

О.Л. БУДРЕВИЧ, А.В. ВИШНЕВЕЦ

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ГЕНА *COX4I2* СО СПОРТИВНЫМИ  
КАЧЕСТВАМИ ЛОШАДЕЙ ТРАКЕНЕНСКОЙ  
И ГАННОВЕРСКОЙ ПОРОД**

*Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия  
ветеринарной медицины, г. Витебск, Республика Беларусь*

Спортивный потенциал лошадей зависит от эффективности использования животными энергии, вырабатываемой посредством аэробных и анаэробных метаболических процессов, не исключая и иные факторы. В связи с этим целью исследования стало установить взаимосвязь гена *COX4I2* со спортивными качествами лошадей траккененской и ганноверской пород. Полученные данные показали, что животные траккененской и ганноверской пород, имеющие генотип *COX4I2<sup>TT</sup>*, превосходят лошадей с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>CT</sup>* в стиле рыси, галопа, прыжка, работоспособности, а также по двигательным, прыжковым качествам при выезде, конкуре, троеборье.

**Ключевые слова:** спортивные лошади, порода, ген *COX4I2*, генотип, взаимосвязь, двигательные, прыжковые качества, работоспособность.

O.L. BUDREVICH, A.V. VISHNEVETS

**RELATIONSHIP OF THE *COX4I2* GENE WITH THE ATHLETIC  
PERFORMANCE OF TRAKEHNER AND HANOVERIAN HORSES**

*Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, Vitebsk, Republic of Belarus*

The athletic potential of horses depends on the efficiency of the animal's use of energy produced through aerobic and anaerobic metabolic processes, not excluding other factors. In this regard, the aim of the study was to determine the relationship between the *COX4I2* gene and the athletic performance of Trakehner and Hanoverian horses. Data obtained show that Trakehner and Hanoverian horses with the *COX4I2<sup>TT</sup>* genotype are superior to horses with the *COX4I2<sup>CC</sup>* and *COX4I2<sup>CT</sup>* genotypes in trotting, cantering, jumping, work capacity, as well as in moving and jumping abilities at dressage, triathlon.

**Keywords:** sporting horses, breed, *COX4I2* gene, genotype, relationship, moving and jumping abilities, work capacity.

**Введение.** Спортивное коневодство пользуется большой популярностью во всём мире, и в Республике Беларусь есть все необходимые условия для успешного его развития. Призы на международных

соревнованиях повышают престиж нашей страны [1].

Развитие молекулярно-генетических и информационных технологий дало мощный импульс для изучения геномов сельскохозяйственных животных, что позволило эффективно использовать на практике достижения маркерной селекции. Молекулярно-генетические методы типирования позволяют использовать для анализа любые ткани на всех стадиях онтогенеза и эффективно решать самые сложные вопросы генетической экспертизы [2].

Спортивный потенциал каждого животного можно определить по его спортивным показателям, которые зависят от эффективности использования животными энергии, вырабатываемой посредством аэробных и анаэробных метаболических процессов, не исключая и иные факторы [3, 4].

Одним из генов, влияющих на скаковую работоспособность лошадей и другие хозяйственно-полезные признаки, является ген *COX4I2* (цитохромоксидаза), который локализован в 22 хромосоме и представляет собой фермент (комплекс IV), конечный компонент цепи дыхательных ферментов, переносящий электроны от цитохрома C к молекулярному кислороду во время митохондриального дыхания, отвечает за регулирование и сборку митохондрически кодированных субъединиц на митохондриальной мембране. Цитохром C-оксидаза состоит из двух изоформ (*COX4-1* и *COX4-2*), которые кодируются генами. В условиях недостатка кислорода главный регулятор гипоксического ответа активирует транскрипцию *COX4I2* [5, 6].

Связь маркерных генов с хозяйственно-полезными признаками может быть использована в племенной работе с конкретными популяциями животных [7].

Цель исследования – установить взаимосвязь гена *COX4I2* со спортивными качествами лошадей тракененской и ганноверской пород.

**Материал и методы исследований.** Объектом исследований являлись 87 лошадей верховых пород учреждения «Республиканский центр олимпийской подготовки конного спорта и коневодства» Минского района.

Материалом для исследований послужили биологические пробы (волосьяные луковицы) лошадей тракененской и ганноверской пород.

ДНК экстрагировали методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) используя наборы, производимые фирмой «Нуклеосорб» в комплектации «С» (ОДО «АртБиоТех», РБ). Генотипирование лошадей по гену *COX4I2* проводилось методом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПДРФ).

При расщеплении продуктов амплификации рестриктазой *XceI* идентифицируются следующие генотипы: *COX4I2*<sup>CC</sup> – 556 п.о.,

$COX4I2^{CT}$  – 556 п.о., 291 п.о. + 265 п.о.,  $COX4I2^{TT}$  – 291 п.о. + 265 п.о. [7, 8].

Статистическую обработку результатов исследований выполняли на персональном компьютере с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2010.

**Результаты исследований.** Требования к спортивным лошадям сильно возрастают и обуславливаются отчасти запросами рынка и конкурентоспособностью. Требуются лошади с высокими скаковыми качествами, обладающие высокими баллами за двигательные качества [9]. Нами была изучена взаимосвязь генотипов гена  $COX4I2$  с показателями двигательных качеств лошадей тракененской и ганноверской пород. Данные внесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь генотипов гена  $COX4I2$  с показателями двигательных качеств лошадей тракененской и ганноверской пород, баллы ( $\bar{X} \pm m\bar{x}$ )

Порода	Генотип $COX4I2$	n	Стиль шага	Стиль рыси	Стиль галопа	Стиль прыжка
Тракененская	$CC$	31	7,4±0,15	7,2±0,27	7,1±0,27	8,1±0,15
	$CT$	28	7,3±0,15	7,3±0,27	7,0±0,23	7,9±0,12
	$TT$	7	7,5±0,25	7,9±0,17*	7,6±0,17*	8,2±0,36
Ганноверская	$CC$	6	7,1±0,29	7,9±0,38	7,6±0,41	7,3±0,57
	$CT$	10	7,7±0,14*	7,9±0,31	8,0±0,17	8,2±0,16
	$TT$	5	7,0±0,28	8,0±0,25	8,0±0,26	7,9±0,21
Итого по исследуемому поголовью	$CC$	37	7,3±0,14	7,3±0,24	7,2±0,23	8,0±0,16
	$CT$	38	7,4±0,12	7,5±0,21	7,3±0,19	8,0±0,10
	$TT$	12	7,3±0,20	7,9±0,14*	7,8±0,15*	8,1±0,23

Из данных таблицы 1 видно, что лошади тракененской породы с генотипом  $COX4I2^{TT}$  превосходят животных с генотипами  $COX4I2^{CC}$  и  $COX4I2^{CT}$  в стилях шага на 1,3 и 2,7 %, рыси – на 8,9 ( $P>0,95$ ) и 7,6 %, галопа – на 6,6 и 7,9 % ( $P>0,95$ ), прыжка – на 1,2 и 3,7 % соответственно.

Среди лошадей ганноверской породы в стиле шага превосходят животные с генотипом  $COX4I2^{CT}$  на 7,8 и 9,1 % ( $P>0,95$ ), в стиле прыжка – на 11 и 3,6 % в сравнении с лошадьми, имеющими генотипы  $COX4I2^{CC}$  и  $COX4I2^{TT}$  соответственно. В стиле рыси превосходят лошади, имеющие генотип  $COX4I2^{TT}$ , на 1,3 % в сравнении с лошадьми, имеющими другие генотипы. В стиле галопа животные с генотипами  $COX4I2^{CT}$  и  $COX4I2^{TT}$  имеют одинаковый показатель, что на 5 % больше, чем у лошадей с генотипом  $COX4I2^{CC}$ , без достоверных различий между показателями.

По исследуемому поголовью наибольшие показатели в стиле рыси, галопа и прыжка у лошадей, имеющих генотип  $COX4I2^{TT}$ , что на 7,6 и

5,1 % ( $P>0,95$ ), на 7,7 и 6,4 % ( $P>0,95$ ), на 1,2 % соответственно больше, чем у лошадей с генотипами  $COX4I2^{CC}$  и  $COX4I2^{CT}$ . В стиле шага животные с генотипом  $COX4I2^{CT}$  превосходят лошадей с генотипами  $COX4I2^{CC}$  и  $COX4I2^{TT}$  на 1,4 %.

Признаки работоспособности лошадей наследуются потомками от родителей. Для того, чтобы активно влиять на ситуацию в стаде, популяции и породе в целом селекционерам важно иметь сведения о взаимосвязи различных генотипов по локусу гена  $COX4I2$  с показателями спортивных качеств лошадей.

Оценка спортивных качеств (работоспособность) складывается из средней оценки за двигательные и прыжковые качества. При оценке двигательных качеств оценивают количество шагов при шаге и рыси, стиль аллюров при шаге, рыси и галопе и выставляют среднюю оценку. При оценке аллюра смотрят на такие критерии, как равномерность, темп, свобода, прямолинейность и гармоничность аллюров, а также на наличие хромоты. Прыжковые качества оцениваются по таким показателям, как мощность и стиль прыжка [10].

Для установления взаимосвязи аллельных вариантов гена  $COX4I2$  со спортивными качествами лошадей верховых пород, а именно двигательными, прыжковыми и работоспособностью, собраны данные, которые внесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Взаимосвязь генотипа гена  $COX4I2$  с баллами за двигательные, прыжковые качества и работоспособность у лошадей тракененской и ганноверской пород, баллы ( $\bar{X} \pm m\bar{x}$ )

Порода	Генотип $COX4I2$	n	Двигательные качества	Прыжковые качества	Работоспособность
Тракененская	$CC$	31	8,53±0,21	8,59±0,18	8,56±0,15
	$CT$	28	8,38±0,16	8,72±0,11	8,55±0,07
	$TT$	7	8,99±0,46	8,69±0,28	8,84±0,24
Ганноверская	$CC$	6	8,67±0,47	7,99±0,61	8,33±0,44
	$CT$	10	9,02±0,27	8,90±0,18	9,06±0,11
	$TT$	5	9,01±0,24	8,95±0,26	8,98±0,23
Итого по исследуемому поголовью	$CC$	37	8,55±0,19	8,50±0,15	8,53±0,14
	$CT$	38	8,55±0,14	8,76±0,09	8,68±0,07
	$TT$	12	9,00±0,12*	8,80±0,07*	8,90±0,12*

Данные таблицы 2 показывают, что лошади тракененской породы, имеющие генотип  $COX4I2^{TT}$ , превосходят лошадей с генотипами  $COX4I2^{CC}$  и  $COX4I2^{CT}$  по двигательным качествам на 5,1 и 6,8 %, работоспособности – на 3,2 и 3,3 % соответственно. По прыжковым качествам превосходят животные, имеющие генотип  $COX4I2^{CT}$ , что на 1,5 и 0,3 % больше, чем у лошадей с генотипами  $COX4I2^{CC}$  и  $COX4I2^{TT}$ , без

достоверных различий между показателями.

Среди лошадей ганноверской породы по двигательным качествам и работоспособности превосходят животные, имеющие генотип *COX4I2<sup>CT</sup>*, что выше на 3,9 и 0,1 % и на 8,1 и 0,9 % соответственно, чем у лошадей, имеющих генотип *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>TT</sup>*. По прыжковым качествам у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>* на 10,7 и 0,6 % показатель больше, чем у животных и генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>TT</sup>* соответственно, без достоверных различий между показателями.

Анализируя данные по исследуемому поголовью, установили наибольшие показатели за двигательные качества на 5 % ( $P>0,95$ ), за прыжковые – на 3,4 ( $P>0,95$ ) и 0,5 %, работоспособность – на 4,2 ( $P>0,95$ ) и 2,5 % соответственно у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>* по отношению к животным, имеющим генотипы *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>CT</sup>*.

Основной вид продуктивности лошадей верховых пород спортивного направления – работоспособность в классических видах конного спорта. Показатели по оценке двигательных и прыжковых качеств, полученные при выездке, конкуре и троеборье лошадей верховых пород с различными генотипами гена *COX4I2*, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Взаимосвязь генотипов гена *COX4I2* с показателями двигательных и прыжковых качеств в основных видах конного спорта лошадей верховых пород, баллы ( $\bar{X} \pm m\bar{x}$ )

Вид конного спорта	Показатели	Генотип <i>COX4I2</i>		
		<i>CC</i>	<i>CT</i>	<i>TT</i>
Выездка (n=34)	оценка двигательных качеств	8,91±0,21	8,82±0,23	9,52±0,27*
	оценка прыжковых качеств	8,27±0,08	8,44±0,19	8,55±0,12*
Конкур (n=30)	оценка двигательных качеств	8,12±0,23	8,59±0,28	8,68±0,16*
	оценка прыжковых качеств	8,83±0,09	8,95±0,13	9,04±0,06*
Троеборье (n=23)	оценка двигательных качеств	8,38±0,42	8,22±0,22	9,38±0,36*
	оценка прыжковых качеств	8,52±0,55	8,95±0,12	8,40±0,54

Из анализа данных таблицы 3 следует, что наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств при выездке установлены у лошадей верховых пород с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>*, что больше, чем у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>CC</sup>* на 6,4 и 3,3 % ( $P>0,95$ ), и генотипом *COX4I2<sup>CT</sup>* – на 7,4 ( $P>0,95$ ) и 1,3 % соответственно.

В конкуре наибольшие показатели оценки двигательных и

прыжковых качеств установлены также у лошадей, имеющих генотип *COX4I2<sup>TT</sup>*, что больше, чем у животных, имеющих генотип *COX4I2<sup>CC</sup>*, на 6,5 (P>0,95) и 2,3 %, генотип *COX4I2<sup>CT</sup>* – на 1,04 (P>0,95) и 1 % соответственно.

В троеборье наибольшие показатели оценки двигательных качеств установлены у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>*, что больше, чем у лошадей с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>CT</sup>* на 10,7 и 12,4 % (P>0,95) соответственно. А наибольшие показатели оценки прыжковых качеств отмечены у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>CT</sup>*, что больше, чем у лошадей с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>TT</sup>* на 4,8 и 6,1 % соответственно, без достоверных различий между показателями.

**Заключение.** Установлено, что лошади исследуемых верховых пород с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>* превосходят животных с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>CT</sup>* в стиле рыси на 7,6 и 5,1 % (P>0,95), галопа – на 7,7 и 6,4 % (P>0,95), прыжка – на 1,2 % соответственно. В стиле шага животные с генотипом *COX4I2<sup>CT</sup>* превосходят лошадей с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>TT</sup>* на 1,4 %, без достоверных различий между показателями.

Лошади тракненской и ганноверской пород, имеющие генотип *COX4I2<sup>TT</sup>*, превосходят лошадей с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>CT</sup>* по двигательным качествам на 5 % (P>0,95), по прыжковым – на 3,4 (P>0,95) и 0,5 %, по работоспособности – на 4,2 (P>0,95) и 2,5 % соответственно.

При выездке и конкуре наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств у лошадей верховых пород с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>*, что больше, чем у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>CC</sup>* на 6,4 и 2,3-3,3 % (P>0,95), и генотипом *COX4I2<sup>CT</sup>* – на 1,04-7,4 % (P>0,95) и 1-1,3 % соответственно. В троеборье наибольшие показатели оценки двигательных качеств установлены у лошадей с генотипом *COX4I2<sup>TT</sup>*, что на 10,7 и 12,4 % (P>0,95) соответственно больше, чем у лошадей с генотипами *COX4I2<sup>CC</sup>* и *COX4I2<sup>CT</sup>*. У лошадей с генотипом *COX4I2<sup>CT</sup>* отмечены наибольшие показатели оценки прыжковых качеств, но без достоверных различий между показателями.

Таким образом, для эффективного ведения селекции в спортивном коневодстве необходим поиск и изучение полиморфизма в генах, играющих роль в формировании спортивных качеств у лошадей.

#### Литература

10. Вишневец, А. В. Двигательные, прыжковые качества, промеры лошадей верховых пород и взаимосвязь их с геном MSTN (миостатин) / А. В. Вишневец, П. П. Красочко, О. Л. Будевич // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2018. – № 1(28). – С. 11–15.
9. Волков, Д. А. Современные подходы к генетической оценке спортивных лошадей / Д. А. Волков, О. В. Бондаренко, В. А. Даншин // Зоотехния. – 2006. – № 5. – С. 9–11.

1. Жалдыбин, В. В. Коневодство, исторический опыт развития, состояния и перспективы применения лошадей в Республике Беларусь / В. В. Жалдыбин, А. Ю. Финогенов // Экология и животный мир. – 2011. – № 2. – С. 15–19.
2. Храброва, Л. А. Использование ДНК-технологий в коневодстве / Л. А. Храброва // Эффективное животноводство. – № 6 (115), июнь 2015. – С. 13–17.
3. Ancient genomic changes associated with domestication of the horse / P. Librado [et al.] // Science. – 2017. – Vol. 356. – P. 442–445.
7. Association of sequence variants in CKM (creatine kinase, muscle) and COX4I2 (cytochrome c oxidase, subunit 4, isoform 2) genes with racing performance in Thoroughbred horses / J. Gu [et al.] // Equine Veterinary Journal November. – 2010. – P. 569–575.
5. Comparison of Sequence Variants in the PDK4 and COX4I2 Genes Between Racing and Cutting Lines of Quarter Horses and Associations With the Speed Index / G. L. Pereira [et al.] // Journal of Equine Veterinary Science/ - 2016. – Vol. 39. – P. 1–6.
8. Moderate and high intensity sprint exercise induce differential responses in COX4I2 and PDK4 gene expression in Thoroughbred horse skeletal muscle / E. W. Hill [et al.] // Equine veterinary journal. – 2010. – Vol. 42, Suppl. 38. – P. 576-581.
6. Quantitative analysis of short- and long-distance racing performance in young and adult horses and association analysis with functional candidate genes in Spanish Trotter horses / S. Negro Rama [et al.] // Anim. Breed. Genet. – 2016. – Vol. 133. – P. 347–356.
10. 4. Regatieri, I. C. Polymorphisms in candidate genes for athletic performance and quantification of MCT1 and CD147 in red blood cells of Arabian and quarter horses / Inaê Cristina Regatieri. – Zootecnista, 2016. – 50 p.

*Поступила 16.05.2022 г.*

УДК 636.4.082.12

<https://doi.org/10.47612/0134-9732-2022-57-1-44-60>

О.Я. ВАСИЛЮК, И.Ф. ГРИДЮШКО, И.П. ШЕЙКО

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОФИЛИ СВИНЕЙ МАТЕРИНСКИХ ПОРОД С УЧЁТОМ ИХ ЛИНЕЙНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ-МАРКЕРОВ ПРОДУКТИВНЫХ КАЧЕСТВ**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, г. Жодино, Республика Беларусь*

В статье представлены материалы исследований, целью которых было сформировать генетические профили свиней материнских пород с учётом их линейной принадлежности и полиморфизма генов-маркеров по воспроизводительным и мясо-откормочным качествам. Объектом исследований были популяции чистопородных животных пород белорусской крупной белой, белорусской чёрнопёстрой и белорусского заводского типа свиней породы йоркшир. Исследования показали, что наибольшее влияние на продуктивные качества животных оказывают гены ESR (воспроизводительные качества), IGF-2 (откормочные и воспроизводительные качества), H-FABP и RYR 1 (мясные качества).