

А. О. Пятибрат¹, С. Б. Мельнов², А. В. Балахонов³, А. С. Козлова²,
Е. Д. Пятибрат⁴, П. Д. Шабанов⁴

ВЛИЯНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА ГЕНОВ СЕРОТОНИН- И ДОФАМИНЭРГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА УРОВЕНЬ КОГНИТИВНЫХ И НЕЙРОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

¹ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России, Российская Федерация, 194044, Санкт-Петербург, ул. Акад. Лебедева, 4/2

² Международный государственный экологический университет им. А. Д. Сахарова, Республика Беларусь, 220070, Минск, ул. Долгобродского, 23

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

⁴ Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Российская Федерация, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6

Для оценки изменения нейродинамических и когнитивных функций на фоне экстремальных физических нагрузок, в зависимости от полиморфизма генов регулирующих моноаминовую систему головного мозга, обследованы военнослужащие подразделений, выполняющих специальные задачи. Показано, что для оценки изменения когнитивных функций наиболее информативными явились методики «Арифметический счет» и «Установление закономерностей». Результаты исследования свидетельствуют, что носители генотипов COMT Val/Val демонстрировали результаты достоверно более высокой когнитивной гибкости после экстремальных физических нагрузок в процессе полевого выхода, чем военнослужащие, носители аллеля COMT Met. Наиболее достоверные результаты изменений нейродинамических функций получены по методикам «Реакция на движущийся объект» и «Корректирующая проба с кольцами Ландольта». Военнослужащие с генотипами 5HTT S/S, 5HT2A C/C и DRD2 A1/A1 демонстрировали лучшие показатели по этим методикам на фоне экстремальных физических нагрузок, чем носители аллелей 5HTT L, 5HT2A T, DRD2 A2. Использование методов генетического скрининга позволяет существенно повысить прогностичность отбора и оценки пригодности сотрудников указанных структур к эффективной деятельности в экстремальных условиях. Показано, что для выявления пригодности кандидатов к использованию сложных эргономических систем в процессе выполнения боевых задач значимым является анализ по генам: 5HTT, 5HT2A, DRD2 и COMT. Библиогр. 16. Табл. 9.

Ключевые слова: военнослужащие, экстремальная деятельность, полиморфизм генов, молекулярная генетика, физическая выносливость, когнитивные функции, нейродинамические функции.

THE EFFECTS OF GENE POLYMORPHISMS OF THE SEROTONIN- AND DOPAMINERGIC SYSTEMS ON THE LEVEL OF COGNITIVE AND NEURAL FUNCTIONS IN EXTREME CONDITIONS OF PROFESSIONAL ACTIVITY

A. O. Pyatibrat¹, S. B. Melnov², A. V. Balakhonov³, A. S. Kozlova², E. D. Pyatibrat³, P. D. Shabanov³

¹ The Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, 4/2, ul. Academica Lebedeva, St. Petersburg, 194044, Russian Federation

² International Sakharov Environmental University, 23, ul. Dolgobrodskaya, Minsk, 220070, Belarus

³ St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

⁴ Kirov military medical academy, 6, ul. Academica Lebedeva, St. Petersburg, 194044, Russian Federation

To assess changes in neurodynamic and cognitive functions associated with extreme exercise loads depending on gene polymorphism which regulates cerebral monoamic system, military men were

examined. It is shown that the most informative techniques to assess changes in cognitive functions are “Arithmetic count” and “Conformity establishment”. The results of the examination stated that people with COMT Val/Val genotypes demonstrated evidently higher cognitive flexibility after extreme exercise loads at performing combat training tasks than those with alleles COMT Met. The most reliable results of changes in neurodynamic functions were obtained using techniques “Reaction to the moving object” and “Landolt’s rings visual acuity test”. Military men with genotypes 5HTT S/S, 5HT2A C/C and DRD2 A1/A1 demonstrated the best indices after extreme exercise loads than those with alleles 5HTT L, 5HT2A T, DRD2 A2. Using methods of genetic screening allows a significant increase of prognostic selection and evaluation of specialists’ abilities necessary for the efficient activity in extreme conditions within the stated above forces. It was shown that gene analysis 5HTT, 5HT2A, DRD2 and COMT is significant at professional selection of the candidates to use difficult ergonomic systems at performing combat tasks.

Keywords: military, extreme activity, gene polymorphism, molecular genetics, physical endurance, current mental state, cognitive function, neural function.

Введение

Современные тенденции развития подразделений, выполняющих специальные задачи в составе силовых подразделений стран мира, направлены на применение локальных операций с применением высокоточного оружия, с целью сокращения потерь со стороны мирного населения. Так как в последние годы изменились характер и специфика выполняемых задач личным составом спецподразделений, для их успешного выполнения необходимо использование сложных эргономических систем, что, в свою очередь, требует сохранения высоких кондиций нейродинамических функций в период экстремальных физических нагрузок. Известно, что несоответствие нагрузок физиологическим резервам приводит к рассогласованию межсистемной регуляции организма, поэтому от соответствия физических возможностей сотрудников предъявляемым требованиям зависит их состояние здоровья и профессиональное долголетие. В то же время на сегодняшний день ортодоксальные методы профессионального отбора не позволяют в полной мере провести дифференцировку и подбор личного состава для выполнения данных задач. Наиболее перспективным методом, позволяющим проводить отбор для выполнения задач в спецподразделениях и дифференцировку военнослужащих по специфике функциональных обязанностей, является определение генетической детерминированности физических качеств и нейродинамических функций [5]. 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 ДНК разработать генетические маркеры толерантности к нагрузкам в экстремальных условиях профессиональной деятельности [16]. В то же время представленные в литературе результаты исследований не раскрывают в полной мере 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.

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. Определить генотипы генов дофамин- и серотонинэргической систем, ассоциированные с высокой устойчивостью нейродинамических и когнитивных функций на фоне экстремальных физических нагрузок.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели обследованы 570 военнослужащих подразделений, выполняющих специальные задачи Вооруженных сил республики Беларусь, проходящих службу по контракту и имеющих высокие показатели в профессиональной деятельности. Возраст испытуемых — $21,3 \pm 2,4$ лет, масса тела наблюдаемых $82,2 \pm 2,4$ кг. Все военнослужащие получали организованное питание индивидуальными рационами и проходили службу с одинаковым внутренним распорядком.

Значения анализируемых показателей определяли во время повседневной деятельности до полевого выхода (фон) и после возвращения в место постоянной дислокации, первый раз — в течение первых суток (1-е обследование), второй раз — через трое суток (2-е обследование). Занятия в полевых условиях проходили восемь суток, маршрут составлял 366,5 км по пересеченной местности.

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, ПЦР-анализ — на базе объединенной белорусско-немецкой лаборатории молекулярной генетики МГЭУ им. А. Д. Сахарова. Основным методом исследования — сайт-специфическая ПЦР. Для выявления рестрикционных полиморфизмов проводилась обработка продуктов ПЦР рестриктазами производства NewEnglandBioLabs в соответствии с инструкцией и последующим разделением полученных фрагментов в 3% агарозном геле. Были исследованы следующие полиморфизмы: Val158Met (G472A) гена COMT, (L/S) гена 5HTT, (T102C) гена 5HT2A и (C2137) гена DRD2.

Методики «Реакция на движущийся объект» (РДО), «Простая зрительно-моторная реакция» (ПЗМР) и «Корректирующая проба с кольцами Ландольта» проводили с помощью аппаратно-программного комплекса «НС-ПсихоТест» фирмы «Нейрософт» (Россия).

Скорость переработки зрительной информации (Q , бит/с) оценивалась с помощью корректирующей пробы с кольцами Ландольта и рассчитывалась по формуле: $Q = V - 2,807 \times (P + O)/t$, где t — время выполнения задания (с); P — количество пропущенных знаков; O — количество ошибочно или неправильно зачеркнутых знаков; V — объем зрительной информации (бит) за время t (с); потеря информации, приходящейся на один пропущенный знак, приравнивалась к 2,807 бита.

Оценка психических познавательных процессов проводилась с помощью батареи тестов КР 3 — 85 [3].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Statistica 6.0, отдельные группы предварительно сравнивали с помощью непараметрического теста Крускала—Уоллиса, а затем значимость различий уточняли с помощью теста Манна—Уитни.

Результаты и их обсуждение

Во время полевого выхода средняя величина суточных энергозатрат составляла от 5862 до 6430 ккал, в отличие от энергозатрат при повседневной деятельности около 3859 ккал в сутки.

Распределение обследуемых военнослужащих по генотипам рассматриваемых кандидатных генов представлено в таблице 1.

Таблица 1. Распространенность генотипов генов 5HTT, 5HT2A, COMT и DRD2 у обследуемых

	5HTT			5HT2A			COMT			DRD2		
	S/S	L/S	L/L	C/C	C/T	T/T	Val/Val	Val/Met	Met /Met	A2/A2	A2/A1	A1/A1
%	40	35	25	10	25	65	23	60	17	37	41	22
n	228	200	142	57	143	370	131	342	97	211	234	125

Помимо регуляции нейродинамических функций, метаболизм серотонина играет важную роль в регуляции эмоционального поведения, включая повышенную агрессивность [1]. Данные нейрофармакологического анализа показывают, что серотонин участвует в регуляции эмоционального поведения, включая устойчивость к стрессу [4].

Данные, приведенные в таблице 2, свидетельствуют, что до экстремальных физических нагрузок статистически достоверных отличий по показателям методик оценки познавательных психических процессов у военнослужащих с различными генотипами 5HTT не выявлено. После выполнения задач в экстремальных условиях, кроме методик «Образное мышление» и «Вербальная память», отмечалось достоверное ухудшение когнитивных функций по всем методикам теста у военнослужащих всех групп. В процессе реабилитации после полевого выхода в группе с генотипом 5HTT L/L показатели шкал методик «Установление закономерностей» и «Образное мышление» были выше относительно группы с генотипом 5HTT S/S, что говорит о более эффективном восстановлении познавательных психических процессов после физических нагрузок.

Данные, представленные в таблице 3, свидетельствуют, что до полевого выхода у военнослужащих достоверных различий по всем методикам оценки нейродинамических функций выявлено не было, тем не менее, отмечалась явная тенденция лучшей подвижности нервных процессов в группе с генотипом 5HTT S/S. После выполнения задач у военнослужащих всех генотипов наблюдалось достоверное снижение подвижности нервных процессов, при этом у лиц с генотипом 5HTT S/S эти ухудшения были более выражены в группе с генотипом 5HTT L/L. Так,

Таблица 2. Анализ познавательных психических процессов у военнослужащих в зависимости от генотипа 5НТТ (M ± m)

Показатель	Фон				1-е обследование				2-е обследование			
	S/S, n = 228		L/L, n = 200		S/S, n = 228		L/L, n = 200		S/S, n = 228		L/L, n = 200	
	S/S, n = 228	L/L, n = 200	S/S, n = 228	L/L, n = 200	S/S, n = 228	L/L, n = 200	S/S, n = 228	L/L, n = 200	S/S, n = 228	L/L, n = 200	S/S, n = 228	L/L, n = 200
Суммарный интеллект	157,1 ± 1,7	158,3 ± 1,5	159,1 ± 1,2	152,1 ± 1,6*	22,3 ± 1,6*	24,3 ± 1,3*	154,8 ± 0,7*	26,1 ± 1,4*	153,2 ± 1,2	23,5 ± 1,2	25,9 ± 1,4	158,2 ± 1,5
«Аналогии»: (продуктивность)	26,4 ± 1,4	27,2 ± 1,2	27,9 ± 1,4	22,3 ± 1,6*	22,1 ± 1,5*	25,2 ± 1,3*	23,3 ± 1,4*	26,1 ± 1,4*	24,2 ± 1,1	24,2 ± 1,1	26,3 ± 1,4	26,8 ± 1,3
(эффektivность)	26,2 ± 1,1	27,1 ± 1,3	27,6 ± 1,2	0,7 ± 0,1*	0,8 ± 0,2*	0,8 ± 0,2*	0,8 ± 0,1*	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,1
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	26,3 ± 0,3	27,3 ± 0,3	27,6 ± 0,3	24,7 ± 0,3*	24,9 ± 0,4*	23,1 ± 0,2	25,4 ± 0,3	25,8 ± 0,4	25,8 ± 0,4
«Числовые ряды»: (продуктивность)	21,2 ± 0,3	22,4 ± 0,3	22,8 ± 0,3	19,2 ± 0,3*	20,4 ± 0,2	20,4 ± 0,2	20,1 ± 0,5*	20,1 ± 0,5*	20,2 ± 0,2	22,3 ± 0,4	22,5 ± 0,5	22,5 ± 0,5
(эффektivность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2
(надежность)	27,6 ± 0,4	29,5 ± 0,2	29,1 ± 0,3	23,4 ± 0,4*	27,3 ± 0,4*	27,3 ± 0,4*	26,8 ± 0,5*	26,8 ± 0,5*	25,2 ± 0,2	27,8 ± 0,2	28,9 ± 0,4	28,9 ± 0,4
«Зрительная память»: (продуктивность)	21,2 ± 0,4	24,3 ± 0,5	25,0 ± 0,3	18,2 ± 0,5*	20,6 ± 0,3*	20,6 ± 0,3*	21,7 ± 0,5*	21,7 ± 0,5*	19,3 ± 0,4	22,4 ± 0,2	24,6 ± 0,3	24,6 ± 0,3
(эффektivность)	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1
(надежность)	27,1 ± 0,3	29,4 ± 0,3	29,1 ± 0,2	26,1 ± 0,4	28,0 ± 0,3	28,0 ± 0,3	28,9 ± 0,2	28,9 ± 0,2	26,2 ± 0,3	28,7 ± 0,5	29,7 ± 0,2 [#]	29,7 ± 0,2 [#]
«Образное мышление»: (продуктивность)	22,7 ± 0,4	22,6 ± 0,2	22,1 ± 0,3	21,4 ± 0,5	21,1 ± 0,3	21,1 ± 0,3	21,3 ± 0,1	21,3 ± 0,1	22,5 ± 0,4	22,3 ± 0,2	21,8 ± 0,3	21,8 ± 0,3
(эффektivность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2
(надежность)	18,4 ± 0,2	19,1 ± 0,4	19,2 ± 0,6	16,1 ± 0,5*	16,5 ± 0,6*	16,5 ± 0,6*	16,9 ± 0,7*	16,9 ± 0,7*	16,4 ± 0,4	18,5 ± 0,2	18,7 ± 0,3	18,7 ± 0,3
«Арифметический счет»: (продуктивность)	16,7 ± 0,2	16,5 ± 0,3	15,9 ± 0,4	15,1 ± 0,6	15,5 ± 0,4	15,5 ± 0,4	15,6 ± 0,5	15,6 ± 0,5	15,4 ± 0,2	16,2 ± 0,3	16,3 ± 0,4	16,3 ± 0,4
(эффektivность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2
(надежность)	28,3 ± 0,5	28,7 ± 0,3	28,8 ± 0,3	23,5 ± 0,3	26,6 ± 0,2	26,6 ± 0,2	26,4 ± 0,5	26,4 ± 0,5	27,1 ± 0,4	27,9 ± 0,2	28,2 ± 0,3	28,2 ± 0,3
«Вербальная память»: (продуктивность)	24,5 ± 0,5	24,5 ± 0,3	24,7 ± 0,4	23,2 ± 0,3	23,3 ± 0,5	23,3 ± 0,5	23,2 ± 0,4	23,2 ± 0,4	23,6 ± 0,3	24,1 ± 0,5	24,4 ± 0,2	24,4 ± 0,2
(эффektivность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2
(надежность)	27,4 ± 0,1	29,2 ± 0,3	29,3 ± 0,1	22,7 ± 0,4*	26,5 ± 0,5*	26,5 ± 0,5*	26,2 ± 0,2*	26,2 ± 0,2*	23,2 ± 0,2*	28,4 ± 0,1	28,5 ± 0,3 [#]	28,5 ± 0,3 [#]
«Установление закономерностей»: (продуктивность)	24,8 ± 0,6	25,4 ± 0,3	25,6 ± 0,2	22,4 ± 0,3*	24,2 ± 0,4	24,2 ± 0,4	24,1 ± 0,3	24,1 ± 0,3	22,8 ± 0,6	25,2 ± 0,3	25,3 ± 0,2	25,3 ± 0,2
(эффektivность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2
(надежность)												

Примечание: * — различия относительно фоновых данных; [#] — к группе носителей генотипа 5НТТ S/S; p ≤ 0,05.

Таблица 3. Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами 5НТТ (M±m)

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	S/S, n=228	L/S, n=200	L/L, n=142	S/S, n=228	L/S, n=200	L/L, n=142	S/S, n=228	L/S, n=200	L/L, n=142
ПЗМР, мс	209,23 ± 11,25	212,34 ± 7,34	214,45 ± 8,26	267,38 ± 7,54*	252,65 ± 8,23*	235,41 ± 7,85#*	219,21 ± 10,11	234,26 ± 7,49	258,42 ± 9,53#*
Q, бит/с (корректируная проба)	1,72 ± 0,21	1,56 ± 0,14	1,54 ± 0,18	1,15 ± 0,15*	1,18 ± 0,11*	1,34 ± 0,16	1,62 ± 0,14	1,49 ± 0,17	1,36 ± 0,22#*
РДО (30 сигналов)									
Количество точных	15,4 ± 0,4	13,8 ± 0,3	13,7 ± 0,5	8,6 ± 0,5*	8,3 ± 0,3*	12,4 ± 0,4#*	14,9 ± 0,7	12,2 ± 0,7	12,1 ± 0,9
Количество опережений	7,5 ± 0,4	8,6 ± 0,5	8,8 ± 0,4	11,2 ± 0,4*	10,7 ± 0,8*	9,6 ± 0,5*	8,1 ± 0,6	8,7 ± 0,8	9,3 ± 0,7
Количество запаздываний	7,4 ± 0,6	8,2 ± 0,7	8,4 ± 0,4	12,9 ± 0,7*	10,4 ± 0,6*	9,2 ± 0,5*	7,8 ± 0,7	8,9 ± 0,9	9,4 ± 0,5
Сумма опережения, мс	789,4 ± 68,3	861,5 ± 87,6	874,4 ± 84,2	1198,7 ± 86,4*	1153,6 ± 97,3*	1068,35 ± 82,4*	819,3 ± 83,5	881,4 ± 96,3	985,8 ± 72,4
Сумма запаздывания, мс	742,6 ± 87,5	841,7 ± 82,2	843,2 ± 91,6	1294,7 ± 82,3*	1112,2 ± 91,7*	1082,3 ± 94,2*	758,6 ± 72,7	884,5 ± 86,8	956,3 ± 94,2

Примечание: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа 5НТТ S/S; p ≤ 0,05.

показатели латентных периодов простой зрительно-моторной реакции были ниже, а количество точных попаданий реакции на движущийся объект было достоверно выше в группе с генотипом 5НТТ L/L, чем в группе с генотипом 5НТТ S/S. Процесс реабилитации после экстремальных физических нагрузок более эффективно проходил у военнослужащих с генотипами 5НТТ S/S и 5НТТ S/L. Об этом свидетельствуют достоверные различия с группой 5НТТ L/L по показателям методик ПЗРМ и «корректирующая проба с кольцами Ландольта», а также восстановление показателей этих методик до уровня фоновых, чего не наблюдалось в группе 5НТТ L/L. Стоит отметить, что по анализу динамики показателей нейродинамических функций группа с генотипом 5НТТ S/L заняла промежуточное место.

Отмеченные различия связаны с тем, что полиморфный участок SLC6A4 гена 5-НТТLPR или 5НТТ (serotonin-transporter-linked polymorphic region) кодирует белок-переносчик серотонина. Транспортер серотонина с коротким аллелем (S) имеет меньшую степень транскрипции, в связи с чем его экспрессия на пресинаптической мембране ниже, чем при длинном (L). По данным литературы [15], носители S аллелей в условиях интенсивных физических нагрузок характеризуются более высокими показателями нейродинамических функций, но меньшей устойчивостью. Также отмечена связь между S/S генотипом с развитием посттравматического стрессового расстройства (ПТСР). В тоже время L/L генотип ассоциирован с агрессивным поведением, тревожностью и импульсивностью, а также с развитием депрессивных расстройств у людей, испытывающих психологическую травму [11].

Анализ данных, представленных в таблице 4, свидетельствует, что статистически достоверных различий по показателям методик оценки познавательных психических процессов до экстремальных физических нагрузок у военнослужащих с различными генотипами 5НТТ2А не было. После выполнения задач в экстремальных условиях, кроме методик «Образное мышление» и «Вербальная память», отмечалось достоверное ухудшение когнитивных функций по всем методикам теста у военнослужащих всех групп. Также после выполнения учебно-боевых задач у носителей генотипа 5НТТ2А Т/Т отмечались достоверно более низкие показатели по методикам «Аналогии», «Числовые ряды», «Арифметический счет» и «Установление закономерностей» относительно лиц с генотипом 5НТТ2А С/С. Через трое суток после прибытия в часть показатели этих методик в группе с генотипом 5НТТ2А Т/Т не восстановились до значений фоновых показателей и остались достоверно измененными, в отличие от группы с генотипом 5НТТ2А С/С.

По данным, представленным в таблице 5, до полевого выхода у военнослужащих достоверных различий по всем методикам оценки нейродинамических функций также выявлено не было. После выполнения задач у военнослужащих всех генотипов наблюдалось достоверное ухудшение нейродинамических функций, при этом у лиц с генотипом 5НТТ2А Т/Т количество опережений и сумма опережений реакции на движущийся объект были достоверно выше, чем в группе с генотипом 5НТТ2А С/С, что говорит о повышении преждевременных реакций и повышенной импульсивности на фоне утомления. Процесс реабилитации после экстремальных физических нагрузок проходил неравномерно в зависимости от генотипов испытуемых: у военнослужащих с генотипом 5НТТ2А С/С показатели нейродинамических функций через три дня восстановились до фоновых значений, в то время как в группах носителей аллеля 5НТТ2А Т показатели ПЗРМ и «корректирующей пробы»

Таблица 4. Анализ познавательных психических процессов у военнослужащих в зависимости от генотипа 5HT2A (M ± m).

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	C/C, n=143	T/T, n=370	T/T, n=131	C/C, n=143	C/T, n=370	T/T, n=131	C/C, n=143	C/T, n=370	T/T, n=131
	159,8 ± 1,5	158,4 ± 1,2	155,2 ± 1,3	156,2 ± 1,6*	154,7 ± 1,1*	151,4 ± 1,4*	158,3 ± 1,6	156,4 ± 1,4	153,5 ± 1,3
Суммарный интеллект	28,8 ± 0,9	26,7 ± 1,2	24,9 ± 0,8	25,2 ± 1,4*	23,6 ± 1,3*	20,2 ± 1,2**	24,2 ± 1,3	25,4 ± 1,5	25,2 ± 1,4
«Аналогии»: (продуктивность)	27,2 ± 1,2	26,8 ± 1,3	26,7 ± 1,4	24,4 ± 1,3*	23,1 ± 1,3*	21,6 ± 1,2*	25,4 ± 1,2	25,9 ± 1,5	25,7 ± 1,3
эффективность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,8 ± 0,2
(надежность)	27,3 ± 0,3	26,8 ± 0,4	26,9 ± 0,5	24,9 ± 0,2*	23,2 ± 0,3*	21,1 ± 0,5**	27,2 ± 0,4	26,4 ± 0,3	24,5 ± 0,2*
«Числовые ряды»: (продуктивность)	21,7 ± 0,3	22,2 ± 0,5	22,3 ± 0,4	18,7 ± 0,4*	19,2 ± 0,3*	18,1 ± 0,4*	21,3 ± 0,3	21,7 ± 0,5	22,1 ± 0,5
(эффективность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,1
(надежность)	28,3 ± 0,3	28,7 ± 0,5	28,8 ± 0,4	25,7 ± 0,3*	24,2 ± 0,2*	23,4 ± 0,3*	27,6 ± 0,3	27,9 ± 0,4	25,8 ± 0,3
«Зрительная память»: (продуктивность)	24,8 ± 0,3	24,3 ± 0,2	22,4 ± 0,2	19,8 ± 0,3*	19,2 ± 0,4*	18,8 ± 0,6*	22,9 ± 0,3	22,7 ± 0,4	20,7 ± 0,5
(эффективность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1
(надежность)	28,6 ± 0,3	28,5 ± 0,2	28,3 ± 0,4	26,2 ± 0,2	26,1 ± 0,3	25,8 ± 0,2	28,2 ± 0,3	28,1 ± 0,3	27,3 ± 0,4
«Образное мышление»: (продуктивность)	23,4 ± 0,2	22,5 ± 0,3	21,5 ± 0,2	20,7 ± 0,3*	20,5 ± 0,3*	19,8 ± 0,2*	22,8 ± 0,3	22,1 ± 0,2	21,3 ± 0,5
(эффективность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2
(надежность)	21,3 ± 0,5	20,4 ± 0,4	18,6 ± 0,6	18,6 ± 0,4*	16,4 ± 0,3*	13,3 ± 0,5**	20,1 ± 0,3	19,2 ± 0,5	14,9 ± 0,2**
«Арифметический счет»: (продуктивность)	16,4 ± 0,3	16,3 ± 0,2	16,1 ± 0,2	14,4 ± 0,4	14,3 ± 0,5	13,2 ± 0,3	16,1 ± 0,5	15,9 ± 0,2	15,1 ± 0,3
(эффективность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,4	0,9 ± 0,2
(надежность)	28,5 ± 0,3	28,3 ± 0,2	27,8 ± 0,4	25,8 ± 0,4	25,5 ± 0,2	24,8 ± 0,3	27,7 ± 0,3	27,1 ± 0,2	26,7 ± 0,2
«Вербальная память»: (продуктивность)	25,2 ± 0,4	24,4 ± 0,3	23,7 ± 0,5	22,6 ± 0,4	22,4 ± 0,5	21,5 ± 0,3	24,8 ± 0,5	24,6 ± 0,3	22,9 ± 0,4
(эффективность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,3
(надежность)	28,8 ± 0,1	28,4 ± 0,3	26,7 ± 0,1	25,4 ± 0,2*	25,2 ± 0,3*	21,5 ± 0,2**	28,2 ± 0,4	28,1 ± 0,2	23,8 ± 0,3**
«Установление закономерностей»: (продуктивность)	26,2 ± 0,2	25,3 ± 0,3	24,2 ± 0,4	24,5 ± 0,3	24,3 ± 0,5	21,8 ± 0,3	25,7 ± 0,3	25,5 ± 0,1	22,3 ± 0,3
(эффективность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,4	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3
(надежность)									

Примечание: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа 5HT2A C/C; p ≤ 0,05.

Таблица 5. Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами 5НГТ2А (M ± m)

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	C/C, n=143	C/T, n = 370	T/T, n = 131	C/C, n = 143	C/T, n = 370	T/T, n = 131	C/C, n = 143	C/T, n = 370	T/T, n = 131
ПЗМР, мс	212,45 ± 9,36	212,37 ± 8,52	214,56 ± 8,44	249,41 ± 10,31*	254,43 ± 8,53*	252,62 ± 8,47*	225,32 ± 8,62	242,74 ± 10,54*	246,59 ± 11,58*
Q, бит/с (корректирующая проба)	1,62 ± 0,18	1,64 ± 0,17	1,59 ± 0,21	1,26 ± 0,17*	1,24 ± 0,23*	1,27 ± 0,19*	1,57 ± 0,17	1,44 ± 0,25*	1,42 ± 0,19*
РДО (30 сигналов)									
Количество точных	14,7 ± 0,5	14,1 ± 0,3	13,8 ± 0,4	11,5 ± 0,4*	10,2 ± 0,5*	9,7 ± 0,6*	14,9 ± 0,7	13,2 ± 0,7	11,1 ± 0,9*
Количество опережений	7,9 ± 0,6	8,3 ± 0,4	8,4 ± 0,6	10,3 ± 0,4*	10,5 ± 0,8*	14,4 ± 0,5*	7,6 ± 0,6	8,9 ± 0,8	12,4 ± 0,7**
Количество запаздываний	7,4 ± 0,6	8,2 ± 0,7	8,4 ± 0,4	11,7 ± 0,5*	10,3 ± 0,7*	7,5 ± 0,4**	7,9 ± 0,5	8,1 ± 0,8	8,7 ± 0,5
Сумма опережения, мс	792,5 ± 73,2	843,6 ± 94,1	856,7 ± 91,3	1124,41 ± 86,5*	1179,5 ± 87,4*	1558,4 ± 98,5*	778,5 ± 76,4	893,2 ± 81,5	1158,7 ± 128,6**
Сумма запаздывания, мс	761,8 ± 92,4	853,2 ± 87,5	864,7 ± 129,2	1258,9 ± 132,8*	1074,3 ± 97,6*	843,2 ± 94,5*	782,8 ± 83,4#	812,7 ± 112,6	956,7 ± 95,4

Примечание: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа 5НГТ2А C/C; p ≤ 0,05

оставались достоверно измененными, а у гомозигот с генотипом 5HTT2A T/T также оставались повышенными показатели количества опережений и суммы опережений реакции на движущийся объект.

Это связано с тем, что ген 5HT2A (5-hydroxytryptamine (serotonin) receptor 2A) кодирует один из рецепторов серотонина, который играет важную роль в контроле аппетита, терморегуляции и сна и принимает участие в деятельности сердечно-сосудистой системы и мышечном сокращении. По мнению ряда авторов, чувствительность серотонинового рецептора 2A повышается при различных психических расстройствах, а мутации в гене 5HT2A связаны с повышенной склонностью к депрессии [7]. Считается, что наиболее значимым для исследования является полиморфизм C102T, так как аллель 5HT2A T ассоциируется с повышенной экспрессией гена, а таким образом и с повышенной агрессией, высокой скоростью развития усталости при физических нагрузках, а также сниженной психологической адаптацией к нагрузкам [6, 8].

Данные, представленные в таблице 6, свидетельствуют об отсутствии достоверных различий по показателям методик оценки познавательных психических процессов в фоновом периоде у военнослужащих с различными генотипами COMT, однако наблюдалась явная тенденция к более высоким показателям практически по всем методикам в группе с генотипом COMT Met/Met. После выполнения задач в экстремальных условиях в группах носителей аллеля COMT Met определялось достоверное снижение показателей по всем методикам, относительно фоновых значений, в то же время у военнослужащих с генотипом COMT Val/Val достоверных различий с фоновым периодом по методикам «Аналогии», «Числовые ряды», «Арифметический счет» и «Установление закономерностей» не отмечалось. Через трое суток после возвращения в расположение части показатели по методикам «Числовые ряды», «Арифметический счет» и «Установление закономерностей» оставались измененными относительно значений фонового периода только в группе гомозигот с генотипом COMT Met/Met, у всех остальных военнослужащих показатели когнитивных функций восстановились до исходных значений.

По данным, представленным в таблице 7, до полевого выхода военнослужащие с генотипом COMT Met/Met характеризовались лучшей подвижностью нервных процессов по методикам ПЗМР и «корректирующая проба» относительно военнослужащих с генотипом COMT Val/Val. После выполнения задач у военнослужащих всех генотипов наблюдалось достоверное ухудшение нейродинамических функций, в то же время у лиц с генотипом COMT Val/Val количество точных попаданий реакции на движущийся объект было достоверно выше, чем в группе с генотипом COMT Met/Met. В процессе реабилитации после возвращения в часть через трое суток у военнослужащих с генотипом COMT Met/Met все показатели методик, характеризующих нейродинамические функции, оставались достоверно измененными относительно фонового периода, в то время как у военнослужащих с генотипами COMT Val/Val и COMT Val/Met эти показатели восстановились до исходных значений. Это связано с тем, что ген COMT (catechol-O-methyltransferase) кодирует катехол-о-метилтрансферазу — цитоплазматический фермент, являющийся ключевым модулятором моноаминовой системы головного мозга [10].

Рядом авторов при изучении полиморфизма гена COMT Val158Met отмечено, что у носителей аллеля Met наблюдается снижение активности фермента на

Таблица 6. Анализ познавательных психических процессов у военнослужащих в зависимости от генотипа СОМТ (M ± m).

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	Val/Val, n = 131	Met/Me t, n = 97	Val/Val, n = 131	Val/Val, n = 131	Met/Me t, n = 97	Val/Val, n = 131	Met/Me t, n = 97	Val/Val, n = 131	Met/Me t, n = 97
Суммарный интеллект	156,2 ± 1,7	157,9 ± 1,5	159,5 ± 1,2	152,4 ± 1,3*	152,8 ± 1,2*	153,2 ± 1,4*	156,8 ± 1,4	155,9 ± 1,3	156,2 ± 1,2
«Аналогии»: (продуктивность)	25,8 ± 1,2	27,5 ± 1,3	28,1 ± 1,5	24,7 ± 1,4	24,1 ± 1,3*	23,2 ± 1,6*	26,2 ± 1,4	25,2 ± 1,3	25,3 ± 1,2
эффективность)	25,8 ± 1,2	26,3 ± 1,4	27,8 ± 1,3	24,1 ± 1,3	23,3 ± 1,4	21,4 ± 1,2*	26,9 ± 1,2	22,7 ± 1,2	24,3 ± 1,4
(надежность)	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,3
«Числовые ряды»: (продуктивность)	26,7 ± 0,3	27,4 ± 0,3	28,2 ± 0,3	25,3 ± 0,2	24,2 ± 0,4*	22,8 ± 0,4**	24,2 ± 0,5*	25,1 ± 0,4	25,4 ± 0,2
(эффективность)	21,5 ± 0,3	24,3 ± 0,4	24,7 ± 0,2	20,6 ± 0,3	21,5 ± 0,2*	18,7 ± 0,4*	21,3 ± 0,4	20,9 ± 0,3	20,4 ± 0,6
(надежность)	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,7 ± 0,1
«Зрительная память»: (продуктивность)	29,5 ± 0,3	29,4 ± 0,2	29,2 ± 0,5	25,6 ± 0,4*	26,4 ± 0,2*	26,5 ± 0,3*	28,8 ± 0,3	29,1 ± 0,2	28,7 ± 0,2
(эффективность)	23,2 ± 0,4	23,8 ± 0,3	24,1 ± 0,4	22,4 ± 0,5	21,7 ± 0,4*	21,9 ± 0,3*	23,3 ± 0,4	22,4 ± 0,5	22,6 ± 0,2
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1
«Образное мышление»: (продуктивность)	28,3 ± 0,4	28,8 ± 0,2	29,3 ± 0,2	26,5 ± 0,4*	25,8 ± 0,2*	25,9 ± 0,3*	28,1 ± 0,4	27,7 ± 0,3	27,8 ± 0,3
(эффективность)	22,1 ± 0,2	22,5 ± 0,4	22,6 ± 0,2	20,4 ± 0,3*	19,5 ± 0,4*	19,9 ± 0,3*	21,9 ± 0,4	22,1 ± 0,4	21,8 ± 0,2
(надежность)	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2
«Арифметический счет»: (продуктивность)	17,6 ± 0,2	22,1 ± 0,4	23,2 ± 0,3	16,3 ± 0,3	17,1 ± 0,4*	16,8 ± 0,5*	17,9 ± 0,2*	16,9 ± 0,4	18,7 ± 0,3
(эффективность)	15,8 ± 0,2	17,3 ± 0,2	17,6 ± 0,3	15,2 ± 0,4	14,8 ± 0,2	14,5 ± 0,3*	15,4 ± 0,5	15,5 ± 0,3	15,2 ± 0,6
(надежность)	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,3
«Вербальная память»: (продуктивность)	27,8 ± 0,3	28,9 ± 0,3	29,3 ± 0,4	24,6 ± 0,2*	25,8 ± 0,2*	26,2 ± 0,3*	26,8 ± 0,4	27,3 ± 0,2	27,2 ± 0,3
(эффективность)	24,5 ± 0,5	24,5 ± 0,3	24,7 ± 0,4	22,2 ± 0,3	22,3 ± 0,5	22,5 ± 0,4	24,4 ± 0,2	23,6 ± 0,3	24,1 ± 0,5
(надежность)	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,3
«Установление закономерностей»: (продуктивность)	27,2 ± 0,2	29,2 ± 0,2	29,3 ± 0,3	26,6 ± 0,3	25,2 ± 0,4*	24,4 ± 0,3*	26,2 ± 0,2*	27,2 ± 0,2	26,3 ± 0,3
(эффективность)	24,2 ± 0,4	25,7 ± 0,3	25,8 ± 0,2	23,6 ± 0,3	22,4 ± 0,3	22,3 ± 0,3	23,8 ± 0,2	23,9 ± 0,4	23,7 ± 0,3
(надежность)	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2

П р и м е ч а н и е: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа СОМТ Val/Val; p ≤ 0,05.

Таблица 7. Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами СОМТ (M ± m)

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	Val/Val, n = 131	Val/Met, n = 342	Met/Met t, n = 97	Val/Val, n = 131	Val/Met, n = 342	Met/Met t, n = 97	Val/Val, n = 131	Val/Met, n = 342	Met/Met t, n = 97
ПЗМР, мс	234,57 ± 10,41	207,42 ± 9,53	198,21 ± 12,36 [#]	248,51 ± 9,63 [#]	252,81 ± 11,26 [*]	254,17 ± 9,52 [*]	239,41 ± 12,19	232,16 ± 11,27	246,94 ± 12,48 [*]
Q, бит/с (корректирующая проба)	1,54 ± 0,11	1,62 ± 0,16	1,67 ± 0,19 [#]	1,37 ± 0,13	1,21 ± 0,18 [*]	1,18 ± 0,19 [*]	1,48 ± 0,17	1,53 ± 0,22	1,51 ± 0,21 [*]
РДО (30 сигналов)									
Количество точных	14,4 ± 0,2	14,3 ± 0,3	14,5 ± 0,3	12,7 ± 0,6 [*]	9,4 ± 0,4 [*]	9,1 ± 0,4 ^{#*}	14,2 ± 0,6	11,3 ± 0,9 [*]	11,4 ± 0,8 [*]
Количество опережений	8,4 ± 0,5	7,5 ± 0,4	7,4 ± 0,7	9,6 ± 0,4 [*]	11,4 ± 0,8 [*]	11,7 ± 0,5 [*]	8,2 ± 0,4	9,2 ± 0,7	10,5 ± 0,7 [*]
Количество запаздываний	7,4 ± 0,6	8,2 ± 0,7	8,4 ± 0,4	8,8 ± 0,6 [*]	10,7 ± 0,6 [*]	9,5 ± 0,5 [*]	8,7 ± 0,6	9,5 ± 0,9	9,6 ± 0,3 [*]
Сумма опережения, мс	846,8 ± 89,3	779,4 ± 95,3	768,6 ± 94,4	984,37 ± 93,7 [*]	1124,6 ± 69,4 [*]	1269,4 ± 78,4 [*]	856,7 ± 85,3	926,4 ± 87,4	1124,5 ± 91,7 [*]
Сумма запаздывания, мс	752,4 ± 89,3	821,6 ± 91,2	872,4 ± 96,8	934,3 ± 85,2 [*]	1128,4 ± 83,1 [*]	1042,5 ± 87,1 [*]	912,6 ± 76,2	979,4 ± 95,3	1031,6 ± 97,2 [*]

Примечание: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа СОМТ Val/Val; p ≤ 0,05.

Таблица 8. Анализ познавательных психических процессов у военнослужащих в зависимости от генотипа DRD2 (M ± m)

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	A2/A2, n = 211	A2/A1, n = 234	A1/A1, n = 125	A2/A2, n = 211	A2/A1, n = 234	A1/A1, n = 125	A2/A2, n = 211	A2/A1, n = 234	A1/A1, n = 125
Суммарный интеллект	157,8 ± 1,4	159,1 ± 1,3	159,7 ± 1,6	152,3 ± 1,2*	154,2 ± 1,5*	153,8 ± 1,2*	153,2 ± 1,8	155,3 ± 1,6	157,2 ± 1,7
«Аналогии»: (продуктивность)	25,3 ± 1,2	27,2 ± 1,2	27,4 ± 1,4	22,2 ± 1,4*	24,5 ± 1,2*	24,3 ± 1,1*	25,1 ± 1,2	24,7 ± 1,2	24,6 ± 1,3
эффektivность (надежность)	26,4 ± 1,2	26,5 ± 1,3	27,2 ± 1,2	23,9 ± 1,4*	24,2 ± 1,2*	24,8 ± 1,4*	25,2 ± 1,4	25,3 ± 1,3	26,8 ± 1,2
0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2
«Числовые ряды»: (продуктивность)	26,3 ± 0,3	26,4 ± 0,2	27,8 ± 0,3	23,3 ± 0,4*	24,2 ± 0,3*	25,2 ± 0,3*	25,8 ± 0,4	26,2 ± 0,2	26,9 ± 0,3
(эффektivность)	21,6 ± 0,4	21,8 ± 0,7	23,2 ± 0,3	19,6 ± 0,3*	19,4 ± 0,2*	20,8 ± 0,5*	21,2 ± 0,3	21,3 ± 0,5	22,6 ± 0,4
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2
«Зрительная память»: (продуктивность)	27,3 ± 0,6	27,7 ± 0,3	29,2 ± 0,3 [#]	23,7 ± 0,5*	24,8 ± 0,3*	27,5 ± 0,4 ^{#*}	26,2 ± 0,5	26,8 ± 0,3	28,6 ± 0,5
(эффektivность)	22,3 ± 0,4	23,6 ± 0,3	25,2 ± 0,3	19,2 ± 0,5*	19,7 ± 0,2*	21,6 ± 0,3*	20,3 ± 0,4	21,5 ± 0,3	24,2 ± 0,4
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1
«Образное мышление»: (продуктивность)	27,9 ± 0,3	28,5 ± 0,5	28,9 ± 0,3	25,4 ± 0,5*	26,3 ± 0,4*	28,2 ± 0,2 [#]	26,1 ± 0,5*	27,8 ± 0,3	28,5 ± 0,4
(эффektivность)	21,5 ± 0,2	22,5 ± 0,3	23,4 ± 0,2	20,8 ± 0,2*	21,5 ± 0,3*	21,7 ± 0,3*	21,3 ± 0,5	22,1 ± 0,2	22,8 ± 0,3
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2
«Арифметический счет»: (продуктивность)	18,7 ± 0,3	19,2 ± 0,2	21,6 ± 0,6	16,4 ± 0,5*	17,3 ± 0,3*	18,2 ± 0,4*	17,8 ± 0,4	18,1 ± 0,3	20,3 ± 0,4
(эффektivность)	16,2 ± 0,2	16,3 ± 0,2	16,2 ± 0,3	15,1 ± 0,5	15,2 ± 0,4	15,2 ± 0,2	15,3 ± 0,5	15,7 ± 0,3	16,2 ± 0,4
(надежность)	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,4	0,9 ± 0,3
«Вербальная память»: (продуктивность)	26,2 ± 0,2	27,3 ± 0,5	29,8 ± 0,3 [#]	22,4 ± 0,4*	24,7 ± 0,5*	27,2 ± 0,4 ^{#*}	25,5 ± 0,4	27,8 ± 0,3	29,3 ± 0,2
эффektivность	23,2 ± 0,3	23,8 ± 0,4	26,1 ± 0,2*	22,3 ± 0,3	22,7 ± 0,4	24,2 ± 0,5*	23,2 ± 0,3	23,5 ± 0,4	25,8 ± 0,2
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2
«Установление закономерностей»: (продуктивность)	27,2 ± 0,3	27,5 ± 0,2	27,6 ± 0,3	23,9 ± 0,2*	24,3 ± 0,3*	24,5 ± 0,2*	26,7 ± 0,5	27,3 ± 0,2	27,5 ± 0,3
(эффektivность)	25,3 ± 0,5	25,3 ± 0,2	26,4 ± 0,2	23,2 ± 0,4*	23,5 ± 0,2*	23,7 ± 0,3*	23,8 ± 0,4	24,1 ± 0,2	24,9 ± 0,3
(надежность)	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2

Примечание: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа DRD2 A2/A2; p ≤ 0,05.

40 %, что приводит к накоплению дофамина, особенно в префронтальной коре [2, 8]. Частота встречаемости аллеля Met для популяции европейской части России и Белоруссии приблизительно равна 0,5 (Palmatier, 1999). В литературных данных имеются сведения об ассоциации аллеля Val с большей психической устойчивостью в условиях стресса. Исследование изменений когнитивной функции на фоне физических нагрузок показало, что Val/Val генотип способствует усилению когнитивной гибкости при неизменной рабочей памяти [9, 13]. Носители генотипа Met/Met, наоборот, имеют низкую устойчивость к стрессу, высокий риск развития ПТСР и склонность к агрессивному поведению. Также рядом авторов отмечено, что у гомозигот с генотипом COMT Met/Met наблюдается увеличение площади поперечного сечения мышц по сравнению с гетерозиготными носителями COMT Val/Met [12].

Данные, полученные с помощью батареи тестов для оценки когнитивных функций, свидетельствуют, что в группе военнослужащих с генотипом DRD2 A1/A1 показатели по методикам «Зрительная память» и «Вербальная память» были достоверно выше, чем в группе с генотипом DRD2 A2/A2. Такие же различия по этим методикам сохранились и после экстремальных физических нагрузок, к тому же в этот период выявилось достоверное снижение показателей по методике «Образное мышление» в группе с генотипом DRD2 A2/A2 относительно лиц с генотипом DRD2 A1/A1. В отношении фоновых показателей у всех военнослужащих выявлялось достоверное снижение значений по всем методикам. Через трое суток после возвращения в расположение части показатели по всем методикам восстановились к фоновым значениям у всех военнослужащих, исключением явился достоверно сниженный относительно фонового периода показатель продуктивности по методике «Образное мышление» в группе с генотипом DRD2 A2/A2.

По данным, представленным в таблице 9, до полевого выхода военнослужащие с генотипом DRD2 A1/A1 характеризовались лучшей подвижностью нервных процессов по методике РДО относительно военнослужащих с генотипом DRD2 A2/A2; достоверные различия выявлялись по количеству точных попаданий, опережений и сумме опережений. После выполнения задач у военнослужащих всех генотипов наблюдалось достоверное ухудшение нейродинамических функций, в то же время у лиц с генотипом DRD2 A1/A1 показатели методики ПЗРМ, корректурной пробы и количество точных попаданий реакции на движущийся объект были достоверно выше, чем в группе с генотипом DRD2 A2/A2. В процессе реабилитации после возвращения в часть через трое суток у военнослужащих с генотипом DRD2 A2/A2 показатели реакции на движущийся объект: количество точных попаданий, количество опережений и сумма опережений — оставались достоверно измененными относительно фонового периода, в то время как у военнослужащих с генотипами DRD2 A1/A1 и DRD2 A1/A2 эти показатели восстановились до исходных значений.

Это связано с тем, что ген DRD2 располагается в регуляторной зоне, кодирует и регулирует экспрессию дофаминового рецептора второго типа (D₂-рецептор), который принимает участие в регуляции процессов синтеза и высвобождения дофамина во внеклеточное пространство. Стимуляция D₂-рецепторов приводит к торможению передачи нервного импульса в симпатических ганглиях, снижению выделения дофамина и норадреналина из симпатических окончаний. Полиморфизм

Таблица 9. Показатели нейродинамических функций у военнослужащих с различными генотипами DRD2 (M ± m)

Показатель	Фон			1-е обследование			2-е обследование		
	A2/A2, n = 211	A2/A1, n = 234	A1/A1, n = 125	A2/A2, n = 211	A2/A1, n = 234	A1/A1, n = 125	A2/A2, n = 211	A2/A1, n = 234	A1/A1, n = 125
ПЗМР, мс	229,45 ± 8,34	218,51 ± 9,24	204,21 ± 7,53	258,62 ± 9,18*	249,75 ± 9,51*	231,23 ± 9,49**	247,35 ± 10,24	238,24 ± 8,36	218,94 ± 9,51#
Q, бит/с (корректирующая проба)	1,49 ± 0,12	1,58 ± 0,18	1,71 ± 0,14	1,12 ± 0,14*	1,24 ± 0,15*	1,44 ± 0,15#	1,32 ± 0,15	1,49 ± 0,22	1,68 ± 0,21#
РДО (30 сигналов)									
Количество точных	12,5 ± 0,1	14,7 ± 0,2	16,8 ± 0,2#	9,2 ± 0,5*	9,5 ± 0,3*	13,4 ± 0,4#*	9,7 ± 0,4*	12,4 ± 0,7	14,7 ± 0,9
Количество опережений	9,8 ± 0,4	7,8 ± 0,4	6,7 ± 0,5#	12,8 ± 0,7*	10,8 ± 0,6*	8,2 ± 0,7#*	11,3 ± 0,4*	8,6 ± 0,7	7,5 ± 0,6
Количество запаздываний	8,2 ± 0,5	9,4 ± 0,6	6,8 ± 0,7	8,4 ± 0,5*	10,4 ± 0,6*	7,4 ± 0,5*	8,4 ± 0,7	9,2 ± 0,8	7,4 ± 0,4
Сумма опережения, мс	952,4 ± 76,2	795,4 ± 84,7	712,8 ± 68,3#	1296,46 ± 82,6*	1092,5 ± 78,5*	846,8 ± 81,6#	1285,4 ± 92,8*	917,5 ± 85,6	784,7 ± 72,3
Сумма запаздывания, мс	867,3 ± 92,3	1023,7 ± 85,3	754,5 ± 88,4	892,4 ± 93,7*	1118,6 ± 78,4*	812,3 ± 76,9*	879,4 ± 82,3	952,8 ± 87,4	794,5 ± 81,5

П р и м е ч а н и е: * — различия относительно фоновых данных; # — к группе носителей генотипа DRD2 A2/A2; p ≤ 0,05.

гена DRD2 (TaqI A), в котором цитозин (С) заменяется на тимин (Т) генетический маркер C2137T, в результате которого происходит замена аминокислоты глутамин на лизин (Glu713Lys) в позиции 713 аминокислотной последовательности белка ANKK1 (dopamine D2 receptor TaqIA C>T polymorphism), определяет плотность рецепторов дофамина второго типа в синаптической щели [10]. Основной аллель гена ANKK1 с азотистым основанием С обозначается как А2, а измененный минорный аллель Т — как А1. По данным литературных источников, у носителей минорного (А1) Lys — аллеля плотность дофаминовых рецепторов D2 во всех участках полосатого тела снижается на 30% и наблюдается снижение сродства рецепторов к дофамину. По мнению ряда авторов, генотип DRD2 Lys/Lys ассоциирован с повышением интеллекта, творческими наклонностями и поиском новизны [14].

Заключение

Результаты, полученные по анализу подвижности нервных процессов и познавательных психических процессов для носителей различных полиморфизмов генов 5HTT, 5HT2A, DRD2 и COMT, показывают, что наличие полиморфизмов LS и SS в гене 5HTT, полиморфизмов А1А1 и А1А2 в гене DRD2 приводит к значимому повышению нейродинамических функций, а также более эффективной реабилитации после высоких физических нагрузок. Полиморфизм А1А1 в гене DRD2 ассоциирован с хорошей зрительной и вербальной памятью и их высокой устойчивостью при физических нагрузках. Полиморфизм Met/Met гена COMT ассоциирован с высокой устойчивостью когнитивных функций, связанных с вычислением и нейродинамических функций, при экстремальных физических нагрузках. Лица с генотипом 5HTT2A С/С характеризуются высокой устойчивостью нейродинамических и когнитивных функций, а также быстрым восстановлением после многодневных физических нагрузок.

Литература

1. Голимбет В. Е., Лебедева И. С., Гриценко И. К. и др. Связь полиморфизма генов серотонинергической и дофаминергической систем с вызванными потенциалами (компонент Р300) у больных шизофренией и их родственников // Журнал неврологии и психиатрии. 2005. № 10. С. 35–41.
2. Кибитов А. О. Анализ Val158Met полиморфизма гена катехол-О-метил-трансферазы (COMT) у больных алкоголизмом и героиновой наркоманией с отягощенной наследственностью // Журнал неврологии и психиатрии. 2010. № 4. С. 84–88.
3. Решетников М. М., Кулагин Б. В. Исследование общего уровня развития познавательных психических процессов. Л.: ВМедА, 1987. 27 с.
4. Adayev T., Ranasinghe B., Banerjee P. Transmembrane signaling in the brain by serotonin, a key regulator of physiology and emotion // Biosci. Rep. 2005. Vol. 25. P. 363–385.
5. Ahmetov I. I. Molecular genetics of sport. Moscow: Soviet Sport. 2009. P. 126–128.
6. Chee I. S., Lee S. W., Kim J. L. et al. 5-HT2A receptor gene promoter polymorphism -1438A/G and bipolar disorder // Psychiatr. Genet. 2001. Vol. 11(3). P. 111–114.
7. Choi M. J., Lee H. J., Ham B. J. et al. Association between major depressive disorder and the -1438A/G polymorphism of the serotonin 2A receptor gene // Neuropsychobiology. 2004. Vol. 49(1). P. 38–41.
8. Diamond A. Biological and social influences on cognitive control processes dependent on prefrontal cortex // Prog Brain Res. 2011. Vol. 189. P. 319–339.
9. Francesco P., Crawley J., Song J. et al. Genetic Dissection of the Role of Catechol-O-Methyltransferase in Cognition and Stress Reactivity in Mice // J Neurosci. 2008. Vol. 28(35). P. 8709–8723.

10. Lipsky R., Sparling M., Ryan L. et al. Association of COMT Val158Met genotype with executive functioning following traumatic brain injury // *J. Neuropsychiatry Clin Neurosci.* 2005. Vol. 17(4). P. 465–71.
11. Maliuchenko N., Sysoeva O., VEDIKOV A. et al. Effect of 5HTT genetic polymorphism on aggression in athletes // *Zh. Vyssh Nerv Deiat Im I. P. Pavlova.* 2007. Vol. 57(3). P. 276–81.
12. Ronkainen P., Pöllänen E., Törmäkangas T. et al. Catechol-o-methyltransferase gene polymorphism is associated with skeletal muscle properties in older women alone and together with physical activity // *PLoS ONE.* 2008. Vol. 19; 3(3).
13. Stroth S., Reinhardt R. K., Thöne J. et al. Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults // *Neurobiol Learn Mem.* 2010. Vol. 94(3). P. 364–72.
14. Tsai S. J. Dopamine D2 receptor and N-methyl-D-aspartate receptor 2B subunit genetic variants and intelligence / S. J. Tsai, Y. W. Yu, C. H. Lin, T. J. Chen, S. P. Chen, C. J. Hong // *Neuropsychobiology.* 2002. Vol. 45. P. 128–130.
15. Wang Z. The relationship between combat-related posttraumatic stress disorder and the 5-HTTLPR/rs25531 polymorphism / Z. Wang, D. G. Baker, J. Harrer et al. // *Depress Anxiety.* 2011. Vol. 28(12). P. 1067–1073.
16. Williams A., Folland J. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance // *J. Physiol.* 2008. Vol. 586. P. 113–121.

References

1. Golimbet V. E., Lebedeva I. S., Gritsenko I. K. i dr. Sviaz' polimorfizma genov sero-toninergicheskoi i dofaminergicheskoi sistem s vyzvannyimi potentsialami (komponent R300) u bol'nykh shizofreniei i ikh rodstvennikov [Communication gene polymorphism serotonergic and dopaminergic systems evoked potentials (P300) in patients with schizophrenia and their relatives]. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii [Journal of Neurology and Psychiatry]*, 2005, no. 10, pp. 35–41.
2. Kibitov A. O. Analiz Val158Met polimorfizma gena katekhol-O-metil-transferazy (SOMT) u bol'nykh alkogolizmom i geroinovoi narkomaniei s otiagoshchennoi nasled-stvennost'iu [KIBIT SA Analysis Val158Met polymorphism of catechol-O-methyl-transferase (COMT) in patients with alcoholism and heroin addiction with family history]. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii [Journal of Neurology and Psychiatry]*, 2010, no. 4, pp. 84–88.
3. Reshetnikov M. M., Kulagin B. V. *Issledovanie obshchego urovnia razvitiia poznavatel'nykh psikhicheskikh protsessov [Investigation of the general level of cognitive mental processes]*. Leningrad, MMA Publ., 1987. 27 p.
4. Adayev T., Ranasinghe B., Banerjee P. Transmembrane signaling in the brain by serotonin, a key regulator of physiology and emotion. *Biosci. Rep.*, 2005, vol. 25, pp. 363–385.
5. Ahmetov I. I. *Molecular genetics of sport*. Moscow, Soviet Sport Publ., 2009, pp. 126–128.
6. Chee I. S., Lee S. W., Kim J. L. et al. 5-HT2A receptor gene promoter polymorphism -1438A/G and bipolar disorder. *Psychiatr. Genet.*, 2001, vol. 11(3), pp. 111–114.
7. Choi M. J., Lee H. J., Ham B. J. et al. Association between major depressive disorder and the -1438A/G polymorphism of the serotonin 2A receptor gene. *Neuropsychobiology*, 2004, vol. 49(1), pp. 38–41.
8. Diamond A. Biological and social influences on cognitive control processes dependent on prefrontal cortex. *Prog Brain Res.*, 2011, vol. 189, pp. 319–339.
9. Francesco P., Crawley J., Song J. et al. Genetic Dissection of the Role of Catechol-O-Methyltransferase in Cognition and Stress Reactivity in Mice. *J. Neurosci.*, 2008, vol. 28(35), pp. 8709–8723.
10. Lipsky R., Sparling M., Ryan L. et al. Association of COMT Val158Met genotype with executive functioning following traumatic brain injury. *J. Neuropsychiatry Clin Neurosci.*, 2005, vol. 17(4), pp. 465–71.
11. Maliuchenko N., Sysoeva O., VEDIKOV A. et al. Effect of 5HTT genetic polymorphism on aggression in athletes. *Zh. Vyssh Nerv Deiat Im I. P. Pavlova*, 2007, vol. 57(3), pp. 276–81.
12. Ronkainen P., Pöllänen E., Törmäkangas T. et al. Catechol-o-methyltransferase gene polymorphism is associated with skeletal muscle properties in older women alone and together with physical activity. *PLoS ONE*, 2008, vol. 19; 3(3).
13. Stroth S., Reinhardt R. K., Thöne J. et al. Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiol Learn Mem.*, 2010, vol. 94(3), pp. 364–72.

14. Tsai S. J., Yu Y. W., Lin C. H., Chen T. J., Chen S. P., Hong C. J. Dopamine D2 receptor and N-methyl-D-aspartate receptor 2B subunit genetic variants and intelligence. *Neuropsychobiology*, 2002, vol. 45, pp. 128–130.

15. Wang Z., Baker D. G., Harrer J. et al. The relationship between combat-related posttraumatic stress disorder and the 5-HTTLPR/rs25531 polymorphism. *Depress Anxiety*, 2011, vol. 28(12), pp. 1067–1073.

16. Williams A., Folland J. Similarity of polygenic profiles limits the potential for elite human physical performance. *J. Physiol*, 2008, vol. 586, pp. 113–121.

Статья поступила в редакцию 28 января 2016 г.

Контактная информация:

Пятибрат Александр Олегович — кандидат медицинских наук, доцент; a5brat@yandex.ru
Мельнов Сергей Борисович — доктор биологических наук, профессор; sbmelnov@gmail.com
Балахонов Алексей Викторович. — доктор педагогических наук, профессор; Balakhonov@mail.ru
Козлова Анна Сергеевна — (звание, должность); annete.kozlova@gmail.com
Пятибрат Елена Дмитриевна — доктор медицинских наук, преподаватель; 5brat@bk.ru
Шабанов Петр Дмитриевич — доктор медицинских наук, профессор; pshabanov@mail.ru

Pyatibrat Aleksandr O. — PhD, Associate Professor; a5brat@yandex.ru
Melnov Sergei B. — Doctor of Biology, Professor; sbmelnov@gmail.com;
Balakhonov Aleksey V. — PhD, Professor; Balakhonov@mail.ru
Kozlova Anna S. — Master of Sci.; annete.kozlova@gmail.com;
Pyatibrat Elena D. — PhD, senior lecturer; 5brat@bk.ru.
Shabanov Peter D. — PhD, Professor; pshabanov@mail.ru