12.2025.
Submitted 14.04.2025; Revised 31.05.2025; Accepted 25.12.2025.