

УДК 636:591.391.1: 591.158.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98

Г.Н. Сингина ✉

Е.Н. Шедова

А.В. Лопухов

Федеральный исследовательский
центр животноводства – ВИЖ
им. академика Л.К. Эрнста,
Подольск, Московская обл., Россия

✉ g_singina@mail.ru

Поступила в редакцию: 05.09.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.11.2025

© Сингина Г.Н., Шедова Е.Н., Лопухов А.В.

Влияние различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 на *in vitro* созревание ооцитов и последующее развитие партеногенетических эмбрионов у крупного рогатого скота

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Инсулиноподобный фактор роста 1 (insulin-like growth factor-1, IGF-1) вовлечен *in vivo* в регуляцию мейоза, в связи с чем активно изучается как потенциальный регулятор качества ооцитов с целью повышения эффективности биотехнологий, направленных на получение эмбрионов *in vitro*. В настоящей работе исследовали влияние IGF-1 в культуре ооцитов коров с точки зрения их созревания *in vitro* и эмбрионального развития после искусственной активации, а также качества полученных эмбрионов.

Методы. Выделенные из овариальных фолликулов ооциты культивировали в отсутствие (контроль) и присутствии различных концентраций (5, 10, 20, 40 и 80 нг/мл) IGF-1. Затем созревшие ооциты искусственно активировали и культивировали в течение 7 дней для эмбрионального развития.

Результаты. IGF-1 не повлиял на созревание ооцитов, а также на их дробление после партеногенетической активации и число ядер в 7-дневных эмбрионах. В то же время обнаружен зависящий от концентрации эффект IGF-1 на развитие ооцитов до стадии бластоцисты. В контроле выход бластоцист составлял 17,3±1,6%. Присутствие в среде созревания IGF-1 в концентрациях 5, 10 и 20 нг/мл повышало этот показатель, соответственно, до 29,9±4,5, 30,7±3,6 и 29,6±2,3% ($p < 0,05$). Следовательно, в этих концентрациях IGF-1 может быть рекомендован для *in vitro* созревания ооцитов коров.

Ключевые слова: ооциты коров, *in vitro*, созревание, инсулиноподобный фактор роста 1 (ИФР-1), эмбриональное развитие

Для цитирования: Сингина Г.Н., Шедова Е.Н., Лопухов А.В. Влияние различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 на *in vitro* созревание ооцитов и последующее развитие партеногенетических эмбрионов у крупного рогатого скота. *Аграрная наука*. 2025; 401 (12): 93–98.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98

Galina N. Singina ✉

Ekaterina N. Shedova

Alexandr V. Lopukhov

L.K. Ernst Federal Research Center for
Animal Husbandry, Podolsk, Moscow
Region, Russia

✉ g_singina@mail.ru

Received by the editorial office: 05.09.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.11.2025

© Singina G.N., Shedova E.N., Lopukhov A.V.

The effect of different concentrations of insulin-like growth factor-1 on *in vitro* maturation of oocytes and subsequent development of parthenogenetic embryos in cattle

ABSTRACT

Relevance. Insulin-like growth factor-1 (IGF-1) is involved in the regulation of meiosis *in vivo* and is therefore actively investigated as a potential regulator of oocyte quality aimed at improving the efficiency of *in vitro* embryo production biotechnologies. In the present study, we examined the effect of IGF-1 during bovine oocyte culture in terms of their *in vitro* maturation, embryonic development after artificial activation, and the quality of the resulting embryos.

Materials and methods. Oocytes isolated from ovarian follicles were cultured either in the absence (control) or presence of various concentrations of IGF-1 (5, 10, 20, 40, and 80 ng/ml). Matured oocytes were then artificially activated and cultured for 7 days to support embryonic development.

Results. IGF-1 had no effect on oocyte maturation, cleavage, or the number of nuclei in blastocyst. At the same time, a concentration-dependent effect of IGF-1 on the development of oocytes to the blastocyst stage was observed. In the control group, the blastocyst yield was 17.3±1.6%. The presence of IGF-1 in the maturation medium at concentrations of 5, 10, and 20 ng/ml increased this rate to 29.9±4.5, 30.7±3.6, and 29.6±2.3%, respectively ($p < 0.05$). Thus, at these concentrations IGF-1 can be recommended for *in vitro* maturation of bovine oocytes.

Key words: cow oocytes, *in vitro*, maturation, insulin-like growth factor 1 (IGF-1), embryonic development

For citation: Singina G.N., Shedova E.N., Lopukhov A.V. The effect of different concentrations of insulin-like growth factor-1 on *in vitro* maturation of oocytes and subsequent development of parthenogenetic embryos in cattle. *Agrarian science*. 2025; 401 (12): 93–98 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-93-98>

Введение/Introduction

Метод экстракорпорального созревания (*in vitro* maturation, IVM) половых клеток самок (ооцитов) с последующим культивированием эмбрионов *in vitro* интенсивно используется во вспомогательных репродуктивных технологиях (ВРТ) [1], применяемых в сельскохозяйственной биотехнологии. В скотоводстве эти ВРТ особенно востребованы в работах по воспроизводству и сохранению ценных генотипов коров [2, 3]. Одновременно возросший спрос на эмбрионы высокого качества определяет актуальность исследований, направленных на дальнейшее совершенствование метода IVM. Особое внимание уделяется поиску факторов, способных специфически воздействовать на ооциты, улучшая их качество и повышая компетенцию к развитию *in vitro* [4]. При этом воспроизведение физиологической среды, характерной для овариальных фолликулов, где происходит созревание ооцитов *in vivo*, рассматривается как наиболее обоснованный и перспективный подход [4].

Чтобы имитировать внутрифолликулярные условия в среды созревания ооцитов добавляются гормоны и различные метаболиты, к которым, в частности, относится инсулиноподобный фактор роста 1 (insulin-like growth factor-1, IGF-1) [5]. Показано, что IGF-1 задействован в аутокринной и паракринной регуляции функции яичников самок и может влиять на гранулезные и половые клетки, контролируя пролиферацию, дифференцировку и стероидогенез, а также созревание ооцитов [6, 7].

Рецепторы IGF-1 выявлены в ооцитах на всех стадиях их развития, и этот фактор роста в большом количестве секретируется окружающим ооцит-соматическим компартментом, в частности клетками кумулюса [8, 9]. На различных видах животных установлено, что присутствие IGF-1 в среде IVM ускоряет мейоз и снижает уровень апоптоза в ооцитах, а также способствует увеличению выхода эмбрионов доимплантационных стадий развития [9, 10].

Однако подобный позитивный эффект наблюдался не во всех исследованиях. В ряде работ сообщается об отсутствии чувствительности клеток к данному цитокину, а в отдельных случаях выявлен даже его негативный эффект на ооциты [11].

Предполагается (и это подтверждается экспериментальными данными), что характер участия IGF-1 в развитии ооцитов может быть связан среди прочего с его концентрацией в среде культивирования, необходимость в детализации которой сохраняет свою актуальность на сегодняшний день, в том числе у крупного рогатого скота [7, 11].

Как предварительное исследование настоящая работа проводилась на партеногенетической модели, чтобы в дальнейшем полученные результаты использовать для усовершенствования эмбриональных технологий, используемых на практике.

Цель исследования — изучение влияния различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1) в среде IVM ооцитов крупного рогатого

скота с точки зрения их созревания *in vitro*, а также эмбрионального развития после искусственной активации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперименты проводили на базе лаборатории эмбриональных технологий Федерального исследовательского центра животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (Россия) в 2024 г. Во всех экспериментах, кроме специально указанных случаев, использовали реагенты фирмы Sigma-Aldrich (США).

Яичники коров, отобранные *post mortem* на мясокомбинате, транспортировали в лабораторию в термосе с физиологическим раствором (ФЗ) при температуре не ниже 28 °С. После доставки их освобождали от прилегающих соединительных и жировых тканей, а затем многократно промывали в стерильном ФЗ, содержащем пенициллин (100 МЕ/мл) и стрептомицин (50 мкг/мл) (ОО «БиоФармГарант», Россия), чтобы удалить компоненты крови и микробную контаминацию.

Ооциты в составе ооцит-кумулясных комплексов (ОКК) выделяли из яичников механическим способом — рассекали стенки видимых фолликулов лезвием, после чего проводили промыв и селекцию извлеченных ОКК, как описано было ранее [12].

Незрелые ОКК с соответствующими морфологическими характеристиками созревали *in vitro* в среде TC199, дополненной 10% фетальной бычьей сыворотки (ФБС), пируватом натрия (0,5 мМ), фолликулостимулирующим и лютеонизирующим гормонами (каждый по 10 мкг/мл), а также гентамицином. В опытных группах в среде IVM дополнительно присутствовал IGF-1 в концентрациях 5, 10, 20, 40 и 80 нг/мл. Культивировали ОКК группами по 25–30 ОКК в 4-луночных планшетах в каплях среды объемом 500 мкл, покрытых минеральным маслом.

Через 24 часа инкубации ооциты освобождали от окружающих клеток кумулюса путем кратковременной обработки ОКК в 0,1%-ном растворе гиалуронидазы с последующим пипетированием комплексов через капилляр с внутренним диаметром 135 мкм. Изолированные ооциты подвергали морфологической оценке с целью отбора клеток, достигших метафазы II (MII) мейоза, что определялось по наличию первого полярного тельца (ППТ) в перивителлиновом пространстве (ПП). Присутствие ППТ в ПП является общепринятым маркером зрелости ооцитов, поскольку отражает завершение первого мейотического деления и переход клетки к стадии, пригодной для искусственной или естественной (оплодотворения) активации [13]. В связи с этим результативность созревания ооцитов в каждой экспериментальной группе определяли как процентное отношение количества ооцитов с ППТ к общему числу поставленных на культивирование ОКК.

Для получения партеногенетических эмбрионов ооциты, имевшие ППТ, подвергали искусственной активации. В качестве первого этапа ооциты инкубировали в течение 5 минут в растворе, содержащем 5 мМ иономицина, что обеспечивало кратковременный кальциевый импульс, необходимый для запуска процессов, имитирующих оплодотворение. После этого ооциты переносили в среду CR1aa [14], дополненную 6-диметиламинопурином (2 мМ) и циклогексепидом (10 мкг/мл), где их культивировали в течение 4 часов. Активированные ооциты переносили в свежие капли среды CR1aa и культивировали для эмбрионального развития, как описано ранее [15]. На 2-е сутки с момента активации морфологически оценивали количество раздробившихся ооцитов, на 7-е сутки определяли количество ооцитов, развившихся до стадии бластоцисты. Результативность эмбрионального развития ооцитов *in vitro* определяли по доле дробления и образованию бластоцист — соответственно отношению количества раздробившихся и достигших стадии бластоцисты ооцитов к исходному количеству активированных ооцитов с ППТ.

Качество партеногенетических бластоцист оценивали цитологически по общему числу ядер. Для этого 7-дневные эмбрионы фиксировали, окрашивали и анализировали согласно протоколу, описанному ранее [12]. Все манипуляции с нативными ооцитами и эмбрионами вне инкубатора осуществляли при 20–80-кратном увеличении под стереомикроскопом (Nikon, Япония), оснащенным нагревательным столиком, позволяющим поддерживать температуру рабочей поверхности на уровне 37 °С. Культивирование ооцитов и эмбрионов происходило в условиях инкубатора MCO-18AIC (Sanyo, Япония) при 38,5 °С и 5% CO₂ в атмосфере.

Статистическую обработку данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа в программе SigmaStat (Systat Software, Inc., США). Данные выражали как средние значения

Таблица 1. Созревание ооцитов коров *in vitro* под воздействием различных концентраций инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1)

Table 1. *In vitro* maturation of bovine oocytes exposed to different concentrations of insulin-like growth factor 1 (IGF-1)

Концентрация IGF-1, нг/мл	Число независимых экспериментов, n	Число ОКК, n	Доля ооцитов с ППТ, %
0 (контроль)	4	90	74,4 ± 3,9
5	4	87	83,7 ± 1,8
10	4	88	82,0 ± 2,2
20	4	91	78,9 ± 3,3
40	4	88	79,5 ± 1,3
80	4	86	75,1 ± 5,5

Примечание: ОКК — ооцит-кумулюсные комплексы; ППТ — первое полярное тельце.

(М) и стандартные ошибки средних (± SEM). Достоверность различий сравниваемых средних значений оценивали с использованием критерия Тьюки (p ≤ 0,05).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты оценки уровня созревания ооцитов после их культивирования в отсутствие (контроль) и присутствии различных концентраций IGF-1 представлены в таблице 1.

Доля ооцитов с ППТ (рис. 1А), а следовательно, созревших и достигших стадии МII, к исходному числу ОКК существенно не различалась между экспериментальными группами, свидетельствуя об отсутствии влияния исследуемого фактора на процесс. Вместе с тем наименьшее значение (74,4 ± 3,9%) этого показателя наблюдали в контрольной группе, а наибольшее (83,7 ± 1,8%) — при добавлении в среду IVM IGF-1 в концентрации 5 нг/мл.

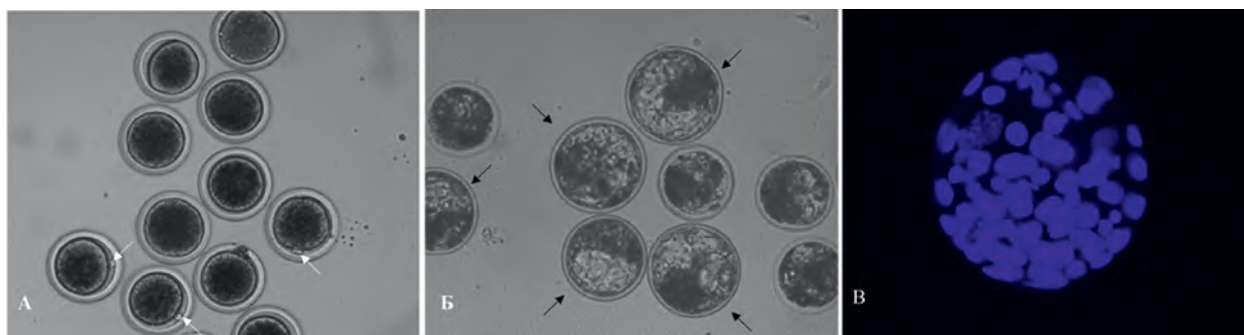
Для оценки долгосрочного влияния IGF-1 в период созревания ооцитов *in vitro* половые клетки, в которых было визуализировано ППТ

Рис. 1. Микрофотографии ооцитов и партеногенетических эмбрионов коров

Примечание: А — созревшие ооциты (белой стрелкой обозначены первые полярные тельца); Б — 7-дневные эмбрионы (черной стрелкой обозначены бластоцисты); В — окраска ядер в бластоцисте (синий цвет), цитологический препарат. Микроскоп Eclipse Ti-U (Nikon, Япония): А и Б — увеличение x100, В — увеличение x200.

Fig. 1. Micrographs of oocytes and parthenogenetic embryos of cows

Note: A is a mature oocyte (the white arrow indicates the first polar corpuscles); B is 7-day-old embryos (the black arrow indicates blastocysts); C is the color of the nuclei in the blastocyst (blue), cytological preparation. The Eclipse Ti-U microscope (Nikon, Japan): A and B are x100 magnification, C are x200 magnification.



(рис. 1А), подвергали искусственной активации. Результаты эмбрионального развития представлены на рисунке 2.

Доля дробления созревших ооцитов (рис. 2А) в контроле — $72,9 \pm 1,7\%$. Введение IGF-1 в среду IVM существенно не меняло ее значения: для концентраций 5, 10, 20, 40 и 80 нг/мл этот показатель составил, соответственно, $73,9 \pm 2,4$, $73,5 \pm 7,4$, $80,7 \pm 7,2$, $73,3 \pm 5,3$, $68,1 \pm 1,4\%$. В то же время для созревших *in vitro* ооцитов коров обнаружено зависящее от концентрации влияние IGF-1 на развитие до стадии бластоцисты (рис. 2Б). В контроле выход бластоцист на 7-й день культивирования (рис. 1В) активированных клеток составлял $17,3 \pm 1,6\%$. Присутствие в среде созревания IGF-1 в концентрациях 5, 10 и 20 нг/мл повышало этот показатель, соответственно, до $29,9 \pm 4,5$, $30,7 \pm 3,6$ и $29,6 \pm 2,3\%$ ($p < 0,05$).

С увеличением количества фактора до 80 нг/мл наблюдаемый относительно контроля позитивный эффект нивелировался, доля развития бластоцист находилась на уровне $14,6 \pm 3,0\%$ и была достоверно ниже, чем в группах 5, 10 и 20 нг/мл ($p < 0,05$). В исследуемых концентрациях IGF-1 не повлиял на качество эмбрионов на стадии бластоцисты, которое оценивали по числу ядер на 7-е сутки после активации.

Согласно результатам цитологического анализа (рис. 3), этот показатель между сравниваемыми группами значимо не изменялся, количество ядер (рис. 1В) в эмбрионах соответствовало исследуемой стадии развития.

Положительное влияние IGF-1 на созревание ооцитов выявлено у различных видов млекопитающих, включая сельскохозяйственных животных. Концентрации, при которых этот эффект наблюдается, варьируют от 20 до 100 нг/мл [9].

У крупного рогатого скота для стимулирования ядерного созревания и эмбрионального развития ооцитов IGF-1 к среде IVM добавляют как в концентрации 50 нг/мл [16], так и 100 нг/мл [9, 17], а в сочетании с другими ростовыми факторами и в более низких количествах (20 нг/мл) [18]. При этом при одинаковой концентрации IGF-1 в одном случае [17] сообщается о его положительном влиянии на завершение ядерного созревания, в другом — нет [9].

Рис. 2. Партеногенетическое развитие ооцитов коров, созревающих *in vitro* при воздействии различных концентраций IGF-1

Примечание: А — дробление искусственно активированных ооцитов; Б — развитие искусственно активированных ооцитов до стадии бластоцисты. Средние значения для одной группы, помеченные разными буквами, статистически достоверно различаются при $p < 0,05$.

Fig. 2. Parthenogenetic development of cow oocytes maturing *in vitro* under the influence of various concentrations of IGF-1

Note: A — cleavage of artificially activated oocytes; B — development of artificially activated oocytes to the blastocyst stage. The average values for one group, marked with different letters, differ statistically significantly at $p < 0.05$.

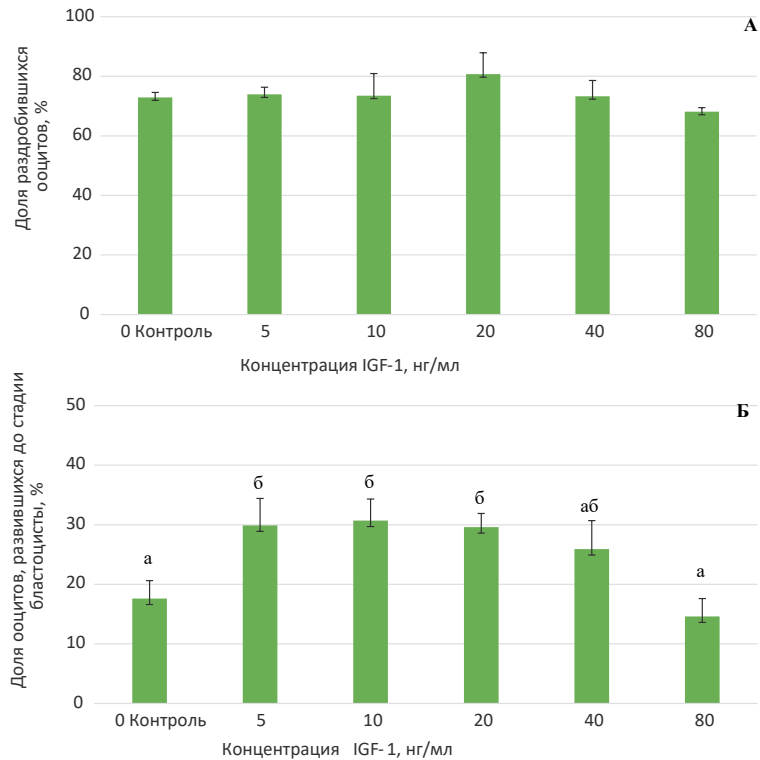
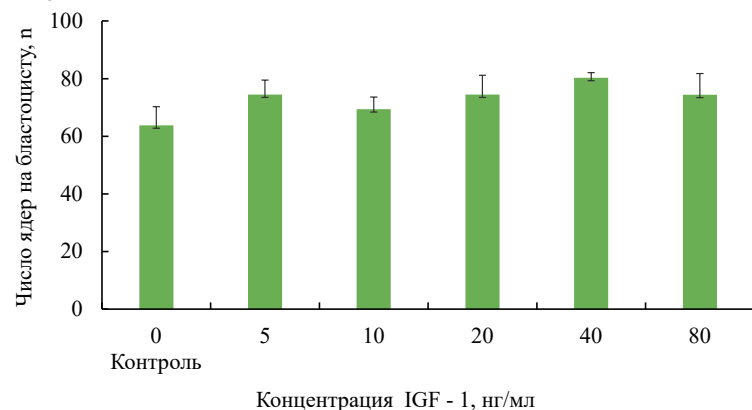


Рис. 3. Качество эмбрионов, полученных после партеногенетической активации ооцитов коров, созревающих *in vitro* при воздействии различных концентраций IGF-1

Fig. 3. Quality of embryos obtained after parthenogenetic activation of bovine oocytes matured *in vitro* with different concentrations of IGF-1



Результаты настоящего исследования в целом подтвердили, что положительное влияние IGF-1 в среде созревания ооцитов коров носит долгосрочный характер и связано преимущественно с цитоплазматическими, а не ядерными изменениями в яйцеклетках. IGF-1 не оказывал влияния на долю ооцитов с ППТ, однако способствовал повышению выхода бластоцист после их партеногенетической активации.

Примечательно, что выявленный эффект IGF-1, в отличие от данных других исследований [18], был достигнут при более низких концентрациях, значения которых были сопоставимы с теми, что использовались в комбинации с другими ростовыми факторами.

Выводы/Conclusions

Таким образом, IGF-1 в среде *in vitro* созревания оказывает стимулирующее влияние на компетентность ооцитов коров к последующему эмбриональному развитию, приводя к увеличению образования бластоцист после партеногенетической активации. Позитивный эффект этого фактора на долю развития созревших и

активированных ооцитов до стадии бластоцисты зависит от его концентрации, которая применительно к используемым условиям культивирования варьирует от 5 до 20 нг. В контроле данный показатель составлял $17,3 \pm 1,6\%$, в то время как присутствие в среде созревания IGF-1 в концентрациях 5, 10 и 20 нг/мл повышало его, соответственно, до $29,9 \pm 4,5$, $30,7 \pm 3,6$ и $29,6 \pm 2,3\%$. Следовательно, в этих концентрациях IGF-1 может быть рекомендован для *in vitro* созревания ооцитов коров. Однако полученные данные являются предварительными, и требуется проведение дополнительных исследований в направлении расширения исследуемых показателей.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-16-00261).

FUNDING

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (project No. 24-16-00261).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Menchaca A. Assisted Reproductive Technologies (ART) and genome editing to support a sustainable livestock. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230074. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0074>
2. Mikkola M., Desmet K.L.J., Kommisrud E., Riegler M.A. Recent advancements to increase success in assisted reproductive technologies in cattle. *Animal Reproduction*. 2024; 21(3): e20240031. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0031>
3. Чинаров Р.Ю., Луканина В.А., Сингина Г.Н., Шедова Е.Н. Результативность получения ооцитов при проведении повторной серии трансвагинальной УЗИ-ассистированной пункции фолликулов у телок симментальской породы. *Аграрная наука*. 2024; (9): 65–70. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-65-70>
4. Chandra V., Sharma G.T. *in vitro* strategies to enhance oocyte developmental competence. *Frontiers in Bioscience (Scholar edition)*. 2020; 12(1): 116–136. <https://doi.org/10.2741/S543>
5. Dalbies-Tran R. *et al.* A Comparative Analysis of Oocyte Development in Mammals. *Cells*. 2020; 9(4): 1002. <https://doi.org/10.3390/cells9041002>
6. Mazerbourg S., Bondy C.A., Zhou J., Monget P. The Insulin-like Growth Factor System: a Key Determinant Role in the Growth and Selection of Ovarian Follicles? A Comparative Species Study. *Reproduction in Domestic Animal*. 2003; 38(4): 247–258. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2003.00440.x>
7. Carrillo-Gonzalez D.F., Hernández-Herrera D.Y., Medina-Montes A.F., Otero-Arroyo R. Effect of the addition of IGF-1 during *in vitro* culture on the embryonic development speed from different crossbreed bovine embryos. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56(8): 368. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04204-7>
8. Nuttinck F. *et al.* Expression of components of the insulin-like growth factor system and gonadotropin receptors in bovine cumulus-oocyte complexes during oocyte maturation. *Domestic Animal Endocrinology*. 2004; 27(2): 179–195. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2004.03.003>
9. Araujo M.S. *et al.* Molecular and cellular effects of insulin-like growth factor-1 and LongR3-IGF-1 on *in vitro* maturation of bovine oocytes: comparative study. *Growth Hormone & IGF Research*. 2020; 55: 101357. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2020.101357>
10. Alhaider A.K. Insulin-like growth factor-1 improves *in vitro* meiotic resumption of dromedary camel (*Camelus Dromedarius*) oocytes. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20220105. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0105>
11. Kordowitzki P., Krajnik K., Skowronska A., Skowronski M.T. Pleiotropic Effects of IGF1 on the Oocyte. *Cells*. 2022; 11(10): 1610. <https://doi.org/10.3390/cells11101610>

REFERENCES

1. Menchaca A. Assisted Reproductive Technologies (ART) and genome editing to support a sustainable livestock. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20230074. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2023-0074>
2. Mikkola M., Desmet K.L.J., Kommisrud E., Riegler M.A. Recent advancements to increase success in assisted reproductive technologies in cattle. *Animal Reproduction*. 2024; 21(3): e20240031. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0031>
3. Chinarov R.Yu., Lukanina V.A., Singina G.N., Shedova E.N. Efficiency of oocytes retrieval during a repeated series of transvaginal ultrasound-guided puncture of follicles in Simmental heifers. *Agrarian science*. 2024; (9): 65–70 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-65-70>
4. Chandra V., Sharma G.T. *in vitro* strategies to enhance oocyte developmental competence. *Frontiers in Bioscience (Scholar edition)*. 2020; 12(1): 116–136. <https://doi.org/10.2741/S543>
5. Dalbies-Tran R. *et al.* A Comparative Analysis of Oocyte Development in Mammals. *Cells*. 2020; 9(4): 1002. <https://doi.org/10.3390/cells9041002>
6. Mazerbourg S., Bondy C.A., Zhou J., Monget P. The Insulin-like Growth Factor System: a Key Determinant Role in the Growth and Selection of Ovarian Follicles? A Comparative Species Study. *Reproduction in Domestic Animal*. 2003; 38(4): 247–258. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2003.00440.x>
7. Carrillo-Gonzalez D.F., Hernández-Herrera D.Y., Medina-Montes A.F., Otero-Arroyo R. Effect of the addition of IGF-1 during *in vitro* culture on the embryonic development speed from different crossbreed bovine embryos. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56(8): 368. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04204-7>
8. Nuttinck F. *et al.* Expression of components of the insulin-like growth factor system and gonadotropin receptors in bovine cumulus-oocyte complexes during oocyte maturation. *Domestic Animal Endocrinology*. 2004; 27(2): 179–195. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2004.03.003>
9. Araujo M.S. *et al.* Molecular and cellular effects of insulin-like growth factor-1 and LongR3-IGF-1 on *in vitro* maturation of bovine oocytes: comparative study. *Growth Hormone & IGF Research*. 2020; 55: 101357. <https://doi.org/10.1016/j.ghir.2020.101357>
10. Alhaider A.K. Insulin-like growth factor-1 improves *in vitro* meiotic resumption of dromedary camel (*Camelus Dromedarius*) oocytes. *Animal Reproduction*. 2023; 20(2): e20220105. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2022-0105>
11. Kordowitzki P., Krajnik K., Skowronska A., Skowronski M.T. Pleiotropic Effects of IGF1 on the Oocyte. *Cells*. 2022; 11(10): 1610. <https://doi.org/10.3390/cells11101610>

12. Шедова Е.Н., Сингина Г.Н., Узбекова С., Узбеков Р., Луканина В.А., Цындрина Е.В. Влияние внеклеточных везикул фолликулярного происхождения в среде созревания на способность ооцитов коров к эмбриональному развитию *in vitro* после старения и экстракорпорального оплодотворения. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(6): 1178–1187. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1178rus>
13. Holubcová Z., Kyjovská D., Martonová M., Páralová D., Klenková T., Kloudová S. Human Egg Maturity Assessment and Its Clinical Application. *Journal of Visualized Experiments*. 2019; 150: e60058. <https://doi.org/10.3791/60058>
14. Rosenkrans C.F.Jr., First N.L. Effect of free amino acids and vitamins on cleavage and development rate of bovine zygotes *in vitro*. *Journal of Animal Science*. 1994; 72(2): 434–437. <https://doi.org/10.2527/1994.722434x>
15. Сингина Г.Н., Лопухов А.В., Шедова Е.Н., Жукова А.С. Влияние условий подготовки ооцитов и донорских клеток на эффективность соматического клонирования у домашней овцы (*Ovis aries* L.). *Сельскохозяйственная биология*. 2024; 59(4): 692–703. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.692rus>
16. Herrler A., Lucas-Hahn A., Niemann H. Effects of insulin-like growth factor-I on *in vitro* production of bovine embryos. *Theriogenology*. 1992; 37(6): 1213–1224. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(92\)90177-S](https://doi.org/10.1016/0093-691X(92)90177-S)
17. Lorenzo P.L., Illera M.J., Illera J.C., Illera M. Enhancement of cumulus expansion and nuclear maturation during bovine oocyte maturation *in vitro* by the addition of epidermal growth factor and insulin-like growth factor I. *Journal of Reproduction and Fertility*. 1994; 101(3): 697–701. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1010697>
18. Stoecklein K.S., Garcia-Guerra A., Duran B.J., Prather R.S., Ortega M.S. Actions of FGF2, LIF, and IGF1 on bovine embryo survival and conceptus elongation following slow-rate freezing. *Frontiers in Animal Science*. 2022; 3: 1040064. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1040064>

ОБ АВТОРАХ

Галина Николаевна Сингина

кандидат биологических наук, заведующая лабораторией эмбриональных технологий
g_singina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0198-9757>

Екатерина Николаевна Шедова

научный сотрудник
shedvek@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9642-2384>

Александр Викторович Лопухов

научный сотрудник
vubi_myaso@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1284-1486>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

12. Shedova E.N., Singina G.N., Uzbekova S., Uzbekov R., Lukanina V.A., Tsyndrina E.V. Effect of extracellular vesicles of follicular origin during *in vitro* maturation and ageing of bovine oocytes on embryo development after *in vitro* fertilization. *Agricultural Biology*. 2022; 57(6): 1178–1187. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.6.1178eng>
13. Holubcová Z., Kyjovská D., Martonová M., Páralová D., Klenková T., Kloudová S. Human Egg Maturity Assessment and Its Clinical Application. *Journal of Visualized Experiments*. 2019; 150: e60058. <https://doi.org/10.3791/60058>
14. Rosenkrans C.F.Jr., First N.L. Effect of free amino acids and vitamins on cleavage and development rate of bovine zygotes *in vitro*. *Journal of Animal Science*. 1994; 72(2): 434–437. <https://doi.org/10.2527/1994.722434x>
15. Singina G.N., Lopukhov A.V., Shedova E.N., Zhukova A.S. The influence of oocyte and donor cell preparation conditions on the efficiency of somatic cloning in sheep (*Ovis aries* L.). *Agricultural Biology*. 2024; 59(4): 692–703. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.4.692eng>
16. Herrler A., Lucas-Hahn A., Niemann H. Effects of insulin-like growth factor-I on *in vitro* production of bovine embryos. *Theriogenology*. 1992; 37(6): 1213–1224. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(92\)90177-S](https://doi.org/10.1016/0093-691X(92)90177-S)
17. Lorenzo P.L., Illera M.J., Illera J.C., Illera M. Enhancement of cumulus expansion and nuclear maturation during bovine oocyte maturation *in vitro* by the addition of epidermal growth factor and insulin-like growth factor I. *Journal of Reproduction and Fertility*. 1994; 101(3): 697–701. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1010697>
18. Stoecklein K.S., Garcia-Guerra A., Duran B.J., Prather R.S., Ortega M.S. Actions of FGF2, LIF, and IGF1 on bovine embryo survival and conceptus elongation following slow-rate freezing. *Frontiers in Animal Science*. 2022; 3: 1040064. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.1040064>

ABOUT THE AUTHORS

Galina Nikolaevna Singina

Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Embryonic Technologies
g_singina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0198-9757>

Ekaterina Nikolaevna Shedova

Research Associate
shedvek@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9642-2384>

Alexander Viktorovich Lopukhov

Research Associate
vubi_myaso@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1284-1486>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia