

КОМПЛЕКСНОЕ СОЧЕТАНИЕ ПОЛИМОРФНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНОВ *OPN* И *IGF-1* В ПОПУЛЯЦИИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТАНаталья Юрьевна Сафина^{1✉}, Екатерина Николаевна Муханина², Эльза Равилевна Гайнутдинова³^{1 2 3} Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства ФИЦ КазНЦ РАН, Российская Федерация¹канд. биол. наук, e-mail: natysafina@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1184-3188²канд. биол. наук, orcid.org/0000-0001-9299-2104³канд. с.-х. наук, orcid.org/0000-0002-2970-1500**РЕФЕРАТ**

В статье представлены результаты изучения комплексного сочетания генотипов генов *OPN* (с.8514C/T) и *IGF-1* (512T/C) в популяции голштинских коров-первотелок (n=202). Исследование проведено на базе СХПК «Племенной завод им. Ленина» (Атнинский район, Республика Татарстан), лабораторные работы выполнены в ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Актуальность исследования обусловлена необходимостью поиска генетических маркеров, ассоциированных с репродуктивными качествами крупного рогатого скота, поскольку показатели фертильности наряду с молочной продуктивностью определяют экономическую эффективность молочного скотоводства. Гены *OPN* и *IGF-1* участвуют в регуляции эмбриогенеза, имплантации, фолликулогенеза и раннего эмбрионального развития, однако их комплексное взаимодействие остается малоизученным. Генотипирование выполнено методом ПЦР-ПДРФ с использованием рестрикционных эндонуклеаз *BseI* (для *OPN*) и *BstSNI* (для *IGF-1*). В результате установлено наличие всех девяти возможных комбинаций комплексных генотипов, что подтверждает генетическую гетерогенность изученной популяции. Наибольшая частота встречаемости отмечена для комплексного генотипа СТ/АВ (29,7%), наименьшая – для СС/ВВ (2,0%) и СС/АА (3,0%) по генам *OPN* / *IGF-1*. Выявлена закономерность снижения частоты комплексных генотипов по мере увеличения числа гомозиготных локусов. Сравнение наблюдаемого и теоретически ожидаемого распределения не выявило статистически значимых отклонений ($\chi^2 = 4,67$; $p > 0,05$), что свидетельствует о независимом комбинировании аллелей исследуемых генов и отсутствии факторов, нарушающих генетическое равновесие в выборке. Полученные данные могут быть использованы в селекционно-племенной работе для маркер-ориентированного подбора родительских пар, генетической паспортизации и мониторинга генетической структуры популяций крупного рогатого скота.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ген, полиморфизм, комплекс генотипов, *OPN*, *IGF-1*, остеопонтин, инсулиноподобный фактор роста-1.

Для цитирования: Сафина Н.Ю., Муханина Е.Н., Гайнутдинова Э.Р. Комплексное сочетание полиморфных вариантов генов *OPN* и *IGF-1* в популяции крупного рогатого скота. Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2026;2:176-179. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.176>

COMBINED POLYMORPHIC VARIANTS OF *OPN* AND *IGF-1* GENES IN THE CATTLE POPULATIONNatalia Yu. Safina^{1✉}, Ekaterina N. Mukhanina², Elza R. Gaynudinova³^{1 2 3} Tatar Scientific Research Institute of Agriculture FRC "Kazan Scientific Center of Russia Academy of Sciences", Russian Federation¹Candidate of Biological Science, e-mail: natysafina@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1184-3188²Candidate of Biological Science, orcid.org/0000-0001-9299-2104³Candidate of Agricultural Science, orcid.org/0000-0002-2970-1500**ABSTRACT**

The article presents the results of a study on the combined genotypes of *OPN* (c.8514C/T) and *IGF-1* (512T/C) genes in a population of Holstein heifers (n=202). The experiment was conducted at the Lenin Breeding Farm (Atninsky District, Republic of Tatarstan), and laboratory analyses were carried out at the Tatar Research Institute of Agriculture, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. The relevance of the study is driven by the need to identify genetic markers associated with reproductive traits in cattle, as fertility indicators alongside milk productivity determine the economic efficiency of dairy farming. The *OPN* and *IGF-1* genes are involved in the regulation of embryogenesis, implantation, folliculogenesis, and early embryonic development; however, their combined interaction remains insufficiently studied. Genotyping was performed using PCR-RFLP with restriction endonucleases *BseI* (for *OPN*) and *BstSNI* (for *IGF-1*). The analysis revealed the presence of all nine possible combined genotype combinations, confirming the genetic heterogeneity of the studied population. The highest frequency was observed for the combined genotype CT/AB (29.7%), while the lowest frequencies were found for CC/BB (2.0%) and CC/AA (3.0%) by *OPN* / *IGF-1*. A pattern of decreasing frequency of combined genotypes was established with an increasing number of homozygous loci. Comparison of the observed and theoretically expected distributions showed no statistically significant deviations ($\chi^2 = 4.67$; $p > 0.05$), indicating independent allele combination of the studied genes and the

absence of factors disrupting genetic equilibrium in the sample. The obtained data can be applied in breeding programs for marker-assisted selection of parental pairs, genetic passportization, and monitoring of the genetic structure of cattle populations.

Key words: cattle, gene, polymorphism, genotype complex, *OPN*, *IGF-1*, osteopontin, insulin-like growth factor-1.

For citation: Safina N.Yu., Mukhanina E.N., Gainutdinova E.R. Complex combination of polymorphic variants of the *OPN* and *IGF-1* genes in a cattle population. Legal regulation in veterinary medicine. 2026;2:176-179. (in Russ) <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.176>

ВВЕДЕНИЕ

Современное животноводство ставит перед собой задачу повышения эффективности селекции, направленной на улучшение воспроизводительных качеств крупного рогатого скота, как ключевого фактора, рентабельности молочного скотоводства. В связи с этим особую значимость приобретает изучение полиморфизмов генов-кандидатов, вовлеченных в регуляцию репродуктивных процессов.

Среди множества генетических маркеров, влияющих как на молочную продуктивность, так и на показатели фертильности коров, важная роль отводится генам *OPN* (остеопонтин) и *IGF-1* (инсулиноподобный фактор роста-1). Белок остепонтин участвует в межклеточных взаимодействиях, имплантации эмбриона и минерализации тканей [1]. Его экспрессия в репродуктивных органах и молочной железе связана с полиморфными вариантами гена *OPN*, которые ассоциированы не только с уровнем надоя, но и с благополучным эмбриогенезом, вынашиванием плода и отелом [2, 3].

Ген *IGF-1* является ключевым регулятором соматотропиновой оси, влияя на рост фолликулов, овуляцию и раннее эмбриональное развитие [4], что определяет его ассоциацию с признаками воспроизводства наряду с молочной продуктивностью [5, 6].

Однако комплексное взаимодействие полиморфизмов генов *OPN* и *IGF-1* остается мало изученным, при этом понимание их сочетания в популяции необходимо для оценки генетического потенциала и прогнозирования репродуктивных качеств животных.

Цель работы. Изучить комплексное сочетание генотипов генов *OPN* и *IGF-1* в популяции коров голштинской породы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований служили голштинские коровы-первотелки (N=202) из СХПК «Племенной завод им. Ленина» (Атнинский район, РТ). Материал: цельная кровь, отобранная из хвостовой вены в вакуумные пробирки с ЭДТА («Vacuette tube K-3E», Австрия). ДНК выделяли набором «АмплиСенс» ДНК-Сорб-В (Россия) по инструкции производителя в лаборатории ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН.

Генотипирование по генам *OPN* (с.8514C/T) и *IGF-1* (512T/C) выполняли методом ПЦР-ПДРФ. Амплификацию проводили с использованием праймеров («Евроген», Россия) [1, 4], dNTPs, Taq-полимеразы и буфера («СибЭнзим», Россия) на термоциклере «T100 Thermal Cycler» (BIO RAD, США) по модифицированным режимам [2, 5]. Продукты ПЦР гидролизировали ферментами BseI (для *OPN*) и BstSNI (для *IGF-1*) («СибЭнзим»,

Россия). Рестрикционные фрагменты разделяли электрофорезом в горизонтальных камерах («Helicon», Россия) и визуализировали в системе «GelDoc Go» (BIO RAD, США) с ПО «Image Lab Touch» V.3.0.

Рассчитывали частоты встречаемости комплексных генотипов и соответствие наблюдаемого и ожидаемого распределения, оцененного по критерию χ^2 на соответствие генетического равновесия Харди-Вайнберга.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате генотипирования 202 голштинских коров-первотелок по генам *OPN* (с.8514C/T) и *IGF-1* (512T/C) был проведен анализ частоты встречаемости комплексных генотипов. Наблюдаемое распределение девяти возможных комбинаций генотипов представлено в таблице 1.

Наиболее часто встречающимся комплексным генотипом оказался СТ/АВ, доля которого составила 29,7% (60 гол.) от общей выборки. Данная комбинация объединяет гетерозиготных особей по обоим генам, что согласуется с общей тенденцией к повышенной гетерозиготности. Также в значительных количествах присутствовали животные с сочетанием генотипов ТТ/АВ (15,8%; 32 гол.) и СТ/АА (16,3%; 33 гол.). Наименьшую частоту встречаемости показали комбинации СС/ВВ (2,0%, 4 гол.) и СС/АА (3,0%, 6 гол.), а смешанные варианты (гетерозигота по одному гену + гомозигота по другому) занимали промежуточное положение. Установлено, что частота встречаемости комплексного генотипа закономерно снижается по мере увеличения числа гомозиготных локусов, что связано с преобладанием гетерозиготных особей в популяции по каждому из исследованных генов. Полученные данные свидетельствуют о наличии всех возможных вариантов комплексных генотипов по генам *OPN* и *IGF-1* в изученной популяции, что подтверждает ее генетическую гетерогенность.

Теоретически ожидаемое (экспериментальное) распределение комплексных генотипов представлено в таблице 2. Сравнение наблюдаемых и ожидаемых частот показало их высокую степень соответствия.

Значение критерия χ^2 составило 4,67, при χ^2 критическом 9,49, что соответствует уровню значимости $p > 0,05$. Таким образом, статистически значимых отклонений от ожидаемого распределения не выявлено, что указывает на независимое комбинирование аллелей изучаемых генов в исследованной выборке крупного рогатого скота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование полиморфизма генов *OPN* (с.8514C/T) и *IGF-1* (512T/C) в популяции голштинских коров-первотелок (n=202) показало все девять возможных комбинаций генотипов,

Таблица 1. Наблюдаемое распределение комплексных генотипов генов *OPN/IGF-1*, (n, %).
Table 1. Observed distribution of complex genotypes of *OPN/IGF-1* genes, (n, %).

		<i>OPN</i>			
	n	CC	CT	TT	
<i>IGF-1</i>	AA	6	33	9	
	AB	21	60	32	
	BB	4	25	12	
					202

		<i>OPN</i>			
	%	CC	CT	TT	
<i>IGF-1</i>	AA	3,0	16,3	4,5	
	AB	10,4	29,7	15,8	
	BB	2,0	12,4	5,9	
					100,00

Таблица 2. Ожидаемое распределение комплексных генотипов генов *OPN/IGF-1*, (n, %).
Table 2. Expected distribution of complex genotypes of *OPN/IGF-1* genes, (n, %).

		<i>OPN</i>			
	n	CC	CT	TT	
<i>IGF-1</i>	AA	7	28	13	
	AB	17	66	30	
	BB	6	24	11	
					202

		<i>OPN</i>			
	%	CC	CT	TT	
<i>IGF-1</i>	AA	3,5	13,9	6,4	
	AB	8,4	32,6	14,9	
	BB	3,0	11,9	5,4	
					100,00

что подтверждает ее генетическую гетерогенность. Наиболее часто встречается комплексный генотип CT/AB (29,7%), наименее – CC/BB (2,0%) и CC/AA (3,0%). Установлено, что частота комплексных генотипов снижается с увеличением числа гомозиготных локусов. Наблюдаемое распределение комплексных генотипов соответствует теоретически ожидаемому ($\chi^2 = 4,67$; $p > 0,05$), что свидетельствует о независимом

комбинировании аллелей генов *OPN* и *IGF-1* и отсутствии факторов, нарушающих генетическое равновесие в изученной выборке.

Полученные данные могут быть использованы в селекционно-племенной работе для маркер-ориентированного подбора родительских пар, генетической паспортизации и мониторинга генетической структуры популяций крупного рогатого скота.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер регистрации темы: 125031003428-9).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Leonard S., Khatib H., Schutzkus V., Chang Y.M., Maltecca C. Effects of the Osteopontin Gene Variants on Milk Production Traits in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 2005;88(11):4083-4086. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73092-7
- Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Фаттахова З.Ф., Шакиров Ш.К. Идентификация полиморфизма гена остеопонтина (OPN) в популяции голштинского крупного рогатого скота Республики Татарстан. *Journal of Agriculture and Environment*. 2022;7(27). DOI 10.23649/jae.2022.27.7.008
- Муханина Е.Н., Сафина Н.Ю., Фаттахова З.Ф., Гайнутдинова Э.Р., Шакиров Ш.К., Равилов Р.Х. Обусловленность продуктивных качеств крупного рогатого скота Республики Татарстан полиморфизмом гена остеопонтина. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2024;260(4):148-153. DOI 10.31588/2413_4201_1883_4_260_148
- Anggraeni A., Talib C., Asmarasari S.A., Herawati T., Andreas E. Genetic polymorphisms of IGF1, GH, and OPN genes in crosses Peranakan Ongole cattle based on birth type in Central Java. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*. 2017;22(4):165-172. DOI: 10.14334/jitv.v22i4.1625
- Сафина Н.Ю., Муханина Е.Н., Шакиров Ш.К., Гайнутдинова Э.Р., Вологин Д.С. Полиморфизм гена IGF-1 в поголовье коров голштинской породы и быков-производителей. *Международный вестник ветеринарии*. 2025;1: 343-353. DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.1.343
- Муханина Е.Н., Сафина Н.Ю., Гайнутдинова Э.Р., Шакиров Ш.К., Фаттахова З.Ф. Распределение частоты многоплодных беременностей крупного рогатого скота в разрезе генов OPN и IGF-1 в условиях Республики Татарстан. *Аграрный научный журнал*. 2025;11:96-100. DOI 10.28983/asj.y2025i11pp96-100

REFERENCES

- Leonard S., Khatib H., Schutzkus V., Chang Y.M., Maltecca C. Effects of the Osteopontin Gene Variants on Milk Production Traits in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 2005;88(11):4083-4086. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73092-7
- Gainutdinova E.R., Safina N.Yu., Fattakhova Z.F., Shakirov Sh.K. Identification of the osteopontin (OPN) gene polymorphism in the Holstein cattle population of the Republic of Tatarstan. *Journal of Agriculture and*

Environment. 2022;7(27). (in Russ) DOI 10.23649/jae.2022.27.7.008

3. Mukhanina E.N., Safina N.Yu., Fattakhova Z.F., Gainutdinova E.R., Shakirov Sh.K., Ravilov R.Kh. Dependence of the productive qualities of cattle of the Republic of Tatarstan on the osteopontin gene polymorphism. Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman. 2024;260(4):148-153. (in Russ) DOI 10.31588/2413_4201_1883_4_260_148

4. Anggraeni A., Talib C., Asmarasari S.A., Herawati T., Andreas E. Genetic polymorphisms of IGF1, GH, and OPN genes in crosses of Peranakan Ongole cattle based on birth type in Central Java. Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture. 2017;22(4):165-172. DOI: 10.14334/jitv.v22i4.1625

5. Safina N.Yu., Mukhanina E.N., Shakirov Sh.K., Gainutdinova E.R., Vologin D.S. Polymorphism of the IGF-1 gene in the population of Holstein cows and sires. International Veterinary Bulletin. 2025;1:343-353. (in Russ) DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.1.343

6. Mukhanina E.N., Safina N.Yu., Gainutdinova E.R., Shakirov Sh.K., Fattakhova Z.F. Distribution of the frequency of multiple pregnancies in cattle in terms of OPN and IGF-1 genes in the conditions of the Republic of Tatarstan. Agricultural Scientific Journal. 2025;11:96-100. (in Russ) DOI 10.28983/asj.y2025i11pp96-100

Поступила в редакцию / Received: 10.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 19.06.2026

Принята к публикации / Accepted: 30.06.2026