

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

БИОЛОГИЯ BIOLOGY

УДК 57+616+316
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-4-317-324>

Поступило в редакцию 08.04.2024
Received 08.04.2024

**И. Б. Моссе¹, Т. В. Докукина², Н. Г. Седляр¹, К. А. Моссе¹, Е. П. Янчук¹, О. П. Глебко²,
А. А. Ванькович², академик А. В. Кильчевский¹**

¹*Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Республиканский научно-практический центр психического здоровья Министерства здравоохранения
Республики Беларусь, Минск, Республика Беларусь*

ИНФОРМАТИВНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ К ФОРМИРОВАНИЮ ИНТЕЛЛЕКТА ВЫСОКОГО УРОВНЯ

Аннотация. С целью изучения генетических механизмов интеллекта человека проведено сравнительное психологическое и молекулярно-генетическое тестирование репрезентативной выборки представителей белорусской популяции. Общий объем выборки составил 746 человек. Психологическая диагностика для оценки коэффициента интеллекта (IQ) проведена с помощью теста Д. Векслера. Показано, что распределение значений общего интеллекта у представителей белорусской популяции смещено в сторону более высоких результатов. Разделение испытуемых на группы с низким и высоким IQ проводили с помощью метода квартилей. Определение ассоциации уровня интеллекта с генотипом осуществляли с помощью панели генетических маркеров, состоящей из 18 полиморфных вариантов генов нейрогенеза, синаптической пластичности и нейромедиаторных систем. Молекулярно-генетическое тестирование проводили методом ПЦР в реальном времени. Для автоматизации поиска информативных комбинаций генов, ассоциированных с когнитивными способностями, была использована разработанная нами ранее специальная компьютерная программа, учитывающая эффекты взаимодействия генов. С помощью этой программы были выявлены 15 наиболее информативных сочетаний полиморфных вариантов генов, ассоциированных с высоким уровнем интеллекта. Эти генные варианты могут быть использованы для оценки генетической предрасположенности к формированию интеллекта высокого уровня, что позволит оценивать перспективность кандидатов для экстремальных видов деятельности.

Ключевые слова: уровень интеллекта, тест Векслера, гены нейрогенеза, синаптической пластичности, метод ПЦР

Для цитирования. Информативные генетические маркеры предрасположенности к формированию интеллекта высокого уровня / И. Б. Моссе [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2024. – Т. 68, № 4. – С. 317–324. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-4-317-324>

**Irma B. Mosse¹, Tatyana V. Dokukina², Nikita G. Sedlyar¹, Konstantin A. Mosse¹, Evgeniya P. Yanchuk¹,
Olga P. Glebko², Anastasiya A. Vankovich², Academician Alexandr V. Kilchevsky¹**

¹*Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

²*Republican Scientific and Practical Center for Mental Health of the Ministry of Health of the Republic of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

INFORMATIVE GENETIC MARKERS OF PREDISPOSITION TO THE FORMATION OF HIGH-LEVEL INTELLIGENCE

Abstract. This study is devoted to investigating the association of intelligence with a person's genotype. Comparative psychological and molecular genetic testing was carried out on a representative sample of Belarusian population representatives numbering 746 people. Intelligence quotient (IQ) was determined using D. Wechsler's test. It was established that the distribution of general intelligence values among the Belarusian population representatives was shifted towards higher results. The persons were divided into low and high IQ groups using the quartile method. The association of intelligence level with genotype was determined using a panel of genetic markers consisting of 18 gene polymorphic variants of neurogenesis, synaptic plasticity and neurotransmitter systems. Molecular genetic testing was carried out using real-time PCR. To automate

a search for informative gene combinations associated with cognitive abilities, we used a special computer program that we had previously developed, taking into account the gene interaction effects. 15 most informative combinations of polymorphic gene variants associated with a high intelligence level were identified. These gene variants can be used to assess a genetic predisposition to the formation of high-level intelligence, which will allow assessing the abilities of candidates for extreme activities.

Keywords: intelligence level, psychological and genetic study, Wechsler test, PCR method

For citation. Mosse I. B., Dokukina T. V., Sedlyar N. G., Mosse K. A., Yanchuk E. P., Glebko O. P., Vankovich A. A., Kilchevsky A. V. Informative genetic markers of predisposition to the formation of high-level intelligence. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2024, vol. 68, no. 4, pp. 317–324 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-4-317-324>

Введение. Каждый индивид обладает определенными интеллектуальными способностями [1; 2]. Когнитивная система – это неотъемлемая составляющая адаптационного механизма личности в окружающем мире. Интеллектуальные способности играют большую роль в жизни каждого человека, в его образовании, материальном и психологическом благополучии, здоровье, продолжительности жизни и т. д. На сегодняшний день интеллектуальное развитие человека занимает важное место в мироощущении и в сфере межличностных отношений, поскольку от уровня когнитивных способностей зависят такие важные аспекты жизни, как самореализация, признание, профессиональное развитие, взаимоотношения с другими, совместимость, адаптация к меняющимся условиям среды и др. [3; 4].

Одним из основных параметров интеллекта является коэффициент интеллекта (IQ – Intelligence Quotient). Коэффициент интеллекта – количественная оценка уровня умственного развития человека. Исследуя его на выборке той или иной популяции, можно судить о ее отличительных чертах, поскольку когнитивные профили у различных популяций несколько отличны и специфичны [5; 6]. В последние десятилетия передаче когнитивных способностей по наследству посвящены сотни работ. Главным образом исследования проводились на гомозиготных близнецах, разлученных в раннем детстве и выросших в разных условиях. В этом случае влияние наследственности можно легко выявить. Изучение жизненного пути приемных детей также привело к однозначному выводу о том, что различия в их судьбе в основном определялись наследственностью и случайными факторами, а не тем, в какой семье они воспитывались [7].

Окружающая среда, в частности семья, оказывает заметное влияние на развитие интеллекта ребенка. Однако такое влияние приносит коэффициенту интеллекта лишь небольшую долю – 0,25–0,35, и чем старше становится ребенок, тем слабее эта зависимость проявляется, практически полностью пропадая к моменту совершеннолетия. Генетические же факторы обуславливают константность интеллекта в разном возрасте, поэтому можно говорить о генетической предрасположенности к высоким или низким показателям интеллекта [6; 7]. Следовательно, коэффициент интеллекта измеряет преимущественно врожденные способности, независимо от приобретенных знаний и условий воспитания. Поэтому IQ человека практически не изменяется после достижения возраста восьми–десяти лет.

В настоящее время зависимость IQ от генотипа считается равной от 50 до 80 %, причем в специальной литературе чаще упоминается цифра в 86 % [8].

Наиболее перспективным подходом в генетике интеллекта является изучение связей когнитивных процессов человека с определенными генами, белковые продукты которых (структурные белки, гормоны, рецепторы, ферменты) могут прямо или косвенно участвовать в развитии интеллекта. Результаты крупнейших GWAS исследований способствовали выявлению ряда генов, ассоциированных с различными показателями интеллекта [9; 10]. Различные области коры головного мозга играют важную роль в нормальном когнитивном функционировании, связаны с нарушениями и участвуют в патогенезе психических заболеваний. Наиболее ассоциированы с этими процессами гены нейромедиаторных систем мозга и гены регуляции нейрогенеза и синаптической пластичности.

Оценка наследуемости когнитивных способностей очень сложна, поскольку интеллект – это полигенный признак, в его детерминации участвует большое число генов и вклад каждого отдельного гена значительно мал, поэтому даже в тех случаях, когда генетические варианты оказываются статистически достоверно ассоциированными с когнитивными фенотипами, размеры

их эффектов, как правило, очень малы (1–2 %) [11; 12]. Многочисленные исследования не сумели доказать статистически значимую причастность конкретных генов к развитию когнитивных способностей. В то же время известно, что эффект взаимодействия генов может многократно превышать сумму их отдельных эффектов.

Исследования интеллектуальной характеристики белорусской популяции и ее ассоциации с генетическими характеристиками ранее не проводились. Поэтому целью данной работы явилось определение ассоциации интеллектуального развития представителей Беларуси с их генотипами.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено на репрезентативной выборке представителей белорусской популяции из разных регионов страны, разных специальностей, с различным уровнем образования, различного семейного положения. Общий объем выборки составил 746 человек, среди которых 51,6 % составили женщины (386 человек) и 48,4 % – мужчины (363 человека). Средний возраст исследуемых испытуемых – 30,3 лет. Однако наибольший процент выборки (29,58 %) составили испытуемые в возрасте от 20 до 24 лет.

Все испытуемые подписали информированное согласие на участие в научном исследовании. Проведение исследований одобрено этическими комитетами РНПЦ психического здоровья Министерства здравоохранения Республики Беларусь и Института генетики и цитологии НАН Беларуси. Психологическая диагностика для оценки коэффициента интеллекта (IQ) проведена с помощью теста Д. Векслера. Разделение испытуемых на группы с низким и высоким IQ проводили с помощью метода квартилей.

Для выявления генетической составляющей интеллекта в группах с низким и высоким IQ проводили сравнение частот 18 полиморфных вариантов генов нейрогенеза, синаптической пластичности и нейромедиаторных систем мозга. Для молекулярно-генетического анализа отобранных генов разработаны методики и протоколы тестирования.

Биологическим материалом для генетического анализа служила ДНК, выделенная из буккального эпителия. Выделение ДНК проводили с помощью набора «Нуклеосорб Комплектация А» (ОДО «Праймтех»). Молекулярно-генетическое тестирование осуществляли методом ПЦР в реальном времени CFX96 (BIO-RAD, США). Для статистической обработки данных использовали пакет программ Microsoft Excel 2016, онлайн-калькуляторы SNPstats (snpstats.net) и Medstatistic (medstatistic.ru). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Наблюдаемые частоты генотипов проверяли на соответствие равновесию Харди–Вайнберга. Для автоматизации поиска информативных комбинаций генов, ассоциированных с когнитивными способностями, была использована разработанная нами ранее специальная компьютерная программа, учитывающая эффекты взаимодействия генов [13].

Результаты и их обсуждение. *Определение коэффициента интеллекта (IQ) в белорусской популяции.* Согласно полученным результатам психологического тестирования с помощью теста Векслера, минимальное значение уровня общего интеллекта в репрезентативной выборке белорусской популяции составило 40 баллов, а максимальное – 155. На рис. 1 графически представлены особенности распределения данных измерения уровня интеллекта среди испытуемых.

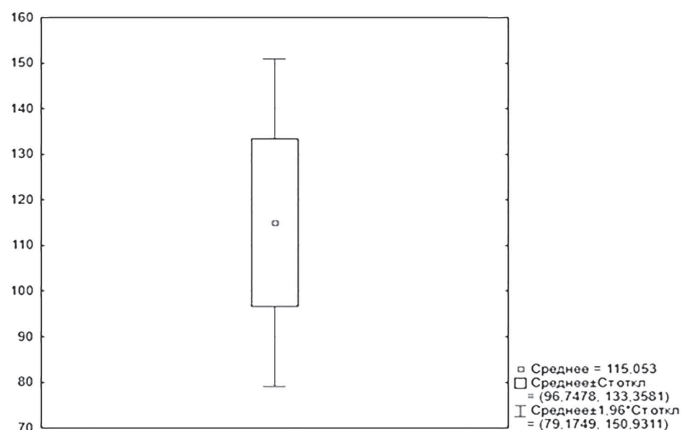


Рис. 1. Распределение данных уровня интеллекта в белорусской популяции (box/whiskey plot)

Fig. 1. Distribution of intelligence levels in the Belarusian population (box/whiskey plot)

Полученные данные группировались вокруг медианного значения (рис. 1). Данное распределение показывает, что в белорусской популяции средним значением уровня интеллекта выступает значение в 115 баллов. В то же время согласно данным Д. Векслера, среднее значение IQ равно 100 и находится в диапазоне 90–110 баллов, поскольку наибольшее количество людей имеет средние значения IQ 90–110. В обе стороны от среднего значения число индивидуумов прогрессивно уменьшается, и чем более выражен признак, тем у меньшего количества индивидуумов он наблюдается [14].

В белорусской популяции преобладают значения в диапазоне 110–130 баллов, среди которых выделяются значения в 120–130 баллов (рис. 2). Данный пик кардинально отличен от значений нормального распределения количественных признаков в популяциях, что свидетельствует о том, что распределение значений уровня интеллекта, определенных у представителей белорусской популяции, смещено в сторону более высоких результатов, и что в белорусской популяции имеется большое количество индивидов с высокими показателями IQ.

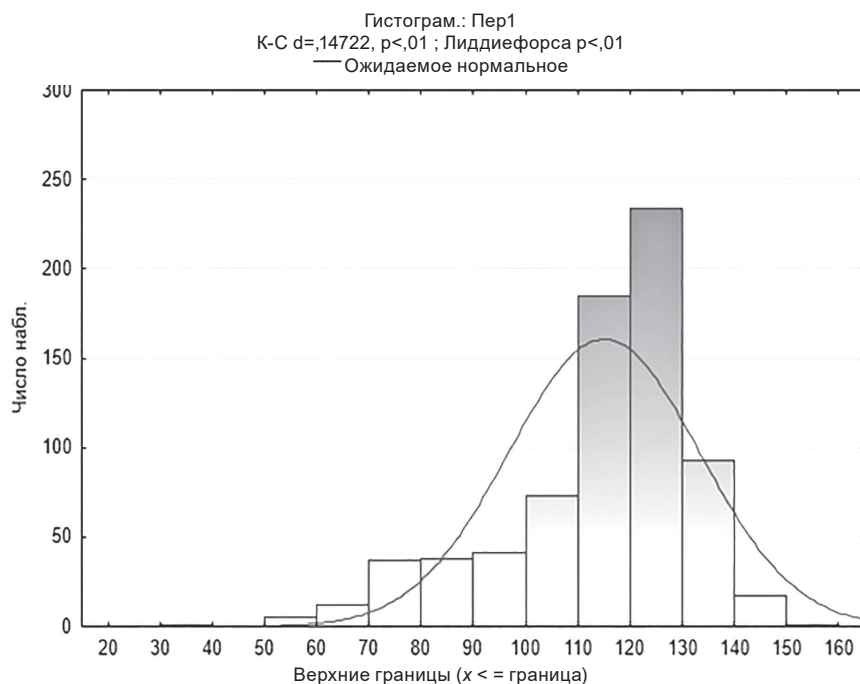


Рис. 2. Кривая распределения значений уровня интеллекта в белорусской популяции

Fig. 2. Distribution curve of IQ values in the Belarusian population

Разработка панели генетических маркеров, ассоциированных с когнитивными способностями. Для проведения молекулярно-генетического исследования был проведен анализ научных публикаций и отобраны гены-кандидаты, ассоциированные с когнитивными способностями человека [15]. На основании этих данных разработана панель генетических маркеров, состоящая из 18 полиморфных вариантов генов нейрогенеза, синаптической пластичности и нейромедиаторных систем мозга (табл. 1).

Данная панель была использована для определения генетического статуса различных групп белорусской популяции, различающихся по психологическим характеристикам.

Сравнение частот генотипов и аллелей генов в группах с разным уровнем интеллекта. Для определения ассоциации отобранных генов с уровнем интеллекта использовали сравнение частот аллелей и аллельных вариантов в группах людей с низкими и высокими значениями этого параметра. Таковыми оказались значения: от 40 до 90 (Low IQ) и от 125 до 155 (High IQ). При сравнении частот полиморфных вариантов генов, ассоциированных с интеллектуальными способностями, в группах людей с низким и высоким уровнем интеллекта статистически значимые различия выявлены только по одному из 18 исследованных генных вариантов – по гену *FOXO3* rs2490272

Т а б л и ц а 1. Панель генетических маркеров, ассоциированных с когнитивными способностями

Table 1. Panel of genetic markers associated with cognitive abilities

Аббревиатура гена/rs Gene abbreviation/rs	Название и функции гена Gene name and function
<i>Гены регуляции нейрогенеза и синаптической пластичности</i>	
<i>CSEIL</i> rs113315451	Ген фактора сегрегации хромосом 1 типа, участвует в пролиферации нервных клеток
<i>ADAM12</i> rs496520	Ген, кодирующий белок, содержащий дезинтегрин и металлопротеазный домен 12, регулирует нейрогенез и межклеточные взаимодействия
<i>EXOC4</i> rs4728302	Ген компонента экзоцитарного комплекса 4, обеспечивает полярность эпителиальных клеток
<i>PDE1C</i> rs10236197	Ген фосфодиэстеразы 1C, ген синаптической пластичности
<i>BDNF</i> rs6265	Ген нейротрофического фактора мозга, секретируется при активации нейронов
<i>APOE</i> rs7412	Ген аполипопротеина E, ген регуляции нейронов и поддержания синаптической пластичности
<i>APOE</i> rs429358	
<i>FOXO3</i> rs2490272	Ген транскрипционного фактора Fox O3, участвует в поддержании нейрональной функции
<i>MEF2C</i> rs41352752	Ген энхансерного фактора транскрипции миоцитов 2C, дифференцировка и развитие нервных клеток.
<i>Гены дофаминергических и серотонинергических нейронов</i>	
<i>DARPP-32</i> rs907094	Ген регулятора эффективности дофаминергической нейротрансмиссии
<i>DARPP-32</i> rs879606	
<i>DARPP-32</i> rs3764352	
<i>DRD2</i> rs6277	Ген рецептора дофамина 2 типа, обеспечивает нейрональную активность и доступность дофамина в полосатом теле
<i>DBH</i> rs1611115	Ген дофамин бета-гидроксилазы, катализирует превращение дофамина в норадреналин
<i>DBH</i> rs1108580	
<i>COMT</i> rs4680	Ген фермента катехол-О-метилтрансферазы, регулирует уровень префронтального дофамина
<i>SLC6A4 5-HTT;</i> (VNTR-17; STin2)	Ген транспортера серотонина, регулирует скорость передачи нервных импульсов
<i>MAOA 30-bpVNTR</i>	Ген фермента моноаминоксидазы A, катализирует деградацию ключевых нейротрансмиттеров мозга

Т а б л и ц а 2. Сравнение частот полиморфных вариантов гена *FOXO3* rs2490272 в группах людей с низким (n^1) и высоким (n^2) уровнем интеллекта

Table 2. Comparison of gene polymorphic variant *FOXO3* rs2490272 frequencies in groups of people with low (n^1) and high (n^2) intelligence levels

Ген, полиморфный вариант Gene, polymorphic variant	Аллельный вариант, аллель Allelic variant, allele	Частота, % Frequency, %		<i>p</i> -value	OR	95 % CI
		n^1 (IQ < 90)	n^2 (IQ ≥ 125)			
<i>FOXO3</i> rs2490272 $n^1 = 85$ $n^2 = 347$	<i>C/C</i>	12,94	21,04	0,095	0,56	0,25–1,13
	<i>C/T</i>	44,71	51,59	0,277	0,76	0,46–1,26
	<i>T/T</i>	42,35	27,38	0,009	1,95	1,15–3,27
	<i>C</i>	35,29	46,83	0,008	0,62	0,43–0,89
	<i>T</i>	64,71	53,17	0,008	1,61	1,13–2,33

(табл. 2). Из литературных данных известно, что полиморфный вариант этого гена rs2490272 (6q21) обуславливает различия в нейрональной функции и соответственно влияет на показатель интеллектуальных способностей [12].

Известно, что эффект взаимодействия генов может во много раз превосходить сумму их отдельных эффектов, поэтому мы попытались определить эффекты взаимодействия генов-кандидатов. Для этого была использована разработанная нами ранее специальная компьютерная программа, позволяющая проводить эффективный поиск прогностически значимых комплексов генов среди миллионов генных сочетаний [13].

С помощью данной компьютерной программы были выявлены 15 наиболее информативных комплексов полиморфных вариантов генов, ассоциированных с высоким уровнем интеллекта (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Наиболее информативные сочетания полиморфных вариантов генов, ассоциированных с высоким уровнем интеллекта

Table 3. The most informative combinations of gene polymorphic variants associated with a high intelligence level

Сочетания информативных полиморфных вариантов генов Combinations of informative polymorphic gene variants	Частота, % Frequency, %		p-value	OR	95 % CI
	IQ ≥ 125	IQ < 90			
<i>EXOC4</i> rs4728302 (C/T) + <i>MEF2C</i> rs41352752 (A/A) + <i>DBH</i> rs1108580 (A/G)	26,51	14,12	0,0162	2,19	1,12–4,64
<i>FOXO3</i> rs2490272 (C/T) + <i>EXOC4</i> rs4728302 (C/C) + <i>DRD2</i> rs6277 (A/G)	5,76	0,00	0,0187	Inf	1,25–Inf
<i>COMT</i> rs4680 (G/G) + <i>DARPP32</i> rs907094 (A/G) + <i>DARPP32</i> rs879606 (A/G)	7,49	1,18	0,0255	6,79	1,08–281,9
<i>COMT</i> rs4680 (G/G) + <i>DARPP32</i> rs879606 (A/G) + <i>DARPP32</i> rs3764352 (C/T)	7,49	1,18	0,0255	6,79	1,08–281,9
<i>EXOC4</i> rs4728302 (C/T) + <i>DBH</i> rs1611115 (C/T) + <i>DBH</i> rs1108580 (A/G)	11,82	3,53	0,0260	3,65	1,12–18,91
<i>PDE1C</i> rs10236197 (C/T) + <i>APOE</i> (E3/E3) + <i>DBH</i> rs1108580 (G/G)	9,80	2,35	0,0268	4,50	1,11–39,42
<i>BDNF</i> rs6265 (C/C) + <i>COMT</i> rs4680 (G/G) + <i>DARPP32</i> rs879606 (A/G)	5,19	0,00	0,0306	Inf	1,11–Inf
<i>COMT</i> rs4680 (A/G) + <i>APOE</i> (E3/E4) + <i>DRD2</i> rs6277 (A/A)	4,90	0,00	0,0308	Inf	1,04–Inf
<i>ADAM12</i> rs496520 (C/C) + <i>EXOC4</i> rs4728302 (C/T) + <i>DBH</i> rs1108580 (A/G)	25,36	14,12	0,0310	2,06	1,05–4,38
<i>EXOC4</i> rs4728302 (C/T) + <i>DBH</i> rs1108580 (A/G) + <i>DARPP32</i> rs879606 (G/G)	17,87	8,24	0,0314	2,42	1,05–6,52
<i>FOXO3</i> rs2490272 (C/C) + <i>APOE</i> (E3/E3) + <i>DBH</i> rs1108580 (G/G)	5,48	0,00	0,0328	Inf	1,18–Inf
<i>PDE1C</i> rs10236197 (T/T) + <i>COMT</i> rs4680 (G/G) + <i>DBH</i> rs1108580 (A/G)	5,48	0,00	0,0328	Inf	1,18–Inf
<i>ADAM12</i> rs496520 (C/C) + <i>FOXO3</i> rs2490272 (C/T) + <i>DRD2</i> rs6277 (A/G)	26,22	15,29	0,0345	1,97	1,02–4,06
<i>ADAM12</i> rs496520 (C/C) + <i>FOXO3</i> rs2490272 (C/T) + <i>COMT</i> rs4680 (G/G)	10,95	3,53	0,0382	3,35	1,02–17,41
<i>EXOC4</i> rs4728302 (C/T) + <i>PDE1C</i> rs10236197 (T/T) + <i>DBH</i> rs1108580 (A/G)	10,95	3,53	0,0382	3,35	1,02–17,41

Как видно из данной таблицы, эффекты выявленных комплексов полиморфных вариантов генов с высокой статистической значимостью различаются в группах индивидов с низким и высоким уровнем интеллекта. Эти генные варианты могут быть использованы для оценки индивидуальной генетической предрасположенности к формированию интеллекта определенного уровня.

Для определения уровня интеллекта с помощью этих сочетаний нуклеотидов достаточно протестировать всего лишь 14 полиморфных вариантов генов (перечислены по мере уменьшения частоты их встречаемости в сочетаниях): *EXOC4* rs4728302 (C/T), *MEF2C* rs41352752 (A/A), *DBH* rs1108580 (G/G), *FOXO3* rs2490272 (C/C), *DRD2* rs6277 (A/A), *COMT* rs4680 (A/G), *DARPP32* rs907094 (A/G), *DARPP32* rs879606 (A/G), *DARPP32* rs3764352(C/T), *DBH* rs1611115(C/T), *PDE1C* rs10236197(T/T), *APOE* (E3/E3), *BDNF* rs6265(C/C), *ADAM12* rs496520 (C/C).

Наиболее часто (в 53,8 % случаев) в этих сочетаниях встречается полиморфный вариант *FOXO3* rs2490272 (T/T), который оказался информативным и при сравнении эффектов отдельных генов, что свидетельствует о существенном вкладе этого полиморфного варианта в детерминацию интеллекта.

Заключение. Результаты исследования уровня интеллекта в репрезентативной выборке белорусской популяции позволяют сделать вывод о том, что распределение значений интеллекта, определенных у представителей белорусской популяции с помощью теста Д. Векслера, смещено в сторону более высоких результатов. В белорусской популяции преобладают значения в диапазоне 110–130 баллов, среди которых выделяются значения в 120–130 баллов, что позволяет сделать вывод о том, что в белорусской популяции имеется большое количество индивидов с высокими показателями IQ.

Проведено молекулярно-генетическое сравнение групп с низким и высоким коэффициентами IQ по частотам отобранных в качестве кандидатов генов регуляции нейрогенеза, синаптической пластичности и нейромедиаторных систем мозга. Наиболее информативным для определения уровня интеллекта оказался ген *FOXO3* rs2490272 (T/T). Известно, что полиморфный вариант этого гена rs2490272 (6q21) обуславливает различия в нейрональной функции и соответственно влияет на показатель интеллектуальных способностей [12]. С помощью разработанной нами ранее компьютерной программы, учитывающей эффекты взаимодействия генов, выявлено 15 комплексов полиморфных генных вариантов, частоты которых статистически достоверно различаются в группах с низким и высоким уровнем интеллекта. Эти генные варианты могут быть использованы для оценки генетической предрасположенности к формированию интеллекта высокого уровня, что позволит оценивать перспективность кандидатов для экстремальных видов деятельности.

Благодарности. Работа выполнена в рамках реализации мероприятия «Разработка методики определения статуса генетических локусов и прижизненной модификации участков ДНК, влияющих на психоэмоциональный статус человека» НТП Союзного государства «Разработка инновационных геногеографических и геномных технологий идентификации личности и индивидуальных особенностей человека на основе изучения генофондов регионов Союзного государства» («ДНК-идентификация»).

Acknowledgements. The results obtained in the project “Development of a methodology for determining the status of genetic loci and lifetime modification of DNA sites that affect the psychoemotional status of a person” of the research-and-technological program of the Union State of Russia and Belarus “DNA Identification”.

Список использованных источников

1. Меркулов, И. П. Когнитивные способности / И. П. Меркулов. – М., 2005. – 182 с.
2. Холодная, М. А. Психология интеллекта: парадоксы исследования / М. А. Холодная. – СПб., 2002. – 264 с.
3. Гаврилова, Е. В. Вербальные способности: психолингвистический и дифференциально-психологический подходы / Е. В. Гаврилова, С. С. Белова // *Вопр. психолингвистики*. – 2012. – № 16. – С. 98–105.
4. A psychometric evaluation of the Mayer–Salovey–Caruso emotional intelligence test version 2.0 / B. R. Palmer [et al.] // *Intelligence*. – 2005. – Vol. 33, N 3. – P. 285–305. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2004.11.003>
5. Smith, G. A. Clocking g: Relating intelligence and measures of timed performance / G. A. Smith, G. Stanley // *Intelligence*. – 1983. – Vol. 7, N 4. – P. 353–368. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(83\)90010-7](https://doi.org/10.1016/0160-2896(83)90010-7)
6. Vernon, P. A. Speed of information processing and general intelligence / P. A. Vernon // *Intelligence*. – 1983. – Vol. 7, N 1. – P. 53–70. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(83\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(83)90006-5)
7. Ушаков, Д. В. Психология интеллекта и одаренности / Д. В. Ушаков. – М., 2011. – 464 с.
8. Stumm, S. Using DNA to predict intelligence / S. Stumm, R. Plomin // *Intelligence*. – 2021. – Vol. 86. – Art. 101530. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2021.101530>
9. Genome-wide association studies / E. Uffelmann [et al.] // *Nature Reviews Methods Primers*. – 2021. – Vol. 1. – Art. 59. <https://doi.org/10.1038/s43586-021-00061-y>
10. Multi-polygenic score approach to trait prediction / E. Krapohl [et al.] // *Molecular Psychiatry*. – 2018. – Vol. 23. – P. 1368–1374. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.163>
11. Biological annotation of genetic loci associated with intelligence in a meta-analysis of 87,740 individuals / J. R. Coleman [et al.] // *Molecular Psychiatry*. – 2019. – Vol. 24. – P. 182–197. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0040-6>
12. Genome-wide association meta-analysis in 269,867 individuals identifies new genetic and functional links to intelligence / J. E. Savage [et al.] // *Nature Genetics*. – 2018. – Vol. 50. – P. 912–919. <https://doi.org/10.1038/s41588-018-0152-6>
13. Моссэ, И. Б. Разработка способа количественной оценки генетической предрасположенности к развитию полигенных патологий / И. Б. Моссэ, Н. Г. Седляр // *Наука и технологии Сибири*. – 2022. – № 4. – С. 28–30.
14. Multi-trait analysis of genome-wide association summary statistics using MTAG / P. Turley [et al.] // *Nature Genetics*. – 2018. – Vol. 50. – P. 229–237. <https://doi.org/10.1038/s41588-017-0009-4>
15. Наиболее информативные полиморфные варианты генов, ассоциированные с когнитивными способностями человека / Е. П. Янчук [и др.] // *Молекулярная и прикладная генетика*. – 2023. – Т. 35. – С. 164–176.

References

1. Merkulov I. P. *Cognitive abilities*. Moscow, 2005. 182 p. (in Russian).
2. Kholodnaya M. A. *Psychology of intelligence: research paradoxes*. Saint Petersburg, 2002, 2nd ed. 264 p. (in Russian).
3. Gavrilova E. V., Belova S. S. Verbal abilities: psycholinguistic and differential approach. *Voprosy psikholingvistiki* [Questions of Psycholinguistics], 2012, no. 3, pp. 98–105 (in Russian).
4. Palmer B. R., Gignac G., Manocha R., Stough C. A psychometric evaluation of the Mayer–Salovey–Caruso Emotional Intelligence Test Version 2.0. *Intelligence*, 2005, vol. 33, no. 3, pp. 285–305. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2004.11.003>
5. Smith G. A., Stanley G. Clocking g: Relating intelligence and measures of timed performance. *Intelligence*, 1983, vol. 7, no. 4, pp. 353–368. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(83\)90010-7](https://doi.org/10.1016/0160-2896(83)90010-7)
6. Vernon P. A. Speed of information processing and general intelligence. *Intelligence*, 1983, vol. 7, no. 1, pp. 53–70. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(83\)90006-5](https://doi.org/10.1016/0160-2896(83)90006-5)
7. Ushakov, D. V. *Psychology of intelligence and giftedness*. Moscow, 2011. 464 p. (in Russian).
8. Stumm S., Plomin R. Using DNA to predict intelligence. *Intelligence*, 2021, vol. 86, art. 101530. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2021.101530>
9. Uffelmann E., Huang Q. Q., Munung N. S., de Vries J., Okada Yu., Martin A. R., Martin H. C., Lappalainen T., Posthuma D. Genome-wide association studies. *Nature Reviews Methods Primers*, 2021, vol. 1, art. 59. <https://doi.org/10.1038/s43586-021-00061-y>
10. Krapohl E., Patel H., Newhouse S., Curtis C. J., von Stumm S., Dale P. S., Zabaneh D., Breen G., O’Reilly P. F., Plomin R. Multi-polygenic score approach to trait prediction. *Molecular Psychiatry*, 2018, vol. 23, pp. 1368–1374. <https://doi.org/10.1038/mp.2017.163>
11. Coleman J. R. I., Bryois J., Gaspar H. A., Jansen P. R., Savage J. E., Skene N., Plomin R., Muñoz-Manchado A. B., Linnarsson S., Crawford G., Hjerling-Leffler J., Sullivan P. F., Posthuma D., Breen G. Biological annotation of genetic loci

associated with intelligence in a meta-analysis of 87,740 individuals. *Molecular Psychiatry*, 2019, vol. 24, pp. 182–197. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0040-6>

12. Savage J. E., Jansen Ph. R., Stringer S., Watanabe K., Bryois J., de Leeuw C. A., Nagel M. [et al.]. Genome-wide association meta-analysis in 269,867 individuals identifies new genetic and functional links to intelligence. *Nature Genetics*, 2018, vol. 50, pp. 912–919. <https://doi.org/10.1038/s41588-018-0152-6>

13. Mosse I. B., Sedlyar N. G. Development of a method for quantitative assessment of genetic predisposition to the development of polygenic pathologies. *Nauka i tekhnologii Sibiri* [Science and Technology of Siberia], 2022, no. 4, pp. 28–30 (in Russian).

14. Turley P., Walters R. K., Maghziyan O., Okbay A., Lee J. J., Fontana M. A., Nguyen-Viet T. A. [et al.]. Multi-trait analysis of genome-wide association summary statistics using MTAG. *Nature Genetics*, 2018, vol. 50, pp. 229–237. <https://doi.org/10.1038/s41588-017-0009-4>

15. Yanchuk E. P., Mosse I. B., Sedlyar N. G., Mosse K. A., Kilchevsky A. V. The most informative polymorphic gene variants associated with human cognitive abilities. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika* [Molecular and Applied Genetics], 2023, vol. 35, pp. 164–175 (in Russian).

Информация об авторах

Моссе Ирма Борисовна – д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник, профессор. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: i.mosse@igc.by. ORCID: 0009-0001-0929-3810.

Докукина Татьяна Васильевна – д-р биол. наук, профессор, заместитель директора. РНПЦ психического здоровья (Долгиновский тракт, 152, 220053, Минск, Республика Беларусь). E-mail: polak0208@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5147-8192.

Седляр Никита Геннадьевич – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: n.osennij@gmail.com. ORCID: 0009-0008-0088-8333.

Моссе Константин Альфредович – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kosmosse@yahoo.com. ORCID: 0009-0006-2237-6908.

Янчук Евгения Петровна – науч. сотрудник. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: evgena2121@mail.ru. ORCID: 0009-0000-7508-426X.

Глебо Ольга Петровна – науч. сотрудник. РНПЦ психического здоровья (Долгиновский тракт, 152, 220053, Минск, Республика Беларусь). E-mail: olga.glebko90@gmail.com. ORCID: 0009-0007-8749-4582.

Ванькович Анастасия Александровна – науч. сотрудник. РНПЦ психического здоровья (Долгиновский тракт, 152, 220053, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vankovich1996@mail.ru. ORCID: 0009-0003-0612-3044.

Кильчевский Александр Владимирович – академик, д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник, профессор. Институт генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kilchev@presidium.bas-net.by.

Information about the authors

Mosse Irma B. – D. Sc. (Biology), Chief Researcher, Professor. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: i.mosse@igc.by. ORCID: 0009-0001-0929-3810.

Dokukina Tatyana V. – D. Sc. (Biology), Professor, Deputy Director. Republican Scientific and Practical Center for Mental Health (152, Dolginovsky tract, 220053, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: polak0208@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5147-8192.

Sedlyar Nikita G. – Ph. D. (Biology), Senior Researcher. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: n.osennij@gmail.com. ORCID: 0009-0008-0088-8333.

Mosse Konstantin A. – Ph. D. (Biology), Leading Researcher. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kosmosse@yahoo.com. ORCID: 0009-0006-2237-6908.

Yanchuk Evgeniya P. – Researcher. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evgena2121@mail.ru. ORCID: 0009-0000-7508-426X.

Glebko Olga P. – Researcher. Republican Scientific and Practical Center for Mental Health (152, Dolginovsky tract, 220053, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olga.glebko90@gmail.com. ORCID: 0009-0007-8749-4582.

Vankovich Anastasiya A. – Researcher. Republican Scientific and Practical Center for Mental Health (152, Dolginovsky tract, 220053, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vankovich1996@mail.ru. ORCID: 0009-0003-0612-3044.

Kilchevsky Alexandr V. – Academician, D. Sc. (Biology), Chief Researcher, Professor. Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kilchev@presidium.bas-net.by.