

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКАЯ ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ»

А. В. Вишневец, П. П. Красочко, О. Л. Будревич

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНОВ ЦИТОХРОМОКСИДАЗЫ,
МИОСТАТИНА И 1-АЛЬФА КОАКТИВАТОРА
ГАММА РЕЦЕПТОРА
В СЕЛЕКЦИИ ЛОШАДЕЙ ВЕРХОВЫХ ПОРОД**

РЕКОМЕНДАЦИИ

Витебск
ВГАВМ
2023

УДК 636.13.082.2

ББК 46.11-31

В55

Рекомендовано к изданию Научно-техническим советом
УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия
ветеринарной медицины» от 15 декабря 2022 г. (протокол № 9)

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. В. Вишневец*;
доктор биологических наук, доцент *П. П. Красочко*;
магистр сельскохозяйственных наук *О. Л. Будревич*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *М. М. Карпеня*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *О. В. Заяц*

Вишневец, А. В.

Использование генов цитохромоксидазы, миостатина и 1-альфа коак-
В55 тиватора гамма рецептора в селекции лошадей верховых пород
:рекомендации / А. В. Вишневец, П. П. Красочко, О. Л. Будревич. – Ви-
тебск : ВГАВМ, 2023. – 28 с.

В рекомендациях приведены методики определения генов, частота встречаемости полиморфных вариантов генов, результаты исследований по установлению взаимосвязи генов цитохромоксидазы, миостатина и 1-альфа коактиватора гамма рецептора со спортивными качествами лошадей тракененской и ганноверской пород.

Предназначены для научных работников, специалистов племенной службы, преподавателей и студентов по специальности 1-74 03 01 «Зоотехния» (6-05-0811-02 «Производство продукции животного происхождения»).

УДК 636.13.082.2

ББК 46.11-31

© Вишневец А. В., Красочко П. П., Будревич О. Л., 2023

© УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Методы генотипирования лошадей по генам цитохромоксидазы, миостатина, 1- α -коактиватора гамма-рецептора	6
2. Полиморфизм гена <i>COX4I2</i> (цитохромоксидаза) и его взаимосвязь со спортивными качествами лошадей верховых пород	9
3. Полиморфизм гена <i>MSTN</i> (миостатин) и его взаимосвязь со спортивными качествами лошадей верховых пород	13
4. Полиморфизм гена <i>PPARGC1A</i> (1-альфа коактиватора гамма рецептора) и его взаимосвязь со спортивными качествами лошадей верховых пород	17
5. Спортивные качества лошадей верховых пород в зависимости от комплексных генотипов по генам <i>COX4I2</i> , <i>MSTN</i> и <i>PPARGC1A</i>	21
Заключение	23
Предложение производству	25
Список литературы	26

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире активно развивается конный спорт, увеличивается количество различных соревнований международного уровня, соответственно, растут требования к работоспособности лошадей, и перед селекционерами стоит задача по совершенствованию качеств лошадей, используемых в конном спорте [8]. Спортивное коневодство пользуется большой популярностью во всем мире, и в Республике Беларусь есть все необходимые условия для успешного его развития. Призы на международных соревнованиях повышают престиж нашей страны [5].

Спортивное коневодство развивается на базе преимущественного использования лошадей тракененской, ганноверской и других пород. Для поддержания структуры пород предусматривается периодический завоз верховых жеребцов зарубежной селекции, который необходим и в связи с небольшим количеством лошадей в указанных породах, разводимых в республике [4].

Важным вопросом качественного улучшения пород является определение генетической ценности спортивного состава лошадей по основным селекционным признакам, которое должно базироваться на использовании и внедрении в практику современных, более точных методических подходов к оценке племенного материала с целью ускорения темпов генетического прогресса пород [2].

Изучение биохимических основ выраженного полиморфизма по признакам, который характерен для многих видов высших позвоночных, уже более столетия привлекает внимание многих исследователей. В результате были существенно расширены представления о механизмах молекулярного контроля за процессами онтогенеза, открыты многие гормоны и их рецепторы, выявлены факторы, влияющие на пролиферативную активность различных клеток и т. д. Более того, эти достижения фундаментальной науки стали основой для ряда прикладных разработок, активно используемых в сельском хозяйстве [11].

Созданы и выполняются широкомасштабные программы по разработке и использованию методов ДНК-технологий в селекционном процессе. Преимущество ДНК-технологий заключается в том, что можно определить генотип животного независимо от пола, возраста, физиологического состояния особей, что является важным этапом в селекционной работе [1].

Сегодня в коневодстве всех развитых стран мира для исследования генеалогической структуры популяции, поддержания уровня генетического разнообразия в породах, отбора и подбора родительских пар с учетом генетической оценки применяются генетические маркеры. Их применение актуально для определения связей между генами и хозяйственно полезными признаками лошадей [10].

С развитием молекулярной генетики и биологии возможна идентификация генов, напрямую или косвенно связанных с хозяйственно полезными качествами животных. Ген, контролирующий образование белка или фермента, в силу своего действия, может одновременно влиять и на формирование полезно-

го признака. Действие гена может проявляться и как результат вторичного влияния выработанного под его контролем белка на отдельные биохимические и физиологические процессы в организме животного. Маркерные гены могут непосредственно детерминировать синтез белка (гормон, фермент), определяющего продуктивные качества, или находиться в одной группе сцепления с генами, определяющими хозяйственно ценные признаки. Выявление предпочтительных с точки зрения селекции вариантов таких генов позволит дополнительно к традиционному отбору животных проводить селекцию на уровне ДНК-технологии.

Молекулярно-генетическая идентификация генов в коневодстве дает возможность дополнить традиционную селекцию новыми технологиями и позволяет вести отбор и подбор не только на фенотипическом, но и на генотипическом уровне. Селекционные программы пород лошадей характеризуются длинными интервалами смены поколений и оценкой селекционной ценности, включающей информацию о работоспособности самой лошади и качестве ее потомства. Это свидетельствует о перспективности внедрения метода генов-маркеров в коневодстве [10].

Известно, что на спортивные качества лошадей влияют наследственные и ненаследственные факторы. Наследственные факторы (генотип) определяют силу, мощь, выносливость, мышечный размер и состав волокна, координацию и другие качества. Существует связь между аллельными генами и селекционируемыми признаками животных. В настоящее время исследователями активно ведется поиск генов-кандидатов, сцепленных с количественными признаками.

ДНК-технологии позволяют проводить идентификацию генотипов по ряду маркеров и на этой основе более успешно вести селекцию животных по хозяйственно полезным признакам. Поэтому несомненный интерес представляет влияние вариантов генов, которые могут служить генетическими маркерами высокой работоспособности [3].

Практика тренировки и испытаний племенных лошадей, усложнение условий спортивных соревнований предъявляют все более высокие требования к разработке научно обоснованных систем подготовки. Выявление факторов, влияющих на спортивную работоспособность лошадей верховых пород, позволит усовершенствовать методику испытаний и тем самым повысить эффективность отбора. В связи с этим изучение различных факторов, влияющих на спортивную работоспособность лошадей, является важной и своевременной задачей [7].

1. Методы генотипирования лошадей по генам цитохромоксидазы, миостатина, 1- α -коактиватора гамма-рецептора

Исследования проведены в учреждении образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины» на кафедре генетики и разведения сельскохозяйственных животных имени О.А. Ивановой и в ПЦР-лаборатории НИИ прикладной ветеринарной медицины и биотехнологии.

Объектом исследований являлись лошади верховых пород (тракененская и ганноверская) учреждения «Республиканский центр олимпийской подготовки конного спорта и коневодства» Минского района (n=87).

Материалом для исследований служили биологические пробы (волосы 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 генам *MSTN* (миостатин), *COX4I2* (цитохромоксидаза) и *PPARGC1A* (1-альфа коактиватор гамма рецептора) проводилось методом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПДРФ).

Для амплификации участка гена *COX4I2* использовали прямые и обратные праймеры следующего состава:

COX4I2 F: 5'– CCC CCA AAT ACT GAA TGC AC – 3';

COX4I2 R: 5' – GCC AGG AGC TAG TGA CAA CG – 3'.

Программа амплификации: «горячий старт» – 3 минуты при 95°C, 35 циклов: денатурация – 10 сек. при 95°C, отжиг – 20 сек. при 56°C, синтез – 30 сек. при 72°C; элонгация – 5 минут при 72°C.

Длина амплифицированного фрагмента – 556 п.о.

Для проведения рестрикционного анализа по гену *COX4I2* использовали рестриктазу *XceI* (RCATG↓E) (ThermoScientific, USA).

Идентификацию генотипа проводили с помощью горизонтального электрофореза при напряжении 5 В/см геля в 1,8 % агарозе в трисборатном буфере в присутствии интеркалирующего красителя (бромистый этидий) в течение 55 минут. Рестриктаза разрезает продукт амплификации в зависимости от генотипа по гену *COX4I2* на фрагменты.

При расщеплении продуктов амплификации рестриктазой *XceI* идентифицируются следующие генотипы:

- *COX4I2^{CC}* – 556 п.о.,

- *COX4I2^{CT}* – 556 п.о., 291 п.о. + 265 п.о.,

- *COX4I2^{TT}* – 291 п.о. + 265 п.о. [12].

Электрофореграмма продуктов амплификации и рестрикции участка гена *COX4I2* представлена на рисунке 1.

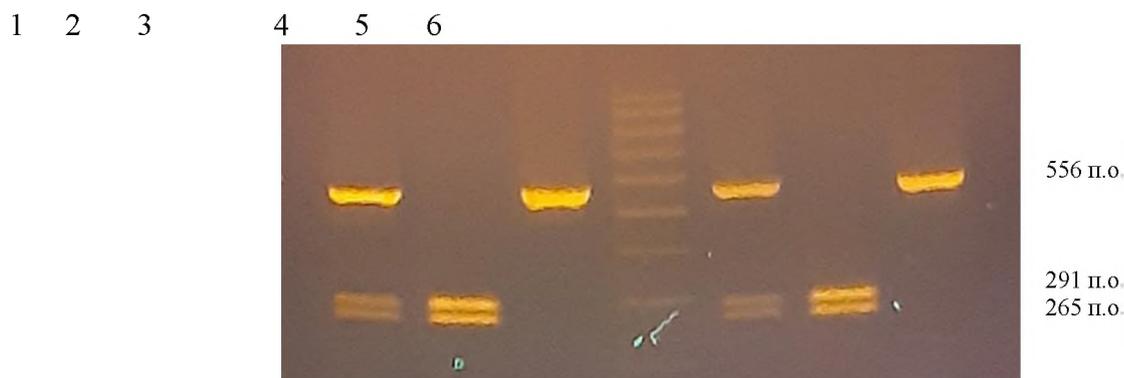


Рисунок 1 – Электрофореграмма продуктов амплификации и рестрикции участка гена *COX4I2*:

дорожки 1 и 4 соответствуют генотипу *COX4I2*^{CT},
дорожки 2 и 5 – *COX4I2*^{TT}, дорожки 3 и 6 – *COX4I2*^{CC}

Для амплификации участка гена *MSTN* использовали прямые и обратные праймеры следующего состава:

MSTN F: 5' – TCA GGG AAA CAA GNTT TCT CAA AT – 3';

MSTN R: 5' – CGA GAT TCA TTG TGG AGC A – 3'.

Программа амплификации: «горячий старт» – 5 минут при 95°C, 35 циклов: денатурация – 30 сек. при 95°C, отжиг – 20 сек. при 56°C, синтез – 30 сек. при 72°C; элонгация – 5 минут при 72°C.

Длина амплифицированного фрагмента – 484 п.о.

Для проведения рестриционного анализа по гену *MSTN* использовали рестриктазу *RsaI* (5'GT↓AC3') (Fermentas).

Идентификацию генотипа проводили с помощью горизонтального электрофореза при напряжении 5 В/см геля в 1,8 % агарозе в трисборатном буфере в присутствии интеркалирующего красителя (бромистый этидий) в течение 55 минут. Рестриктаза разрезает продукт амплификации в зависимости от генотипа по гену *MSTN* на фрагменты.

При расщеплении продуктов амплификации рестриктазой *RsaI* идентифицируются следующие генотипы:

- *MSTN*^{TT} – 484 п.о.,

- *MSTN*^{CT} – 484 п.о., 437 п.о. + 47 п.о.,

- *MSTN*^{CC} – 437 п.о. + 47 п.о. [19].

Электрофореграмма продуктов амплификации и рестрикции участка гена *MSTN* представлена на рисунке 2.

1 2 3 4 5 6



Рисунок 2—Электрофореграмма продуктов амплификации и рестрикции участка гена *MSTN*: дорожки 1, 2 соответствуют генотипу $MSTN^{TT}$, дорожка 5 – генотипу $MSTN^{CT}$, дорожка 3, 4 и 6 – $MSTN^{CC}$

Для амплификации участка гена *PPARGC1A* использовали прямые и обратные праймеры следующего состава:

PPARGC1A: 5' – AGCTGGAATCCACTTGGAGA – 3';

PPARGC1A: 5' – GGGCTACNNTTCTCGCTCCT – 3'.

Программа амплификации: «горячий старт» – 5 минут при 94°C, 32 цикла: денатурация – 45 сек. при 94°C, отжиг – 45 сек. при 55°C, синтез – 45 сек. при 72°C; элонгация – 5 минут при 72°C. Длина амплифицированного фрагмента – 529 п.о. Для проведения рестрикционного анализа по гену *PPARGC1A* – *BsaHI* (GR↓CGYC) (ThermoScientific, USA).

Идентификацию генотипа проводили с помощью горизонтального электрофореза при напряжении 5 В/см геля в 1,7 % агарозе в трисборатном буфере в присутствии интеркалирующего красителя (бромистый этидий) в течение 35 минут. Рестриктаза разрезает продукт амплификации в зависимости от генотипа по гену *PPARGC1A* на фрагменты.

При расщеплении продуктов амплификации рестриктазой *BsaHI* идентифицируются следующие генотипы:

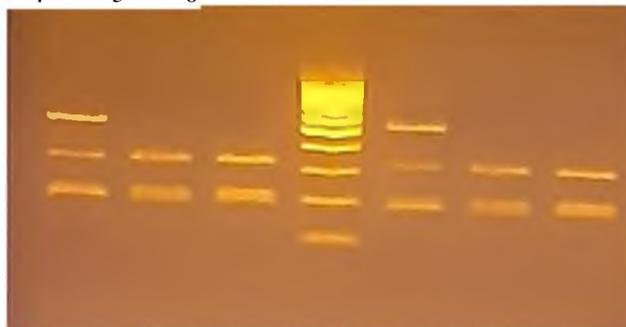
- *PPARGC1A*^{GG} – 529 п.о.,

- *PPARGC1A*^{GC} – 529 п.о., 327 п.о., 202+183 п.о.,

- *PPARGC1A*^{CC} – 327 п.о., 202+183 п.о. [17].

Электрофореграмма продуктов амплификации и рестрикции участка гена *PPARGC1A* представлена на рисунке 3.

1 2 3 4 5 6



529 п.о.

327 п.о.

202+183 п.о.

Рисунок 3 – Электрофореграмма продуктов амплификации и рестрикции участка гена *PPARGC1A*: дорожки 1 и 4 соответствуют генотипу *PPARGC1A*^{GC}, дорожки 2, 3, 5 и 6 – *PPARGC1A*^{CC}

У лошадей верховых пород по данным племенных карточек (форма-2 л), протоколов оценки по прыжковым и двигательным качествам, протоколов испытаний спортивных качеств лошади, карточек заводских испытаний учитывались и анализировались следующие показатели: оценка в баллах за стили шага, рыси, галопа, прыжка, двигательные и прыжковые качества, и устанавливалась взаимосвязь данных показателей с генами *COX4I2*, *MSTN* и *PPARGC1A*.

2. Полиморфизм гена *COX4I2* (цитохромоксидаза) и его взаимосвязь со спортивными качествами лошадей верховых пород

Одним из генов, влияющих на скаковую работоспособность лошадей, 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 на молекулярный кислород, отвечает за регулирование и сборку митохондрически кодированных субъединиц на митохондриальной мембране. Комплекс цитохрома с оксидазой IV состоит из двух изоформ (COX4-1 и COX4-2), которые кодируются генами. В условиях недостатка кислорода главный регулятор гипоксического ответа активирует транскрипцию *COX4I2* [15, 16].

Частота встречаемости аллелей и генотипов гена *COX4I2* у лошадей траккененской и ганноверской пород представлена на рисунках 4, 5, 6, 7.



Рисунок 4 – Частота встречаемости аллелей гена *COX4I2* у лошадей траккененской породы

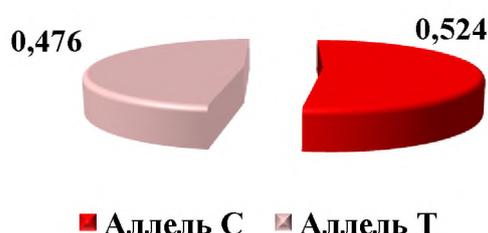


Рисунок 5 – Частота встречаемости аллелей гена *COX4I2* у лошадей ганноверской породы

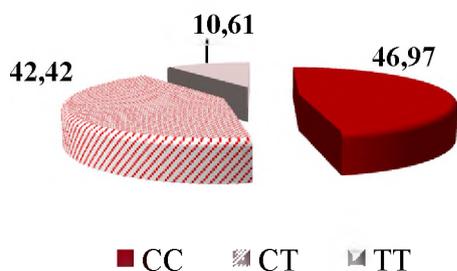


Рисунок 6 – Частота встречаемости генотипов гена *COX4I2* у лошадей траккененской породы, %

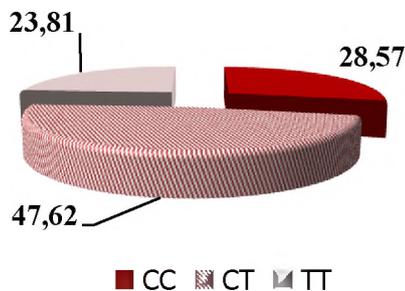


Рисунок 7 – Частота встречаемости генотипов гена *COX4I2* у лошадей ганноверской породы, %

В результате проведенного молекулярно-генетического анализа по гену *COX4I2* установлено, что среди исследуемых лошадей тракененской породы частота встречаемости аллеля *C* наибольшая и составляет 0,682, а частота встречаемости аллеля *T* – 0,318. Среди исследуемых лошадей ганноверской породы частота встречаемости аллеля *C* больше (0,524), чем частота встречаемости аллеля *T* (0,476). В среднем по двум породам частота встречаемости аллеля *C* составила 0,644, а аллеля *T* – 0,358.

В результате ДНК-диагностики было установлено, что у лошадей тракененской породы наибольшая частота встречаемости генотипов *COX4I2^{CC}* и *COX4I2^{CT}* (46,97 и 44,42 % соответственно), намного реже встречается генотип *COX4I2^{TT}* – 10,61 %. У лошадей ганноверской породы чаще встречается генотип *COX4I2^{CT}* – 47,62 %, реже – *COX4I2^{CC}* и *COX4I2^{TT}*, что составляет 28,57 и 23,81 % соответственно.

Требования к спортивным лошадям сильно возрастают и обуславливаются отчасти жесткими требованиями рыночных отношений, конкурентоспособности. Требуются лошади с высокими скаковыми качествами, которые должны обладать высокими баллами за двигательные качества. 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

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

Анализируя данные по исследуемому поголовью, наибольшие показатели в стиле рыси, галопа и прыжка отмечены 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%.

При оценке двигательных качеств оценивают количество шагов при шаге и рыси, стиль аллюров при шаге, рыси и галопе и выставляют среднюю оценку двигательных качеств. 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.

Для выяснения взаимосвязи аллельных вариантов гена $COX4I2$ со спортивными качествами лошадей верховых пород, а именно, двигательными, прыжковыми качествами, 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

Порода	Генотип $COX4I2$	Двигательные качества	Прыжковые качества
		$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Тракененская	CC	8,53±0,21	8,59±0,18
	CT	8,38±0,16	8,72±0,11
	TT	8,99±0,46	8,69±0,28
Ганноверская	CC	8,67±0,47	7,99±0,61
	CT	9,02±0,27	8,90±0,18
	TT	9,01±0,24	8,95±0,26
Итого по исследуемому поголовью	CC	8,55±0,19	8,50±0,15
	CT	8,55±0,14	8,76±0,09
	TT	9,00±0,12*	8,80±0,07*

Из данных таблицы 2 видно, 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 % соответственно больше, чем у лошадей с генотипами $COX4I2^{CC}$ и $COX4I2^{TT}$, без достоверных различий между показателями.

Среди лошадей ганноверской породы по двигательным качествам и рабо-

тоспособности превосходят животные, имеющие генотип $COX4I2^{CT}$, что выше на 3,9 и 0,1 %, на 8,1 и 0,9 % соответственно, чем у лошадей, имеющих генотип $COX4I2^{CC}$ и $COX4I2^{TT}$. По прыжковым качествам у лошадей с генотипом $COX4I2^{TT}$ на 10,7 и 0,6 % показатель больше, чем у животных с генотипами $COX4I2^{CC}$ и $COX4I2^{CT}$ соответственно, без достоверных различий между показателями.

Анализируя данные по исследуемому поголовью, наибольшие показатели за двигательные качества на 5 % ($P>0,95$), за прыжковые – на 3,4 ($P>0,95$) и 0,5 % соответственно, отмечены у лошадей с генотипом $COX4I2^{TT}$ по отношению к животным, имеющим генотипы $COX4I2^{CC}$ и $COX4I2^{CT}$.

Основной вид продуктивности лошадей верховых пород спортивного направления – работоспособность в классических видах конного спорта. Показатели по оценке двигательных и прыжковых качеств, полученные при выезде, 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 тракененской и ганноверской пород, баллы

Вид конного спорта	Показатели	Генотип $COX4I2$		
		CC	CT	TT
		$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Выездка	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	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	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 выезде отмечены у лошадей верховых пород с генотипом $COX4I2^{TT}$, что больше, чем у лошадей с генотипом $COX4I2^{CC}$, на 6,4 и 3,3 % ($P>0,95$) и генотипом $COX4I2^{CT}$ – на 7,4 ($P>0,95$) и 1,3 % соответственно.

В конкуре наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств отмечены также у лошадей, имеющих генотип $COX4I2^{TT}$, что больше, чем у животных, имеющих генотип $COX4I2^{CC}$, на 6,5 ($P>0,95$) и 2,3 %, генотип $COX4I2^{CT}$ – на 1,04 ($P>0,95$) и 1 % соответственно.

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

3. Полиморфизм гена *MSTN*(миостатин) и его взаимосвязь со спортивными качествами лошадей верховых пород

В последние годы появился ряд публикаций зарубежных авторов, посвященных изучению гена миостатина и связи генотипов по однонуклеотидным заменам в этом гене с работоспособностью лошадей [6].

Белок миостатин (*MSTN*) синтезируется в скелетных мышцах и относится к группе TGF- β факторов, подавляющих рост и дифференциацию тканей. В дополнение к функции формирования скелетной мускулатуры миостатин также регулирует гомеостаз в мышечной ткани после рождения. Ген миостатина у всех изученных видов млекопитающих имеет сходную структуру и состоит из трех экзонов и двух интронов. Структурные мутации в кодирующей последовательности этого локуса вызывают увеличение массы скелетных мышц и приводят к эффекту «двойной мускулатуры», наблюдаемому у мясных пород крупного рогатого скота, овец и бойцовских собак.

У лошадей ген *MSTN* детерминирует структуру и соотношение коротких и длинных волокон в мышцах и функционирует преимущественно как фактор дифференциации роста мышечных тканей. Его нуклеотидная последовательность также состоит из трех экзонов и локализована в 18-й хромосоме. При секвенировании миостатина у лошадей разных пород было обнаружено 19 различных вариантов его структуры, среди которых с селекционной точки зрения наиболее интересна нуклеотидная замена g.66493737 T>C в первом интроне. Исследования многих ученых показали, что в зависимости от типа миостатина лошади чистокровной верховой породы имеют разные дистанционные способности вследствие различий в структуре и длине мышечных волокон [9].

Частота встречаемости аллелей и генотипов гена *MSTN* у лошадей траккененской и ганноверской пород представлена на рисунках 8, 9, 10, 11.

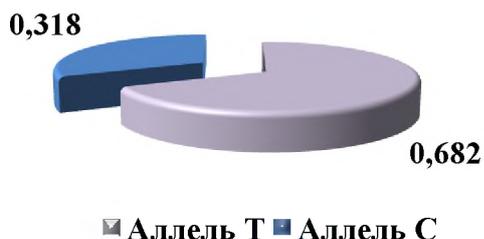


Рисунок 8 – Частота встречаемости аллелей гена *MSTN* у лошадей тракененской породы

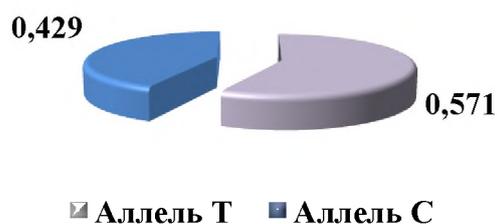


Рисунок 9 – Частота встречаемости аллелей гена *MSTN* у лошадей ганноверской породы

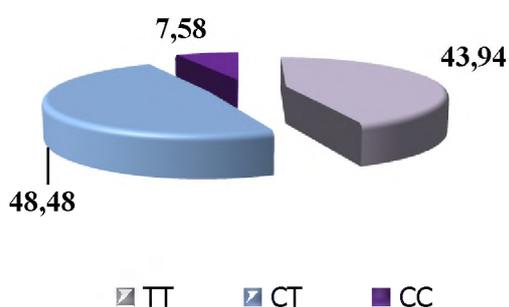


Рисунок 10 – Частота встречаемости генотипов гена *MSTN* у лошадей тракененской породы, %

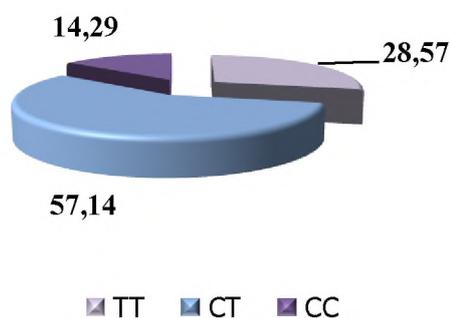


Рисунок 11 – Частота встречаемости генотипов гена *MSTN* у лошадей ганноверской породы, %

В результате проведенного молекулярно-генетического анализа по гену *MSTN* установлено, что среди исследуемых лошадей тракененской породы частота встречаемости аллеля *T* преобладает и составляет 0,682, а частота встречаемости аллеля *C* – 0,318. Среди исследуемых лошадей ганноверской породы частота встречаемости аллеля *T* также преобладает и составляет 0,571, а частота встречаемости аллеля *C* – 0,429. В среднем по двум породам частота встречаемости аллеля *C* составила 0,345, а аллеля *T* – 0,655.

Установлено, что у лошадей тракененской породы частота встречаемости генотипа *MSTN^{TT}* составила 43,94 % и *MSTN^{CT}* – 48,48 %. Реже встречается генотип *MSTN^{CC}* – 7,58 %. У лошадей ганноверской породы чаще встречается генотип *MSTN^{CT}* (57,14 %), реже – *MSTN^{TT}* (28,57 %) и *MSTN^{CC}* – 14,29 %.

Из всех показателей наиболее важными для характеристики спортивных лошадей являются стили шага, рыси, галопа и прыжка (таблица 4).

Таблица 4 – Взаимосвязь генотипов гена *MSTN*с показателями двигательных качеств лошадей тракененской и ганноверской пород, баллы

Порода	Генотип <i>MSTN</i>	n	Стиль шага	Стиль рыси	Стиль галопа	Стиль прыжка
			$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Тракененская	<i>TT</i>	29	7,2±0,15	7,1±0,18	7,0±0,17	8,0±0,16
	<i>CT</i>	32	7,4±0,15	7,5±0,22	7,2±0,20	8,4±0,13*
	<i>CC</i>	5	8,0±0,16***	7,6±0,12*	7,5±0,10*	8,1±0,33
Ганноверская	<i>TT</i>	6	7,3±0,21	8,1±0,40	8,1±0,21	7,8±0,25
	<i>CT</i>	12	7,4±0,19	7,7±0,15	7,8±0,23	8,0±0,13*
	<i>CC</i>	3	7,4±0,15	8,2±0,06*	8,2±0,35	7,6±0,11
Итого по исследуемому поголовью	<i>TT</i>	35	7,2±0,13	7,3±0,15	7,2±0,14	8,0±0,14
	<i>CT</i>	44	7,4±0,12	7,5±0,12	7,4±0,16	8,3±0,13*
	<i>CC</i>	8	7,7±0,22*	7,8±0,19*	7,7±0,19*	7,9±0,23

Из данных таблицы 4 видно, что лошади тракененской породы с генотипом *MSTN^{CC}* превосходят животных с генотипами *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CT}* в стилях шага на 11,1 (P>0,999) и 8,1 %, рыси – на 7,0 (P>0,95) и 1,3 %, галопа – на 7,1 (P>0,95) и 4,2 % соответственно. В стиле прыжка наибольшие показатели у лошадей с генотипом *MSTN^{CT}*, что на 5,0 (P>0,95) и 3,7 % соответственно больше, чем у лошадей, имеющих генотипы *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CC}*.

Среди лошадей ганноверской породы наблюдается такая же взаимосвязь. В стиле рыси лошади, имеющие генотип *MSTN^{CC}*, на 6,5 (P>0,95) и 1,2 % соответственно превосходят лошадей, имеющих генотипы *MSTN^{CT}* и *MSTN^{TT}*. В стиле прыжка у животных с генотипом *MSTN^{CT}* на 2,6 и 5,3 % (P>0,95) соответственно показатель больше, чем у лошадей с генотипами *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CC}*.

Анализируя данные по исследуемому поголовью, наибольшие показатели установлены у лошадей, имеющих генотип *MSTN^{CC}*, в стилях шага, рыси, галопа на 6,9 (P>0,95) и 4,1 % соответственно, чем у лошадей, имеющих генотипы *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CT}*. В стиле прыжка лошади с генотипом *MSTN^{CT}* имеют наибольшие показатели, что на 5,1 (P>0,95) и 3,8 % больше, чем у лошадей с генотипами *MSTN^{CC}* и *MSTN^{TT}*.

Общая оценка спортивных качеств лошади складывается из средней оценки за двигательные и прыжковые качества. Для выяснения взаимосвязи аллельных вариантов гена *MSTN* со спортивными качествами лошадей верховых пород, а именно двигательными и прыжковыми качествами, собраны данные, содержащиеся в отчетах на основании результатов испытаний. Данные внесены в таблицу 5.

Таблица 5 – Взаимосвязь генотипов гена *MSTN*с баллами за двигательные, прыжковые качества у лошадей тракененской и ганноверской пород, баллы

Порода	Генотип <i>MSTN</i>	Двигательные качества	Прыжковые качества
		$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Тракененская	<i>TT</i>	8,42±0,21	8,54±0,18
	<i>CT</i>	8,50±0,17	8,96±0,10*
	<i>CC</i>	9,22±0,33*	8,71±0,25
Ганноверская	<i>TT</i>	7,29±0,43	8,51±0,24
	<i>CT</i>	8,73±0,24	8,72±0,36
	<i>CC</i>	8,78±0,33	8,67±0,21
Итого по исследуемому поголовью	<i>TT</i>	8,22±0,29	8,54±0,11
	<i>CT</i>	8,57±0,14	8,89±0,12*
	<i>CC</i>	9,03±0,24*	8,70±0,18

Из данных таблицы 5 видно, что лошади тракененской породы, имеющие генотип *MSTN^{CC}*, превосходят лошадей с генотипами *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CT}* по двигательным качествам на 9,5 (P>0,95) и 8,5 % соответственно. По прыжковым качествам наивысший балл у лошадей с генотипом *MSTN^{CT}*, что на 4,9 (P>0,95) и 2,9 % больше, в сравнении с лошадьми, имеющими генотипы *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CC}*. Среди лошадей ганноверской породы наблюдается такая же закономерность, но без достоверных различий между показателями.

Анализируя данные по исследуемому поголовью, наибольшие показатели за двигательные качества установлены у лошадей с генотипом *MSTN^{CC}*, что на 9,9 (P>0,95) и 5,4 % больше по отношению к животным, имеющим генотипы *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CT}*. По прыжковым качествам наибольший показатель у лошадей с генотипом *MSTN^{CT}*, что на 4,1 (P>0,95) и 2,2 % больше, в сравнении с лошадьми, имеющими генотипы *MSTN^{TT}* и *MSTN^{CC}*.

Показатели по оценке двигательных и прыжковых качеств, полученные при выезде, конкуре и троеборье, лошадей верховых пород с различными генотипами гена *MSTN* представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Взаимосвязь генотипов гена *MSTN*с показателями двигательных и прыжковых качеств в основных видах конного спорта лошадей верховых пород, баллы

Вид конного спорта	Показатели	Генотип <i>MSTN</i>		
		<i>TT</i>	<i>CT</i>	<i>CC</i>
		$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Выездка	оценка двигательных качеств	8,93±0,24	8,84±0,11	9,20±0,10*
	оценка прыжковых качеств	7,99±0,30	8,61±0,13	8,85±0,14*
Конкур	оценка двигательных качеств	8,52±0,10	8,95±0,13*	8,66±0,36
	оценка прыжковых качеств	8,49±0,11	8,91±0,10*	8,81±0,28
Троеборье	оценка двигательных качеств	8,14±0,17	8,58±0,29	9,35±0,39*
	оценка прыжковых качеств	8,92±0,20*	8,29±0,19	8,92±0,15*

Из анализа данных таблицы 6 следует, что наибольшие показатели установлены при выезде у лошадей верховых пород с генотипом $MSTN^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипами $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CT}$, при оценке двигательных качеств – на 3 и 4,1 % ($P>0,95$), прыжковых качеств – на 10,8 ($P>0,95$) и 2,8 % соответственно.

В конкуре наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств установлены у лошадей, имеющих генотип $MSTN^{CT}$, что больше, чем у животных, имеющих генотипы $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CC}$, на 5 ($P>0,95$) и 3,3 %, 4,9 ($P>0,95$) и 1,1 % соответственно.

В троеборье наибольшие показатели установлены у лошадей с генотипом $MSTN^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипами $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CT}$, по оценке двигательных качеств на 14,9 ($P>0,95$) и 9 % соответственно. А наибольшие показатели оценки прыжковых качеств установлены у лошадей с генотипами $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипом $MSTN^{CT}$, на 7,6 % ($P>0,95$).

4. Полиморфизм гена *PPARGC1A* (1-альфа коактиватора гамма рецептора) и его взаимосвязь со спортивными качествами лошадей верховых пород

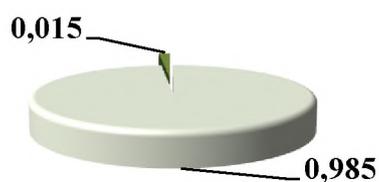
Интенсивность метаболических процессов в скелетных мышцах при длительных физических нагрузках значительно повышается за счет увеличения числа митохондрий в клетках и усиления окисления жирных кислот.

Существенный вклад в возникновение таких метаболических изменений вносит ген *PPARGC1A*, локализованный в 3 хромосоме и кодирующий белок-1- α -коактиваторгамма-рецептора, уровень экспрессии которого резко возрастает при длительной физической нагрузке.

В скелетных мышцах коактиватор 1 α рецептора (PGC-1 α , кодируемый геном *PPARGC1A*) является критическим фактором контроля адаптации скелетных мышц к физическим нагрузкам, так как играет важную роль в регуляции биогенеза митохондрий и в адаптации к аэробным тренировкам.

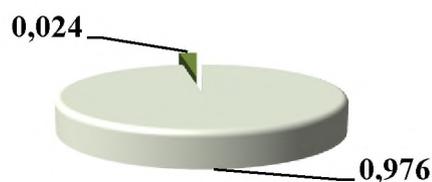
Сильные физические нагрузки активируют его, тем самым модулируют транскрипционную активность и регулируют экспрессию генов, участвующих в митохондриальном биогенезе, жировом и углеводном обмене. Исследования зарубежных ученых показывают, что ген *PPARGC1A* может быть маркером спортивных результатов у лошадей [14, 17, 18].

Частота встречаемости аллелей и генотипов гена *PPARGC1A* у лошадей тракененской и ганноверской пород отмечена на рисунках 12, 13, 14, 15.



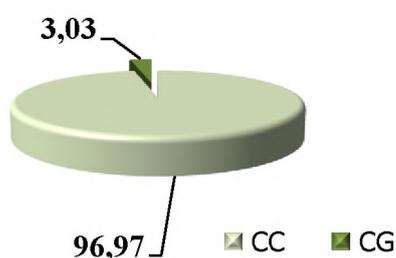
■ Аллель С ■ Аллель G

Рисунок 12 – Частота аллелей гена *PPARGC1A* у лошадей тракененской породы



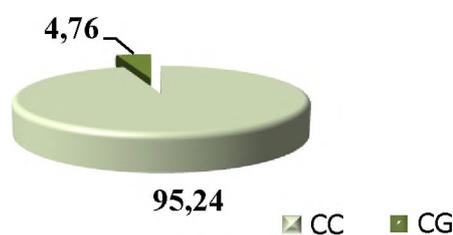
■ Аллель С ■ Аллель G

Рисунок 13 – Частота аллелей гена *PPARGC1A* у лошадей ганноверской породы



■ CC ■ CG

Рисунок 14 – Частота встречаемости генотипов гена *PPARGC1A* у лошадей тракененской породы, %



■ CC ■ CG

Рисунок 15 – Частота встречаемости генотипов гена *PPARGC1A* у лошадей ганноверской породы, %

По гену *PPARGC1A* установлено, что среди исследуемых лошадей тракененской и ганноверской пород частота встречаемости аллеля С значительно преобладает и составляет 0,985 и 0,976 соответственно, а частота встречаемости аллеля G – 0,015 и 0,024 соответственно. В среднем по двум породам частота встречаемости аллеля С составила 0,983, а аллеля G – 0,017.

У лошадей тракененской и ганноверской пород наибольшая частота встречаемости генотипа *PPARGC1A*^{CC} (96,97 и 95,24 % соответственно), очень редко встречается генотип *PPARGC1A*^{CG} – 2,03 и 4,76 % соответственно, а генотип *PPARGC1A*^{GG} у лошадей исследуемых пород не установлен. Данный генотип встречается очень редко и не у всех пород лошадей. Анализируя литературные источники, было отмечено, что генотип *PPARGC1A*^{GG} установлен только у чистокровной арабской породы лошадей с очень низкой частотой встречаемости (0,03-0,10), поэтому установленные нами данные согласуются с исследованиями зарубежных ученых [13].

Была изучена взаимосвязь генотипов гена *PPARGC1A* с показателями стилей шага, рыси, галопа и прыжка лошадей тракененской и ганноверской пород (таблица 7).

Таблица 7 – Взаимосвязь генотипов гена *PPARGC1A* с показателями стилей шага, рыси, галопа и прыжка лошадей тракененской и ганноверской пород, баллы

Порода	Генотип <i>PPARGC1A</i>	n	Стиль шага	Стиль рыси	Стиль галопа	Стиль прыжка
			$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Тракененская	<i>CC</i>	64	7,4±0,10*	7,3±0,18	7,1±0,16	8,0±0,10
	<i>GC</i>	2	6,7±0,30	7,4±0,45	7,2±1,15	8,1±0,15
Ганноверская	<i>CC</i>	20	7,3±0,15	7,9±0,19	7,9±0,16	7,9±0,21
	<i>GC</i>	1	7,0	8,1	7,8	8,0
Итого по исследуемому поголовью	<i>CC</i>	84	7,4±0,08*	7,4±0,14	7,3±0,13	7,9±0,10
	<i>GC</i>	3	6,8±0,26	7,6±0,36	7,4±0,70	8,0±0,09

Из данных таблицы 7 видно, что лошади тракененской породы с генотипом *PPARGC1A^{CC}* превосходят животных с генотипом *PPARGC1A^{GC}* в стиле шага на 9,5 % ($P > 0,95$). Лошади с генотипом *PPARGC1A^{GC}* имеют более высокие показатели в сравнении с лошадьми, имеющими генотип *PPARGC1A^{CC}*, в стилях рыси и галопа – на 1,4 %, прыжка – на 1,2 %, но без достоверных различий между показателями.

Лошади ганноверской породы с генотипом *PPARGC1A^{CC}* превосходят животных с генотипом *PPARGC1A^{GC}* в стилях шага на 4,1 % и галопа – на 1,3 %, без достоверных различий между показателями. В стилях рыси и прыжка превосходят лошади, имеющие генотип *PPARGC1A^{GC}*, что на 2,4 и 1,3 % соответственно больше в сравнении с лошадьми, имеющими генотип *PPARGC1A^{CC}*, без достоверных различий между показателями.

Анализируя данные по всему исследуемому поголовью, наибольшие показатели в стиле шага установлены у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{CC}*, что на 8,1 % ($P > 0,95$) больше в сравнении с лошадьми, имеющими генотип *PPARGC1A^{GC}*. Наибольшие показатели в стилях рыси и галопа отмечены у лошадей, имеющих генотип *PPARGC1A^{GC}*, что на 2,6 и 1,4 % соответственно больше в сравнении с животными, имеющими генотип *PPARGC1A^{CC}*, но без достоверных различий между показателями. В стиле прыжка показатели отличаются незначительно. У исследуемых лошадей отсутствует генотип *PPARGC1A^{GG}*.

Оценка двигательных и прыжковых качеств способствует выявлению лошадей, обладающих врожденной способностью к таким движениям. Главным в движении лошади является четкость, ровность и свободные, легкие и размашистые движения. Для выяснения взаимосвязи аллельных вариантов гена *PPARGC1A* со спортивными качествами лошадей верховых пород, а именно, двигательными, прыжковыми качествами, собраны данные, содержащиеся в отчетах на основании результатов испытаний. Данные внесены в таблицу 8.

Таблица 8 – Взаимосвязь генотипа гена *PPARGC1A* с баллами двигательные, прыжковые качества и работоспособность у лошадей траккененской и ганноверской пород, баллы

Порода	Генотип <i>PPARGC1A</i>	Двигательные качества	Прыжковые качества
		$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Траккененская	<i>CC</i>	8,52±0,13	8,65±0,10
	<i>GC</i>	8,28±0,10	9,00±0,11*
Ганноверская	<i>CC</i>	8,93±0,20	8,65±0,22
	<i>GC</i>	8,54	8,65
Итого по Исследуемому поголовью	<i>CC</i>	8,62±0,11*	8,65±0,09
	<i>GC</i>	8,36±0,06	8,91±0,07*

Из данных таблицы 8 видно, что лошади траккененской породы, имеющие генотип *PPARGC1A^{CC}*, превосходят лошадей с генотипом *PPARGC1A^{GC}* по двигательным качествам на 2,8 %, но без достоверных различий между показателями. По прыжковым качествам превосходят животные, имеющие генотип *PPARGC1A^{GC}*, что на 3,9 (P>0,95) больше, чем у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{CC}*.

Среди лошадей ганноверской породы превосходят животные, имеющие генотип *PPARGC1A^{CC}*, по двигательным качествам на 4,4 %, без достоверных различий между показателями. По прыжковым качествам у лошадей с генотипами *PPARGC1A^{CC}* и *PPARGC1A^{GC}* различий не установлено.

Анализируя данные по всему исследуемому поголовью, наибольшие показатели за двигательные качества установлены у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{CC}*, что больше на 3,0 % (P>0,95) по отношению к животным, имеющим генотип *PPARGC1A^{GC}*. По прыжковым качествам лучший показатель установлен у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{GC}*, что больше на 2,9 % (P>0,95) в сравнении с лошадьми, имеющими генотип *PPARGC1A^{CC}*.

Результативность лошадей в классических видах конного спорта зависит не только от породы, происхождения и экстерьера, но и от показателей за двигательные и прыжковые качества. Преждевременная их оценка способствует улучшению работоспособности, а также является ключевым моментом при обучении и тренинге лошадей.

Показатели оценки двигательных и прыжковых качеств, полученные при выезде, конкуре и троеборье лошадей верховых пород с различными генотипами гена *PPARGC1A*, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Взаимосвязь генотипов гена *PPARGC1A* с показателями двигательных и прыжковых качеств в основных видах конного спорта лошадей верховых пород, баллы

Вид конного спорта	Показатели	Генотип <i>PPARGC1A</i>	
		<i>CC</i>	<i>GC</i>
		$\bar{X} \pm m_x$	$\bar{X} \pm m_x$
Выездка	оценка двигательных качеств	8,92±0,15*	8,54±0,11
	оценка прыжковых качеств	8,34±0,16	8,75±0,13*
Конкур	оценка двигательных качеств	8,41±0,12	8,77±0,10*
	оценка прыжковых качеств	8,91±0,13	9,40±0,21*
Троеборье	оценка двигательных качеств	8,45±0,20*	7,78±0,24
	оценка прыжковых качеств	8,76±0,20	8,59±0,31

Из анализа данных таблицы 9 следует, что наибольшие показатели оценки двигательных качеств при выездеке установлены у лошадей верховых пород с генотипом *PPARGC1A^{CC}*, что больше, чем у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{GC}*, на 4,3 % ($P>0,95$). У лошадей, имеющих генотип *PPARGC1A^{GC}*, установлены наибольшие показатели оценки прыжковых качеств, что больше на 4,7 % ($P>0,95$) в сравнении с лошадьми, имеющими генотип *PPARGC1A^{CC}*.

В конкуре наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств установлены у лошадей, имеющих генотип *PPARGC1A^{GC}*, что больше, чем у животных, имеющих генотип *PPARGC1A^{CC}*, на 4,1 ($P>0,95$) и 5,2 % ($P>0,95$) соответственно.

В троеборье высокие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств установлены у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{CC}*, что больше, чем у лошадей с генотипом *PPARGC1A^{GC}*, на 7,9 ($P>0,95$) и 1,9 % соответственно.

5. Спортивные качества лошадей верховых пород в зависимости от комплексных генотипов по генам *COX4I2*, *MSTN* и *PPARGC1A*

На практике уделяется большое внимание двигательным качествам лошадей, длине шага на различных аллюрах и стилю движения во время рыси и галопа. Установлено, что лошади верховых пород с комплексными генотипами *MSTN^{TT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}*, *MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}* и *MSTN^{CT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}* превосходят животных с генотипом *MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}* в стиле рыси на 17,3 ($P>0,999$) и 16,3 % ($P>0,95$), галопа – на 12,8 ($P>0,95$) и 13,9 % ($P>0,95$) соответственно. Показатели стиля прыжка у лошадей с комплексными генотипами *MSTN^{CT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}* и *MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}* соответственно больше на 11,8 ($P>0,95$) и 8,5 % ($P>0,95$), чем у лошадей с генотипом *MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}*.

В стиле шага лошади, имеющие сочетание генов с генотипами *MSTN^{CC}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}* и *MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}*, превосходили

лошадей, имеющих генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ на 6,6 %, но без достоверных различий между показателями.

Установлено, что по показателям двигательных качеств лошади верховых пород с комплексными генотипами $MSTN^{TT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ и $MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ превосходят лошадей с генотипом $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$ на 11,3 (P>0,95) и 8,2 % (P>0,95) соответственно. По показателям прыжковых качеств превосходят лошади, имеющие комплексный генотип $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что на 5,7 % (P>0,95) больше в сравнении с лошадьми, имеющими генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$.

Наибольший показатель оценки двигательных качеств при выезде установлен у лошадей верховых пород, имеющих комплексный генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что больше на 7,3 % (P>0,95), чем у лошадей с генотипом $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$. При оценке прыжковых качеств наибольший показатель установлен у лошадей с комплексным генотипом $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что больше на 9,3 % (P>0,95), чем у животных с генотипом $MSTN^{TT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$.

В конкуре наибольшие показатели оценки двигательных качеств установлены у лошадей, имеющих комплексный генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$, что на 17,8 % (P>0,95) больше, чем у лошадей с генотипом $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$. При оценке прыжковых качеств наибольший показатель установлен у лошадей, имеющих комплексный генотип $MSTN^{CT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$, что на 6,1 % (P>0,95) больше в сравнении с лошадьми с генотипом $MSTN^{CT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$.

В троеборье наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств установлены у лошадей с комплексным генотипом $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что больше, чем у лошадей, имеющих генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$, на 4,6 и 1,9 % соответственно, без достоверных различий между показателями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований адаптировали методики определения генов *COX4I2*, *MSTN* и *PPARGC1A* у лошадей, а именно использовали отечественные реагенты для постановки ПЦР, изменен процент агарозы для лучшего чтения результата, определена программа амплификации, оптимальное соотношение компонентов при проведении рестрикции, установлена идентификация генотипов.

Установлено, что среди исследуемых лошадей тракененской и ганноверской пород частота встречаемости аллеля *C* гена *COX4I2* преобладает и составила 0,682, 0,524 соответственно, а частота встречаемости аллеля *T* – 0,318, 0,476 соответственно. Установлено, что у лошадей тракененской породы наибольшая частота встречаемости генотипов *COX4I2^{CC}* и *COX4I2^{CT}* (46,97 и 44,42 % соответственно), намного реже встречается генотип *COX4I2^{TT}* – 10,61 %. У лошадей ганноверской породы чаще встречается генотип *COX4I2^{CT}* – 47,62 %, реже – *COX4I2^{CC}* и *COX4I2^{TT}*, что составляет 28,57 и 23,81 % соответственно.

Установлено, что частота встречаемости аллеля *C* гена *PPARGC1A* среди исследуемых лошадей тракененской и ганноверской пород значительно преобладает и составляет 0,985 и 0,976 соответственно, а частота встречаемости аллеля *G* – 0,015 и 0,024 соответственно. У лошадей тракененской и ганноверской пород наибольшая частота встречаемости генотипа *PPARGC1A^{CC}* (96,97 и 95,24 % соответственно) и незначительное количество генотипа *PPARGC1A^{CG}* – 2,03 и 4,76 % соответственно.

В результате проведенного молекулярно-генетического анализа по гену *MSTN* установлено, что среди лошадей тракененской и ганноверской пород частота встречаемости аллеля *T* преобладает и составляет 0,682 и 0,571 соответственно, а частота встречаемости аллеля *C* – 0,318 и 0,429 соответственно. Установлено, что у лошадей тракененской породы частота встречаемости генотипа *MSTN^{TT}* составила 43,94 % и *MSTN^{CT}* – 48,48 %. Реже встречается генотип *MSTN^{CC}* – 7,58 %. У лошадей ганноверской породы чаще встречается генотип *MSTN^{CT}* (57,14 %), реже – *MSTN^{TT}* (28,57 %) и *MSTN^{CC}* (14,29 %).

Установлено, что лошади исследуемых верховых пород с генотипом *COX4I2^{TT}* превосходят животных с генотипами *COX4I2^{CC}* и *COX4I2^{CT}* в стиле рыси на 7,6 и 5,1 % ($P > 0,95$), галопа – на 7,7 и 6,4 % ($P > 0,95$) соответственно. Лошади тракененской и ганноверской пород, имеющие генотип *COX4I2^{TT}*, превосходят лошадей с генотипами *COX4I2^{CC}* по двигательным качествам на 5 % ($P > 0,95$), по прыжковым качествам – на 3,4 ($P > 0,95$).

Установлено, что наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств при выезде отмечены у лошадей верховых пород с генотипом *COX4I2^{TT}*, что больше, чем у лошадей с генотипом *COX4I2^{CC}*, на 6,4 и 3,3 % ($P > 0,95$) и генотипом *COX4I2^{CT}* – на 7,4 ($P > 0,95$) и 1,3 % соответственно. В конуре наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств отмечены также у лошадей, имеющих генотип *COX4I2^{TT}*, что больше, чем у животных, имеющих генотип *COX4I2^{CC}*, на 6,5 ($P > 0,95$) и 2,3 % и генотип *COX4I2^{CT}* –

на 1,04 ($P>0,95$) и 1 % соответственно. В троеборье наибольшие показатели оценки двигательных качеств отмечены у лошадей с генотипом $COX4I2^{TT}$, что больше, чем у лошадей с генотипами $COX4I2^{CC}$ и $COX4I2^{CT}$, на 10,7 и 12,4 % ($P>0,95$) соответственно.

Лошади траккененской и ганноверской пород с генотипом $MSTN^{CC}$ превосходят животных с генотипами $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CT}$ в стилях шага, рыси, галопа на 6,9 ($P>0,95$) и 4,1 % соответственно. В стиле прыжка лошади с генотипом $MSTN^{CT}$ имеют наибольшие показатели, что на 5,1 ($P>0,95$) и 3,8 % соответственно больше, чем у лошадей с генотипами $MSTN^{CC}$ и $MSTN^{TT}$. Установлено, что наибольшие показатели за двигательные качества у лошадей с генотипом $MSTN^{CC}$, что на 9,9 ($P>0,95$) и 5,4 % соответственно больше по отношению к животным, имеющим генотипы $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CT}$. По прыжковым качествам наибольший показатель у лошадей с генотипом $MSTN^{CT}$, что на 4,1 ($P>0,95$) и 2,2 % больше, в сравнении с лошадьми, имеющими генотипы $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CC}$.

Установлено, что наибольшие показатели при выезде у лошадей верховых пород с генотипом $MSTN^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипами $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CT}$, при оценке двигательных качеств – на 3 и 4,1 % ($P>0,95$), прыжковых качеств – на 10,8 ($P>0,95$) и 2,8 % соответственно. В конкуре наибольшие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств установлены у лошадей, имеющих генотип $MSTN^{CT}$, что больше, чем у животных, имеющих генотипы $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CC}$, на 5 ($P>0,95$) и 3,3 %, 4,9 ($P>0,95$) и 1,1 % соответственно. В троеборье наибольшие показатели установлены у лошадей с генотипом $MSTN^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипами $MSTN^{TT}$ и $MSTN^{CT}$, по оценке двигательных качеств на 14,9 ($P>0,95$) и 9 % соответственно.

Установлено, что наибольшие показатели в стиле шага у лошадей верховых пород с генотипом $PPARGCIA^{CC}$, что на 8,1 % ($P>0,95$) больше, в сравнении с лошадьми, имеющими генотип $PPARGCIA^{GC}$. Установлено, что наибольшие показатели за двигательные качества у лошадей с генотипом $PPARGCIA^{CC}$, что больше на 3,0 % ($P>0,95$) по отношению к животным, имеющим генотип $PPARGCIA^{GC}$. По прыжковым качествам лучший показатель установлен у лошадей с генотипом $PPARGCIA^{GC}$, что больше на 2,9 % ($P>0,95$) в сравнении с лошадьми, имеющими генотип $PPARGCIA^{CC}$.

Установлено, что при выезде наибольшие показатели оценки двигательных качеств у лошадей верховых пород с генотипом $PPARGCIA^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипом $PPARGCIA^{GC}$, на 4,3 % ($P>0,95$). У лошадей, имеющих генотип $PPARGCIA^{GC}$, установлены наибольшие показатели оценки прыжковых качеств, что больше на 4,7 % ($P>0,95$) в сравнении с лошадьми с генотипом $PPARGCIA^{CC}$. В конкуре высокие показатели оценки двигательных и прыжковых качеств установлены у лошадей, имеющих генотип $PPARGCIA^{GC}$, что больше, чем у животных, имеющих генотип $PPARGCIA^{CC}$, на 4,1 ($P>0,95$) и 5,2 % ($P>0,95$) соответственно. В троеборье высокие показатели оценки двигательных качеств установлены у лошадей с генотипом $PPARGCIA^{CC}$, что больше, чем у лошадей с генотипом $PPARGCIA^{GC}$, на 7,9 % ($P>0,95$).

Установлено, что лошади верховых пород с комплексными генотипами $MSTN^{TT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, $MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ и $MSTN^{CT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ превосходят животных с генотипом $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$ в стиле рыси на 17,3 (P>0,999) и 16,3 % (P>0,95), галопа – на 12,8 (P>0,95) и 13,9 % (P>0,95) соответственно. Показатели стиля прыжка у лошадей с комплексными генотипами $MSTN^{CT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ и $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$ соответственно больше на 11,8 (P>0,95) и 8,5 % (P>0,95), чем у лошадей с генотипом $MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$.

Установлено, что по показателям двигательных качеств лошади верховых пород с комплексными генотипами $MSTN^{TT}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ и $MSTN^{CC}COX4I2^{TT}PPARGC1A^{CC}$ превосходят лошадей с генотипом $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$ на 11,3 (P>0,95) и 8,2 % (P>0,95) соответственно. По показателям прыжковых качеств превосходят лошади, имеющие комплексный генотип $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что на 5,7 % (P>0,95) больше в сравнении с лошадьми, имеющими генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{CC}PPARGC1A^{CC}$.

Установлено, что наибольший показатель оценки двигательных качеств при выезде установлен у лошадей верховых пород, имеющих комплексный генотип $MSTN^{TT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что больше на 7,3 % (P>0,95), чем у лошадей с генотипом $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$. При оценке прыжковых качеств наибольший показатель установлен у лошадей с комплексным генотипом $MSTN^{CT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$, что больше на 9,3 % (P>0,95), чем у животных с генотипом $MSTN^{TT}COX4I2^{CT}PPARGC1A^{CC}$.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

Для совершенствования спортивных качеств лошадей рекомендуем использовать гены-маркеры *MSTN* (миостатин), *COX4I2* (цитохромоксидаза) и *PPARGC1A* (1-альфа коактиватор гамма рецептора) в качестве дополнительной генетической информации при отборе животных-носителей «желательных» аллелей в раннем возрасте с учетом их потенциала и планировании индивидуального подбора жеребцов-производителей к маточному поголовью с целью повышения частоты встречаемости «желательного» генотипа в потомстве, учитывая при этом, что наиболее благоприятными для повышения прыжковых качеств являются генотипы $MSTN^{CT}$, $PPARGC1A^{GC}$, $COX4I2^{CT}$, а для двигательных – генотипы $MSTN^{CC}$, $PPARGC1A^{CC}$, $COX4I2^{TT}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в ДНК-технологии : учебник / В. И. Глазко [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2001. – 434 с.
2. 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.
3. Генетические маркеры работоспособности лошадей / Л. А. Храброва [и др.] // Коневодство и конный спорт. – 2022. – № 3. – С. 8–10.
4. Горбуков, М. А. Современные тенденции развития коневодства Республики Беларусь / М. А. Горбуков, Э. А. Байгина // Стратегии развития животноводства России – XXI век (секция коневодства) : материалы научной сессии Россельхозакадемии и координационного совещания по научно-исследовательской работе в коневодстве, Дивово, 24 июля 2001 г. / Всерос. науч.-исслед. ин-т коневодства. – Дивово, 2001. – С. 27–28.
5. 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.
6. Дистанционные способности орловского рысака в связи с мутациями гена *MSTN* / Г. Калинкина [и др.] // Главный зоотехник. – 2019. – № 10. – С. 10–18.
7. Луценко, В. М. Влияние экстерьера на работоспособность лошадей в спортивных и альтернативных сферах использования / В. М. Луценко, Н. П. Петрушко // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства : сб. науч. тр. / Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Горки : БГСХА, 2016. – Вып. 19, ч. 1. – С. 281–289.
8. Работоспособность лошадей в выездке в зависимости от различных параметров / И. Б. Науменко [и др.] // Коневодство и конный спорт. – 2021. – № 6. – С. 37–38.
9. Спектргаплотиповмиостатина (*MSTN*) у лошадей разных пород / С. А. Зеновьева [и др.] // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2020. – № 3. – С. 57–62.
10. Храброва, Л. А. Применение ДНК-технологий для оценки потенциала лошадей / Л. А. Храброва, В. Г. Труфанов // Коневодство и конный спорт. – 2015. – № 1. – С. 20–23.
11. Шишкин, С. С. Миостатин и некоторые другие биохимические факторы, регулирующие рост мышечных тканей у человека и ряда высших позвоночных / С. С. Шишкин // Успехи биологической химии. – 2004. – Т. 44. – С. 209–262.
12. Comparison of Sequence Variants in the *PDK4* and *COX4I2* Genes Between Racing and Cutting Lines of Quarter Horses and Associations With the Speed Index / Guilherme L. Pereira [et al] // Journal of Equine Veterinary Science. – 2016. – Vol. 39. – P. 1–6.
13. Detection and analysis of polymorphism in the promoter region of equine

- PPARGC1A* gene / D. Polasik [et al.] // The Journal of Animal & Plant Sciences. – 2017. – Vol. 27, № 2. – P. 691–695.
14. PGC-1 α encoded by the *PPARGC1A* gene regulates oxidative energy metabolism in equine skeletal muscle during exercise / S. S. Eiverset[et al.] // Animal Genetics. – 2011. – Vol. 43, № 2. – P. 153–162.
 15. 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. – 2010. – Vol. 38. – P. 569–575.
 16. Comparison of Sequence Variants in the PDK4 and COX4I2 Genes Between Racing and Cutting Lines of Quarter Horses and Associations With the Speed Index / Guilherme L. Pereira [et al.] // Journal of Equine Veterinary Science. – 2016. – Vol. 39. – P. 1–6.
 17. Regulation of *PPARGC1A* gene expression in trained and untrained human skeletal muscle / Daniil V. Popov [et al.] // Physiological Reports. – 2017. – Vol. 5. – P. 1–12.
 18. Analysis of polymorphisms in the equine *MSTN* gene in Polish populations of horse breeds / M. Stefaniuka [et al.] // Livestock Science. – 2016. – Vol. 187. – P. 151–157.

Нормативное производственно-практическое издание

**Вишневец Андрей Васильевич,
Красочко Павел Петрович,
Будревич Олеся Леонидовна**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНОВ ЦИТОХРОМОКСИДАЗЫ,
МИОСТАТИНА И 1-АЛЬФА КОАКТИВАТОРА
ГАММА РЕЦЕПТОРА
В СЕЛЕКЦИИ ЛОШАДЕЙ ВЕРХОВЫХ ПОРОД**

РЕКОМЕНДАЦИИ

Ответственный за выпуск А.В. Вишневец
Технический редактор Е. А. Алисейко
Компьютерный набор О. Л. Будревич
Компьютерная верстка Е. В. Морозова
Корректор Е. В. Морозова

Подписано в печать 10.03.2023. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,75. Уч.-изд. л. 1,34. Тираж 50 экз. Заказ 2350.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Витебская ордена «Знак Почета»
государственная академия ветеринарной медицины».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/ 362 от 13.06.2014.
ЛП №: 02330/470 от 01.10.2014 г.
Ул. 1-я Доватора, 7/11, 210026, г. Витебск.
Тел.: (0212) 48-17-82.
E-mail: rio@vsavm.by
<http://www.vsavm.by>