

Т. Ю. Берелет, Е. А. Корочкина

Целостность акросомы как ключевой прогностический фактор фертильности (обзор)

Аннотация.

Цель: изучение данных отечественных и зарубежных авторов о морфофункциональных особенностях акросомы, методах оценки акросомальной реакции и сравнении данных о фертильности.

Фертильность – способность половозрелого организма производить жизнеспособное потомство. Фертильность можно определить по различным критериям, но одним из ключевых факторов является оценка целостности акросомы. Акросома является частью сперматозоида, располагается на вершине его головки. Существует две основные ее функции: выделение протеолитических и гидролитических ферментов для прохождения сперматозоидом прозрачной оболочки яйцеклетки и обеспечение слияния сперматозоида с мембраной женской половой клетки. В образовании акросомы участвуют аппарат Гольджи, цитоскелет, клетки Сертоли и различные белки. Акросомальная реакция является экзоцитозом содержимого акросомы, в результате которого сперматозоид проникает через оболочки яйцеклетки. Оценивать целостность акросомы можно несколькими методами: электронная микроскопия с дифференцированным окрашиванием акросомы по разным методикам, функциональные тесты, флуоресцентная микроскопия, радиоиммуноанализ.

Ключевые слова: кровь; крысы; лейкограмма; лейкоцитарный индекс; лейкоциты; метаболизм; микроэлементы; хелаты.

Авторы:

Берелет Т. Ю. — e-mail: yanatber@gmail.com;

Корочкина Е. А. — доктор ветеринарных наук, e-mail: prigo.olga@gmail.com.

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины; 196084 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5.

Введение. Фертильность — способность половозрелого организма производить жизнеспособное потомство. Оценка фертильности возможна с помощью таких показателей как: объем и концентрация сперматозоидов, качество спермы, подвижность и процент аномальных сперматозоидов, также проводят различные тесты на نابухание/эозинофилию или на пенетрацию [1, 2].

Считается, что одним из ключевых прогностических факторов фертильности является оценка акросомального статуса.

Успешность осеменения зависит от качества половых гамет. Что касается сперматозоидов, то ключевыми факторами являются их морфология, подвижность и оценка целостности плазматической мембраны, целостность акросомы. Последнее считается наиболее важным. За последнее десятилетие особое внимание уделяется оценке акросомальной целостности.

Отмечают, что одним из основных элементов оценки качественных параметров спермы является наличие или отсутствие интактной акросомы сперматозоида. Этот параметр отражает возможность оплодотворения семенем [3].

Ху F с соавторами (2018) говорят о том, что акросома является фактором фертильности, Брагина Е.Е. (2024) считает, что акросома — фактор, участвующий в процессе оплодотворения, а также влияющий на генетические аномалии [4, 5].

В связи с этим, целью нашего исследования явилось изучение данных отечественных и зарубежных авторов о морфофункциональных особенностях акросомы, методах оценки акросомальной реакции и сравнении данных о фертильности пациентов.

Сперматозоид: строение и состав.

Сперматозоид — мужская половая клетка. Считается, что строение сперматозоидов у разных животных типично, но они отличаются большим разнообразием морфологии. Так, например, у костистых рыб может отсутствовать акросома, что может быть обусловлено проникновением сперматозоида через микропили в яйцеклетку [6].

В строении зрелой мужской половой клетки выделяют головку, шейку и хвост. Головка сперматозоида имеет овальную форму. В ней расположены гаплоидное ядро с уплотненным хрома-

тином, расположенным внутри, и тонким слоем протоплазмы вокруг, а также акросома. Последняя представляет собой экзоцитозную гранулу с ферментами — веществами, которые нужны сперматозоидам для прохождения оболочек яйцеклетки при оплодотворении [7].

Головку спермия в основном образуют нуклеопротейиды и незначительное количество свободного белка, лецитина и солей. В головной части сперматозоида можно выделить внеядерные и внеакросомные области. Также в ней находятся цитоплазматические участки, окруженные акросомными мембранами, ядерной оболочкой и плазматической мембраной [6].

В строении сперматозоида выделяют перинуклеарную теку — плотную белковую оболочку, которая полностью окружает ядро, за исключением имплантационной ямки. В апикальной области субакросомальной перинуклеарной теки находится перфораторий — специализированная структура, которая отвечает за присоединение акросомы к передней части ядра [6].

Хвост крепится к головке сперматозоида с помощью шейки — соединительного участка, в состав которого входят типичные или нетипичные проксимальные и дистальные центриоли. В хвостике выделяют среднюю, основную и концевую части. Шейка является передней границей средней части, поперечное кольцо, образованное уплотненным материалом, образует заднюю границу. Средняя часть содержит митохондрии, вырабатывающие АТФ путем окислительного фосфорилирования. На всем протяжении сперматозоида от шейки до конца хвостика располагается аксонема, образованная микротрубочками. С микротрубочками аксонемы связываются специальные белки, которые выполняют функцию гидролиза АТФ. В результате этого процесса химическая энергия переходит в механическую, тем самым обеспечивая подвижность хвостика [7, 6].

Стоит упомянуть, что сперматозоид не является зрелым и полностью сформированным сразу после эякуляции. Ему требуются дальнейшие процессы преобразования, проходящие в женском репродуктивном тракте, для приобретения способности к оплодотворению [5].

Teves M.E., Roldan (2021) отмечают, что сперматозоиды — высокополяризованные и чрезвычайно дифференцированные клетки. Они не имеют возможности быстро регенерировать и в целом имеют малую способность к восстановлению, поэтому существует множество факторов, которые могут нанести им необратимые повреждения. Вследствие этого сперматозоидам необходима защита от потенциальных повреждений

для полноценного переноса генетической информации к яйцеклетке. Эту защиту им обеспечивают их строение [6].

Акросома.

Говоря о строении сперматозоида, стоит уделить особое внимание акросоме. Акросома — секреторный пузырек, который является производным аппарата Гольджи. Она располагается на переднем полюсе ядра, покрывая 2/3 головки сперматозоида. Головку относительно акросомы принято разделять на 3 сегмента: акросомный, экваториальный и постакросомный. Между акросомой и ядерной оболочкой находится перинуклеарная тека, содержащая комплекс белков, являющихся необходимым фактором для активации яйцеклеток [4].

Размер и форма акросомы у млекопитающих отличаются у различных видов. Ее морфология зависит от строения головки сперматозоида, которое частично связано со строением ядра [8].

Отмечалось, что аномалии строения акросомы могут приводить к нарушению оплодотворяющей способности сперматозоидов. Это подтверждается исследованием, которое проводили Бочарова Е.Н. с соавторами (2007). У группы мужчин с нарушением процесса оплодотворения в эякуляте наблюдалось снижение количества сперматозоидов с нормальной акросомой, в то время как у другой группы лиц с профилактическим обследованием не обнаруживались сперматозоиды с нарушением акросомы [9].

В составе акросомы выделяют наружную, внутреннюю мембраны и акросомальный матрикс, включающий в себя множество белков, гидролитических и протеолитических ферментов, важных для оплодотворения. К ним относят протеазы, гликозидазы, связывающие протеины, белки, связывающиеся с толстой вителлиновой оболочкой яйцеклетки, проакрозин, гиалуронидаза, β -галактозидаза, различные протеиназы, нейраминидазы, эстеразы, арилсульфатаза и фосфолипазы А и С, а также различные фосфатазы и регуляторные ферменты [10].

Наиболее значимый белок, содержащийся в акросоме, по мнению Брагиной Е. Е. (2024) — проакрозин. Он способен связываться с блестящей оболочкой яйцеклетки. После активации этого белка образуется акрозин, который принимает участие в созревании и упаковке других белков, содержащихся в матриксе акросомы [4].

Акрозин содержится только в акросоме сперматозоидов млекопитающих. Его образование и хранение происходит в ферментативно неактивной форме — проакрозина. Высвобождение этого белка происходит после созревания во время акросомного экзоцитоза. Акрозин принимает

участие в разрушении блестящей оболочки, а также облегчает проникновение сперматозоидов через внутренние гликопротеиновые слои яйцеклетки. Было отмечено, что за высвобождение акрозина из акросомы сперматозоидов отвечает белок ACRBP [5, 11].

По мнению Okabe M. (2018), акрозин не является основным белком, необходимым для оплодотворения. Подтверждая данный факт, ученый ссылается на Baba T., Azuma S., Kashiwabara S., Toyoda Y. (1994), исследование которых показало, что в сперматозоидах существует еще одна сериновая протеаза — Prss21. Нарушение синтеза Prss21/тестисина/Tesp5 в результате опыта привело к уменьшению числа мышат, однако самцы были бесплодны. Мыши с двойным нокаутом по акрозину и Prss21 также были способны к оплодотворению, но в меньшем количестве, чем ранее. При проведении подобного исследования на крысах также нарушалось действие акрозина, но самцы оставались продуктивными [12].

O'Flaherty и de Souza (2011) исследовали антиоксидантный фермент PRDX5, который располагается в акросоме, постакросоме и средней части сперматозоидов человека. Он отвечает за защиту сперматозоидов от окислительного стресса [13].

Расположение этого белка обосновано его функциями, которые связаны с оплодотворяющей способностью сперматозоидов (Rahman et al., 2013). Было установлено, что количество фермента возрастает после процесса капацитации более чем в три раза. Это дает возможность предположить, что PRDX5 может служить хорошим источником энергии для сперматозоидов. Данный тезис имеет особое значение для экзоцитоза акросомы и связывания сперматозоида с яйцеклеткой, так как в этот период идут большие затраты энергии [14].

В строении акросомы Нарышкина Е.Н. и др. (2017) отмечают, что она содержит достаточно большое количество воды, в результате чего спермии становятся высокочувствительными к охлаждению и замораживанию. Это является причиной того, что акросома одной из первых повреждается при неблагоприятных условиях среды [3].

При изучении акросомы было выявлено 2 основных типа нарушений, приводящих к потере фертильности: спонтанная акросомная реакция, происходящая до взаимодействия сперматозоида и яйцеклетки, и отсутствие факторов, активирующих акросомную реакцию при связывании сперматозоида с прозрачной оболочкой [15].

Биогенез акросомы.

Начало формирования акросомы происходит во время позднего мейоза: происходит образова-

ние проакросомальных пузырьков в пахитеновых сперматоцитах. Этот процесс продолжается в течение первой половины спермиогенеза [8, 10, 16].

По данным исследования Брагиной Е. Е. (2024) процесс биогенеза акросомы делится на несколько стадий. Во время первой фазы (фаза аппарата Гольджи), происходящей в раннем спермиогенезе, происходит преобразование проакросомальных пузырьков аппарата Гольджи. После мейотических делений они остаются в гаплоидных сперматозоидах. Гранулы аппарата Гольджи включают в себя некоторые компоненты будущей акросомы. Они контактируют с ядерной мембраной, в результате чего образуется акросомная гранула. Она прикрепляется к ядру сперматиды. Фаза шапочки (акросомная фаза) характеризуется формированием акросомного пузырька вследствие слияния проакросомных пузырьков [4]. В местах контакта между развивающейся акросомой и ядром сперматозоида формируется структура, которая в дальнейшем будет внутренней акросомальной мембраной. Далее ядро и акросома продолжают развиваться в процессе сперматогенеза. Созревание акросомы заканчивается в придатке семенника [8, 10, 16].

Снигиревская Е. С., Мосевичкий М. И., Комиссарчик Я. Ю. (2012) в своей работе отмечают, что наличие большого количества везикул между аппаратом Гольджи (АГ) и ядром подтверждает участие в формировании акросомы пузырьков АГ — из них формируются проакросомальные пузырьки [17].

Окончательный вид акросома приобретает в удлинённых сперматидях. Таким образом, в конце фазы созревания сперматозоидов акросома покрывает ядро на 30 — 50% [4].

Брагина Е. Е. (2024) отмечает, что большое значение в формировании акросомы играет цитоскелет. Во время акросомной фазы микротрубочки меняют свое расположение — локализуется в виде манжетки вокруг ядра. Микротрубочки принимают участие в образовании формы ядра и акросомы на последней стадии сперматогенеза. Также в формировании акросомы участвуют клетки Сертоли, содержащие в своей цитоплазме тубулоретикулярный комплекс с F-актином [4].

На стадии уплощения акросомного пузырька между ядерной оболочкой и внутренней мембраной акросомного пузырька формируется акроплакса. Она представляет собой начальный этап образования пренуклеарной теки. В составе акроплаксы выделяют актиновые и промежуточные филаменты, расположенные в строгой последовательности. Они отвечают за связывание между собой акросомы и ядерной оболочки [18, 4, 17].

В процессе созревания сперматозоида граница акросомы начинает сдвигаться назад и появляется ленточный желобок. Он формируется путем выпячивания плазматической мембраны сперматозоида каудально от ведущего края акросомы. Акроплакса совместно с маргинальным кольцом, расположенным на каудальной части желобка, вытягивают акросому к хвостовой части сперматозоида [4].

Mountjoy J. R., Xu W. et al (2008) отмечают, что биогенез акросомы регулирует белок RAB2, находящийся в ней. Этот белок отвечает за везикулярный транспорт и принимает участие в слиянии мембран. После капацитации индуцируется акросомная реакция — процесс акросомного экзоцитоза. После этих процессов у исследуемых сперматозоидов отмечалось снижение данного белка. Вследствие этого автор предполагает, что снижение синтеза RAB2 после капацитации может свидетельствовать об участии RAB2 в перестройке структуры акросомы, после которой происходит акросомный экзоцитоз [19].

При изучении формирования акросомы отметили, что на всех этапах ее биогенеза присутствует белок экваториального сегмента. Это дало возможность предположить участие этого белка в прикреплении сперматозоидов к яйцеклетке и их слиянии на уровне ее мембраны [15]. После акросомной реакции сохраняется экваториальный сегмент. Опытным путем было выяснено, что за это отвечает экваториальный белок SPESP1. При проведении исследования у мышей, лишенных данного белка, экваториальный сегмент разрушался, в отличие от мышей с наличием этого белка в сперматозоидах [20].

Okabe M. (2018) в своей работе пишет, что процессами, предшествующими оплодотворению, являются капацитация и акросомная реакция. В его статье приводится ссылка на исследования Austin C, Bishop M. (1958), говорящие о том, что содержимое акросомы не участвует в процессе проникновения в зоны яйцеклетки, поскольку акросома исчезает при проникновении в зоны [21, 22].

Акросомная реакция как экзоцитоз.

Акросомная реакция — рецепторопосредованный экзоцитоз содержимого акросомы, который дает возможность сперматозоиду проникнуть через оболочки яйцеклетки [23, 15]. Во время акросомной реакции происходит выделение протеаз и гиалуронидазы, которые обеспечивают спермию проникновением через прозрачную оболочку яйцеклетки [24].

Гликопротеиновая оболочка яйцеклетки расщепляется литическим содержимым акросомы, вследствие чего сперматозоид может достигнуть поверхности яйцеклетки [4].

Акросомная реакция проходит в несколько стадий. Для начального этапа характерны набухание и деконденсация матрикса акросомы, в результате чего происходит сближение и дальнейшее соприкосновение наружной акросомной мембраны с плазматической мембраной, между которыми образуются поры. При слиянии этих оболочек формируется гибридный пузырек. Результатом является выход содержимого акросомы с гиалуронидазой и трипсиноподобными ферментами через поры во внеклеточное пространство. Через небольшой промежуток времени матрикс разрушается, а наружная акросомная и плазматическая мембраны остаются интактными в экваториальном сегменте [4].

Для того, чтобы мог произойти экзоцитоз акросомы, сперматозоид должен подвергнуться структурной перестройке. Отмечают, что высвобождение акросомного содержимого, сопровождающееся значительными изменениями формы головной части сперматозоида, может изменять гидродинамические характеристики сперматозоидов на последних этапах проникновения в кумулюс и прозрачную оболочку [6].

Остается открытым вопрос о том, что именно активирует акросомную реакцию. Yanagimachi R., Phillips D. M. (1984) проводили исследование на хомяках и пришли к выводу, что у хомячков она начинается при прохождении сперматозоида через яйценосный холмик. Подобное исследование проводили также на мышах: сперматозоиды обработали флюоресцирующим белком, который работал только после активации акросомной реакции и только в целостной головке — в результате большинство оплодотворяющих сперматозоидов подверглось акросомному процессу, когда спермии присоединились к яйценосному холмику, и лишь у некоторых оплодотворяющих сперматозоидов акросомная реакция начиналась в блестящей оболочке. Однако другие авторы считают местом акросомной реакции блестящую оболочку [25, 4, 26].

Okabe M. (2018) отмечает, что акросомная реакция не является частью капацитации. Акросомная реакция наблюдается у большинства многоклеточных, в то время как капацитация есть только у сперматозоидов млекопитающих. Вследствие этого возникло предположение, что явление капацитации является результатом эволюции млекопитающих. Данный тезис может объяснить капацитацию как относительно недавно возникший процесс, который обеспечил сперматозоидам возможность оплодотворения яйцеклетки после прохождения физиологических изменений, приводящих к акросомной реакции [22].

По данным работы Брагиной Е. Е. (2024),

процесс слияния наружной акросомной и плазматической мембран происходит после взаимодействия акросомы капацитированных сперматозоидов с гликопротеинами блестящей оболочки яйцеклетки. Происходит экзоцитоз содержимого акросомы, в том числе протеаз, которые растворяют блестящую оболочку. После этого сперматозоиды с прореагировавшей акросомой связываются с другими гликопротеинами блестящей оболочки. Они обеспечивают прикрепление сперматозоида к яйцеклетке [4].

По мнению Okabe M. (2018), одной из важнейших функций акросомной реакции является передача белков, которые связаны со слиянием, от внутренней оболочки акросомы к плазматической мембране, например, IZUMO1. Ферменты, выделяемые при экзоцитозе, по его мнению, имеют индивидуальное и второстепенное влияние на оплодотворяющую функцию сперматозоида [22].

Для успешного оплодотворения одними из важных факторов являются целостность и интактность акросомы.

Методы определения целостности акросомы.

К основным методам определения целостности акросомы относятся электронная микроскопия с дифференцированным окрашиванием ак-

росомы по разным методикам, функциональные тесты (например, тест ARIC, в котором используют ионофор A23187 в качестве индуктора акросомной реакции), флюоресцентная микроскопия с использованием флюоресцентных красителей (PSA-FITC), радиоиммуноанализ (РИА) [23, 15].

Однако не все методы остаются актуальными на сегодняшний день. По мнению Боруновой С. М. (2007), при использовании электронной микроскопии метод, указанный в ГОСТ №32277 – 2013 пункт 8.4 (окрашивание красителями эозин/нигрозин), не отвечает современным требованиям определения целостности акросомы. В своей работе она с коллегами использовала методику окрашивания с помощью тест-набора красителей Дифф-Квик, доказав ее эффективность [18].

Заключение. Таким образом, акросома является важным структурным элементом сперматозоида, который принимает участие в акросомальной реакции и таким образом определяет оплодотворяющую способность мужских половых гамет. В связи с этим при оценке репродуктивного потенциала самцов необходимо проводить исследования акросомальной целостности сперматозоидов с выбором точных методов и протоколов.

Литература

1. Penagaricano F. Genomics and Dairy Bull Fertility / F. Penagaricano // Vet Clin North Am Food Anim Pract. – 2024. – № 40(1). – P. 185–190. DOI: 10.1016/j.cvfa.2023.08.005.
2. Rahman M. S. Prediction of male fertility using capacitation-associated proteins in spermatozoa / M. S. Rahman, W. S. Kwon, M. G. Pang // Mol Reprod Dev. – 2017. – № 84(9). – P. 749–759. DOI: 10.1002/mrd.22810.
3. Нарышкина Е. Н. Влияние генетических и паратипических факторов на качественные и количественные показатели спермы быков-производителей / Е. Н. Нарышкина, А. А. Сермягин, И. Н. Янчуков [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2017. – № 4. – С. 15–19.
4. Брагина Е. Е. Интерпретация спермограммы. Структура и функция сперматозоидов в норме и при нарушении фертильности / Е. Е. Брагина // Практическая медицина. – 2024. – 240 с.
5. Xu F. Human sperm acrosome function assays are predictive of fertilization rate in vitro: a retrospective cohort study and metaanalysis / F. Xu, G. Guo, W. Zhu, L. Fan // Reprod Biol Endocrinol. – 2018. – №16(1). – 81 p.
6. Teves M. E. Sperm bauplan and function and underlying processes of sperm formation and selection / M. E. Teves, E. R. S. Roldan // Physiol Rev. – 2022. – № 102(1). – P. 7–60. DOI: 10.1152/physrev.00009.2020.
7. Сатаева Т. П. Жизненный цикл сперматозоида. Норма и нарушения / Т. П. Сатаева, А. В. Ковальчук, С. А. Кутя // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. – 2018. – № 1. – С. 113–122.
8. Щербакова В. В. Значение акросомы в оплодотворяющей способности сперматозоидов / В. В. Щербакова // Научные проблемы производства продукции животноводства и улучшения ее качества. – Брянск. – 2021. – С. 141–144.
9. Бочарова Е. Н. Количественное ультраструктурное исследование сперматозоидов человека при нарушении фертильности / Е. Н. Бочарова, Е. Е. Брагина, Ю. К. Гусак // ВНМТ. – 2007. – № 4. – С. 199–201.

10. Abou-Haila A. Mammalian Sperm Acrosome: Formation, Contents, and Function / A. Abou-Haila, D. R. P. Tulsiani, Archives of Biochemistry and Biophysics. – 2000. - № 379 (2). – P. 173–182.
11. Fraser L. R. A glycolytic product is obligatory for initiation of the sperm acrosome reaction and whiplash motility required for fertilization in the mouse / L. R. Fraser, P. J. Quinn // J Reprod Fertil. – 1981. – № 61. – P. 25–35.
12. Baba T. Sperm from mice carrying a targeted mutation of the acrosin gene can penetrate the oocyte zona pellucida and effect fertilization / T. Baba, S. Azuma, S. Kashiwabara, Y. Toyoda // J Biol Chem. – 1994. – № 269. – P. 31845–31849.
13. O’Flaherty C. Hydrogen peroxide modifies human sperm peroxiredoxins in a dose-dependent manner / C. O’Flaherty, A. R. de Souza // Biology of Reproduction. – 2011. – № 84. – P. 238–247.
14. Rahman, M. S. Sperm proteomics: Road to male fertility and contraception / M. S. Rahman, J. S. Lee, W. S. Kwon, M. G. Pang // International Journal of Endocrinology. – 2013. DOI: 10.1155/2013/360986.
15. Tesarik J. Acrosome reaction testing / J. Tesarik // Report of the consensus workshop on advanced diagnostic andrology techniques. ESHRE, Andrology Special Interest Group Hum. Reprod. – 1996. – Vol. 11. – P. 1463–1479.
16. Chavez J.C. Darszon. Acrosomal alkalization triggers Ca²⁺ release and acrosome reaction in mammalian spermatozoa / J. C. Chavez, De la Vega- J. L. Beltran et al. // Journal of Cellular Physiology. – 2018. – № 233 (6). – P. 4735–4747.
17. Снигиревская Е. С. Роль хроматидных телец и цитоскелета в дифференцировке сперматозоидов крысы / Е. С. Снигиревская, М. И. Мосевичкий, Я. Ю. Комиссарчик // Цитология. – 2012. – № 54. – № 3. – С. 200–213.
18. Борунова С. М. Эффективный метод определения целостности акросомы сперматозоида у быков производителей / С. М. Борунова, Б. С. Иолчиев, П. Н. Абрамов, О. Э. Бадмаев, А. В. Таджиева, А. С. Рибченко // Ветеринария и зоотехния. – 2017. – № 4. – С. 29–34.
19. Mountjoy J. R. RAB2A: a major subacrosomal protein of bovine spermatozoa implicated in acrosomal biogenesis / J. R. Mountjoy, W. Xu, D. McLeod, D. Hyndman, R. Oko // Biol Reprod. – 2008. – № 79. – P. 223–232. DOI: 10.1095/biolreprod.107.065060.
20. Suryavathi V. Dynamic Changes in Equatorial Segment Protein 1 (SPESP1) Glycosylation During Mouse / V. Suryavathi, S. Panneerdoss et al. // Spermiogenesis Biology of Reproduction. – 2015. – № 92(5).
21. Austin C. R. Role of the rodent acrosome and perforatorium in fertilization / C. R. Austin, M. W. H. Bishop // Proc. Roy. Soc. B. – 1958. – №149(935). – P. 241–248.
22. Okabe M. Sperm-egg interaction and fertilization: past, present, and future / M. Okabe Biol Reprod. – 2018. – № 99(1). – P. 134–146. DOI: 10.1093/biolre/iox028.
23. Николаева М. А Оценка акросомной реакции при диагностике бесплодия / М. А. Николаева, Е. Л. Голубева, И. В. Ушакова, Л. В. Ванько, В. А. Божедомов, Г. Т. Сухих // Акушерство и гинекология. – 2010. – № 5. – С. 68–72.
24. Ramalho-Santos J. Control of membrane fusion during spermiogenesis and the acrosome reaction / J. Ramalho-Santos, G. Schatten, R. D. Moreno // BiolReprod. – 2002. – № 67(4). – P. 1043–1051.
25. Yanagimachi R. The status of acrosome caps of hamster spermatozoa immediately before fertilization in vivo / R. Yanagimachi, D. M. Phillips // Gamete Res. – 1984. – № 9. – P. 1–19.
26. Gupta S. K. Acrosome reaction: relevance of zona pellucida glycoproteins / S. K. Gupta, B. Bahandari // Asian J Androl. – 2011. – № 13(1). – P. 97–105.

Berelet T., Korochkina E.

The acrosome integration as a key prognostic factor of fertility (review)

Abstract.

Purpose: study of data from domestic and foreign authors on the morphofunctional features of the acrosome, methods for assessing the acrosomal reaction and comparison of fertility data.

Fertility is the ability of a sexually mature organism to produce viable offspring. Fertility can be determined by various criteria, but one of the key factors is the assessment of the integrity of the acrosome. The acrosome is a part of the sperm, located at the top of its head. There are two main functions of the acrosome: the isolation of proteolytic and hydrolytic enzymes for the sperm to pass through the transparent shell of the egg, and ensuring the fusion of the sperm with the membrane of the female germ cell. Golgi apparatus, cytoskeleton, Sertoli cells and various proteins are involved in the formation of the acrosome. The acrosomal reaction is the exocytosis of the contents of the acrosome, as a result of which the sperm penetrates through the egg shells. The integrity of the acrosome can be assessed by several methods: electron microscopy with differentiated staining of the acrosome using different techniques, functional tests, fluorescence microscopy, radioimmunoanalysis.

Key words: rainbow trout, GWAS, SNP, gene, polymorphism, genome-wide association studies.

Authors:

Berelet T. — e-mail: yanatber@gmail.com;

Korochkina E. — PhD (Vet. Sci.); e-mail: e.cora@mail.ru.

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine; 196084 Russia, Saint Petersburg, Chernigovskaya st., 5.

References

1. Penagaricano F. Genomics and Dairy Bull Fertility / F. Penagaricano // Vet Clin North Am Food Anim Pract. — 2024. — № 40(1). — P. 185–190. DOI: 10.1016/j.cvfa.2023.08.005.
2. Rahman M. S. Prediction of male fertility using capacitation-associated proteins in spermatozoa / M. S. Rahman, W. S. Kwon, M. G. Pang // Mol Reprod Dev. — 2017. — № 84(9). — P. 749–759. DOI: 10.1002/mrd.22810.
3. Naryshkina E. N. Influence of genetic and paratypic factors on qualitative and quantitative indicators of semen of breeding bulls / E. N. Naryshkina, A. A. Sermiyagin, I. N. Yanchukov [et al.] // Dairy and beef cattle breeding. — 2017. — No. 4. — P. 15–19.
4. Bragina E. E. Interpretation of spermogram. Structure and function of spermatozoa in norm and in case of fertility disorders / E. E. Bragina // Practical medicine. — 2024. — 240 p.
5. Xu F. Human sperm acrosome function assays are predictive of fertilization rate in vitro: a retrospective cohort study and metaanalysis / F. Xu, G. Guo, W. Zhu, L. Fan // Reprod Biol Endocrinol. — 2018. — №16(1). — 81 p.
6. Teves M. E. Sperm bauplan and function and underlying processes of sperm formation and selection / M. E. Teves, E. R. S. Roldan // Physiol Rev. — 2022. — № 102(1). — P. 7–60. DOI: 10.1152/physrev.00009.2020.
7. Satayeva T. P. Life cycle of sperm. Norm and disorders / T. P. Satayeva, A. V. Kovalchuk, S. A. Kutya // Crimean journal of experimental and clinical medicine. — 2018. — No. 1. — P. 113–122.
8. Shcherbakova V. V. The importance of the acrosome in the fertilizing ability of sperm / V. V. Shcherbakova // Scientific problems of livestock production and improving their quality. — Bryansk. — 2021. — P. 141–144.
9. Bocharova E. N. Quantitative ultrastructural study of human spermatozoa in impaired fertility / E. N. Bocharova, E. E. Bragina, Yu. K. Gusak // VNMT. — 2007. — No. 4. — P. 199–201.
10. Abou-Haila A. Mammalian Sperm Acrosome: Formation, Contents, and Function / A. Abou-Haila, D. R. P. Tulsiani, Archives of Biochemistry and Biophysics. — 2000. — № 379 (2). — P. 173–182.
11. Fraser L. R. A glycolytic product is obligatory for initiation of the sperm acrosome reaction and whiplash motility required for fertilization in the mouse / L. R. Fraser, P. J. Quinn // J Reprod Fertil. — 1981. — № 61. — P. 25–35.

12. Baba T. Sperm from mice carrying a targeted mutation of the acrosin gene can penetrate the oocyte zona pellucida and effect fertilization / T. Baba, S. Azuma, S. Kashiwabara, Y. Toyoda // J Biol Chem. – 1994. – № 269. – P. 31845–31849.
13. O’Flaherty C. Hydrogen peroxide modifies human sperm peroxiredoxins in a dose-dependent manner / C. O’Flaherty, A. R. de Souza // Biology of Reproduction. – 2011. – № 84. – P. 238–247.
14. Rahman, M. S. Sperm proteomics: Road to male fertility and contraception / M. S. Rahman, J. S. Lee, W. S. Kwon, M. G. Pang // International Journal of Endocrinology. – 2013. DOI: 10.1155/2013/360986.
15. Tesarik J. Acrosome reaction testing / J. Tesarik // Report of the consensus workshop on advanced diagnostic andrology techniques. ESHRE, Andrology Special Interest Group Hum. Reprod. – 1996. – Vol. 11. – P. 1463–1479.
16. Chavez J.C. Darszon. Acrosomal alkalization triggers Ca²⁺ release and acrosome reaction in mammalian spermatozoa / J. C. Chavez, De la Vega- J. L. Beltran et al. // Journal of Cellular Physiology. – 2018. – № 233 (6). – P. 4735–4747.
17. Snigirevskaya E. S. The role of chromatoid bodies and cytoskeleton in the differentiation of rat spermatozoa / E. S. Snigirevskaya, M. I. Mosevitsky, Ya. Yu. Komissarchik // Tsitologiya. – 2012. – No. 54. – No. 3. – P. 200–213.
18. Borunova S. M. An effective method for determining the integrity of the sperm acrosome in breeding bulls / S. M. Borunova, B. S. Iolchiev, P. N. Abramov, O. E. Badmaev, A. V. Tadzhieva, A. S. Ribchenko // Veterinary Science and Animal Science. – 2017. – No. 4. – P. 29–34.
19. Mountjoy J. R. RAB2A: a major subacrosomal protein of bovine spermatozoa implicated in acrosomal biogenesis / J. R. Mountjoy, W. Xu, D. McLeod, D. Hyndman, R. Oko // Biol Reprod. – 2008. – № 79. – P. 223–232. DOI: 10.1095/biolreprod.107.065060.
20. Suryavathi V. Dynamic Changes in Equatorial Segment Protein 1 (SPESP1) Glycosylation During Mouse / V. Suryavathi, S. Panneerdoss et al. // Spermiogenesis Biology of Reproduction. – 2015. – № 92(5).
21. Austin C. R. Role of the rodent acrosome and perforatorium in fertilization / C. R. Austin, M. W. H. Bishop // Proc. Roy. Soc. B. – 1958. – №149(935). – P. 241–248.
22. Okabe M. Sperm-egg interaction and fertilization: past, present, and future / M. Okabe Biol Reprod. – 2018. – № 99(1). – P. 134–146. DOI: 10.1093/biolre/iy028.
23. Nikolaeva M. A. Evaluation of acrosome reaction in diagnostics of infertility / M. A. Nikolaeva, E. L. Golubeva, I. V. Ushakova, L. V. Vanko, V. A. Bozhedomov, G. T. Sukhikh // Obstetrics and Gynecology. – 2010. – No. 5. – P. 68–72.
24. Ramalho-Santos J. Control of membrane fusion during spermiogenesis and the acrosome reaction / J. Ramalho-Santos, G. Schatten, R. D. Moreno // BiolReprod. – 2002. – № 67(4). – P. 1043–1051.
25. Yanagimachi R. The status of acrosome caps of hamster spermatozoa immediately before fertilization in vivo / R. Yanagimachi, D. M. Phillips // Gamete Res. – 1984. – № 9. – P. 1–19.
26. Gupta S. K. Acrosome reaction: relevance of zona pellucida glycoproteins / S. K. Gupta, B. Bahandari // Asian J Androl. – 2011. – № 13(1). – P. 97–105.