

УДК 575/8:796

UDC 575/8:796

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОЛИМОРФИЗМЫ В ОЦЕНКЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

THE GENETIC POLYMORPHISMS IN THE ASSESSMENT OF THE PHYSICAL CAPABILITIES AND FUNCTIONAL RISKS: AN ANALYTICAL REVIEW

Н. Г. Соловьёва,

*кандидат биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой медико-биологических
основ физического воспитания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;*

В. Ф. Кобзев,

*кандидат медицинских наук, доцент, доцент
кафедры медико-биологических основ
физического воспитания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка;*

В. А. Касько,

*кандидат ветеринарных наук, доцент,
доцент кафедры медико-биологических
основ физического воспитания Белорусского
государственного педагогического
университета имени Максима Танка*

N. Solovyova,

*Ph.D in Biology, Associate Professor,
Head of the Department of medical
and biological foundations of physical
education, Belarusian State Pedagogical
University named after Maxim Tank;*

V. Kobzev,

*Ph.D in Medical, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of medical and biological foundations of physical
education, Belarusian State Pedagogical
University named after Maxim Tank;*

V. Kasko,

*Ph.D in Veterinary, Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of medical and biological foundations of physical
education, Belarusian State Pedagogical
University named after Maxim Tank*

Поступила в редакцию 19.10.2023.

Received on 19.10.2023.

В статье представлен аналитический обзор, освещающий современные аспекты функциональной геномики и роль молекулярно-генетических маркеров в оценке проявления физических возможностей организма и здоровья в целом. Раскрывается структура генетической карты физической активности и здоровья человека. Вычленяются наиболее значимые ДНК-полиморфизмы, возможные к использованию в медико-генетическом консультировании, на основании их значимости в предопределении функционального и физического резерва организма, а также риска развития патологических нарушений. Актуализируются поисковые научно-исследовательские задачи как в области спортивной генетики, так и по перспективному совершенствованию генетической медицинской диагностики.

Ключевые слова: генетические ДНК-полиморфизмы, молекулярно-генетические маркеры физических возможностей, спортивная генетика, функциональная геномика.

The article presents an analytical review that describes modern aspects of functional genomics and the role of molecular-genetic markers in assessing the manifestation of the physical capabilities of the body and health. The structure of the genetic map of physical activity and human health is revealed. The most significant DNA-polymorphisms which can be used in medical and genetic counseling are identified based on their significance in determining the functional and physical reserve of the body, as well as the risk of developing pathological disorders. Search research tasks are being updated both in the field of sports genetics and on the prospective improvement of genetic medical diagnostics.

Keywords: genetic DNA polymorphisms, molecular genetic markers of physical capabilities, sports genetics, functional genomics.

Введение. Проблема объективной и эффективной прогностической оценки физических возможностей организма не только в спортивной практике, но и в фитнес-индустрии не теряет своей актуальности на современном этапе. Несмотря на достаточно широкий и разнообразный арсенал современных средств и подходов, до сих

пор нет максимально эффективного алгоритма и универсальных основополагающих прогностических маркеров максимально возможных функциональных, физических возможностей и проявления устойчивой адаптативности организма к мышечной деятельности различной интенсивности и длительности.

Сложность в оценке и прогнозировании физической/спортивной успешности определяется многофакторностью самого феномена. Наследственная природа проявления физических возможностей человека, составляющая не менее 70 %, широко известна и активно использовалась специалистами еще до наступления эры молекулярно-генетического тестирования. Успехи в области молекулярной генетики, появление высокопроизводительных технологий секвенирования и генотипирования за последние 35 лет и реализация эпохальных международных проектов «Геном человека» (Human Genome Project; 1990–2003) и HERITAGE (Health Risk Factors Exercise Training And Genetics; 1995) позволили выявить генотипические и фенотипические ассоциации функциональных возможностей организма человека, в том числе связанные с проявлением его физических возможностей, и заложили основы принципиально новой системы медико-биологического обеспечения физической деятельности – спортивной генетики, базирующейся на результатах функциональной геномики [1–6]. Количество молекулярно-генетических маркеров физических возможностей человека, после первого упоминания в статье коллектива авторов во главе с Хью Монтгомери в научном журнале «Nature» 1998 года (H. Montgomery et. al.: 1998) о функциональной ассоциации аллельных вариантов гена ангиотензин-превращающего фермента (*ACE*) с аэробными возможностями организма и проявлением выносливости/силы/быстроты, достигло уже более 260 [1–4; 7; 8]. На современном этапе в идентификационной базе спортивной генетики имеется порядка 170 «генов выносливости», более 60 «генов мышечной силы, быстроты реакции и координированного ответа», более 30 «генов повышенной физической работоспособности», а также ряд полиморфизмов генов, определяющих риск развития патологических состояний, в том числе и на фоне чрезмерной физической деятельности [1; 2; 7].

Современный аспект. Среди полиморфных вариантов генов, ассоциированных с физическими качествами человека и являющимися наиболее значимыми предиктами физической/спортивной успешности, выступает ряд однонуклеотидных замен в полиморфных генах-кандидатах (SNP; single nucleotide polymorphisms), количество которых насчитывает более 10 миллионов [1; 4; 5]: I/D полиморфизм гена ангиотензин-превращающего фермента (*ACE*); G/T полиморфизм гена эндотелиальной NO-синтазы (*NOS3*); R/X полиморфизм гена α -актина-3 (*ACTN3*); C/T полиморфизм гена АМФ-дезаминазы (*AMPD1*); полиморфные варианты генов α - и β -адренорецепторов (*ADRA2A*, *ADRB2*) и генов рецепторов, активируемых пролифераторами пероксисом (*PPARA*, *PPARD*, *PPARG*), 1 α -коактиватора гамма-рецептора (*PGC1A*), K153R

полиморфизм гена миостатина (*MSTN*) и многие другие (таблица 1).

В настоящее время в мировой практике, а также в отечественном медико-генетическом консультировании (www.genpasport.igc.by) используется широкий арсенал общепринятых генетических комбинаций ДНК-полиморфизмов, ассоциированных с атлетическими возможностями [2–5; 7–9]: оценка спринтерских и стайерских качеств по вариантам полиморфизмов генов *ACE*, *BDKRB2*, *ACTN3*, *NOS3*, *HIF1A*, *PPARA*, *PPARD*, *PPARG*, *PPARGC1A*, *UCP2*, *UCP3*; общая спортивная одаренность по вариантам полиморфизмов генов *EPO*, *MB*, *VEGF*, *PAI-1*; риск перенапряжения и травматизма при чрезмерной физической нагрузке по вариантам полиморфизмов генов *AMPD1*, *APOE*, *COL1A1*, *COL5A1*, *MMP3*, *VDR*, *GDF5*, *ADAMTS18*, *BDNF*; риск сердечно-сосудистых патологий (инфаркта миокарда, кардиомиопатии, фибрилляций предсердий, тромбозомболической болезни и др.) и синдрома «внезапной смерти» по вариантам полиморфизмов генов *ACE*, *NOS3*, *AGT*, *AGTR1*, *BDKRB2*, *PPARD*, *PPARGC1A*, *APOE*, *HIF1A*, *FGG*, факторов свертываемости крови (F), *GP1BA*, *VEGF*, *MTHFR*, *LDRL*; риск метаболических нарушений по полиморфизмам генов *PPARA*, *PPARD*, *PPARG*, *PPARGC1A*, *UCP2*, *UCP3*, *APOE*, *ADIPOQ*, *LEP* и другие. Кроме отдельных аллелей генов, ассоциированных с эффективной физической деятельностью, выделяют еще особые «связки» аллелей и гаплогрупп, локализованных в митохондриальной ДНК или Y-хромосоме [1–3].

В научных изданиях постоянно освещаются новые результаты о функциональной роли компонентов «генетической карты физической активности человека» и перспективных фенотипах [3–5; 7–12]. Среди данного многообразия ДНК-полиморфизмов преобладают гены, регулирующие кардиореспираторные возможности организма, мышечную силу, аэробную/анаэробную мощность, метаболические и энергетические процессы [2–4; 8–12]. В меньшей степени представлены «успешные гены», предопределяющие координационные возможности [3; 13].

Молекулярно-генетические маркеры физических способностей уже завоевали признание и выступают одним из наиболее эффективных прогностических критериев, активно используемых на современном этапе как в спортивной практике, так и здоровьесберегающей деятельности, а «генетический паспорт» – уже объективная реальность. При этом в своей информационной составляющей части «генетический паспорт» все больше ориентируется не только на «спортивные гены», но и группы ДНК-полиморфизмов, опосредующих «генетическую карту здоровья и риска патологических изменений» [1; 4; 5; 7; 9].

Таблиця 1 – Наиболее значимые ДНК-полиморфизмы генов, ассоциированные с физическими возможностями организма и риском патологических изменений

№	Ген	Функция белка в организме, кодируемая геном	Полиморфизмы гена	Аллели, ассоциированные с физическими возможностями; с патологическим риском (* – максимальный потенцирующий риск)	Риск
1	Ген ангиотензин-превращающего фермента (ACE)	Катализирует превращение ангиотензина I в ангиотензин II, регулирующий сосудистый тонус (вазоконстрикция)	I/D	I – выносливость; D – быстрая/сила; коррелирует с риском сердечно-сосудистых патологий (ишемического синдрома и кардиомиопатии) *	Потенцирующий риск сердечно-сосудистых патологий
2	Ген ангиотензина (AGT)	Кодирует белок ангиотензин, из которого под действием ренина образуется ангиотензин I, предшественник ангиотензина II	M/T	M – выносливость; T – быстрая/сила; коррелирует с риском патологической гипертрофии левого желудочка*	
3	Ген рецептора ангиотензина II 1-го типа (AGTR1)	Кодирует белок – рецептор ангиотензина II 1-го типа	A/C	A – выносливость; C – быстрая/сила; коррелирует с большей вазоконстрикцией и гиперτροφическим ответом*	
4	Ген эндотелиальной NO-синтазы (NOS3)	Участует в синтезе NO, регулирующего сосудистый тонус (вазодилаторное действие)	G894T (rs1799983)	G – общая физическая работоспособность и эффективное кровоснабжение мышечной ткани; T – быстрая/сила; коррелирует с риском гипертензии и ишемического синдрома*	
5	Ген α2-адренорецептора (ADRA2A)	Опосредует действие нейротрансмиттеров	6.7/6.3 kb	6.7 kb – выносливость	
6	Ген β2-адренорецептора (ADRB2)	Опосредует действие катехоламинов, регулирует жировой обмен	Arg16Gly	Arg – выносливость	
7	Ген β2-брадикининного рецептора (BDKRB2)	Кодирует белок брадикининного рецептора β2-типа, регулирующего сосудистый тонус (вазодилатация)	+9/-9	-9 – выносливость	
8	Ген фактора роста эндотелия сосудов (VEGF)	Кодирует белок – гликопротеин, стимулирующий пролиферацию кровеносных и лимфатических сосудов	G634C	C – выносливость и выраженный адаптационный прирост микроциркуляторного русла в мышечной ткани; коррелирует с увеличением минутного объема кровотока и большей напряженностью миокарда	
9	Ген рецептора эритропоэтина (EPO)	Регулирует эритропоэз, стимулируя образование эритроцитов	G/T	T – коррелирует с физической выносливостью; коррелирует с риском тромбообразования*	
10	Ген ингибитора активатора плазминогена (PAI-1)	Регулирует процесс фибринолиза и рост новых кровеносных сосудов	4G/5G	4G – выносливость; 5G – коррелирует с меньшим максимальным потреблением кислорода и риском ишемического синдрома*	
11	Ген миоглобина (MB)	Регулирует уровень миоглобина (аналага гемоглобина эритроцитов крови) и депонирования молекулярного кислорода в скелетных мышцах и миокарде	A7/9G	A – выносливость; G – коррелирует с большим накоплением молочной кислоты и риском ишемического синдрома*	
12	Гены факторов свертывания крови (F1, F2, F5, F13)	Регулируют гемостаз	Thr312Ala (гена F1) G20210A (гена F2) Arg506Gln (гена F5) Val341Leu (гена F13)	Аллели A (генов F1, F2, F5), аллель V (гена F13) – коррелируют с риском тромбообразования, тромбозов, ишемического синдрома*	
13	Ген метилен-тетрагидрофолатредуктазы (MTHFR)	Регулирует процесс метилирования ДНК и активности генов, определяющих устойчивость к физической нагрузке и метаболическую мощность	C677T A1298C	677T – ассоциирован с выносливостью; при совместном наличии с аллелью 1298C коррелирует с риском атеросклероза, ишемии миокарда*	
14	Ген аполипопротеина E (APOE)	Регулирует липидный обмен (перенос холестерина между тканями)	Cys112Arg Arg158Cys (аллели E2, E3, E4)	Аллели E2, E3 – коррелируют с высокими координационными способностями, памятью, скоростью двигательной реакции. Аллель E4 – коррелирует с высоким риском атеросклероза и постраваматических нейродегенеративных нарушений головного мозга*	
15	Ген рецептора липопротеина низкой плотности (LDLR)	Регулирует липидный обмен (перенос холестерина между тканями)	Аллели 7TA, 8TA, 10TA, 11TA	Аллели 8TA, 10TA и 11TA – коррелируют с высоким риском атеросклероза и ишемией миокарда*	

		Потенцирующий риск нарушения		Потенцирующий риск нарушения	
		ОДА и постнатальн		Потенцирующий риск нарушения	
16	Ген α-рецептора, активируемого пролифераторами пероксисом (PPARA)	Регулируют активность генов, регулирующих обмен углеводов и липидов	G/Синтрон 7	G – быстрота/сила	Потенцирующий риск метаболических нарушений
17	Ген δ-рецептора, активируемого пролифераторами пероксисом (PPARD)		+294T/C	C – выносливость	
18	Ген γ-рецептора, активируемого пролифераторами пероксисом (PPARG)		Pro12Ala (C/G)	Pro (C) – выносливость; коррелирует с более высокой активностью липолиза; Ala (G) – быстрота/сила; коррелирует с более высокой утилизацией глюкозы в мышечной ткани, но более низким липолизом*	
19	Ген инсулиноподобного фактора роста и рецептора инсулина (IGF1)	Регулирует уровень глюкозы и энергетический обмен	>19/19> IGF1R AA	Коррелирует с приростом силы/быстроты, мышечной гипертрофией*	
20	Ген 1α-коактиватора гамма-рецептора (PGC1A)	Коактивирует действие ряда транскрипционных факторов, регулирует митохондриальный биогенез	Gly482Ser	Gly – выносливость; Ser – быстрота/сила; коррелирует с меньшей устойчивостью к гипоксии*	
21	Ген фактора, индуцируемого гипоксией 1A (HIF1A)	Запускает экспрессию генов, повышающих адаптацию организма в условиях гипоксии	Pro582Ser (C/T)	Pro (C) – выносливость и высокая устойчивость к гипоксии; Ser (T) – быстрота/сила; коррелирует с низкой устойчивостью к гипоксии*	
22	Ген разобщающего белка 1 (UCP1)	Регулирует несократительный адаптивный термогенез и энергетический баланс	A/3826G (rs1800592)	A – выносливость; G – коррелирует с повышенным риском ожирения*	
23	Ген разобщающего белка 2 (UCP2)	Участвует в разобщении дыхания и окислительного фосфорилирования	Ala55Val	Val – выносливость; Ala – сила; коррелирует с метаболической неадекватностью и большей утомляемостью при мышечной деятельности*	
24	Ген разобщающего белка 3 (UCP3)	Регулирует теплопродукцию организма	C/T (rs1800849)	T – выносливость и высокая утилизация липидов	
25	Ген АМФ-деаминазы (AMPD1)	Катализирует реакцию дезаминирования АМФ в инозинмонофосфат	C34T	C – выносливость и быстрота/сила; T – коррелирует с большей утомляемостью при мышечной работе и риском мышечных судорог, миопатий*	
26	Ген, кодирующий белок – коллаген 1-го типа (COL1A1).	Участвуют в синтезе коллагена, являющегося важным структурным компонентом соединительной ткани	G1245T (rs1800012)	G – общая выносливость, гибкость и прочность костного остова; T – коррелирует с риском остеопороза и костных переломов, растяжением связок*	
27	Ген, кодирующий белок – коллаген 5-го типа (COL5A1)	Регулирует гомеостаз внеклеточного матрикса и синтез коллагена	C267T (rs12722)	C – общая выносливость и гибкость; T – коррелирует с риском хронической тендопатии ахиллова сухожилия и разрывами передней крестообразной связки*	
28	Ген матричной металлопротеиназы 3 (MMP3)	Регулирует гомеостаз внеклеточного матрикса и синтез коллагена	Glu45Lys	G – коррелирует с риском повреждений и разрывов сухожилий*	
29	Ген миогенного фактора (MYF6)	Стабилизирует сократительный аппарат быстрых мышечных волокон	R577X	X – выносливость; R – быстрота/сила; коррелирует с мышечной гипертрофией*	
30	Ген миогенного фактора (MYF6)	Регулирует мышечную дифференциацию	C964T	T – выносливость	
31	Ген миостатина (MSTN)	Ключевой фактор миогенеза, репарации скелетных мышц и детерминации мышечного состава	K153R (rs1805086)	R – быстрота/сила; коррелирует с риском мышечной гипертрофии и высокой гиперстеничностью телосложения*	
32	Ген рецептора андрогена (AR)	Регулирует уровень тестостерона и мышечную гипертрофию	(CAG)n	L (≥22) – быстрота/сила; коррелирует с риском гиперстеничности телосложения*	
33	Гены рецепторов серотонина (HTR1A и HTR2A)	Регулируют уровень серотонина, важного нейромедиатора центральной нервной системы	C/G (HTR1A) T/C и A/G (HTR2A)	C (HTR1A), T и A (HTR2A) – коррелируют с высокими координационными способностями; G (HTR1A), C и G (HTR2A) – коррелируют со сниженной устойчивостью нервной системы	

«Генетическая карта здоровья и риска патологических изменений» и ее фенотипические варианты физической работоспособности объединяют достаточно обширный спектр различных генетических категорий: гены-предикты, определяющие гемодинамические характеристики и функционирование ведущих систем организма; антропометрические характеристики и композиционный состав тела; параметры метаболизма, гомеостаза, антиоксидантную защиту и детоксикацию организма, реакции воспаления и другие (рисунок 1).

«Генетическая карта здоровья и риска патологических изменений» в настоящее время рассматривается одной из актуальных задач предиктивной медицины, фармакогенетики, нутригенетики и нутригеномики, позволяющих на основе молекулярно-генетического тестирования выявлять «гены-кандидаты» патологических состояний и составлять «генные сети» для каждого из заболеваний с более точной идентификацией этиопатогенеза, а также разрабатывать и реализовывать высокоэффективные лечебные и профилактические действия. Анализ отечественной и мировой научной литературы показывает, что для клинической интерпретации доступны уже генетические панели для более 1500 частых мультифакториальных болезней [1; 3; 7]. Среди последних значительное внимание уделяется пато-

логиям сердечно-сосудистой системы как лимитирующей в общей и физической работоспособности организма и опосредующей возникновение «синдрома внезапной смерти»: детерминирована роль более 200 генов-кандидатов в риске развития гипертонических и атеросклеротических изменений, кардиомиопатии, ишемической болезни сердца, тромболитической болезни и других [3; 4; 9]. Собственные результаты исследований показали высокую корреляцию отдельных ДНК-полиморфизмов успешных «спортивных генов» (в частности, аллели D гена *ACE*, аллели T гена *AGT*, аллели R гена *ACTN3*, аллели G гена *PPAR*, аллели Ser гена *PPARGC1A*) с большим напряжением компенсаторно-приспособительных механизмов системы кровообращения, риском развития артериальной гипертензии и гипертрофии миокарда, проявлением наименее энергетического для организма гипокинетического типа кровообращения по мере увеличения крепости телосложения спортсменов по гиперстеническому типу (таблица 2) [14–16]. В силу этого результаты молекулярно-генетического тестирования с учетом фенотипических, функциональных и клинико-лабораторных параметров все больше учитываются в медицинской практике и персонализированном прогнозе, позволяя вывести на новый перспективный уровень дифференцированную терапию и систему здоровьесбережения.



Рисунок 1 – Основные группы генов, определяющих «генетическую карту здоровья и риска патологических изменений» (авторское представление)

Таблица 2 – Ассоциативная взаимосвязь отдельных ДНК-полиморфизмов

Полиморфизмы генов	Перспективность в проявлении скоростно-силовых возможностей		Степень проявления гиперстеничности телосложения		Риск напряжения системы кровообращения	
	высокая	низкая	высокая	низкая	высокий	низкий
<i>ACE (I/D)</i>	DD	II, ID	DD	II, ID	DD	II
<i>AGT (M/T)</i>	TT	TM, MM	–	–	TT	MM
<i>ACTN3 (R/X)</i>	RR	XX, RX	RR	XX, RX	RR	XX
<i>PPARA (G/C)</i>	GG	CC, GC	GG	CC, GC	GG	CC
<i>PPARGC1A (Gly/Ser)</i>	Ser/Ser, Gly/Ser	Gly/Gly	Ser/Ser, Gly/Ser	Gly/Gly	Ser/Ser	Gly/Gly

Физическая/спортивная успешность связана не только с наличием «спортивных генов», но и с максимально высоким числом «успешных вариантов спортивных генов», благоприятствующих определенному типу физической деятельности [1; 3; 4; 6; 8; 9; 17]. Каждый человек несет свой уникальный генетический код, который реализуется непосредственно в условиях среды. Генотипическая составляющая реализуется в фенотипически проявляющийся результат непосредственно под влиянием внешних условий, среди которых высока роль методического сопровождения физической подготовки, мотивационных и морально-волевых качеств самого индивида и качества физической/спортивной среды [10; 13; 17]. Кроме того, корректный и оптимальный выбор физической деятельности невозможен без выяснения уровня индивидуальной экспрессии генов, который определяется как мощностью и длительностью воздействия физической нагрузки, так и индивидуальными характеристиками генотипа и стадией онтогенетического развития: кратковременная физическая нагрузка приводит к изменению экспрессии сотен генов, возвращающихся к исходному уровню активности уже через ближайшее время; длительная физическая нагрузка вызывает существенные изменения во всей системе регуляции генной экспрессии и особенно в ярко выраженной степени в сенситивные периоды; тренировочная нагрузка одной и той же интенсивности способна изменять экспрессию генов у разных лиц в разной степени и даже в разной направленности [3; 4; 6; 10; 18; 19]. В силу этого в прогностической оценке физических возможностей значимым фактором выступает определение как успешной комбинации положительных «спортивных генов», так и индивидуального онтогенетического периода, определяющих максимальную реактивность организма и последующую его эффективную адаптационную перестройку в ответ на физические воздействия (тренировочные стимулы).

Заключение. В современных реалиях развития молекулярно-генетических технологий ДНК-генотипирование будет находить все большее и большее использование в прогностической оценке как общего уровня здоровья, так и его физических/спортивных возможностей. Генотипический подход позволяет определить наследственную предрасположенность к выполнению больших физических нагрузок и осуществить целенаправлен-

ный дифференцированный отбор кандидатов для спорта и фитнес-тренинга, а также выстроить научно обоснованную программу индивидуальной тренировочной, оздоровительной и здоровьесберегающей деятельности. Однако для повышения точности прогностического результата, несмотря на успехи спортивной генетики, еще требуется решить ряд актуальных задач, которые позволят скорректировать и минимизировать ряд методологических ограничений использования генетических маркеров физической/спортивной успешности:

- во-первых, определить эффективный комплекс значимых и, возможно, универсальных панелей полиморфных генетических ассоциаций «спортивных генов», поскольку на основании одного или нескольких генов невозможно объяснить успешную физическую деятельность, но и использование большого объема «спортивных генов» повышает материальные затраты данной генотипической диагностики и делает ее менее привлекательной в практической реализации;
- во-вторых, детализировать разноплановость в эпигенетических модификациях и потенцирующих воздействиях средовых факторов в зависимости от их направленности, интенсивности и периодичности на функциональные ответы «спортивных генов» с целью представления более эффективного тренировочного и оздоровительного алгоритма;
- в-третьих, вычленив частоту риска, потенцирующие факторы и условия возможного патогенетического проявления отдельных «спортивных генов»;
- в-четвертых, провести анализ и минимизировать разночтения в определении границ и индивидуальных сроков сенситивных и критических периодов генетически предопределяемого проявления физических качеств с учетом современных реалий популяционных морфофункциональных изменений, требующих пересмотра не только принятых в практике спортивного отбора методических подходов в прогностической оценке, но и методов врачебно-педагогического контроля за физическим воспитанием и здоровьесбережением, поскольку нерациональные и чрезмерные физические нагрузки на ранних этапах онтогенеза могут инициировать преждевременное истощение функциональных резервов организма и раннее проявление патологических форм перенапряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов, И. И. Генетическая диагностика в спортивной медицине / И. И. Ахметов // Спортивная медицина. – 2010. – № 12. – С. 11–15.
2. Ahmetov, I. I. Current progress in sports genomics / I. I. Ahmetov, O. N. Fedotovskaya // Adv. Clin. Chem. – 2015. – Vol. 70. – P. 247–314.
3. Genetic and molecular aspects of sport performance / Encyclopaedia of sports medicine. – 2011. – V. 18. – 404 p.
4. Некоторые аспекты ассоциации генов с высокими спортивными достижениями / И. Б. Моссе [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2017. – № 3. – С. 296–303.
5. The potential role of genetic markers in talent identification and athlete assessment in elite sport / Y. Jacob [et. al.] // Sports. – 2018. – V. 6(3), № 88. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/sports6030088>. – Дата доступа : 20.09.2022.
6. Genetics and sport performance: current challenges and directions to the future / J. P. L. Franca [et. al.] // Brazilian Journal of Physical Education and Sport. – 2014. – V. 28 (1). – P. 177–193.
7. Пономарева, О. В. Генетика в современном спорте: научные технологии для новых достижений / О. В. Пономарева // Наука молодых. – 2018. – Т. 6 (№ 4). – С. 569–581.
8. Genetics and sports performance: the present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing / D. Varillas-Delgado [et. al.] // European Journal of Applied Physiology. – 2022. – V. 122. – P. 1811–1830.
9. Мельнов, С. Б. Молекулярно-генетические аспекты спортивной успешности в циклических видах спорта / С. Б. Мельнов, Т. Л. Лебедь, Е. Б. Комар // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – № 2 (Т. 8). – С. 67–77.
10. Tucker, R. What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success / R. Tucker, M. Collins // British Journal of Sports Medicine. – 2012. – V. 46. – P. 555–561.
11. Marinich, V. V. Genetic and phenotypic markers for successful athletic performance forecast / V. V. Marinich // Pedagogy and Psychology of Sport. – 2018. – Vol. 4 (2). – P. 85–94.
12. Анализ частоты встречаемости аллельных вариантов отдельных генов у спортсменов высокого класса в циклических видах спорта / И. Л. Гилеп [и др.] // Прикладная спортивная наука. – 2020. – № 1 (11). – С. 36–44.
13. Saraykin, D. A. Genetic Prerequisites of Sports Success of Sportsmen Going in for Combat Sports / D. A. Saraykin // J. Pharm. Sci.&Res. – 2017. – Vol. 9 (9). – P. 1569–1572.
14. Соловьева, Н. Г. Полиморфизм гена ACE в предопределении высоких физических качеств и сердечно-сосудистых патологий у представителей спортивных единоборств / Н. Г. Соловьева, И. Ю. Гробовикова // Апробация. – 2013. – № 3 (6). – С. 5–7.
15. Гробовикова, И. Ю. Антропогенетическое прогнозирование результатов спортивной деятельности / И. Ю. Гробовикова, Т. Л. Лебедь, Н. Г. Соловьева // Вестник Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2012. – № 1. – С. 10–17.
16. Анализ полиморфизма генов ACE, PPARA и PPARG у профессиональных единоборцев / И. Ю. Гробовикова [и др.] // Весті БДПУ. Серія 3. – 2014. – № 1. – С. 44–48.
17. Соловьева, Н. Г. Предпосылки спортивной успешности: обзор относительного вклада генетических маркеров / Н. Г. Соловьева // Физическая культура, спорт и туризм в контексте достижения Целей устойчивого развития : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 28 окт. 2022. / Белорус. гос. пед. ун-т. – Минск : БГПУ, 2022. – С. 219–223.
18. Бакунович, К. В. Изменение экспрессии генов HIF1A, UCP2 и MTHFR у профессиональных спортсменов в ответ на физическую нагрузку / К. В. Бакунович // Молекулярная и прикладная генетика: сб. науч. тр. / Институт генетики и цитологии НАН Беларуси ; редкол.: А. В. Кильчевский (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Ин-т генетики и цитологии НАНБ, 2018. – Т. 24. – С. 94–104.
19. Кундас, Л. А. Анализ частоты встречаемости специфических генетических маркеров у спортсменов Беларуси с учетом пола и квалификации / Л. А. Кундас, Л. В. Кухтинская, С. Ю. Смирнов // Прикладная спортивная наука. – 2021. – № 2 (14). – С. 65–75.

REFERENCES

1. Ahmetov, I. I. Geneticheskaya diagnostika v sportivnoy medicine / I. I. Ahmetov // Sportivnaya medicina. – 2010. – № 12. – S. 11–15.
2. Ahmetov, I. I. Current progress in sports genomics / I. I. Ahmetov, O. N. Fedotovskaya // Adv. Clin. Chem. – 2015. – Vol. 70. – P. 247–314.
3. Genetic and molecular aspects of sport performance / Encyclopaedia of sports medicine. – 2011. – V. 18. – 404 p.
4. Nekotorye aspekty asociacii genov s vysokimi sportivnymi dostizheniyami / I. B. Mosse [i dr.] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. – 2017. – № 3. – S. 296–303.
5. The potential role of genetic markers in talent identification and athlete assessment in elite sport / Y. Jacob [et. al.] // Sports. – 2018. – V. 6(3), № 88. – Режим доступа : <https://doi.org/10.3390/sports6030088>. – Дата доступа : 20.09.2022.
6. Genetics and sport performance: current challenges and directions to the future / J. P. L. Franca [et. al.] // Brazilian Journal of Physical Education and Sport. – 2014. – V. 28 (1). – P. 177–193.
7. Ponomareva, O. V. Genetika v sovremennom sporte: nauchnye tekhnologii dlya novyh dostizhenij / O. V. Ponomareva // Nauka molodyh. – 2018. – T. 6 (№ 4). – S. 569–581.
8. Genetics and sports performance: the present and future in the identification of talent for sports based on DNA testing / D. Varillas-Delgado [et. al.] // European Journal of Applied Physiology. – 2022. – V. 122. – P. 1811–1830.
9. Mel'nov, S. B. Molekulyarno-geneticheskie aspekty sportivnoj uspešnosti v ciklicheskih vidah sporta / S. B. Mel'nov, T. L. Lebed', E. B. Komar // Nauka i sport: sovremennye tendencii. – 2020. – № 2 (Т. 8). – S. 67–77.
10. Tucker, R. What makes champions? A review of the relative contribution of genes and training to sporting success / R. Tucker, M. Collins // British Journal of Sports Medicine. – 2012. – V. 46. – P. 555–561.
11. Marinich, V. V. Genetic and phenotypic markers for successful athletic performance forecast / V. V. Marinich // Pedagogy and Psychology of Sport. – 2018. – Vol. 4 (2). – P. 85–94.
12. Analiz chastoty vstrechaemosti allel'nyh variantov otdel'nyh genov u sportsmenov vysokogo klassa v ciklicheskih vidah sporta / I. L. Gilep [i dr.] // Prikladnaya sportivnaya nauka. – 2020. – № 1 (11). – S. 36–44.
13. Saraykin, D. A. Genetic Prerequisites of Sports Success of Sportsmen Going in for Combat Sports / D. A. Saraykin // J. Pharm. Sci.&Res. – 2017. – Vol. 9 (9). – P. 1569–1572.
14. Solov'eva, N. G. Polimorfizm gena ASE v predopredelenii vysokih fizicheskikh kachestv i serdechno-sosudistyh patologij u predstavitelej sportivnyh edinoborstv / N. G. Solov'eva, I. Yu. Grobovikova // Aprobaciya. – 2013. – № 3 (6). – S. 5–7.
15. Grobovikova, I. Yu. Antropogeneticheskoe prognozirovanie rezul'tatov sportivnoj deyatel'nosti / I. Yu. Grobovikova, T. L. Lebed', N. G. Solov'eva // Vesnik Paleskaga dzyarzhaynaga ūniversiteta. Seryya pryrodaznaŭchych navuk. – 2012. – № 1. – S. 10–17.
16. Analiz polimorfizma genov ACE, PPARA i PPARG u professional'nyh edinoborcev / I. Yu. Grobovikova [i dr.] // Vesci BDPU. Seryya 3. – 2014. – № 1. – S. 44–48.
17. Solov'eva, N. G. Predposylki sportivnoj uspešnosti: obzor otositel'nogo vklada geneticheskikh markerov / N. G. Solov'eva // Fizicheskaya kul'tura, sport i turizm v kontekste dostizheniya Celej ustojchivogo razvitiya : materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Minsk, 28 okt. 2022. / Belarus. gos. ped un-t. – Minsk : BGPU, 2022. – S. 219–223.
18. Bakunovich, K. V. Izmenenie ekspressii genov HIF1A, UCP2 i MTHFR u professional'nyh sportsmenov v otvet na fizicheskuyu nagruzku / K. V. Bakunovich // Molekulyarnaya i prikladnaya genetika: sb. nauch. tr. / Institut genetiki i citologii NAN Belarusi ; redkol.: A. V. Kil'chevskij (gl. red.) [i dr.]. – Minsk : In-t genetiki i citologii NANB, 2018. – T. 24. – S. 94–104.
19. Kundas, L. A. Analiz chastoty vstrechaemosti specifi-cheskikh geneticheskikh markyrovov u sportsmenov Belarusi s uchetoм pola i kvalifikacii / L. A. Kundas, L. V. Kухtinskaya, S. Yu. Smirnov // Prikladnaya sportivnaya nauka. – 2021. – № 2 (14). – S. 65–75.