

ИЛЬЮТИК Анна Вячеславовна, канд. биол. наук, доцент

ГИЛЕП Ирина Леонидовна, канд. хим. наук, доцент

Белорусский государственный университет физической культуры,
Минск, Республика Беларусь

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНЬКОБЕЖЦЕВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АЛЛЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНА NOS3

В статье приводятся результаты исследований по выявлению взаимосвязи показателей функционального состояния и физической работоспособности конькобежцев и представителей группы сравнения в зависимости от различных аллельных вариантов гена NOS3. Генетическая комбинация bb-GG гена NOS3 ассоциируется с оптимальным функциональным состоянием системы кровообращения и механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности в покое, при смене положения тела и при выполнении физической нагрузки. У носителей аллелей а или Т гена NOS3 чаще отмечены неадекватные реакции системы кровообращения на физическую нагрузку, свидетельствующие о нарушении механизмов адаптации к мышечной деятельности.

Ключевые слова: функциональное состояние; сердечно-сосудистая система; физическая работоспособность; конькобежцы; аллельные варианты гена.

FUNCTIONAL STATE AND PHYSICAL PERFORMANSCE OF SKATERS DEPENDING UPON ALLELIC VARIANTS OF NOS3 GENE

The article describes the results of researches on identification of interrelationship of indicators of functional state and physical performance of skaters and representatives of the control group depending upon the different allelic variants of NOS3 gene. The bb-GG genetic combination of NOS3 gene is associated with the optimal functional state of the blood circulatory system and the mechanisms of autonomic regulation of cardiac activity at rest, when changing the body position and during exercise. With carriers of a or T alleles of NOS3 gene, inadequate reactions of the blood circulatory system to physical activity are noted more often. Such reactions indicate disorder in adaptation mechanisms to muscle activity.

Keywords: functional state; cardiovascular system; physical performance; skaters; allele variants of the gene.

Введение. Важную роль в достижении высоких спортивных результатов играют наследственные особенности организма [1–4]. При этом несмотря на большое количество литературных данных об ассоциации определенных аллельных вариантов генов с физической активностью человека, актуальными являются углубленные исследования по идентификации генетических маркеров мышечной деятельности в конкретных видах спорта с целью прогнозирования развития двигательных способностей спортсменов. Такие исследования имеют большое практическое значение для эффективного спортивного отбора, корректировки тренировочного процесса и

профилактики профессиональных заболеваний спортсменов [1–7]. Выявление значимых аллельных вариантов генов, обеспечивающих оптимальное функционирование физиологических систем, в том числе сердечно-сосудистой системы (ССС) при выполнении физических нагрузок, является приоритетным направлением современной спортивной науки. От способности ССС адаптироваться к интенсивным физическим нагрузкам во многом зависит уровень спортивной работоспособности. Известно, что регуляция функционирования ССС носит сложный характер и осуществляется при участии не менее 150 генов [5]. Однако выявление даже отдельных аллель-

ных вариантов генов, ответственных за генетическую детерминацию функциональных признаков, может определить подходы к разработке и коррекции тренировочных программ.

Цель исследования – выявить взаимосвязь аллельных вариантов гена NOS3 с показателями тестирования функционального состояния CCC и работоспособности конькобежцев и представителей группы сравнения.

Организация и методы исследования. Исследование проводилось на кафедре физиологии и биохимии учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры». Определение аллельных вариантов гена NOS3 осуществлялось в лаборатории молекулярной диагностики государственного научного учреждения «Институт биоорганической химии НАН Беларуси».

В исследовании приняли участие 20 спортсменов, специализирующихся в конькобежном спорте (мужчины, средний возраст $18,1 \pm 0,6$ года). Квалификация спортсменов: МС – 8 человек, КМС – 8 человек, I взрослый разряд – 4 человека. Группу сравнения составили 20 студентов факультета ОФКиТ учреждения образования «Белорусский государственный университет физической культуры» (мужчины, средний возраст $19,0 \pm 0,2$ года), профессионально не занимающихся спортом и не имеющих спортивных разрядов. Сформированные группы репрезентативны и сопоставимы по возрасту, полу и количественному составу. Предварительно все обследуемые прошли анкетирование со сбором полной информации (наличие спортивного разряда и стажа занятий спортом его родителей, братьев и сестер, сведения о заболеваниях) и подписали информированное согласие.

Для выявления взаимосвязи аллельных вариантов исследуемых генов с фенотипическими характеристиками у спортсменов были определены показатели функционального состояния CCC и проведена оценка физической работоспособности. Оценку физической работоспособности проводили по тесту PWC₁₇₀ (Physical Work Capacity) [8]. Анализ данных производили с помощью пакета программ «Microsoft Office Excel», «IBM SPSS Statistics 20». Значимость различий в частоте аллелей между сравниваемыми выборками определяли с помощью многомерного критерия углового преобразования Фишера (ф). Для выявления значимости различий количественных показателей в группах обследованных использовали U-критерий Манна-Уитни. Количественные данные представлены в виде медианы значений (Me) и интерквартильного размаха с описанием значений 25 и 75 перцентилей: Me (25 %; 75 %). При проведении множественных сравнений с целью минимизации ошибок первого рода использовали поправку Бонферрони. Критическое значение уровня значимости принимали равным 0,05.

Основные результаты исследования. С использованием критерия углового преобразования Фишера выявили статистически значимые различия между частотой встречаемости различных генотипов и комбинаций генотипов рассматриваемого гена у спортсменов и в группе сравнения. Частота встречаемости генотипа bb гена NOS3 (ab–полиморфизм) значимо выше в группе конькобежцев (85,0 %), чем в группе сравнения (60,0 %), $\text{фэмп.}=1,82$ ($P<0,05$, таблица 1). При этом частота встречаемости генотипа ab гена NOS3 у конькобежцев (15,0 %) значимо ниже по сравнению с группой сравнения (40,0 %), $\text{фэмп.} = 1,82$ ($P<0,05$).

Таблица 1. – Распределение частот аллельных вариантов гена NOS3 у конькобежцев и в группе сравнения

Ген	Генотип	Конькобежцы		Группа сравнения		P
		n	%	n	%	
NOS3	bb	17	85,0	12	60,0	P<0,05
	ab	3	15,0	8	40,0	P<0,05
	aa	0	0,0	0	0,0	-
NOS3	GG	16	80,0	17	85,0	P>0,05
	TG	4	20,0	3	15,0	P>0,05
	TT	0	0,0	0	0,0	-
NOS3	bb-GG	13	65,0	9	45,0	P>0,05
	bb-TG	4	20,0	3	15,0	P>0,05
	ab-GG	3	15,0	8	40,0	P<0,05

Примечание – P – достигнутый уровень значимости при сравнении частоты встречаемости генотипов у конькобежцев и в группе сравнения (по критерию углового преобразования Фишера).

Отмечено, что, как в группе конькобежцев, так и в группе сравнения, не выявлено ни одного носителя генотипа aa по ab-полиморфизму и генотипа TT по G894T-полиморфизму гена NOS3 (таблица 1). Отсутствие среди спортсменов носителей генотипов aa и TT гена NOS3 свидетельствует об их ограниченной совместимости с продолжительными физическими нагрузками. Монооксид азота (NO) является одним из наиболее важных биологических медиаторов, который вовлечен во множество физиологических и патофизиологических процессов в большинстве клеток организма [1, 6]. В частности, монооксид азота выполняет функцию вазодилатора, регулирует потребление глюкозы во время физических нагрузок, обеспечивает сократительную функцию миокарда, регулирует тонус гладких мышц (их расслабление), в том числе гладкую мускулатуру кровеносных сосудов. Возможно, снижение синтеза NO ослабляет реализацию ряда вышеперечисленных

физиологических функций, что ведет к ограничению адаптации организма к продолжительным физическим нагрузкам [1, 7].

Частота встречаемости генотипов GG и TG гена NOS3 (G894T-полиморфизм) не отличалась в группе конькобежцев и в группе сравнения (таблица 1).

Проанализирована частота встречаемости различных комбинаций полиморфных вариантов гена NOS3 в группе конькобежцев и в группе сравнения. Частота встречаемости комбинации генотипов bb-GG и bb-TG гена NOS3 в обследованных группах не отличались (таблица 1). При этом частота встречаемости комбинации генотипов ab-GG гена NOS3 у конькобежцев (15,0 %) значимо ниже по сравнению с группой сравнения (40,0 %), фэмп.=1,82 (P<0,05).

С ростом спортивного мастерства у конькобежцев уменьшалась встречаемость а аллеля и ab генотипа гена NOS3 (таблица 2). Так, у спортсменов с I разрядом, ab генотип гена NOS3 отмечен в 50,0 % случаев, у КМС – в 12,5 %, а у МС ab генотип гена NOS3 не отмечен. При этом частота встречаемости генотипа ab гена NOS3 у мастеров спорта значимо ниже по сравнению с представителями группы сравнения (40,0 %), фэмп.=3,27 (P<0,01), а также по сравнению с группой конькобежцев-перворазрядников (50,0 %), фэмп.=2,57 (P<0,01, таблица 2).

С ростом спортивного мастерства у конькобежцев снижалась частота встречаемости T аллеля и TG генотипа гена NOS3 (таблица 2): у спортсменов с I разрядом TG генотип гена NOS3 отмечен в 50,0 % случаев, у КМС – в 25,0 %, а у МС данный генотип не отмечен. При этом частота встречаемости генотипа TG гена NOS3 у мастеров спорта значимо ниже по сравнению с представителями контрольной группы (15,0 %), фэмп.=1,90

($P < 0,05$), а также по сравнению с группой конькобежцев-перворазрядников (50,0 %), $\phi_{эмп.} = 2,57$ ($P < 0,01$, таблица 2).

Присутствие в геноме спортсмена b и G аллелей гена NOS3 приводит к более выраженному расслаблению гладких мышечных волокон артериол микроциркуляторного русла, вызывая их расширение [1, 9]. Такое состояние дает обладателям указанных аллелей преимущество в срочном транспорте кислорода к работающим мышцам, и, следовательно, лучшему развитию аэробного энергообеспечения. У обладателей аллелей a и T гена NOS3 отмечается более низкая концентрация брадикинина в плазме крови, что является фактором риска развития сердечно-сосудистых заболеваний.

В таблице 3 представлены полученные при тестировании физической работоспособности показатели функционального состояния ССС конькобежцев и лиц группы сравнения в зависимости от полиморфных вариантов гена NOS3. В тестировании физической работоспособности принимали участие 18 конькобежцев (МС – 8 человек, КМС – 8, первый разряд – 2) и 20 человек группы сравнения. Первую группу составили конькобежцы, имеющие в геноме ком-

бинацию bb–GG гена NOS3, ассоциированную с проявлением выносливости ($n=12$). Во вторую группу вошли конькобежцы, имеющие комбинации генотипов ab–GG или bb–TG ($n=6$). Третья группа – это представители контроля с генетической комбинацией bb–GG гена NOS3 ($n=9$), четвертая группа – представители контроля с генетическими комбинациями ab–GG или bb–TG ($n=11$).

Полученные результаты свидетельствуют, что средние значения частоты сердечных сокращений (ЧСС), диастолического артериального давления (ДАД) у конькобежцев и у лиц группы сравнения со всеми аллельными вариантами гена NOS3 в покое соответствовали норме. Средние значения систолического артериального давления (САД) незначительно превышали верхнюю границу нормы во всех группах. Установлено, что как конькобежцы, так и лица группы сравнения, имеющие более благоприятную генетическую комбинацию bb–GG гена NOS3, отличались от носителей генотипов ab–GG или bb–TG более низкими значениями ЧСС и артериального давления (таблица 3). Индивидуальный анализ ЧСС показал, что для 27,8 % конькобежцев и 22,2 % неспортсменов с комбинацией bb–GG гена NOS3 была

Таблица 2. – Распределение частот аллельных вариантов генов гена NOS3 у конькобежцев разной квалификации

Ген	Генотип	МС			КМС			I разряд		
		n	%	$\phi_{эмп.}$	n	%	$\phi_{эмп.}$	n	%	$\phi_{эмп.}$
NOS3	bb	8	100,0	P<0,01	7	87,5	$P>0,05$	2	50,0	$P>0,05$
	ab	0	0,0	P<0,01	1	12,5	$P>0,05$	2	50,0	$P>0,05$
	aa	0	0,0	–	0	0,0	–	0	0,0	–
NOS3	GG	8	100,0	P<0,05	6	75,0	$P>0,05$	2	50,0	$P>0,05$
	TG	0	0,0	P<0,05	2	25,0	$P>0,05$	2	50,0	$P>0,05$
	TT	0	0,0	–	0	0,0	–	0	0,0	–

Примечание – P – достигнутый уровень значимости при сравнении частоты встречаемости генотипов у конькобежцев и в группе сравнения (по критерию углового преобразования Фишера).

Таблица 3. – Показатели функционального состояния сердечно-сосудистой системы конькобежцев и лиц группы сравнения в зависимости от аллельных вариантов гена NOS3, Me (25 %;75 %)

Показатели	Конькобежцы		Группа сравнения	
	Группа 1 (bb-GG) n=12	Группа 2 (ab-GG; bb-TG) n=6	Группа 3 (bb-GG) n=9	Группа 4 (ab-GG; bb-TG) n=11
ЧСС, уд/мин	64 (58; 67)	75 (65;85)	62 (61; 65)	72 (62;80)
САД покой, мм рт. ст.	122,5 (120; 130)	127,5 (115; 130)	125 (120; 130)	130 (125; 135)
САД нагр., мм рт. ст.	170 (160; 180)	180 (180; 185)	160 (155; 180)	190 (172,5; 200)
ДАД покой, мм рт. ст.	75 (60; 80)	72,5 (70; 80)	70 (65; 80)	70 (70; 80)
ДАД нагр., мм рт. ст.	47,5 (0; 65)	0 (0; 45)	0 (0; 50)	0 (0; 25)
ПД покой, мм рт. ст.	50 (50; 60)	50 (41; 53)	50 (50; 60)	60 (50; 60)
ПД нагр., мм рт. ст.	130 (91; 177)	175 (132; 184)	155 (132; 180)	190 (125; 197)
ОГП, у. е.	153 (149; 162)	164 (155; 184)	150 (149; 158)	162 (152; 178)
ИН покой, у.е.	39,3*^{2,3} (28,3; 61,4)	103,0*^{1,3,4} (69,4; 109,0)	16,5*^{1,2,4} (11,5; 23,0)	49,6*^{2,3} (34,4; 59,4)
ИН орт., у.е.	90,7*³ (38,8; 164,5)	126,4*³ (74,2; 180,3)	44,3*^{1,3} (22,8; 77,5)	67,6 (33,0; 111,4)
ИН нагр., у.е.	78,2*² (45,3; 178,8)	253,5*¹ (173,0; 696,3)	139,0 (78,0; 249,0)	258,0 (145,0; 524,0)

Примечание – * – Значимые различия между группами по U-критерию Манна-Уитни, P<0,05.

характерна брадикардия, характеризующая экономизацию функций ССС в покое. При этом во второй и четвертой группах (носители комбинаций ab-GG или bb-TG) брадикардия не диагностировалась.

Величина САД после нагрузки у конькобежцев и у лиц группы сравнения, имеющих генетическую комбинацию bb-GG гена NOS3, соответствовала интенсивности выполненной работы. У спортсменов и лиц группы сравнения с генетическими комбинациями ab-GG или bb-TG отмечался рост САД и значительное снижение ДАД после выполнения теста PWC₁₇₀, что в конечном счете привело к существенному увеличению пульсового давления (ПД) после нагрузки. У представителей второй и четвертой групп чаще наблюдался феномен «бесконечного тона» (в 44,4 % случаев в первой группе, в 66,7 % – во второй, в 55,6 % – в третьей и в 72,7 % – в четвертой), сви-

детельствующий о напряженности в работе системы кровообращения. Это в определенной степени обусловило более низкие значения ДАД после нагрузки у представителей второй, третьей и четвертой групп по сравнению со спортсменами первой группы (таблица 3).

Предположительно, именно наличие а или Т аллелей гена NOS3 является одной из причин неадекватной реакции системы кровообращения на физическую нагрузку, свидетельствующей о нарушении механизмов адаптации к мышечной деятельности как у конькобежцев, так и у неспортсменов.

Величина общего гемодинамического показателя (ОГП) у представителей первой и третьей групп соответствовала удовлетворительному состоянию гемодинамики, у представителей второй и четвертой групп – неудовлетворительному (таблица 3). Индивидуальный анализ обсуждаемого показателя выявил, что у

конькобежцев первой группы преобладающим было удовлетворительное состояние гемодинамики (44,4 % случаев). У конькобежцев второй группы преобладающим было неудовлетворительное состояние гемодинамики (50,0 % случаев). Такая же закономерность отмечена и у представителей группы сравнения: в третьей группе чаще всего регистрировалось удовлетворительное состояние гемодинамики (66,7 %), а в четвертой группе – неудовлетворительное состояние гемодинамики (54,5 %). При этом хорошее состояние гемодинамики у представителей четвертой группы не отмечено.

Представленные данные позволяют утверждать, что как для конькобежцев, так и для спортсменов с генетической комбинацией bb–GG гена NOS3, характерно лучшее функциональное состояние системы кровообращения в покое по сравнению с носителями генетических комбинаций ab–GG или bb–TG указанного гена.

Сравнительная характеристика состояния механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности проводилась по показателям кардиоинтервалографии. В таблице 3 представлены значения индексов напряжения (ИН), рассчитанные по показателям кардиоинтервалограммы (КИГ), зарегистрированной в покое, в ортостазе и после выполнения теста PWC_{170} .

Установлено, что в состоянии покоя ИН у представителей первой, второй и четвертой групп, независимо от их генотипа, соответствовал исходной нормотонии, а у представителей третьей группы – исходной ваготонии (таблица 3). Вместе с тем у спортсменов отмечены значимо меньшие показатели ИН, характеризующие меньшее напряжение механизмов вегетативной регуляции

сердечной деятельности, по сравнению с конькобежцами ($P < 0,05$, таблица 3).

При сравнении показателей ИН в зависимости от генетических особенностей обследуемых установлены следующие закономерности. Как у конькобежцев, так и в группе сравнения наличие генетических комбинаций ab–GG или bb–TG гена NOS3 ассоциировалось со значимо более высокими показателями ИН, и, соответственно, большим напряжением механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности ($P < 0,05$, таблица 3). Так, у конькобежцев первой группы величина ИН составила 39,3 у.е., а у конькобежцев второй группы была значимо выше – 103,0 у.е. ($P < 0,05$, таблица 3). Также у спортсменов – носителей генетической комбинации bb–GG (третья группа) величина ИН значимо ниже, чем у спортсменов – носителей генетических комбинаций ab–GG или bb–TG (четвертая группа): 16,5 у.е. и 49,6 у.е. соответственно ($P < 0,05$, таблица 3).

Величины ИН, зарегистрированного в ортостазе и после выполнения тестирующей физической нагрузки, также подтверждают описанные выше закономерности. ИН при смене положения тела у конькобежцев первой группы значимо ниже (90,7 у.е.), чем у спортсменов второй группы (126,4 у.е., $P < 0,05$, таблица 3). У спортсменов третьей группы ИН при смене положения тела ниже (44,3 у.е.), чем у спортсменов четвертой группы (67,6 у.е.).

Величина ИН после выполнения пробы PWC_{170} у конькобежцев с менее благоприятными генетическими комбинациями ab–GG или bb–TG была в 3,2 раза выше по сравнению со спортсменами – носителями генетической комбинации bb–GG (таблица 3). Такие же особенности отмечены у лиц группы сравнения: величина ИН после выполне-

ния пробы PWC_{170} у носителей комбинаций $ab-GG$ или $bb-TG$ гена $NOS3$ была в 1,9 раз выше по сравнению с спортсменами – носителями генетической комбинации $bb-GG$. У конькобежцев первой группы после выполнения тестирующей физической нагрузки ИН увеличился в 2 раза, у конькобежцев второй группы – в 2,5 раза. У спортсменов прирост данного показателя был значительно больше: у представителей третьей группы после выполнения тестирующей физической нагрузки ИН увеличился в 8,4 раза, у представителей четвертой группы – в 5,2 раза (таблица 3).

Таким образом, в ортостазе, а также при выполнении тестирующей физической нагрузки у носителей генетической комбинации $bb-GG$ наблюдалась наиболее оптимальная активизация симпатического звена вегетативной нервной системы по сравнению с носителями генетических комбинаций $ab-GG$ или $bb-TG$ (как у конькобежцев, так и у спортсменов). В целом оптимальное функциональное состояние механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности (исходная ваготония или

исходная нормотония в сочетании с нормотоническим типом вегетативной реактивности) у носителей генетической комбинации $bb-GG$ гена $NOS3$ наблюдалось чаще (в 33,3 % случаев в первой и третьей группах), чем у носителей генетических комбинаций $ab-GG$ или $bb-TG$ (в 16,7 % случаев во второй группе и в 18,2 % – в четвертой группе).

Представленные данные позволяют утверждать, что как для конькобежцев, так и для спортсменов, имеющих генетическую комбинацию $bb-GG$ гена $NOS3$, характерно лучшее функциональное состояние механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности в покое, при смене положения тела и при выполнении физической нагрузки по сравнению с носителями генетических комбинаций $ab-GG$ или $bb-TG$ указанного гена.

В таблице 4 представлены полученные показатели физической работоспособности конькобежцев и лиц группы сравнения в зависимости от полиморфных вариантов гена $NOS3$.

Конькобежцы отличались более высокими показателями PWC_{170} по

Таблица 4. – Показатели физической работоспособности конькобежцев и лиц группы сравнения в зависимости от полиморфных вариантов гена $NOS3$, Ме (25 %; 75 %)

Показатели	Конькобежцы		Контрольная группа	
	Группа 1 ($bb-GG$) n=12	Группа 2 ($ab-GG$; $bb-TG$) n=6	Группа 3 ($bb-GG$) n=9	Группа 4 ($ab-GG$; $bb-TG$) n=11
Мощность, Вт	188 (175; 210)	194 (170; 226)	140 (130; 147)	150 (143; 165)
ЧССнагр., уд/мин	164 (153; 167)	159 (158; 160)	160 (158; 168)	162 (160; 169)
PWC_{170} , Вт	224,0^{*3,4} (200,0; 250,0)	228,0^{*3,4} (204,3; 238,5)	142,6^{*1,2} (141,4; 189,4)	168,0^{*1,2} (150,7; 180,1)
PWC_{170} отн., кгм/мин	1344^{*3,4} (1199; 1502)	1368^{*3,4} (1226; 1434)	855^{*1,2} (848; 1136)	1008^{*1,2} (904; 1080)
МПК, мл/мин	3525^{*3,4} (3279; 3793)	3566^{*3,4} (3324; 3672)	2694^{*1,2} (2681; 3172)	2954^{*1,2} (2777; 3077)
МПКотн., мл/кг/мин	44,3^{*3} (42,3; 49,3)	46,1 (40,9; 50,0)	39,9^{*1} (39,3; 42,4)	40,7 (38,5; 42,1)

Примечание – * – Значимые различия между группами по U-критерию Манна-Уитни, $P < 0,05$.

сравнению с неспортсменами ($P < 0,05$, таблица 4). Анализ показателей системы кровообращения при тестировании физической работоспособности выявил, что по величине ЧСС после нагрузки между представителями всех четырех групп отсутствовали существенные различия (таблица 4). Однако следует отметить, что мощность нагрузки у конькобежцев была на 22,5–25,0 % выше, чем в группах контроля. Следовательно, одинаковые значения ЧСС при выполнении более мощной нагрузки свидетельствуют об эффективной адаптации ССС конькобежцев к напряженным физическим нагрузкам по сравнению с лицами группы сравнения.

По результатам тестирования рассчитывалась величина МПК. Установлено, что абсолютные значения МПК (мл/мин) у конькобежцев были выше, чем у лиц группы сравнения с такими же генотипами ($P < 0,05$, таблица 4). Относительные значения МПК (мл/мин/кг) у конькобежцев выше, чем у лиц группы сравнения, различия значимы при сравнении первой и третьей групп ($P < 0,05$, таблица 4). Так, абсолютная работоспособность спортсменов генотипом bb–GG выше на 57,1 %, а МПК на 30,8 %, чем у представителей группы сравнения с генотипом bb–GG. Абсолютная работоспособность спортсменов генотипами ab–GG или bb–TG выше на 35,7 %, а МПК на 20,7 %, чем у представителей группы сравнения с такими же генетическими комбинациями. При этом работоспособность конькобежцев с разными полиморфными вариантами гена NOS3 не отличалась. Также не выявлено различий в показателях физической работоспособности у представителей группы сравнения в зависимости от генотипов гена NOS3 (таблица 4).

При проведении индивидуального анализа показателей физической работоспособности и МПК рассчитывали величину должного МПК в зависимости от возраста испытуемых. Уровень физической работоспособности конькобежцев и представителей контрольной группы оценивали также по отношению полученных показателей МПК и ДМПК. Если величина МПК составляет 50–60 % от ДМПК, то уровень физической работоспособности оценивается как низкий, 61–74 % – ниже среднего, 75–90 % – средний, 90–100 % – выше среднего, более 100 % – высокий.

Соотношение МПК/ДМПК в первой группе составило $101,0 \pm 10,0$ %. Во второй группе – $96,1 \pm 15,1$ %, в третьей группе – $86,3 \pm 5,5$ %, а в четвертой группе – $83,7 \pm 6,7$ %. При этом у конькобежцев не отмечен низкий или ниже среднего уровень физической работоспособности, а в группе сравнения не было лиц с высоким уровнем физической работоспособности.

Представленные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что конькобежцы независимо от полиморфных вариантов гена NOS3 отличались от представителей группы сравнения более высоким уровнем физической работоспособности, МПК и лучшими аэробными возможностями организма.

Заключение. У конькобежцев с ростом спортивного мастерства увеличивается частота встречаемости b аллеля и bb генотипа, а также G аллеля и GG генотипа гена NOS3. Наличие данных полиморфных вариантов указанного гена является благоприятным генетическим фактором, определяющим достижение высоких спортивных результатов в конькобежном спорте.

Генетическая комбинация bb–GG гена NOS3 является более благоприятной

ятной как для конькобежцев, так и для неспортсменов. Указанное сочетание генотипов гена NOS3, вероятно, ассоциируется с более оптимальным функциональным состоянием системы кровообращения и механизмов вегетативной регуляции сердечной деятельности в покое, при смене положения тела и при выполнении физической нагрузки. Наличие в геноме а или Т аллелей гена NOS3 (генетические комбинации ab–GG

или bb–TG) как у спортсменов, так и у представителей группы сравнения связано с напряжением функционирования ССС. У носителей а или Т аллелей гена NOS3 чаще отмечены неадекватные реакции системы кровообращения на физическую нагрузку, свидетельствующие о нарушении механизмов адаптации к мышечной деятельности.

1. Ахметов, И. И. Молекулярная генетика спорта / И. И. Ахметов. – М. : Советский спорт, 2009. – 268 с.
2. Мосэ, И. Б. Некоторые аспекты ассоциации генов с высокими спортивными достижениями / И. Б. Мосэ [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – Т. 21, № 4. – С. 296–303.
3. Roth, S. M. Critical overview of applications of genetic testing in sport talent identification / S. M. Roth // Recent patents on DNA and gene sequences. – 2012. – Vol. 6, № 3. – P. 247–255.
4. Mattson C. M. Sports genetics moving forward: lessons learned from medical research / C. M. Mattson [et al.] // Physiological Genomics. – 2016. – Vol. 48, № 3. – P. 175–182.
5. Козлова, А. С. Генетические маркеры сердечно-сосудистой патологии спортсменов спорта высших достижений / А. С. Козлова [и др.] // Экологический вестник. – 2014. – № 2. – С. 42–49.
6. Гилеп, И. Л. Использование данных молекулярной диагностики для специализации и индивидуализации тренировочного процесса конькобежцев: метод. рекомендации / И. Л. Гилеп, А. В. Ильютик, И. Н. Рубчя – Минск : БГУФК, 2014. – 68 с.
7. Ильютик, А. В. Взаимосвязь полиморфизмов генов с развитием физических качеств у спортсменов (на примере конькобежного спорта) / А. В. Ильютик, И. Л. Гилеп // Наука в олимпийском спорте. – 2017. – № 3. – С. 51–56.
8. Карпман, В. Л. Тестирование в спортивной медицине / В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский, И. А. Гудков. – М. : Физкультура и спорт, 1988. – 208 с.
9. Ильютик, А. В. Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы высококвалифицированных конькобежцев в зависимости от полиморфизма генов BDKRB2, ACE, NOS3 / А. В. Ильютик [и др.] // Новости медико-биологических наук (News of Biomedical Sciences). – 2014. – Т. 9, № 2. – С. 85–91.

Поступила 22.05.2019