

УДК 796.015.6:616.27

## ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ АДАПТАЦИЮ К ГИПОКСИИ НАГРУЗКИ И ГИПЕРКАПНИИ, У СПОРТСМЕНОВ ПОДВОДНОГО ПЛАВАНИЯ

М.М. Филиппов, Л.М. Кузьмина

*Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев*

Установлено, что устойчивость спортсменов к гипоксии нагрузки и гиперкапнии зависит от генетической детерминированности аллельных вариантов полиморфизмов генов *ACE* и *eNOS*: у спортсменов с преимущественно аэробным энергообеспечением С-аллель полиморфизма промотора гена *eNOS* ассоциирована с экономичностью кардиореспираторной системы (в наибольшей степени у спортсменов с генотипом Т/С) и полиморфизмом I/D гена *ACE*. Выявленные взаимосвязи могут быть использованы как для направленного управления процессом развития специальной физической подготовленности спортсменов, так и для первичного отбора юных спортсменов.

**Ключевые слова:** спортсмены, гипоксия, гиперкапния, нагрузка, генотипирование, полиморфизм генов.

**Введение.** Известно, что достижение высоких результатов в современном спорте сопряжено с мобилизацией предельных человеческих возможностей [7]. В видах спорта на выносливость работоспособность зависит, с одной стороны, от развивающейся при мышечной деятельности гипоксии и гиперкапнии, с другой – от индивидуальных возможностей компенсации [2, 11]. Резистентность к возникающим при тяжелых физических нагрузках гипоксии и гиперкапнии зависит от генотипических особенностей спортсменов [6, 9]. При занятиях подводным плаванием у спортсменов развивается гипоксия, сопряженная с мышечной деятельностью (гипоксия нагрузки), и гиперкапния, связанная с задержкой дыхания. Гипоксически-гиперкапнические состояния характерны для многих циклических видов спорта, однако степень их выраженности различна и определяется эффективностью внешнего дыхания и газообмена [3, 5]. В связи с этим актуальным представляется выяснение адаптации спортсменов к перекрестному действию гипоксемии, гипоксии и гиперкапнии в зависимости от наличия комплекса определенных генов и их полиморфизмов.

**Цель исследования.** Изучение специальной работоспособности спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в зави-

симости от их генотипической устойчивости к гипоксии и гиперкапнии.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 24 спортсмена, занимающихся подводным плаванием в ластах, 24 спортсмена, занимающихся академической греблей, и 84 человека, не занимающихся спортом. Возраст – 18–24 года. Состав групп смешанный – юноши и девушки. Спортсмены первой группы в случайном порядке были разделены на две – экспериментальную (ЭГ) и контрольную (КГ). Спортсмены КГ занимались по учебной программе специализированной детско-юношеской спортивно-технической школы водных видов спорта (СДЮСТШ ВВС). Спортсмены ЭГ также занимались по программе подготовки СДЮСТШ, но с включением в тренировочный процесс два раза в неделю плавательных дистанций: для спринтеров – 5×15, 10×15, 2×50, 4×50, 6×50, 8×50, 2×100, 4×100 м; для стайеров – 4×50, 12×50, 16×50, 4×100, 6×100, 8×100, 16×100, 32×100 м, в определенных режимах и темпе плавания.

Исследование включало педагогические (наблюдение, тестирование, эксперимент) и физиологические методы (пульсоксиметрия, спирометрия и газоанализ, дыхательные пробы Штанге и Генча); методы математической статистики. ДНК выделяли из Buccalного

эпителия при помощи набора реактивов Diatom™ DNA Prep (Biokom). В работе использовался молекулярно-генетический метод полимеразной цепной реакции. Поскольку физические качества и их функциональные составляющие наследуются полигенно, проводился анализ распространенности комбинаций аллельных вариантов двух генов *ACE* и *eNOS*. Каждое распределение генов проверялось на соответствие закону Харди-Вайнберга, согласно которому при случайном скрещивании частоты генотипов неизменны в поколениях генофонда популяции [1, 10].

Степень гипоксии нагрузки определяли по соотношению значений потребляемого кислорода (ПК) к его максимальной величине (МПК), а также по изменениям функции кардиореспираторной системы (экономичность, эффективность, скорость развертывания реакций и т.д.) [5]. Потребление кислорода определяли с помощью компьютеризированного комплекса Охусон Про (Jeager, Германия). Газоаналитическая калибровка проводилась автоматически до и после тестирования каждого испытуемого. Состав и объем калибровочной газовой смеси составил 5 % CO<sub>2</sub> и 17 % O<sub>2</sub> в азоте. Ошибка регистрации

показателей, согласно техническому паспорту газоанализатора, была в пределах 0,2 %.

Физическая работа ступенчато возрастающей мощности задавалась на эргометре Concept 2 INDOOR POWER. Начальная мощность – 1,5 Вт/кг массы тела, прирост – 30 Вт каждые 2 мин без интервалов отдыха. Работа продолжалась до момента произвольного отказа спортсмена от продолжения.

Полученный материал был статистически обработан с помощью прикладных программ Windows-XP, Microsoft Excel XP и Statistica 6.0 (StatSoft, США).

Статистическая значимость различий между показателями, которые подчинялись нормальному закону распределения (что проверялось согласно критерию Уилки-Шапиро), устанавливалась с помощью параметрического t-критерия Стьюдента. Для сравнения значений нескольких выборок использовался непараметрический дисперсионный анализ ANOVA Краскелла-Уоллиса.

**Результаты и обсуждение.** Установлено, что соотношение вариантов комбинаций генов у спортсменов, специализирующихся на подводном плавании в ластах, отличалось от комбинаций, установленных в других группах обследованных (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение комбинаций полиморфизмов генов *ACE* и *eNOS* у спортсменов подводного плавания, академической гребли и неспортсменов**

Комбинация полиморфизмов генов <i>ACE</i> и <i>eNOS</i>	Спортсмены подводного плавания в ластах	Спортсмены академической гребли	Неспортсмены
	Аллели, %	Аллели, %	Аллели, %
I/I+T/T	10,0	7,8	11,9
I/I+T/C	6,7	15,6	17,0
I/I+C/C	6,7	3,2	–
I/D+T/T	36,7	23,4	19,0
I/D+T/C	6,7	21,8	21,0
I/D+C/C	3,3	4,7	4,8
D/D+T/T	26,6	12,5	13,0
D/D+T/C	3,3	10,9	5,9
D/D+C/C	–	–	–

Наиболее распространенными у спортсменов подводного плавания были комбинации I/D+T/T (36,7 %) и D/D+T/T (26,7 %). Для гребцов это были следующие комбинации генов: I/D+T/T (23,4 %), I/D+T/C (21,8 %),

I/I+T/C (15,6 %), D/D+T/T (12,5 %), а комбинация D/D+C/C отсутствовала. У лиц, не занимающихся спортом, комбинации генов были такими: I/D+T/C (21 %), I/D+T/T (19 %), I/I+T/C (17 %), D/D+T/T (13 %).

Для выявления взаимосвязи между генотипической принадлежностью спортсменов (юноши и девушки) и результативностью проплывания дистанций 200 и 50 м был про-

веден анализ распределения различных вариантов полиморфизмов гена *eNOS* в КГ и ЭГ (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Результаты проплывания дистанций 200 и 50 м спортсменами КГ с различными вариантами гена *eNOS* до и после проведения эксперимента**

Дистанция, м	Генотип	Пол	Время проплывания дистанции, с				Δt, с
			До эксперимента (контроль)		После эксперимента		
			$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	
200	T/T	м	99,9	0,78	95,5	0,26	4*
		ж	113,0	1,42	108,0	1,81	5*
	T/C+C/C	м	104,0	1,07	100,0	0,94	4
		ж	113,0	1,02	110,0	1,11	3
50	T/T	м	20,83	0,12	19,16	0,40	2*
		ж	23,28	0,21	22,05	0,18	1*
	T/C+C/C	м	21,0	0,84	19,9	0,23	1
		ж	24,78	0,60	23,3	0,31	2

**Примечание.** \* – изменения статистически достоверны по сравнению с контролем,  $p < 0,05$ .

Таблица 3

**Результаты проплывания дистанции 200 и 50 м спортсменами ЭГ с различными вариантами гена *eNOS* до и после педагогического эксперимента**

Дистанция, м	Генотип	Пол	Время проплывания дистанции, с				Δt, с
			До эксперимента (контроль)		После эксперимента		
			$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	
200	T/T	м	97	0,84	85,5	0,36	12*
		ж	110	1,11	104	1,05	6
	T/C+C/C	м	106	1,51	90	1,29	16*
		ж	114	1,42	106	1,87	8*
50	T/T	м	20,5	0,11	18,0	0,25	2,5*
		ж	23,0	0,21	21,5	0,18	1,5
	T/C+C/C	м	21,0	0,84	19,5	0,63	1,5
		ж	24,0	0,21	22,0	0,11	1,7

**Примечание.** \* – изменения статистически достоверны по сравнению с контролем,  $p < 0,05$ .

Выявлена достоверная разница между результативностью проплывания дистанции 200 м и наличием генотипов T/T и T/C+C/C у спортсменов ЭГ и КГ. Результаты проплывания дистанции юношами и девушками с генотипом T/T были меньшими, чем у лиц с генотипом T/C+C/C. К концу педагогического эксперимента время проплывания дистанций 200 и 50 м улучшилось в обеих группах, но в ЭГ – более значительно.

У спортсменов, занимающихся подводным плаванием, по сравнению с незанимающимися, более высокими оказались величины ЖЕЛ, резервных объемов вдоха и выдоха. Спортсмены подводного плавания с генотипом D/D показали большее время произвольной задержки дыхания (табл. 4).

Это позволяет сделать предположение о том, что наличие D-аллели ассоциировано с устойчивостью дыхательного центра к гипо-

ксии. Аналогичный анализ времени задержки дыхания спортсменами с различными полиморфными вариантами гена *eNOS* показал, что с увеличением количества Т-аллелей оно возрастает. Так, у спортсменов с генотипом Т/Т время задержки дыхания в пробе Штанге составило  $92,81 \pm 31,44$  с, с генотипом Т/С –  $86,65 \pm 17,84$  с, а у лиц с генотипом С/С –  $76,73 \pm 35,74$  с.

Выявлены существенные различия в функции кардиореспираторной системы об-

следованных спортсменов. После проплыwania дистанции 200 м потребление кислорода возросло у юношей КГ на 3,59 %, у девушек – на 3,9 %, у юношей ЭГ – на 5,18 % и у девушек – на 5,25 %. При этом были зафиксированы меньшие значения ЧСС после проплыwania дистанции. В результате таких изменений возрос кислородный пульс, что свидетельствовало о повышении экономичности кислородтранспортной системы организма (табл. 5).

Таблица 4

**Время задержки дыхания спортсменами подводного плавания в ластах с разными полиморфными вариантами гена ACE**

Генотип	Проба Штанге, с		Проба Генча, с		Проба с гипервентиляцией, с	
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
I/I	78,15*	5,65	53,75	14,2	138,07	16,5
I/D	82,86*	4,98	43,30	9,42	141,72	16,26
D/D	109,39*	8,92	56,71	14,36	161,85	18,46

**Примечание.** \* – различия статистически значимы по отношению к D/D-генотипу.

Таблица 5

**Характеристика изменений кардиореспираторной системы у спортсменов КГ и ЭГ после проплыwania дистанции 200 м**

Показатели	Пол	Контрольная группа				Экспериментальная группа			
		До эксперимента		После эксперимента		До эксперимента		После эксперимента	
		$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
ЧСС, уд./мин	м	173,50	10,06	160,10	11,27*	167,46	5,98	162,69	4,66*
	ж	179,36	7,31	167,21	3,6*	176,09	9,06	168,09	8,10*
ПО <sub>2</sub> , мл/мин·кг	м	41,10	2,42	42,58	2,6*	40,62	2,43	42,72	2,53*
	ж	36,00	2,04	37,41	2,33*	36,18	1,99	38,08	2,08*
КП, мл	м	16,6	0,02	18,4	0,017	17,20	0,01	18,9	0,02
	ж	10,05	0,05	11,07	0,021	10,22	0,013	11,3	0,015
ДК, у.е.	м	1,12	0,05	1,05	0,03	1,13	0,05	1,01	0,03*
	ж	1,18	0,05	1,11	0,06	1,2	0,04	1,11	0,04
Выд. СО <sub>2</sub> , мл/мин·кг	м	45,88	1,06	44,75	1,67	45,88	1,11	43,14	1,56*
	ж	42,26	1,07	41,53	0,86	43,40	1,93	42,11	1,44

**Примечание.** \* – изменения статистически достоверны по сравнению с контролем (до эксперимента),  $p < 0,05$ .

Дыхательный коэффициент после проплыwania дистанции 200 м был выше единицы, что может характеризовать активизацию анаэробного пути энергообеспечения и образование лактата.

Результаты исследований также показали, что в зависимости от особенностей гено-типа спортсменов использованные методические разработки, направленные на развитие устойчивости организма спортсменов-

подводников к гипоксии и гиперкапнии, оказали разное влияние на реакцию кардиореспираторной системы на предъявляемые физические нагрузки (табл. 6). Так, у спортсменов с Т/Т- и Т/С+С/С-генотипами в ЭГ, в отличие от КГ, было установлено достоверное увеличение потребления кислорода после проплывания дистанции 200 м. Учитывая,

что уровень спортивной квалификации спортсменов ЭГ значительно вырос, можно сказать, что это обусловлено расширением физиологического диапазона механизмов использования кислорода.

За период педагогического эксперимента в КГ повысили свою спортивную квалификацию 62,5 % пловцов, а в ЭГ – 79 % (табл. 7).

Таблица 6

**Потребление кислорода пловцами-подводниками КГ и ЭГ с различными генотипами после проплывания дистанции 200 м в начале и в конце педагогического эксперимента**

Генотип	Пол	Контрольная группа						Экспериментальная группа					
		ПК, мл/мин·кг до эксперимента		ПК, мл/мин·кг после эксперимента		Δ, мл/мин·кг		ПК, мл/мин·кг до эксперимента		ПК, мл/мин·кг после эксперимента		Δ, мл/мин·кг	
Статист. показатель		$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S
Т/Т	м	42,80	1,64	44,40	1,81	1,60	0,34	42,5	1,71	44,73	1,65	2,23	0,15*
	ж	37,14	2,04	38,84	2,26	1,70	0,29	37,0	1,7	38,97	1,81	1,97	0,08*
Т/С+С/С	м	39,40	1,82	40,76	1,93	1,36	0,15	39,0	1,5	40,99	1,57	1,99	0,07*
	ж	34,86	1,35	35,99	1,35	1,13	0,11	35,20	1,92	37,02	2,03	1,82	0,1*

Примечание. \* – изменения статистически достоверны.

Таблица 7

**Изменение уровней спортивной квалификации пловцов-подводников в процессе педагогического эксперимента**

Группы		Уровни спортивной квалификации				
		До эксперимента		После эксперимента		
		Гр.	КМС	Гр.	КМС	МС
Девушки	Контрольная	10	2	4	6	2
	Экспериментальная	8	3	-	6	5
Юноши	Контрольная	12	-	7	4	1
	Экспериментальная	10	3	3	9	1

Таким образом, проведенные исследования показали, что построение тренировочного процесса на этапе специализированной базовой подготовки необходимо проводить с учетом генотипических предрасположенностей спортсмена. В настоящее время выделены гены (и их вариации), которые ассоциированы с развитием в организме гипоксических состояний различного происхождения (полиморфизмы генов *ACE* и *eNOS*), однако до сих пор нет данных о генетических маркерах, ассоциированных с проявлением устойчивости организма к гипоксии, развивающейся у

спортсменов, занимающихся подводным плаванием. Выявлено, что между наличием аллельных вариантов полиморфизмов генов *ACE* и *eNOS* и проявлением спортивной работоспособности имеется ассоциативная зависимость. У спортсменов-подводников в ластах достоверно повышена частота Т/Т-генотипа, снижены частоты Т/С- и С/С-генотипов.

У спортсменов полиморфизмы генов *eNOS* и *ACE* ассоциированы с характером адаптационных возможностей систем дыхания и кровообращения при гипоксии нагрузки. Высокой экономичностью кардиореспи-

раторной системы в подводном плавании обладают спортсмены с Т/С-генотипом, а низкой – с С/С-генотипом.

**Заключение.** Применение в тренировочном процессе на этапе специализированной базовой подготовки спортсменов специальных упражнений способствует повышению экономичности функционирования кардиореспираторной системы организма, повышению спортивной результативности. Наиболее высоким оказался прирост результатов на дистанции 200 м у спортсменов ЭГ с генотипами Т/С и С/С (на 15,2 %), меньшим – у спортсменов КГ с генотипом Т/С (прирост на 4,1 %).

1. *Ахметов, И.И.* Методика и организация занятий атлетической гимнастикой с учетом типа телосложения и их генетической предрасположенности / И.И. Ахметов, И.Ю. Яновский // Теория и практика физ. культуры. – 2007. – №1. – С. 56–64.

2. Вікові особливості реакції кардіореспираторної системи на гіпоксію / О.В. Коркушко та ін. // Фізіологічний журн. – 2005. – Т. 51, №6. – С. 11–17.

3. *Голубинский, Г.К.* Экспериментальное обоснование использования скоростных упражнений в тренировке подростков, занимающихся подводным плаванием: автореф. дис. ... д-ра пед. наук / Г.К. Голубинский. – М., 1972. – 17 с.

4. Залежність аеробних можливостей спортсменів від поліморфізму генів / С.Б. Дроздовська

та ін. // Вісн. Черкаського Ун-ту. Сер. Біологічні науки. – Черкаси. – 2012. – Вип. 2 (215). – С. 43–52.

5. *Мищенко, В.С.* Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В.С. Мищенко, Е.Н. Лысенко, В.Е. Виноградов. – К. : Науковий світ, 2007. – 351 с.

6. *Мищенко, В.С.* Чувствительность и устойчивость реакций системы дыхания к гипоксии как отражение адаптации к напряженной спортивной тренировке / В.С. Мищенко, А.И. Павлик // Спортивная медицина. – 2008. – №1. – С. 55–65.

7. *Платонов, В.Н.* Многоцикловые системы построения подготовки пловцов в течение года / В.Н. Платонов // Наука в олимпийском спорте. – 2001. – №1. – С. 11–32.

8. *Рогозкин, В.А.* Предрасположенность человека к выполнению физических нагрузок / В.А. Рогозкин // Генетические, психофизические и педагогические технологии подготовки спортсменов : сб. науч. тр. – СПб., 2006. – С. 28–42.

9. *Филиппов, М.М.* Физиологические механизмы регуляции процесса массопереноса респираторных газов, развития и компенсации гипоксии загрузки при мышечной деятельности : дис. ... д-ра биол. наук / М.М. Филиппов. – К., 1986. – 416 с.

10. *Филиппов, М.М.* Физиологические механизмы развития и компенсации гипоксии в процессе адаптации к мышечной деятельности / М.М. Филиппов, Д.Н. Давиденко. – СПб. ; К. : БПА, 2010. – 260 с.

11. Allelic polymorphism of endothelial NO-synthase (eNOS) associate with exercise-induced hypoxia adaptation / M.M. Filippov et al. // Baltic Journal of health and physical activity (Research Yearbook). – 2009. – Vol. 1, №1. – P. 13–19.

## GENOTYPE PECULIARITIES OF SPORTSMEN SPECIALIZING IN FINSWIMMING, DETERMINING LOAD ADAPTATION TO HYPOXIA AND HYPERCAPNIA

M.M. Filippov, L.M. Kuzmina

National University of Physical Education and Sports of Ukraine, Kiev

Found that the stability of the athletes to hypoxia and hypercapnia stress depends on the genetic determination of allelic variants polymorphisms of the gene ACE and eNOS. Found that athletes with predominantly aerobic energy supply C-allele polymorphism of promoter gene eNOS is associated with cardio-respiratory efficiency of the system (most athletes with genotype T/C) polymorphism gene eNOS and the I/D ACE gene. Identified relationships can be used for directional control of the process of special physical training of athletes, and for primary screening of young athletes.

**Keywords:** athletes, hypoxia, hypercapnia, load, genotyping, gene polymorphism.