

IV. МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

ОЦЕНКА ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КОНЬКОБЕЖЦЕВ С РАЗЛИЧНЫМИ ПОЛИМОРФНЫМИ ВАРИАНТАМИ ГЕНОВ BDKRB2 И NOS3

И.Л. Гилеп, канд. хим. наук, А.В. Ильютик,
Белорусский государственный университет физической культуры,
В.А. Синелев,
Институт биоорганической химии НАН Беларуси

Гены BDKRB2 и NOS3 оказывают влияние на работу сердечно-сосудистой системы, а также ассоциированы с физической работоспособностью человека. Спортсмены-носители аллеля –9 гена BDKRB2 обладают лучшей аэробной выносливостью. Более высокие показатели работоспособности в анаэробном режиме работы характерны в группе с генотипом +9+9 гена BDKRB2. Конькобежцы с гетерозиготным генотипом по G894T полиморфизму гена NOS3 характеризуются более экономичной работой сердечно-сосудистой системы. Конькобежки, обладающие bb генотипом по полиморфизму 4b/4a гена NOS3, имеют более высокий уровень аэробной выносливости.

Genes BDKRB2 and NOS3 influence the cardiovascular system functioning and are associated with human physical efficiency. Athletes-carriers of the allele –9 of the gene BDKRB2 have a better aerobic endurance. Higher efficiency levels demonstrated in aerobic conditions are characteristic for the genotype +9+9 group of the BDKRB2 gene. Skaters with the heterozygous genotype of G894T polymorphism of the NOS3 gene are characterized by a more economical functioning of the cardiovascular system. Women-skaters with bb genotype of 4b/4a polymorphism of the NOS3 gene have higher levels of aerobic endurance.

Современные подходы к отбору спортсменов и персонификации тренировочного процесса должны учитывать их генотипические особенности. Изучение влияния генетической детерминированности на тренируемость спортсменов в последующем может определить подходы к разработке и коррекции тренировочных программ спортсменов с учетом их генетического полиморфизма.

Показано, что продукты гена β 2-рецептора брадикинина (BDKRB2) и эндотелиальной NO-синтазы (NOS3) оказывают влияние на работу сердечно-сосудистой системы, а также ассоциированы с физической работоспособностью человека [1–9]. Аллель –9 гена BDKRB2 ассоциируется с более высоким уровнем экспрессии мРНК β 2-рецептора брадикинина, а, следовательно, действуя через β 2-рецепторы, брадикинин может лучше расслаблять гладкие мышечные волокна артериол микроциркуляторного русла и вызывать их расширение [1–6].

Т аллель гена *NOS3* ассоциируется с низкой активностью эндотелиальной NO-синтазы, которая участвует в синтезе монооксида азота эндотелием и, следовательно, в регуляции сосудистого тонуса, кровотока и артериального давления. Наличие четырех двадцатисеминуклеотидных участков (аллель а) вместо пяти (аллель b) обуславливает снижение активности фермента и, как следствие, уровня оксида азота в эндотелиальных клетках кровеносных сосудов [1–4, 7–9].

Цель исследования состояла в изучении показателей физической работоспособности у высококвалифицированных конькобежцев с учетом инсерционно-делеционного +9/–9 полиморфизма гена *BDKRB2*, вариаций G894T и 4b/4a гена *NOS3*.

Материалы и методы исследования. В исследовании приняли участие 29 высококвалифицированных спортсменов, специализирующихся в конькобежном спорте. Среди них 5 МСМК, 18 МС, 6 КМС. Обработаны данные 75 обследований на этапах многолетней подготовки, проведенных в лаборатории биохимии спорта НИИ ФКиС РБ. Все спортсмены были разделены на группы в соответствии с полиморфным вариантом изучаемого гена.

Выделение ДНК осуществляли из капиллярной крови. Для определения полиморфизма генов *BDKRB2* и *NOS3* использовали метод амплификации полиморфного участка с помощью термостабильной Taq-ДНК-полимеразы. Полиморфный участок амплифицировали с использованием двухпраймерной системы ген-специфичных олигонуклеотидов к фрагменту гена, прилегающего к полиморфному участку. Исследования проводились в лаборатории молекулярной диагностики ИБОХ НАН Беларуси.

Для исследования динамики биоэнергетических возможностей спортсменов изучались показатели физической работоспособности и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) в различных зонах энергообеспечения. В качестве тестирующей нагрузки применялся субмаксимальный велоэргометрический тест со ступенчато возрастающей нагрузкой. Каждые две минуты мощность нагрузки увеличивалась на 150 кгм/мин без интервалов отдыха вплоть до отказа от работы из-за усталости. На каждой ступени выполнения теста регистрировали ЧСС. Забор крови для определения лактата осуществляли из пальца на ступенях задания. Определение концентрации лактата осуществляли с использованием анализатора лактата «BIOSEN» (ЕКФ, Германия). По данным тестирования строили графики зависимости «работа – лактат» и «работа – ЧСС». Рассчитывали мощность работы и частоту сердечных сокращений в различных зонах энергообеспечения.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием методов общей статистики. Вычисляли среднее значение показателя и среднее квадратическое отклонение.

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнительный анализ результатов тестирования показал, что спортсмены с генотипом +9–9 и –9–9 гена *BDKRB2* обладают более высокой работоспособностью на уровне порога аэробного обмена (АП) по сравнению с обладателями генотипа +9+9 (866,6±54,8 кгм/мин, 918,1±66 кгм/мин и 645,5±82,7 кгм/мин соответственно, $P < 0,05$). На уровне анаэробного порога (АнП) обладатели аллеля –9 гена *BDKRB2* выполняли физическую нагрузку более высокой мощности, чем обладатели генотипа +9+9 гена *BDKRB2*, $P < 0,05$ (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели физической работоспособности спортсменов мужчин в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=4)	+9-9 (n=33)	-9-9 (n=12)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	645,5±82,7*^{2,3}	866,6±54,8*¹	918,1±66*¹
АНП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	1113±70,8*^{2,3}	1359±60,8*¹	1372±76,5*¹
А _{смеш} , кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1386.5±75.7	1630.1±59.1	1556±103.5
А _{макс} , кгм/мин	1613±71,8*²	1821±50,3*¹	1763±128
ЧСС _{АП} , уд/мин	113±8.69	128.3±4.23	136±5.76
ЧСС _{АНП} , уд/мин	156.5±2.78	164.5±2.67	166.5±3.23
ЧСС _{смеш} , уд/мин	173.0±2.35	178.8±2.19	172.7±4.0
ЧСС _{макс} , уд/мин	183.5±2.25	181.4±1.51	179.4±1.88
Лактат макс, ммоль/л	8.93±1.37	8.0±0.48	8.16±0.63

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1, 2 и 3-й группами. P<0.05.

Также наблюдаются достоверные отличия в показателях максимальной работоспособности на пике концентрации лактата (А_{макс}) между группами спортсменов с полиморфными вариантами +9+9 гена *BDKRB2* и +9-9 гена *BDKRB2*, P<0,05 (таблица 1).

Проанализировав показатели конькобежцев, специализирующихся в беге на короткие дистанции, обнаружили, что мощность на уровне аэробного порога в группе +9+9 гена *BDKRB2* ниже (P<0,05), чем в группе с +9-9 того же гена и составляет соответственно 645,5±82,7кгм/мин и 865,1±58,8 кгм/мин (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели физической работоспособности спортсменов, специализирующихся в конькобежном спорте на короткие дистанции, в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>	
	1-я группа	2-я группа
	+9+9 (n=4)	+9-9 (n=12)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	645,5±82,7*²	865,1±58,8*¹
АНП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	1113±70.8	1315.9±118.2
А _{смеш} , кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1386.5±75.7	1442.92±88.2
А _{макс} , кгм/мин	1613±71.8	1542.9±61.8
ЧСС _{АП} , уд/мин	113±8.69	137.0±7.84
ЧСС _{АНП} , уд/мин	156.5±2.78	167.5±5.5
ЧСС _{смеш} , уд/мин	173.0±2.35	176.6±4.73
ЧСС _{макс} , уд/мин	183.5±2.25	180.3±1.94
Лактат макс, ммоль/л	8.93±1.37	7.52±0.88

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1 и 2-й группами. P<0.05.

У женщин в группе с гетерозиготным генотипом гена *BDKRB2* отмечены самые высокие показатели мощности работы как на уровне аэробного порога, так и на уровне анаэробного порога (таблица 3). Самые низкие показатели мощности на уровне аэробного порога наблюдались у представительниц +9+9 гена *BDKRB2*. В то же время максимальная работоспособность на пике концентрации лактата в группе +9+9 с полиморфизмом гена *BDKRB2* составляла $1380 \pm 70,0$ кгм/мин и была выше, чем в группе с полиморфным вариантом +9–9 гена *BDKRB2* ($1335 \pm 47,2$ кгм/мин), и значительно выше по сравнению с группой обладателей полиморфизма –9–9 гена *BDKRB2* ($1128 \pm 33,8$ кгм/мин, $P < 0,05$).

Таблица 3 – Показатели физической работоспособности спортсменок в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=10)	+9–9 (n=10)	–9–9 (n=23)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	$541,6 \pm 38,8^{*2}$	$624,2 \pm 54,5^{*1}$	$591 \pm 46,7$
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	$990 \pm 63,6$	$1018 \pm 38,3^{*3}$	$899,8 \pm 40,1^{*2}$
$A_{смеш}$, кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	$1254 \pm 89,9$	$1208 \pm 41,7$	$1095 \pm 48,4$
$A_{макс}$, кгм/мин	$1380 \pm 70,0^{*3}$	$1335 \pm 47,2^{*3}$	$1128 \pm 33,8^{*1,2}$
ЧСС _{АП} , уд/мин	$119,3 \pm 5,49$	$126,8 \pm 7,29$	$136,4 \pm 6,68$
ЧСС _{АнП} , уд/мин	$162,9 \pm 1,68$	$165,6 \pm 3,35$	$168,6 \pm 2,47$
ЧСС _{смеш} , уд/мин	$179,8 \pm 1,62$	$180,2 \pm 3,73$	$183,5 \pm 2,1$
ЧСС _{макс} , уд/мин	$184,3 \pm 1,46$	$182,3 \pm 3,36$	$183,9 \pm 1,67$
Лактат макс, ммоль/л	$8,0 \pm 0,73$	$7,9 \pm 0,71$	$7,34 \pm 0,46$

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1, 2 и 3-й группами. $P < 0,05$.

Анализ физической работоспособности конькобежек, специализирующихся в беге на короткие дистанции, выявил наиболее высокие показатели максимальной работоспособности на пике лактата у спортсменок с полиморфным вариантом +9+9 гена *BDKRB2* ($1500 \pm 56,6$ кгм/мин) по сравнению с другими полиморфизмами. Показатели максимальной работоспособности в других группах были значительно ниже и составляли $1328 \pm 76,3$ кгм/мин в группе с вариантом +9–9 гена *BDKRB2* ($P < 0,05$) и $1128 \pm 33,8$ кгм/мин с полиморфизмом –9–9 гена *BDKRB2* ($P < 0,001$). Работоспособность на уровне анаэробного порога выше у спортсменок с гетерозиготным генотипом по сравнению с гомозиготными. При этом отличия были достоверны ($P < 0,05$) в группах с +9–9 генотипом гена *BDKRB2* и –9–9 полиморфным вариантом гена *BDKRB2* и составляли $1032 \pm 66,6$ кгм/мин $897,8 \pm 42,1$ кгм/мин соответственно. Снижение мощности выполняемой работы наблюдалось в смешанной аэробно-анаэробной зоне ($A_{смеш}$) от группы с +9+9 полиморфным вариантом к группе с –9–9 генотипом

гена *BDKRB2*, различия между первой и третьей группами достоверные, $P < 0.05$ (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели физической работоспособности спортсменок, специализирующихся в конькобежном спорте на короткие дистанции, в различных полиморфных группах гена *BDKRB2* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>BDKRB2</i>		
	1-я группа	2-я группа	3-я группа
	+9+9 (n=3)	+9-9 (n=5)	-9-9 (n=22)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	499±107	657±35,6	586±49,5
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	967±68,9	1032±66,6*³	897,8±42,1*²
А _{смеш.} , кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1247±42,6*³	1169±75,6	1098±50,9*¹
А _{макс.} , кгм/мин	1500±56,6*^{3,2}	1328±56,3*^{3,1}	1128±33,8*^{1,2}
ЧСС _{АП} , уд/мин	116,3±10,7	126,0±10,35	135,9±7,09
ЧСС _{АнП} , уд/мин	161,3±2,6	160,0±6,1	168,4±2,59
ЧСС _{смеш.} , уд/мин	178,7±1,2	173,0±6,67	183,6±2,2
ЧСС _{макс.} , уд/мин	184±3,28	185,7±7,61	184,1±1,73
Лактат макс, ммоль/л	8,63±0,95	8,16±1,05	7,39±0,48

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1, 2 и 3-й группами. $P < 0.05$.

У представительниц полиморфного варианта +9+9 гена *BDKRB2*, специализирующихся в беге на короткие дистанции, показатели максимальной работоспособности на пике лактата значительно выше, чем у конькобежек, специализирующихся в беге на длинные дистанции, и составляли 1500±56,6 кгм/мин и 1307±66,3 кгм/мин соответственно, $P < 0,05$ (таблица 5).

Таблица 5 – Показатели физической работоспособности спортсменок с полиморфным вариантом +9+9 гена *BDKRB2* разной специализации при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Специализация спортсменок	
	1-я группа	2-я группа
	спринт (n=3)	длина (n=5)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	499±107	559,7±37,2
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	967±68,9	999,71±89,1
А _{смеш.} , кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1247±42,6	1257±130
А _{макс.} , кгм/мин	1500±56,6*²	1307±66,3*¹
ЧСС _{АП} , уд/мин	116,3±10,7	120,6±6,87
ЧСС _{АнП} , уд/мин	161,3±2,6	163,6±2,2
ЧСС _{смеш.} , уд/мин	178,7±1,2	180,0±2,3
ЧСС _{макс.} , уд/мин	184±3,28	184,3±1,74
Лактат макс, ммоль/л	8,63±0,95	7,73±0,98

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1 и 2-й группами. $P < 0.05$.

Сопоставление данных тестирования биоэнергетических возможностей конькобежцев с различными полиморфными вариантами гена *NOS3* выявило отсутствие достоверных отличий у мужчин-конькобежцев двух групп с *ab* и с *bb* вариантами гена *NOS3* по показателям мощности во всех зонах энергообеспечения (таблица 6). Мощность на уровне анаэробного порога у спортсменов с *bb* полиморфным вариантом гена *NOS3* была немного ниже, чем у представителей *ab* генотипа того же гена ($1293,2 \pm 43,3$ кгм/мин и $1350,2 \pm 81,7$ кгм/мин соответственно, $P > 0,05$). Максимальная же работоспособность была немного выше у представителей *bb* генотипа гена *NOS3* (таблица 6).

Таблица 6 – Показатели физической работоспособности спортсменов-мужчин в различных полиморфных группах гена *NOS3* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>NOS3</i>	
	1-я группа	2-я группа
	<i>ab</i> (n=24)	<i>bb</i> (n=28)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	$864,1 \pm 69,3$	$836,9 \pm 43,6$
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	$1350,2 \pm 81,7$	$1293,2 \pm 43,3$
$A_{смеш}$, кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	$1564,8 \pm 83,4$	$1563,3 \pm 49,8$
$A_{макс}$, кгм/мин	$1687 \pm 63,4$	$1757 \pm 63,5$
ЧСС _{АП} , уд/мин	$126,3 \pm 5,91$	$128,4 \pm 3,75$
ЧСС _{АнП} , уд/мин	$164,2 \pm 3,51$	$163,3 \pm 1,86$
ЧСС _{смеш} , уд/мин	$177,8 \pm 2,84$	$177 \pm 1,77$
ЧСС _{макс} , уд/мин	$180 \pm 16,1$	$182,8 \pm 1,42$
Лактат макс. ммоль/л	$7,92 \pm 0,65$	$8,28 \pm 0,43$

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1 и 2-й группами. $P < 0,05$.

Проведя сравнительный анализ результатов тестирования с учетом специализации конькобежцев, было обнаружено, что показатели работоспособности во всех зонах энергообеспечения лучше у спортсменов-многоборцев, имеющих *bb* генотип гена *NOS3*, по сравнению со спринтерами, обладающими тем же генотипом. Так, у многоборцев с *bb* генотипом достоверно выше мощность работы на уровне аэробного порога, нежели у спринтеров *bb* генотипа ($878,6 \pm 48,8$ кгм/мин и $656,8 \pm 79,1$ кгм/мин соответственно, $P < 0,05$) и работоспособность в смешанной аэробно-анаэробной зоне (1594 ± 59 кгм/мин и $1396 \pm 63,4$ кгм/мин соответственно, $P < 0,05$).

Показатели ЧСС на уровне аэробного и анаэробного порогов достоверно ниже у спортсменов с *bb* генотипом, специализирующихся в беге на коньках на всех дистанциях, по сравнению со спортсменами с *bb* генотипом, специализирующимися только в беге на короткие дистанции, и составляют $108 \pm 5,23$ уд/мин и $133 \pm 3,94$ уд/мин на уровне АП, $153 \pm 2,5$ уд/мин и $165 \pm 2,00$ уд/мин на уровне АнП соответственно (таблица 7).

Таблица 7 – Показатели физической работоспособности спортсменов-мужчин в различных полиморфных группах гена *NOS3* с учетом специализации при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>NOS3</i>			
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
	спринт		многоборье	
	ab (n=13)	bb (n=5)	ab (n=11)	bb (n=20)
АП, кгм/мин	881.4±118	656,8±79,1* ⁴	848.5±82.9	878,6±48,8* ²
АНП, кгм/мин	1328±127	1123±55.8	1377±102	1325±50.2
A _{смеш} , кгм/мин	1444±96.2	1396±63,4* ⁴	1686±130	1594±59* ²
A _{макс} , кгм/мин	1558±69.0	1560±36,7	1841±95.1	1786±78.9
ЧСС _{АП} , уд/мин	130±9.62	133±3,94* ⁴	123±7.39	108±5,23* ²
ЧСС _{АНП} , уд/мин	168±5.76	165±2,00* ⁴	160.3±3.45	153±2,5* ²
ЧСС _{смеш} , уд/мин	181±4.24	178±2.10	175±3.81	171±2.39
ЧСС _{макс} , уд/мин	189±2,09* ^{2,3}	179±2,03* ¹	178±1,45* ^{1,4}	184±1,75* ³
Лактат макс. ммоль/л	7,67±1.08	8.28±0.69	848.5±82.9	8.18±0.51

Примечание – * – различия достоверны в сравнении между группами. P<0.05.

Сравнительный анализ полиморфных вариантов гена *NOS3* среди спринтеров показал, что максимальная ЧСС достоверно выше в группе ab генотипом по сравнению с группой bb генотипа (189±2,09 уд/мин и 179±2,03 уд/мин соответственно, P<0,05). В то же время мощность работы во всех зонах энергообеспечения была немного выше у спортсменов с bb генотипом (таблица 7).

Анализ полиморфных вариантов гена *NOS3* среди многоборцев показал, что в группе с ab генотипом немного выше показатели максимальной работоспособности, однако различия не достоверны (таблица 7). В то время как у представителей с bb полиморфным вариантом гена *NOS3* немного ниже ЧСС на уровне всех зон энергообеспечения, максимальная ЧСС у них достоверно выше, по сравнению с группой ab генотипа того же гена и составляет 184±1,75 уд/мин и 178±1,45 уд/мин, соответственно, P<0,05 (таблица 7).

Анализ данных велоэргометрического тестирования женщин показал, что мощность на уровне аэробного порога достоверно выше в группе с bb генотипом гена *NOS3*, по сравнению с группой с гетерозиготным полиморфизмом, и составляет 508±51,4 кгм/мин и 632±28,4 кгм/мин соответственно, P<0,05 (таблица 8). При этом ЧСС на уровне аэробного порога в гомозиготной группе достоверно ниже и составляет 118±7.33 уд/мин по сравнению с группой спортсменок, имеющих ab вариант гена *NOS3* (136±4,15 уд/мин, P<0,05).

В группе спортсменок, специализирующихся в беге на короткие дистанции, были выявлены аналогичные закономерности. Так, представительницы bb варианта гена *NOS3* имели более высокие показатели мощности на уровне аэробного порога (645±28,2 кгм/мин), по сравнению с группой спортсменок, имеющих ab полиморфизм того же гена (645±28,2 кгм/мин, P<0.05. таблица 9).

Таблица 8 – Показатели физической работоспособности спортсменок в различных полиморфных группах гена *NOS3* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>NOS3</i>	
	1-я группа	2-я группа
	ab (n=14)	bb (n=28)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	508±51,4*²	632±28,4*¹
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	953±52.3	945±32.6
А _{смеш.} , кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1209±72.5	1133±39.1
А _{макс.} , кгм/мин	1254±73.1	1205±26.4
ЧСС _{АП.} , уд/мин	118±7,33*²	136±4,15*¹
ЧСС _{АнП.} , уд/мин	164±2.21	168±1.99
ЧСС _{смеш.} , уд/мин	181±1.84	182±1,91
ЧСС _{макс.} , уд/мин	181±2,39	181±1.36
Лактат макс, ммоль/л	7.18±0.64	7.55±0.42

Примечание –* – различия достоверны в сравнении с 1 и 2-й группами, P<0.05.

Таблица 9 – Показатели физической работоспособности спортсменок в различных полиморфных группах гена *NOS3* с учетом специализации при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>NOS3</i>			
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
	спринт		длина	
	ab (n=7)	bb (n=22)	ab (n=7)	bb (n=6)
АП, кгм/мин	432±96,5*²	645±28,2*¹	573±40.5	595±79.8
АнП, кгм/мин	895±56,7	936±39,8	1011±86.8	980±46.9
А _{смеш.} , кгм/мин	1150±51,0	1112±47.5	1259±129	1210±47,7
А _{макс.} , кгм/мин	1200±113	1188±32.3	1307±96,6	1225±46.1
ЧСС _{АП.} , уд/мин	113±13,9	139±4,6	122±7,42	129±9,29
ЧСС _{АнП.} , уд/мин	163±3,93	167,5±2,5	164±2,37	170±2,17
ЧСС _{смеш.} , уд/мин	183±3,12	181±2,38	180±2,28	185±1,89
ЧСС _{макс.} , уд/мин	179±4,43	185±1,63	183±1,95	184±2,14
Лактат макс, ммоль/л	6,64±0,84	7,74±0,49	7,71±0,98	6,77±0,84

Примечание – * – различия достоверны в сравнении между группами. P<0.05.

В ходе проведенного исследования проанализировали взаимосвязь полиморфизма G894T гена *NOS3* с показателями велоэргометрического тестирования мужчин. Было обнаружено, что у спортсменов с гетерозиготным вариантом гена *NOS3* более низкие показатели ЧСС на уровне анаэробного порога и в смешанной аэробно-анаэробной зоне по сравнению с представителями GG генотипа гена *NOS3*. ЧСС на уровне анаэробного порога составляла 163,4±1,74 уд/мин у спортсменов с GG генотипом и 155,3±2,57 уд/мин у представителей с TG генотипом гена *NOS3* (P<0,05, таблица 10). ЧСС в смешанной аэробно-анаэробной зоне составляла 178,2±1,44 уд/мин у спортсменов с GG генотипом и 169,3±2,18 уд/мин у представителей с TG генотипом гена *NOS3* (P<0,05, таблица 10). Среди конькобежцев немного более высокими показателями работоспособности на уровне анаэробного порога обладали представители GG генотипа гена *NOS3* (P>0,05), по сравнению с обладателями гетерозиготным вариантом того же гена.

однако работоспособность максимальная и в смешанной аэробно-анаэробной зоне немного выше ($P > 0,05$) была у спортсменов с TG полиморфным вариантом гена *NOS3* (таблица 10).

Таблица 10 – Показатели физической работоспособности спортсменов-мужчин в различных полиморфных группах гена *NOS3* при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>NOS3</i>	
	1-я группа	2-я группа
	GG (n=30)	TG (n=13)
АП, кгм/мин (лактат 2 ммоль/л)	860±48.2	815±60.8
АнП, кгм/мин (лактат 4 ммоль/л)	1305±52.7	1286±80.8
А _{смеш} , кгм/мин (лактат 6 ммоль/л)	1496±40.5	1590±102
А _{макс} , кгм/мин	1709±53.4	1835±105
ЧСС _{АП} , уд/мин	126.3±2.80	121.3±5.67
ЧСС _{АнП} , уд/мин	163,4±1,74*²	155,3±2,57*¹
ЧСС _{смеш} , уд/мин	178,2±1,44*²	169,3±2,18*¹
ЧСС _{макс} , уд/мин	183±1.18	178±2.65
Лактат макс, ммоль/л	8.19±0.43	9.12±0.84

Примечание – * – различия достоверны в сравнении с 1 и 2-й группами. $P < 0.05$.

Всех конькобежцев с учетом специализации разделили на спринтеров и многоборцев. Среди спортсменов, специализирующихся в конькобежном беге на короткие дистанции, наблюдалась более высокая концентрация лактата на пике мощности нагрузки в группе с гетерозиготным вариантом гена *NOS3* ($12,0 \pm 1,62$ ммоль/л), по сравнению с группой, имеющих GG полиморфизм того же гена ($7,71 \pm 0,55$ ммоль/л, $P < 0,05$, таблица 11). Таким образом, у спринтеров с генотипом TG гена *NOS3* наблюдаются более высокие гликолитические возможности, по сравнению со спринтерами, имеющими GG полиморфизм того же гена.

Таблица 11 – Показатели физической работоспособности спортсменов-мужчин в различных полиморфных группах гена *NOS3* с учетом специализации при проведении велоэргометрического теста

Показатели	Аллельные варианты гена <i>NOS3</i>			
	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа
	спринт		многоборье	
	GG (n=10)	TG (n=4)	GG (n=23)	TG (n=9)
АП, кгм/мин	718±68.8	772±107	859±51.7	846±73.2
АнП, кгм/мин	1138±38.5	1042±116	1293±48.4	1394±84.3
А _{смеш} , кгм/мин	1360±38.9	1302±110	1529±52.7	1717±118
А _{макс} , кгм/мин	147±37.4	1650±106	1748±63.0	1917±139
ЧСС _{АП} , уд/мин	114±8.62	130±1.33	134±4.14	118±7.34
ЧСС _{АнП} , уд/мин	158±2.98	154±6.01	166±2,0*⁴	156±2,77*³
ЧСС _{смеш} , уд/мин	176±2.51	170±2.8	179±1,67*⁴	169±3,98*³
ЧСС _{макс} , уд/мин	180±1.89	187±3.52	185±1,44*⁴	174±2,69*³
Лактат макс, ммоль/л	7,71±0,55*²	12,0±1,62*¹	8.66±0.51	7.83±0.64

Примечание – * – различия достоверны в сравнении между группами. $P < 0.05$.

У спортсменов, специализирующихся в многоборье, в группе с гетерозиготным генотипом отмечены более низкие показатели ЧСС на уровне анаэробного порога, в смешанной аэробно-анаэробной зоне и максимальная частота сердечных сокращений по сравнению с группой с гомозиготным генотипом гена *NOS3* (таблица 11).

Выводы

Таким образом, в конькобежном спорте, где основным механизмом энергообеспечения мышечной деятельности является гликолитический ресинтез АТФ, лучшей физической работоспособностью по результатам проведенных исследований обладают спортсменки с полиморфными вариантами +9+9 и +9-9 гена *BDKRB2*.

В беге на короткие дистанции лучшей работоспособностью обладают конькобежки с генотипами +9+9 и +9-9 гена *BDKRB2*. Спортсменки обладают более высокими характеристиками анаэробного гликолиза и способны выполнять работу более высокой мощности на уровне анаэробного порога. Специализироваться представительницам генотипа +9+9 гена *BDKRB2* лучше в беге на короткие дистанции, так как у них более высокие показатели максимальной работоспособности в анаэробном режиме работы. Для конькобежцев-мужчин, специализирующихся в беге на короткие дистанции, генотипы +9+9 и +9-9 гена *BDKRB2* будут одинаково уместны.

Спортсмены, имеющие аллель -9 гена *BDKRB2*, обладают лучшей аэробной выносливостью по сравнению с обладателями полиморфного варианта +9+9 гена *BDKRB2*.

В конькобежном спорте у мужчин по показателям работоспособности спортсмены с генотипами ab и bb гена *NOS3* имеют одинаковые возможности роста спортивного мастерства. Однако представителям с bb генотипом лучше специализироваться в многоборье, а спортсменам с полиморфным вариантом ab гена *NOS3* – в беге на короткие дистанции. У женщин с bb генотипом наблюдается более высокий уровень аэробной выносливости по сравнению со спортсменками, имеющими вариант ab гена *NOS3*. Эта закономерность сохраняется с учетом специализации.

Спортсмены, имеющие гетерозиготный генотип по G894T полиморфизму гена *NOS3*, характеризуются более экономичной работой сердечно-сосудистой системы, им предпочтительнее специализироваться в беге на короткие дистанции и в многоборье.

1. Bouchard. C. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: The 2006–2007 Update / C. Bouchard [et al.] // Med. Sci. Sports and Exercise. – 2009. – Vol. 41. – P. 35–73.

2. Ахметов, И.И. Молекулярная генетика спорта: монография / И.И. Ахметов. – М.: Советский спорт. 2009. – 268 с.

3. Синелев, В.А. Взаимосвязь полиморфизма генов определяющих показатели гемодинамики с профилизацией пловцов в юношеском возрасте / В.А. Синелев [и др.] // Плава-

ние: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 10–12 окт. 2009 г. / НГУ им. Лесгафта: под ред. А.В. Петряева. – СПб., 2009. – С. 71–76.

4. Синелев, В.А. Полиморфизм генов BDKRB2, NOS3, AGT, ACE и AGTR1 и физическая работоспособность человека / В.А. Синелев [и др.] // Доклады Национальной академии наук. – 2010. – Т. 54. – № 3 – С. 77–83.

5. Williams, A.G. Bradykinin receptor gene variant and human physical performance / A.G. Williams [et al.] // J. Appl. Physiol. – 2004. – Vol. 96. – P. 938–942.

6. Braun, A. Polymorphisms in the gene for the human B2-bradykinin receptor / A. Braun [et al.] // Immunopharmacology. – 1996. – Vol. 33. – P. 32–35.

7. Colombo, M. Endothelial Nitric Oxide Synthase Gene Polymorphisms and Risk of Coronary Artery Disease / M. Colombo [et al.] // Clinical Chemistry. – 2003. – Vol. 49. – P. 389–395.

8. Wang, Y. Nitric oxide synthases: biochemical and molecular regulation / Y. Wang [et al.] // Curr. Opin. Nephrol. Hypertens. – 1995. – Vol. 4. – P. 12–22.

9. Башкатова, В.Г. Оксид азота и его свойства / В.Г. Башкатова, В.Д. Микоян, Е.С. Косачев // Нейрохимия. – 1996. – Т. 13. – № 2. – С. 115–120.

Поступила 21.03.2012

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ГАНДБОЛИСТОВ, ВОЛЕЙБОЛИСТОВ, БАСКЕТБОЛИСТОВ В ВОЗРАСТЕ ОТ 17 ДО 25 ЛЕТ

В.К. Гонестова, канд. биол. наук, доцент,

Н.В. Иванова, канд. биол. наук, К.В. Концевая,

Научно-исследовательский институт физической культуры и спорта
Республики Беларусь

В статье рассмотрены вопросы возрастной периодизации звеньев центральной гемодинамики, а также проведена их сравнительная оценка у представителей гандбола, волейбола и баскетбола в возрасте от 17 до 25 лет. Выявлено формирование дефинитивного (взрослого) уровня тонуса магистральных артерий с 19 лет у гандболистов и волейболистов. Выявлены разные пути и «цена» адаптации центральной гемодинамики при формировании специфических скоростно-силовых качеств у представителей анализируемых игровых видов спорта.

The problems of age periodization of the components of the central hemodynamics are considered and their comparative evaluation in handball, volleyball, and basketball players aged 17–25 years is made in the article. The formation of the definitive (adult) tone level of the main arteries in 19 year old handball and volleyball players was revealed. Different ways and the “price” of the central hemodynamics adaptation in formation of specific speed-and-power qualities in representatives of the analyzed team sports are identified.