

А.О. Пятибрат<sup>1</sup>, С.Б. Мельнов<sup>2</sup>, А.С. Козлова<sup>2</sup>,  
В.Я. Апчел<sup>3</sup>, Е.Д. Пятибрат<sup>3</sup>, П.Д. Шабанов<sup>3</sup>

## Адаптация военнослужащих к экстремальным видам деятельности в зависимости от полиморфизма генов-регуляторов метаболизма

<sup>1</sup>Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Международный экологический университет им. А.Д. Сахарова, Минск

<sup>3</sup>Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

**Резюме.** Проведена оценка полиморфизма генов, ассоциированных с обменом веществ у сотрудников подразделений, выполняющих специальные задачи Вооруженных сил Республики Беларусь. Выявлена взаимосвязь аллелей генов *ACTN3*, *TFAM*, *PPARA* и *PPARGC1A* и успешности адаптации к высоким физическим нагрузкам при выполнении учебно-боевых задач. Определены аллели рассматриваемых кандидатных генов, ассоциированные с высокой толерантностью к физическим нагрузкам. Проведена оценка показателей нейродинамических функций в зависимости от генотипа и функционального состояния организма сотрудников силовых структур при выполнении учебно-боевых задач. Выявлены особенности изменений функционального состояния организма при выполнении учебно-боевых задач, связанных с высокими физическими нагрузками, у лиц с различным генотипом рассматриваемых кандидатных генов. Установлено что, лица с генотипами *ACTN3 R/X*, *ACTN3 X/X*, *TFAM Thr/Thr*, *TFAM Thr/Ser*, *PPARA G/G*, *PPARA G/C*, *PPARGC1A Gly/Gly*, *PPARGC1A Gly/Ser*, демонстрировали более высокие показатели физической выносливости. У них восстановление показателей системы кровообращения и нейродинамических функций к исходным значениям происходило на 3-й день после окончания экстремальных нагрузок. В тоже время у носителей гомозиготных аллелей *ACTN3 R*, *TFAM Ser*, *PPARA C* и *PPARGC1A Ser* процесс реабилитации после выполнения учебно-боевых задач происходил медленнее. Показатели системы кровообращения и нейродинамических функций у них оставались достоверно измененными относительно исходных значений. Доказана актуальность скринингового исследования полиморфизма генов *ACTN3*, *TFAM*, *PPARA* и *PPARGC1A* при проведении профессионального отбора для прохождения службы в подразделениях выполняющих специальные задачи, связанные с высокими физическими нагрузками.

**Ключевые слова:** полиморфизм генов, физическая выносливость, функциональные резервы, профессиональный отбор, экстремальные виды профессиональной деятельности, адаптация, толерантность к физической нагрузке, нейродинамические функции.

**Введение.** В последние десятилетия происходит неуклонный рост количества локальных военных конфликтов, чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф, как в нашей стране, так и за рубежом. Профессиональная деятельность в этих условиях относится к опасным (экстремальным) условиям труда. Для выполнения профессиональных задач по предназначению, для лиц данного контингента чрезвычайно важными являются вопросы неблагоприятного воздействия факторов внешней среды, значительной физической и психологической нагрузки, а в ряде случаев – выполнение служебных обязанностей со смещением биологических ритмов. Это может приводить к истощению адаптационных и компенсаторных механизмов в организме военнослужащих и развитию явлений дезадаптации.

В последние годы методы ведения боевых действий претерпели существенные изменения, от боеспособности подразделений, выполняющих специальные задачи, часто зависит результат крупномасштабных операций, а адекватное выполнение данным

контингентом поставленных боевых задач может способствовать сохранению жизни личного состава подразделений общего назначения. Эти изменения коснулись характера и спецификации выполняемых задач личным составом спецподразделений. Так, в настоящее время военнослужащим данного контингента для успешного выполнения поставленных задач необходимо использование сложных эргономических систем, что в свою очередь требует сохранения высоких кондиций нейродинамических функций в период экстремальных физических нагрузок. В связи с этим профессиональная работоспособность военнослужащих этих подразделений должна отвечать повышенным требованиям. Известно, что несоответствие нагрузок физиологическим резервам, приводит к расстройству межсистемной регуляции организма, поэтому от соответствия физических возможностей военнослужащих предъявляемым требованиям зависит их состояние здоровья и профессиональное долголетие. В тоже время ортодоксальный подход, существующий в профессиональном отборе не по-

звояет в полной мере проводить качественный отбор личного состава для выполнения данных задач. Наиболее перспективным методом, позволяющим проводить отбор для выполнения задач в спецподразделениях и дифференцировки военнослужащих по специфике функциональных обязанностей, является определение генетической детерминированности физических качеств и нейродинамических функций [2, 4]. На современном этапе развития биологических наук и генетики появилась возможность определения генетических детерминант, связанных с особенностями нейродинамических функций и физических качеств, что позволяет с помощью молекулярно-генетического анализа полиморфизма дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК) разработать генетические маркеры толерантности к нагрузкам в экстремальных условиях профессиональной деятельности.

Методы оценки генетических детерминант отбражающих наследственные признаки, позволяют более точно и эффективно прогнозировать степень пригодности к выполнению задач по предназначению в экстремальных условиях. Во многих странах Североатлантического блока в последнее время активно используются молекулярно-генетические методы профессионального отбора спецконтингентов вооруженных сил [9]. Тем не менее, представленные в отечественной и зарубежной литературе результаты исследований в полной мере не раскрывают молекулярных механизмов наследственной толерантности к высоким физическим нагрузкам. Не до конца разработанной остается проблема поиска новых генетических маркеров и оценки их значимости как критериев физической и умственной работоспособности [1].

Таким образом, внедрение молекулярно-генетических методов позволит существенно повысить эффективность военно-профессионального отбора и предоставит возможность дифференцировки личного состава в подразделениях по специфике функциональной нагрузки, что будет способствовать более эффективному выполнению поставленных задач, сохранению здоровья и увеличению профессионального долголетия военнослужащих подразделений выполняющих специальные задачи.

**Цель исследования.** Оценить успешность адаптации военнослужащих к экстремальным видам деятельности в зависимости от полиморфизма генов-регуляторов метаболизма.

**Материалы и методы.** Обследованы 570 военнослужащих подразделений, выполняющих специальные задачи Вооруженных сил республики Беларусь, проходящих службу по контракту и имеющих высокие показатели в профессиональной деятельности. Возраст испытуемых – 21,3±2,4 лет, масса тела – 82,2±2,4 кг. Все военнослужащие получали организованное питание по норме общевойскового пайка и проходили службу с одинаковым внутренним распорядком, а также условиями размещения, соответствующими требованиям руководящих документов.

Фоновые значения анализируемых показателей определяли во время повседневной деятельности и дважды по окончании выполнения учебно-боевых задач во время полевого выхода, после возвращения в место постоянной дислокации, первый раз в течение первых суток, второй раз через трое суток. Занятия в полевых условиях проходили 7 суток и включали элементы тактико-специальной подготовки, минно-подрывного дела, защиты от оружия массового поражения, огневой и инженерной подготовки, маршрут составлял 45 км в день по пересеченной местности.

Уровень суточных энергозатрат определяли хронометражно-табличным методом с учетом вида деятельности по усредненным данным коэффициента физической активности.

Сбор биологического материала и оценка функционального состояния организма проводились неинвазивными методами с соблюдением процедуры информированного согласия. В качестве ДНК-содержащего материала для исследования служили образцы буккального эпителия, забор которых осуществлялся с помощью специальных одноразовых стерильных зондов путем соскоба клеток с внутренней стороны щеки. Экстракция ДНК проводилась по стандартной методике [8].

Оценку частоты аллелей осуществляли с помощью анализа полиморфизма длин рестрикционных фрагментов, используя полимеразно-цепную реакцию (ПЦР). Для выявления рестрикционных полиморфизмов проводилась обработка продуктов ПЦР рестриктазами производства фирмы «NewEnglandBioLabs» (Великобритания) в соответствии с инструкцией и последующим разделением полученных фрагментов в 3% агарозном геле (табл. 1).

Частоту встречаемости аллелей генов ACTN3, TFAM и PPARGC1A сравнивали с результатами для европейской популяции по данным И.И. Ахметова [1, 7]. Оценку физической работоспособности проводили по методике PWC<sub>170</sub> с помощью велоэргометра «XR100» фирмы «Cardioline» (Италия). Частоту сердечных сокращений (ЧСС) регистрировали с помощью электрокардиографа «Cardiovit 102» фирмы «SHILLER» (Швейцария). Артериальное давление измеряли по методике Н.С. Короткова. Функциональные пробы с задержкой дыхания на вдохе (проба Штанге) и выдохе (проба Генча) проводили по общепринятой методике [4]. Методики «Реакция на движущийся объект» (РДО), «Простая зрительно-моторная реакция» (ПЗМР) и

Таблица 1

**Рестриктазы, использованные для выявления рестрикционных полиморфизмов**

Полиморфизм	Рестриктаза	Температура инкубирования, °C
R577X ACTN3	Dde I	37
Ser12Thr TFAM	Dde I	37
2498 G>C PPARA	Taq I	65
Gly482Ser PPARGC1A	Msp I	37

«Корректирующая проба с кольцами Ландольта» проводилась с помощью аппаратно-программного комплекса «НС-ПсихоТест» фирмы «Нейрософт» (Иваново). Скорость переработки зрительной информации оценивалась с помощью корректирующей пробы с кольцами Ландольта и рассчитывалась по формуле:

$$Q = \frac{V - 2.807 \cdot (P + O)}{t},$$

где Q – скорость переработки зрительной информации в бит/с; t – время выполнения задания (с); P – количество пропущенных знаков; O – количество ошибочно или неправильно зачеркнутых знаков; V – объем зрительной информации. При этом потеря информации, приходящейся на один пропущенный знак приравнивалась к 2,807 бита.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0. Все необходимые промежуточные расчеты выполнялись с помощью программы Microsoft Office Excel 2007.

**Результаты и их обсуждение.** Средняя величина суточных энергозатрат при повседневной деятельности составила 3859 ккал в сутки, диапазон колебания суточных энергозатрат находился в пределах от 3683 до 4158 ккал, во время полевого выхода – от 5862 до 6430 ккал.

Выявлено что частота, отдельных аллелей рассматриваемых генов превышает таковую в среднем по популяции (табл. 2). Это объясняется тем, что все военнослужащие предварительно были отобраны для исследования с помощью экспертной оценки. По-видимому, данные полиморфизмы способствовали успешности их профессиональной деятельности.

Среди генотипов генов ACTN3, TFAM, PPARA и PPARGC1A обследованных военнослужащих преобладали генотипы с аллелями, ассоциированными с преобладанием склонности к аэробному метаболизму (табл. 3). Это обуславливает повышенную выносливость, пониженный риск развития ожирения, сахарного диабета и атеросклеротических изменений в системе кровообращения [3, 7].

Показано, что полиморфизм гена ACTN3 оказывает влияние на предрасположенность к экстремальным видам профессиональной деятельности (табл. 4). По данным И.И. Ахметова [1, 7] генотип R/R ассоциирован с наличием скоростно-силовых способностей, генотип R/X – со скоростно-силовыми способностями и выносливостью, а генотип X/X – со снижением скоростно-силовых способностей, но благоприятно влияет на выносливость. Функция гена ACTN3 заключается в кодировании белка (α-актинин-3), контролирующего быстроту сокращения мышечных волокон. Полиморфизм гена ACTN3 приводит к замене аргинина (R) в положении 577 в стоп-кодон (X), поэтому гомозиготность по X-аллели связана со снижением белка (α-актинин-3), что негативно сказывается на скоростно-силовых показателях физических качеств человека [5, 9].

Динамика показателей системы кровообращения и физической работоспособности при выполнении учебно-боевых задач свидетельствует о более низком уровне напряжения системы кровообращения у лиц с генотипами R/X и X/X. Поэтому и период восстановления у них протекал более гладко. Так, уже на 3 день после возвращения в часть показатели системы кровообращения возвратились к фоновым значениям, что расценивается как завершение процесса

Таблица 2

Распространенность отдельных аллелей генов ACTN3, TFAM, PPARA и PPARGC1A у военнослужащих в среднем по популяции

Ген	Аллель	n	Частота, %	Частота по популяции, % [1, 7]
ACTN3	R	470	82,5	60
	X	100	17,5	40
TFAM	Thr	296	52,0	9
	Ser	274	58,0	81
PPARA	G	507	88,9	79,2
	C	63	11,1	20,8
PPARGC1A	Gly	490	85,9	63
	Ser	80	14,1	37

Таблица 3

Распространенность генотипов генов ACTN3, TFAM, PPARA и PPARGC1A у военнослужащих

Показатель	ACTN3			TFAM			PPARA			PPARGC1A		
	R/R	R/X	X/X	Thr/Thr	Thr/Ser	Ser/Ser	GG	GC	CC	Gly/Gly	Gly/Ser	Ser/Ser
%	34,5	43,3	21,2	44,5	20,2	35,3	42,4	26,5	31,1	32,3	46,3	21,4
n	199	249	122	254	115	201	242	151	177	184	264	122

Таблица 4

**Показатели функционального состояния системы кровообращения и физической работоспособности у военнослужащих с различными генотипами ACTN3, M±m**

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания		
	R/R, n=199	R/X, n=249	X/X, n=122	R/R, n=199	R/X, n=249	X/X, n=122	R/R, n=199	R/X, n=249	X/X, n=122
ЧСС, уд/мин	76,9±0,9	77,2±1,4	76,4±0,8	83,2±0,9*	81,3±0,8*	78,1±0,9	81,6±0,8*	78,2±1,5	76,6±0,9#
САД, мм рт. ст.	112,3±2,7	114,4±3,2	113,1±2,8	121,3±2,6*	119,4±3,1*	115,2±2,9	119,2±2,6*	115,7±2,4	112,6±1,5#
ДАД, мм рт. ст.	72,1±2,5	73,2±2,4	72,8±2,1	86,3±2,7*	84,2±2,5*	78,3±2,1	82,3±2,6*	79,4±2,4	72,5±2,3#
Проба Штанге, с	64,4±2,6	62,7±2,4	63,7±2,2	54,2±2,3*	54,6±2,4*	55,5±2,6*	56,5±2,2*	62,7±2,4	63,7±2,2
Проба Генча, с	36,4±1,5	35,2±1,6	35,8±1,8	29,7±1,8*	29,8±1,8*	31,5±2,1	32,1±1,7	34,3±1,5	35,9±1,3
ЧСС после физ. нагрузки 150 Вт, уд/мин	106,5±3,8	112,6±3,6	116,4±4,2	129,4±4,4*	132,4±3,8*	134,5±4,1*	127,5±3,9*	113,6±3,1	116,7±3,8#
RWC170, Вт	352,5±8,3	349,6±7,8	351,3±15,7	302,5±9,6*	319,4±7,8*	322,8±9,8	321,5±7,8*	339,6±11,2	342,5±6,1#

**Примечание:** \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа ACTN3 R/R, p≤0,05.

реабилитации. В тоже время в группе с гомозигот с генотипом R/R значения показателей системы кровообращения и уровня физической работоспособности сразу после выполнения задач не претерпели изменений. Это свидетельствует о том, что процесс реабилитации после выполнения задач в этой группе еще не завершился.

Установлено, что лица с генотипами TFAM Thr/Thr и TFAM Thr/Ser при выполнении учебно-боевых задач, демонстрировали более высокие показатели физической выносливости (табл. 5). Это связано с тем, что полиморфизм гена TFAM локализованного на хромосоме – 10q21.1, в котором гуанин (G) заменяется на цитозин (C), в следствии чего происходит замена аминокислоты серин на треонин (Ser12Thr) в позиции 12 аминокислотной последовательности белка, приводит к изменению активности митохондриального фактора транскрипции A, что способствует повышению аэробной производительности [5, 10].

Показатели системы кровообращения и физической работоспособности достоверно изменялись в динамике выполнения учебно-боевых задач во всех группах. Однако через 3 дня после выполнения задач в группах с генотипами TFAM Thr/Thr и TFAM Thr/Ser значения оцениваемых показателей возвращались к уровню исходных, в то время как у лиц с генотипом TFAM Ser/Ser эти показатели оставались достоверно измененными. Это свидетельствует о напряжении систем кровообращения и дыхания, а также о задержке процесса реабилитации после выполнения учебно-боевых задач.

Выявлено, что лица с генотипами PPARA G/G и PPARA G/C по ряду показателей при выполнении учебно-боевых задач демонстрировали более низкий уровень напряжения системы кровообращения и высокую толерантность к физической нагрузке, в отличие от группы с генотипом PPARA C/C (табл. 6). Это связано с тем что, функция гена PPARA заключается

Таблица 5

**Показатели системы кровообращения и физической работоспособности у военнослужащих с различными генотипами TFAM, M±m**

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания		
	Thr/Thr, n=254	Thr/Ser, n=115	Ser/Ser, n=201	Thr/Thr, n=254	Thr/Ser, n=115	Ser/Ser, n=201	Thr/Thr, n=254	Thr/Ser, n=115	Ser/Ser, n=201
ЧСС, уд/мин	75,7±1,2	76,3±1,5	75,4±1,1	81,3±0,9	84,2±1,2*	84,4±0,8*	77,1±0,7#	78,3±1,2	81,3±0,7*
САД, мм рт. ст.	112,7±2,6	113,9±2,1	112,9±3,8	117,2±2,5	121,4±3,2	125,1±2,4*	114,3±2,5	115,2±2,1	123,7±3,5*
ДАД, мм рт. ст.	72,1±2,5	73,2±2,4	72,2±2,1	86,3±2,7	84,2±2,5	78,3±2,1*	72,3±2,6#	79,4±2,4	82,5±2,3*
Проба Штанге, с	65,2±2,7	62,5±2,1	62,3±2,4	57,2±1,9	53,5±2,2	54,4±2,4*	62,5±2,2#	57,4±2,5	55,6±2,1*
Проба Генча, с	37,2±1,5	34,9±1,7	36,4±1,3	31,6±1,6	29,9±1,8	27,5±2,2*	35,7±1,5#	32,4±1,6	31,1±1,2*
ЧСС после физ. нагрузки 150 Вт, уд/мин	108,4±3,3	110,5±3,9	109,3±4,1	126,5±4,2	134,1±3,9	136,5±4,2*	112,5±3,7#	114,8±3,1	123,6±3,5*
RWC170, Вт	352,7±8,3	352,6±8,9	351,8±9,7	328,4±9,2	314,5±8,5	316,8±9,3*	347,8±10,2#	334,7±9,2	331,4±12,1*

**Примечание:** \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа TFAM Ser/Ser, p≤0,05.



в регуляции экспрессии ряда генов, контролируемых пероксисомное и митохондриальное окисление. Полиморфизм гена PPARA локализованного на 22 хромосоме в 7 интроне, где G (гуанин) заменяется С (цитозин снижает его экспрессию, что приводит к падению эффективности β-окисления жирных кислот и переключению метаболизма тканей на гликолитический путь) [5, 11, 12]. Так, в группе с генотипом PPARA C/C анализируемые показатели через 3 дня после выполнения задач оставались достоверно измененными относительно фоновых значений, что свидетельствует о задержке периода реабилитации. Следовательно, у лиц с генотипом PPARA G/G и PPARA G/C имеет место высокая толерантность к длительной физической нагрузке, за счет преобладания склонности к аэробному метаболизму. Это обуславливает повышенную выносливость и высокий уровень функциональных резервов организма, а также снижение риска развития ожирения, сахарного диабета и атеросклеротических изменений в системе кровообращения [5, 6, 12].

Установлено, что у лиц с генотипом PPARGC1A Ser/Ser в отличие от военнослужащих с генотипами PPARGC1A Gly/Gly и Gly/Ser, уровень напряжения системы кровообращения более высокий и более низкая толерантность к физической нагрузке. Это объясняется тем что, функция гена PPARGC1A заключается кодировании белка, участвующего в метаболизме мышечных тканей. Полиморфизм, где происходит замена нуклеотида G на A в положении 1444 8 экзона, вызывает замещение глицина на серин в аминокислотном положении 482 кодируемого белка, что приводит к снижению активации функции митохондрий. При длительных физических нагрузках возрастает уровень экспрессии PPARGC1A, таким образом, у лиц с генотипами, содержащими аллель G, определяется высокий уровень выносливости и физической работоспособности [5, 11, 12]. И.И. Ахметов [1, 7], К.С. Vimalaswaran et al. [12] указывают на связь Ser-аллеля гена PARGC1A с риском развития гипертензии в молодом возрасте.

В группе с генотипом PPARGC1A Ser/Ser анализируемые показатели через 3 дня после выполнения учебно-боевых задач остаются достоверно измененными относительно фоновых значений, что, по видимому, свидетельствует о более низком уровне функциональных резервов организма и задержке процессов восстановления (табл. 7).

Показатели нейродинамических функций у военнослужащих носителей различных аллелей гена ACTN3 в процессе выполнения учебно-боевых задач достоверно изменились по всем показателям используемых методик. Так, у всех испытуемых по данным методики РДО в исходном состоянии преобладало количество точных реакций, что свидетельствует о высоком уровне антиципации, после выполнения задач преобладающими стали преждевременные и запаздывающие реакции, свидетельствующие об утомлении. Через 3 дня после окончания учебно-боевых задач у носителей генотипов ACTN3 R/X и X/X исследуемые показатели восстановились до исходных значений. В тоже время у носителей генотипа R/R эти показатели оставались достоверно измененными относительно фоновых данных (табл. 8).

Так же в динамике выполнения учебно-боевых задач изменялись и показатели нейродинамических функций у носителей различных аллелей гена TFAM. Так по данным методики РДО, после выполнения задач почти в 2 раза сократилось количество точных реакций, что свидетельствует об утомлении. Через 3 дня после окончания учебно-боевых задач у носителей аллель TFAM Thr, как гомо- так и гетерозигот, показатели нейродинамических функций восстанавливались и достигали исходных значений. У гомозиготных носителей аллеля Ser, показатели остаются достоверно измененными относительно фоновых данных (табл. 9).

Полиморфизм гена PPARA сохраняет такие же тенденции, как и другие гены-регуляторы метаболизма. Так, показатели нейродинамических функций у носителей аллеля PPARA G через 3 дня после окончания учебно-боевых задач восстанавливаются к исходным

Таблица 6

**Показатели системы кровообращения и физической работоспособности у военнослужащих с различными генотипами PPARA, M±m**

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания		
	G/G, n=242	G/C, n=151	C/C, n=177	G/G, n=242	G/C, n=151	C/C, n=177	G/G, n=242	G/C, n=151	C/C, n=177
ЧСС, уд/мин	76,4±1,3	75,9±1,7	76,2±1,5	83,1±0,9*	84,3±1,3*	85,6±1,1*	77,2±1,2#	79,1±0,8	81,7±0,9*
САД, мм рт. ст.	114,2±2,2	112,7±3,1	112,1±3,2	125,7±2,6*	122,4±2,4*	121,1±2,7*	114,5±2,8	119,2±2,7	120,6±3,2*
ДАД, мм рт. ст.	73,4±1,9	72,8±2,5	71,6±2,2	87,2±1,7*	85,7±2,5*	82,4±3,2*	75,5±2,6	76,1±3,5	79,6±2,4*
Проба Штанге, с	65,9±1,3	64,6±2,4	60,3±2,7	58,1±1,9*	54,4±2,3*	51,2±2,3*	63,4±2,5#	57,2±2,8	55,9±2,1
Проба Генча, с	38,1±1,7	35,6±1,4	32,9±1,5	32,4±1,6*	29,8±1,9*	26,8±1,6*	36,9±1,7#	31,8±2,6	28,8±1,8*
ЧСС после физ. нагрузки 150 Вт, уд/мин	109,3±3,4	108,5±3,6	109,7±3,9	129,4±3,7*	132,2±4,1*	133,4±4,5*	110,9±2,7#	116,6±4,3	117,5±2,2*
PWC170, Вт	354,2±7,1	351,4±9,2	350,6±9,4	332,4±6,2*	312,4±8,9*	315,2±9,4*	351,5±9,3#	332,6±10,1	319,8±11,2*

**Примечание:** \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа PPARA C/C, p<0,05.

Таблица 7

## Показатели системы кровообращения и физической работоспособности у военнослужащих с различными генотипами PPARGC1A, M±m

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания		
	Gly/Gly, n=184	Gly/Ser, n=264	Ser/Ser, n=122	Gly/Gly, n=184	Gly/Ser, n=264	Ser/Ser, n=122	Gly/Gly, n=184	Gly/Ser, n=264	Ser/Ser, n=122
ЧСС, уд/мин	76,4±1,3	75,9±1,7	76,2±1,5	82,1±0,9*	84,3±1,3*	85,6±1,1*	77,2±1,2#	79,1±0,8*	81,7±0,9*
САД, мм рт. ст.	115,1±4,1	112,6±2,9	111,6±3,6	127,4±2,9*	121,5±2,7*	120,8±2,4*	115,7±3,6	113,7±2,8*	119,4±3,7*
ДАД, мм рт. ст.	74,2±2,3	72,9±2,9	70,8±2,6	88,3±3,4*	86,1±2,7*	81,2±3,9*	74,8±2,1	75,8±3,1*	78,8±3,5*
Проба Штанге, с	64,1±2,5	66,1±2,6	59,4±2,2	59,6±1,8	53,9±2,6*	51,8±2,9*	65,5±2,2#	56,9±3,1*	53,8±3,2*
Проба Генча, с	38,8±1,9	36,2±1,8	32,2±1,9	30,3±1,7	28,9±2,1*	25,7±2,2*	37,8±2,4#	31,2±2,7*	28,1±1,9*
ЧСС после физ. нагрузки 150 Вт, уд/мин	111,2±3,2	110,4±2,8	107,4±3,4	132,1±3,5*	129,3±3,9*	129,2±4,2*	111,9±4,1#	115,7±4,5*	125,7±3,4*
PWC170, Вт	355,4±8,7	352,3±8,6	348,5±9,2	329,5±9,7*	314,5±8,2*	316,4±8,7*	354,5±11,3#	331,2±9,1*	323,6±9,2*

Примечание: \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа PPARGC1A Ser/Ser, p≤0,05.

Таблица 8

## Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами ACTN3, M±m

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания			
	R/R, n=199	R/X, n=249	X/X, n=122	R/R, n=199	R/X, n=249	X/X, n=122	R/R, n=199	R/X, n=249	X/X, n=122	
ПЗМР, мс	212,17±4,29	198,36±6,12	209,15±3,27	259,23±6,34*	256,36±7,18*	228,25±5,29*	247,26±9,31*	212,54±7,24	211,21±4,78#	
Q, бит/с	1,62±0,12	1,59±0,09	1,60±0,14	1,21±0,16*	1,19±0,11*	1,24±0,15*	1,34±0,14*	1,49±0,12	1,58±0,21	
РДО	Точные реакции	14,1±0,4	14,4±0,3	14,2±0,2	8,4±0,2*	9,6±0,3*	10,7±0,3*	11,9±0,3*	14,2±0,5#	14,4±0,5#
	Опережающие реакции	8,8±0,7	8,6±1,1	7,7±0,6	16,9±0,8*	14,4±0,7*	15,2±0,6*	8,9±0,6	8,7±1,3	8,7±0,6
	Запаздывающие реакции	7,9±0,4	8,2±0,6	9,2±0,4	15,2±0,2*	15,4±0,3*	14,8±1,4*	9,9±0,5*	8,1±0,5#	8,4±0,4#
	Сумма опережений, мс	892,2±98,2	876,4±89,6	742,2±94,2	1473,24±96,2*	1778,6±99,6*	1664,4±106,8*	868,2±93,2*	865,7±82,5	841,6±91,8
	Сумма запаздываний, мс	734,3±98,8	826,5±79,4	896,1±97,3	1282,4±102,4*	1432,2±84,5*	1428,4±96,5*	984,3±54,5*	822,7±81,3#	824,5±63,1#

Примечание: \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа ACTN3 R/R, p≤0,05.

значениям. При этом у гомозиготных носителей генотипа PPARGC1A C/C, они остаются достоверно измененными относительно значений фоновых данных (табл. 10).

Полиморфизм гена PPARGC1A свидетельствует о том, что во всех группах после выполнения задач, произошли достоверные изменения показателей нейродинамических функций. Однако у носителей аллеля PPARGC1A Gly, все показатели подвижности нервных процессов через 3 дня после окончания выполнения задач вернулись к исходным значениям, в то время у носителей генотипа PPARGC1A Ser/Ser они оставались достоверно измененными относительно фоновых данных (табл. 11). Это свидетельствует о более низком уровне функциональных резервов, задержке реабилитационного периода и напряжении механизмов адаптации в целом.

**Заключение.** Установлено, что полиморфизмы генов ACTN3, TFAM, PPARGC1A является значимыми для выявления предрасположенности к работе в экстремальных условиях. Внедрение молекулярно-генетических методов в систему военно-профессионального отбора позволит не только существенно повысить его эффективность, но и предоставит возможность дифференцировки личного состава по специфике функциональной нагрузки, что будет способствовать более эффективному выполнению поставленных задач. Кроме того, учитывая связь некоторых генотипов с различными заболеваниями, можно прогнозировать риск развития ожирения, гипертонической болезни, сахарного диабета и атеросклероза. Это позволит своевременно проводить профилактические мероприятия, способствующие сохранению здоровья и увеличению профессиональ-

Таблица 9

Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами TFAM, M±m

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания			
	Thr/Thr, n=254	Thr/Ser, n=115	Ser/Ser, n=201	Thr/Thr, n=254	Thr/Ser, n=115	Ser/Ser, n=201	Thr/Thr, n=254	Thr/Ser, n=115	Ser/Ser, n=201	
ПЗМР, мс	215,18±9,31	204,72±5,82	218,14±6,12	264,35±9,71*	243,29±8,12	232,12±4,16*	221,21±8,73#	210,37±6,62#	251,18±8,24*	
Q, бит/с	1,61±0,14	1,60±0,11	1,61±0,12	1,18±0,14*	1,22±0,12	1,23±0,17*	1,57±0,18#	1,51±0,11#	1,39±0,14*	
РДО	Точные реакции	14,3±0,5	14,2±0,6	14,5±0,4	9,3±0,5*	11,2±0,5*	8,9±0,6*	14,3±0,7#	14,3±0,8#	10,2±1,1*
	Опережающие реакции	8,6±0,7	8,2±0,7	8,4±0,5	15,8±0,7*	15,1±0,7*	16,5±0,6*	8,5±0,8#	8,2±1,4#	9,6±0,5*
	Запаздывающие реакции	8,1±0,5	7,9±0,5	8,1±0,6	16,1±0,4*	14,9±0,9*	15,7±0,8*	8,2±0,7#	8,4±1,2#	9,5±0,6*
	Сумма опережений, мс	887,2±78,3	851,5±91,6	823,3±74,2	1531,21±93,6*	1592,4±104,2*	1522,5±97,5*	832,2±71,3#	862,9±93,5	992,5±56,1*
	Сумма запаздываний, мс	792,5±92,4	812,4±71,5	847,6±82,4	1376,8±98,3*	1495,4±94,5*	1441,4±74,8*	814±68,4#	819,7±94,2	942,5±71,4*

Примечание: \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа TFAM Ser/Ser. p≤0,05.

Таблица 10

Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами PPARA, M±m

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания			
	G/G, n=242	G/C, n=151	C/C, n=177	G/G, n=242	G/C, n=151	C/C, n=177	G/G, n=242	G/C, n=151	C/C, n=177	
ПЗМР, мс	205,27±7,42	212,84±6,34	212,26±6,12	259,27±9,12*	261,35±7,56*	241,18±4,39*	214,46±9,12#	208,43±8,64	242,54±12,35	
Q, бит/с	1,62±0,12	1,61±0,14	1,60±0,15	1,16±0,15*	1,19±0,17*	1,27±0,16*	1,42±0,14#	1,57±0,23	1,58±0,12	
РДО	Точные реакции	13,9±0,6	14,1±0,5	14,2±0,7	10,9±0,4*	9,1±0,7*	8,8±0,5*	14,2±0,9#	13,8±1,2	10,2±0,8*
	Опережающие реакции	8,2±0,6	8,4±0,5	8,3±0,5	11,6±0,6	15,9±0,7	15,2±0,5*	8,1±0,7#	8,1±0,6	10,1±0,7*
	Запаздывающие реакции	8,3±0,5	8,1±0,6	8,3±0,7	12,3±0,7	16,2±0,4	16,4±0,6*	8,3±0,8#	8,2±0,8	9,9±0,4*
	Сумма опережений, мс	834,5±81,2	841,5±63,8	836,3±71,4	1623,2±76,8	1496,7±91,2	1454,6±68,9*	763,2±82,4#	813,6±91,3	1086,7±81,1*
	Сумма запаздываний, мс	816,4±74,5	824,4±67,4	837,6±76,2	1514,6±89,3	1512,6±89,6	1436,5±81,7*	823,5±85,3#	839,7±82,4	995,6±83,9*

Примечание: \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа PPARA C/C, p≤0,05.

Таблица 11

Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами PPARGC1A, M±m

Показатель	До выполнения задания			После выполнения задания			Через 3 дня после выполнения задания			
	Gly/Gly, n=184	Gly/Ser, n=264	Ser/Ser, n=122	Gly/Gly, n=184	Gly/Ser, n=264	Ser/Ser, n=122	Gly/Gly, n=184	Gly/Ser, n=264	Ser/Ser, n=122	
ПЗМР, мс	208,34±6,27	210,16±7,21	209,19±6,12	265,32±8,76*	259,37±9,14*	253,26±6,42*	209,52±11,74#	224,34±7,26	239,61±9,41*	
Q, бит/с	1,59±0,09	1,63±0,28	1,60±0,34	1,17±0,11*	1,20±0,22*	1,28±0,14*	1,58±0,18#	1,56±0,17#	1,45±0,15*	
РДО	Точные реакции	14,0±0,6	14,0±0,7	14,2±0,6	9,7±0,5*	9,4±0,6*	8,9±0,5*	13,9±0,7#	12,2±1,1#	11,7±0,9*
	Опережающие реакции	8,1±0,9	8,4±0,9	7,5±0,8	16,1±0,7*	15,2±0,7*	13,8±0,7*	8,3±0,7#	8,9±0,7#	10,4±0,8*
	Запаздывающие реакции	8,1±0,4	8,2±0,6	7,9±0,8	15,8±0,8*	15,1±0,4*	14,1±0,5*	8,1±1,2#	8,6±0,9#	9,6±0,7*
	Сумма опережений, мс	842,6±95,4	854,6±81,2	788,4±62,5	1598,2±102,7*	1534,8±94,2*	1391,4±71,8*	793,6±79,2#	881,6±82,4#	1020,4±91,7*
	Сумма запаздываний, мс	838,5±86,5	831,4±91,4	812,4±81,3	1568,6±94,2*	1498,8±91,4*	1412,6±82,5*	814,6±71,8#	853,6±86,2#	968,5±69,4*

Примечание: \* – различия относительно фоновых данных; # – относительно носителей генотипа PPARGC1A Ser/Ser, p≤0,05.

ного долголетия военнослужащих специальных подразделений и силовых структур.

### Литература

1. Ахметов, И.И. Молекулярная генетика спорта / И.И. Ахметов. – М.: Советский спорт, 2009. – 268 с.
2. Барташ, В.А. Пути повышения эффективности системы профессионального отбора сотрудников спецподразделений силовых структур / В.А. Барташ // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. – СПб.: ВИФК. – 2012. № 5 (18) – С. 18–21.
3. Глотов, А.С. Анализ полиморфизма генов ренин-ангиотензиновой системы в популяции Северо-западного региона России, у атлетов и у долгожителей / А.С. Глотов и др. // Экологическая генетика. – 2004. – №. 4. – С. 40–43.
4. Серова, Л.К. Профессиональный отбор в спорте / Л.К. Серова. – М.: Человек, 2011. – 124 с.
5. Сологуб, Е.Б. Спортивная генетика: учебное пособие / Е.Б. Сологуб, В.А. Таймазов. – М.: Терра-Спорт, 2000. – 127 с.
6. Adayev, T. Trans membranes ignaling in the brain by serotonin, a key regulator of physiology and emotion / T. Adayev, B. Ranasinghe, P. Banerjee // Biosci. rep. – 2005. – Vol. 25. – P. 363–385.
7. Ahmetov, I.I. Molecular sports genetics: monograph / I.I. Ahmetov. – M.: Soviet sport, 2009. – 520 p.
8. Johanson, H. DNA elution from buccal cells stored on Whatman FTA Classic Cards using a modified methanol fixation method / H. Johanson, [et al.] // Botechniques. – 2009. – Vol. 46 (4). – P. 309–311.
9. Maron, B.J. Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980–2006 / B.J. Maron, [et al.] // Circulation. – 2009. – № 119 (8) – P. 1085–1092.
10. Rankinen, T. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2005 update / T. Rankinen, [et al.] // Med. sci. sports exerc. – 2006. – Vol. 38 (11). – P. 1863–1888.
11. Stefan, N. Genetic variations in PPARG and PPARGC1A determine mitochondrial function and change in aerobic physical fitness and insulin sensitivity during lifestyle intervention / N. Stefan, // J. clin. endocr. metab. – 2007. – Vol. 92. – P.1827–1833.
12. Vimalaswaran, K.S. The Gly482Ser genotype at the PPARGC1A gene and elevated blood pressure: a meta-analysis involving 13,949 individuals / K.S. Vimalaswaran, [et al.] // J. appl physiol. – 2008. – Vol. 105 (4). – P. 1352–1358.

A.O. Pyatibrat, S.B. Melnov, A.S. Kozlova, V.Ya. Apchel, E.D. Pyatibrat, P.D. Shabanov

### Adaptation of military personnel to extreme activities, depending on polymorphism of genes-regulators of metabolism

**Abstract.** Genes polymorphism associated with metabolism was assessed in officers of the Belarus Armed Forces special divisions. There was recognized interrelation of genes alleles ACTN3, TFAM, PPARA and PPARGC1A with successful adaptation to high exercise load at performing training-combat tasks. Considered candidate gene alleles associated with high tolerance to exercise loads were defined. There was carried out assessment of neurodynamic functions indices depending on genotype and body's functional state of officers working at force structures at performing training-combat tasks. Particular changes of functional state were detected at performing training-combat tasks with high exercise loads in people with different genotype of considered candidate genes. It was stated that those people who had genotype ACTN3 R/X, ACTN3 X/X, TFAM Thr/Thr, TFAM Thr/Ser, PPARA G/G, PPARA G/C, PPARGC1A Gly/Gly, PPARGC1A Gly/Ser demonstrated higher indices of physical endurance. Their blood circulatory system and neurodynamic functions restored to initial values triduan after the extreme loads were over. Meanwhile, those who had homozygous alleles ACTN3 R, TFAM Ser, PPARA C and PPARGC1A Ser, showed delay in rehabilitation process after performing training-combat tasks. Blood circulatory system and neurodynamic functions indices stayed evidently altered regarding initial values. Screening investigation of polymorphism of genes ACTN3, TFAM, PPARA and PPARGC1A was proved to be up-to-date at professional selection for service in special divisions with high exercise loads.

**Key words:** gene polymorphism, physical endurance, functional reserves, professional selection, hazardous occupation, adaptation, tolerance to exercise load, neurodynamic functions.

Контактный телефон: 8-911-227-12-34; e-mail: a5brat@yandex.ru