

РОЛЬ ГЕНОМНЫХ ПРЕДИКТОРОВ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ВИДАХ СПОРТА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

Е.А. Семенова^{1,2}, Н.А. Кулемин², А.К. Ларин², Д.В. Попов³, Г.Р. Тарасова⁴, Г.В. Черепнев⁵,
Ф. Аль-Хелаифи⁶, К. Георгакопулос⁶, Н.А. Юсри⁷, И. Дибун⁸, О. Альбага⁸, К. Сухре⁹, М. Эль-Райес^{6,10},
Э.В. Генерозов², И.И. Ахметов^{2,11,12}

¹ Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, Россия

² Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА России, Москва, Россия

³ Российская академия наук, Институт медико-биологических проблем, Москва, Россия

⁴ Медико-санитарная часть Казанского федерального университета, Клинико-диагностическая лаборатория № 1, Казань, Россия

⁵ Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Казань, Россия

⁶ Антидопинговая лаборатория Катар, Доха, Катар

⁷ Кафедра генетической медицины, Медицинский колледж Вейл Корнелл в Катаре, Доха, Катар

⁸ Колледж здоровья и науки о жизни, Университет Хамада бин Халифа, Доха, Катар

⁹ Кафедра физиологии и биофизики, Медицинский колледж Вейл Корнелл в Катаре, Доха, Катар

¹⁰ Институт биомедицинских исследований, Университет Катара, Доха, Катар

¹¹ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Россия

¹² Ливерпульский университет им Дж. Мурса, Ливерпуль, Великобритания

Аннотация

Люди различаются по уровню гематологических показателей, что может обуславливать различия в проявлении аэробных возможностей. Цель исследования заключалась в сравнении гематологического профиля между спортсменами и контрольной группой, а также в определении роли генетических факторов, детерминирующих гематологические показатели, в проявлении аэробных возможностей и предрасположенности к занятиям видами спорта на выносливость.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 1517 человек. Гематологическое обследование проводилось у 265 российских спортсменов, тренирующих выносливость, и 574 лиц контрольной группы с помощью автоматических анализаторов. В генетическом исследовании по типу «случай-контроль» приняли участие 598 человек, которые были поделены на две выборки – российскую ($n=424$) и европейскую ($n=174$). Генотипирование проб на 93 полиморфизма осуществляли с помощью микрочипов. Аэробные возможности (максимальное потребление кислорода) определяли с помощью спироэргометрии ($n=80$).

Результаты исследования и их обсуждение. Выявлено, что спортсмены, тренирующие выносливость, имеют более высокие значения таких гематологических показателей, как уровень гемоглобина, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита и гематокрит, и низкое значение показателя «средняя концентрация гемоглобина в эритроците» по сравнению с контрольной группой ($P<0.05$). Кроме того, высококвалифицированные стайеры имеют более высокие показатели уровня гемоглобина, чем менее квалифицированные спортсмены ($P<0.05$). Также было обнаружено 15 полиморфизмов, ассоциированных с гематологическими показателями в группе российских спортсменов, из которых два маркера (*RSRP1* rs1043879 T, *TRIM38* (5.6 kb) rs169219 A) взаимосвязаны с предрасположенностью к видам спорта на выносливость и высокими значениями МПК.

Заключение. Таким образом, применение геномных предикторов гематологических показателей позволяет прогнозировать аэробные возможности человека, а также выявлять потенциал предрасположенности к видам спорта на выносливость.

Ключевые слова: гематологические показатели, выносливость, спортсмены, полиморфизм, гены.

THE ROLE OF GENOMIC PREDICTORS OF HEMATOLOGICAL TRAITS IN ENDURANCE SPORTS

E.K. Semenova^{1,2}, alecsekaterina@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1248-2855

N.A. Kulemin², maveriksvao@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8588-3206

A.K. Larin², e-mail: zelaz@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9429-792X

D.V. Popov³, danil-popov@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3981-244X

G.R. Tarasova⁴, TGR_1990@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3599-1599
 G.V. Cherepnev⁵, rkb2_rt@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7924-8356
 F.AI. Khelaifi⁶, falkhelaifi@adlqatar.qa, ORCID: 0000-0002-1712-2499
 C. Georgakopoulos⁶, costas@adlqatar.qa, ORCID: 0000-0001-5744-1243
 N.A. Yousri⁷, nay2005@qatar-med.cornell.edu, ORCID: 0000-0003-1918-0331
 I. Diboun⁸, contact@hbku.edu.qa, ORCID: 0000-0002-9326-101X
 O. Albagha⁸, contact@hbku.edu.qa, ORCID: 0000-0001-5916-5983
 K. Suhre⁹, kas2049@qatar-med.cornell.edu, ORCID: 0000-0001-9638-3912
 M.A. Elrayess^{6,10}, maelrayess@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-3803-4604
 E.V. Genozov², genozov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6314-4883
 I.I. Ahmetov^{2,11,12}, genoterra@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6335-4020

¹ Volga Region State university of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

² Federal research and clinical center of physical-chemical medicine, Moscow, Russia

³ Institute of biomedical problems of the Russian academy of sciences, Moscow, Russia

⁴ Medical and sanitary unit of Kazan Federal University, Clinical and Diagnostic Laboratory №1, Kazan, Russia

⁵ Kazan State Medical Academy, Kazan, Russia

⁶ Anti doping laboratory Qatar, Sports City, Doha, Qatar

⁷ Department of Genetic Medicine, Weill Cornell Medicine-Qatar, Qatar-Foundation, Doha, Qatar

⁸ College of Health and Life Sciences, Hamad Bin Khalifa University, Doha, Qatar

⁹ Department of Physiology and Biophysics, Weill Cornell Medicine-Qatar, Qatar-Foundation, Doha, Qatar

¹⁰ Biomedical Research Institute (BRC), Qatar University, Doha, Qatar

¹¹ Kazan state medical university, Kazan, Russia

¹² Liverpool John Moores University, Liverpool, United Kingdom

Abstract

The level of hematological parameters varies between people, which may cause differences in aerobic capacity. **Purpose.** The aim of the study was to compare the hematological parameters between athletes and control group, and to define the role of genetic factors that determine hematological parameters in aerobic capacity and endurance athlete status.

Methods and organization. The study involved 1517 individuals. The hematological study was carried out in 265 endurance athletes and 574 healthy controls using automatic haematological analyzers. The case-control study involved 598 individuals, which were divided into two samples: Russian (n=424) and European (n=174). Genotyping of samples for 93 SNPs was performed using DNA microarrays. Aerobic capacity ($\dot{V}O_{2max}$) was determined using spiroergometry (n=80).

Results and discussion. We found that athletes have higher levels of Hb, MCH, MCV, HCT and lower level of MCHC compared with control ($P<0.05$). In addition, elite long-distance athletes have higher hemoglobin level than sub-elite athletes ($P<0.05$). Furthermore, we identified 15 SNPs associated with hematological traits in the group of Russian athletes, of which two SNPs (RSRP1 rs1043879 T, TRIM38 (5.6 kb) rs169219 A) were associated with endurance athlete status and high $\dot{V}O_{2max}$.

Conclusion. Thus, the use of genomic predictors of haematological traits may predict human aerobic capacity and endurance athlete status.

Keywords: hematological traits, endurance, athletes, polymorphism, gene.

ВВЕДЕНИЕ

К основным факторам, влияющим на аэробные возможности человека, относятся ударный объема сердца, гемоглобиновая масса, объем циркулирующей крови, капиллярная плотность и окислительные характеристики скелетных мышц и миокарда [4]. Люди различаются по уровню гематологических показателей, что может обуславливать различия в проявлении аэробных возможностей. На уровень гематологических показателей могут влиять пол, возраст, генетика, уровень

и тип физической активности, особенности питания, наличие патологий и многие другие факторы [3, 6-9, 11]. Женщины обычно имеют более низкий уровень гемоглобина и гематокрита, а также среднее содержание гемоглобина в эритроците, среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците и средний объем эритроцита по сравнению с мужчинами [8]. Уровень гемоглобина и гематокрита обычно повышается у женщин после менопаузы, в то время как у мужчин после сорока лет эти показатели постепенно

снижаются [9]. Кроме того, средний объем эритроцита также имеет тенденцию к увеличению с возрастом [6].

Потребление железа с пищей и хранение запасов железа относятся к факторам, играющим важную роль в эритропоэзе. В случае недостаточного поступления железа с пищей используются запасы железа для производства гемоглобина. Это сопровождается снижением показателей гематокрита, среднего содержания гемоглобина в эритроците, средней концентрации гемоглобина в эритроците, среднего объема эритроцита [12]. Нарушение обмена железа у спортсменов приводит к снижению физической работоспособности за счет снижения аэробных возможностей, повышению утомляемости, увеличению восстановительного периода между тренировками, уменьшению мышечного тонуса и снижению адаптации организма к интенсивным нагрузкам [1]. Все эти показатели ограничивают профессиональные возможности спортсменов, а также могут привести к снижению спортивных результатов на соревнованиях.

Индивидуальные различия в уровне гематологических показателей также могут быть обусловлены генетическими факторами. Наследуемость уровня железа и гемоглобина составляет 23% [10] и 84% [5] соответственно. Ранее на больших выборках нетренированных лиц были обнаружены свыше 100 ДНК-полиморфизмов (так называемые геномные предикторы), которые ассоциируются с рядом гематологических показателей [2, 13].

Можно предположить, что полиморфизмы генов, которые взаимосвязаны с гематологическими показателями (по данным литературы), также ассоциируются с высокими аэробными возможностями и с предрасположенностью к видам спорта на выносливость. Таким образом, цель исследования заключалась в сравнении гематологического профиля между спортсменами и контрольной группой, а также в определении роли генетических факторов, детерминирующих гематологические показатели, в проявлении аэробных возможностей и

предрасположенности к занятиям видами спорта на выносливость.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего в исследовании, которое было разделено на два блока (гематологическое и генетическое исследование), приняла участие 1517 человек. Исследование в российской выборке было одобрено комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ-ИМБП РАН (протокол № 453 от 26 июня 2017 г.) и этическим комитетом ФГБУ ФНКЦ ФХМ ФМБА России (протокол №2017/04 от 4 июля 2017 года). Взятие проб проводил квалифицированный медицинский персонал в медицинском учреждении в соответствии с требованиями законодательства и разрешенных протоколов. Исследования в европейской выборке были выполнены в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Все протоколы исследования были утверждены Научным комитетом Антидопинговой лаборатории Катара (протокол F2014000009).

Гематологическое исследование проводилось у 265 российских спортсменов, тренирующих выносливость (118 женщин в возрасте от 15 до 40 лет и 147 мужчин в возрасте от 17 до 37 лет). Контрольная группа состояла из 574 условно здоровых лиц, проживающих в г. Казань (268 мужчин и 306 женщин в возрасте от 15 до 49 лет). Для общего анализа крови использовались автоматические гематологические анализаторы Sysmex XE-2100 и Sysmex XT-4000i (Sysmex Corporation, Япония). Для исследования были выбраны следующие гематологические показатели: уровень гемоглобина, число эритроцитов, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита, гематокрит. Забор венозной крови проводился натощак в утренние часы на следующий день после дня отдыха (без тренировок) с обязательным исключением курения и приема алкоголя непосредственно перед исследованием.

В генетическом исследовании по типу «случай-контроль» (сравнение частот аллелей между стайерами и группами сравнения) приняли участие 598 человек, которые были поделены на две выборки – российскую и европейскую. В российской части исследования приняли участие 223 спортсмена, тренирующих выносливость и имеющих квалификацию заслуженный мастер спорта (ЗМС), мастер спорта международного класса (МСМК), мастер спорта (МС), кандидат в мастера спорта (КМС). Контрольная группа состояла из 201 жителя РФ. В европейской части исследования участвовал 151 спортсмен, тренирующий выносливость. Их сравнивали с 23 спортсменами скоростно-силовой направленности. Генотипирование проб осуществляли с помощью микрочипов HumanOmni1-Quad BeadChips и Illumina Drug Core array-24 BeadChips (Illumina Inc, США). Из свыше 100 ДНК-полиморфизмов, ассоциирующихся, по данным литературы, с рядом гематологических показателей в группе нетренированных лиц [2, 13], в вышеуказанных чипах присутствовали 93 полиморфизма, которые были выбраны для текущего исследования.

В генетическом исследовании по типу «генотип-фенотип» в качестве фенотипа «аэробные возможности» оценивали максимальное потребление кислорода (МПК), которое определяли в ступенчатом тесте с помощью спироэргометрии (газоанализаторы MetaMax 3B (Cortex, Германия), MetaLyzer II (Cortex, Leipzig, Germany) и Vmax229 (SensorMedics, США)). В анализ вошли данные как по всем спортсменам (с учетом пола) ($n=80$), так и отдельно по мужчинам ($n=46$) и женщинам ($n=34$). МПК определяли по значениям усредненных за последние 30 с каждой ступени теста показателей газообмена.

Статистический анализ проводился с применением пакета прикладных программ GraphPad InStat (GraphPad Software, Inc., США). Значимость различий в частоте аллелей и генотипов между сравниваемыми выборками, а также соответствие распре-

деления генотипов равновесию Харди-Вайнберга определяли с использованием критерия хи-квадрат. Различия считались значимыми при $P<0.05$. При проведении корреляционного анализа использовали критерий Спирмена (для непараметрических данных). Сравнение групп по количественному признаку проводили с помощью непарного t-теста.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнение гематологических профилей спортсменов, тренирующих выносливость, и лиц, не занимающихся спортом.

На первом этапе был определен гематологический профиль российских спортсменов, тренирующих выносливость, путем сравнения гематологических показателей между российскими спортсменами и контрольной группой. По таблицам 1 и 2 (Table 1, 2) можно видеть, что спортсмены, тренирующие выносливость, имеют статистически значимо более высокие значения таких гематологических показателей, как уровень гемоглобина, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита и гематокрит, и низкое значение показателя «средняя концентрация гемоглобина в эритроците» по сравнению с контрольной группой. Дополнительно мы сравнили уровень гемоглобина между высококвалифицированными (МСМК+ЗМС) и квалифицированными (МС+КМС) спортсменами с учетом возраста. Выявлено, что высококвалифицированные спортсмены, специализирующиеся на длинных дистанциях (мужчины: $M (SD)=161.3 (7.6)$; женщины: $M (SD)=142.3 (8.6)$), имели более высокие показатели уровня гемоглобина, чем менее квалифицированные спортсмены (мужчины: $M (SD)=157.1 (9.1)$, $P=0.0296$; женщины: $M (SD)=138.4 (7.8)$, $P=0.0296$).

Эти данные указывают не только на адаптационные изменения в процессе тренировок, но и на то, что изученные гематологические показатели могут быть использованы для прогноза спортивной успешности в видах спорта на выносливость.

Ассоциация ДНК-полиморфизмов с гематологическими показателями. На втором этапе была проверена гипотеза о том, что полиморфизмы генов, которые взаимосвязаны с гематологическими показателями нетренированных

лиц (по данным литературы), также ассоциируются с гематологическими показателями спортсменов, высокими аэробными возможностями (МПК) и с предрасположенностью к видам спорта на выносливость. Был проведен

Таблица 1 – Гематологические показатели мужчин в группе российских спортсменов и контрольной группе
Table 1 – Hematological parameters of male in Russian athletes and control group

Гематологические показатели Hematological traits	Спортсмены Athletes (n = 147)		Контрольная группа Control group (n = 268)	
	М (SD)	ДИ (95%) CI (95%)	М (SD)	ДИ (95%) CI (95%)
Уровень гемоглобина Hemoglobin	160.6 (10)*	159-162.3	152.8 (10.9)	151.4-154.1
Число эритроцитов Red blood cell	5.12 (0.35)	5.06-5.17	5.16 (0.41)	5.11-5.21
Среднее содержание гемоглобина в эритроците Mean corpuscular hemoglobin	31.4 (1.2)*	31.3-31.6	29.7 (1.6)	29.5-29.9
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците Mean corpuscular hemoglobin concentration	336.6 (5.9)*	335.6-337.5	374.8 (34.1)	370.7-378.9
Средний объем эритроцита Mean corpuscular volume	93.4 (3.3)*	92.9-93.9	79.9 (8.4)	78.9-80.9
Гематокрит Haematocrit	47.7 (2.7)*	47.3-48.2	41.1 (4.6)	40.5-41.6

*P < 0.05, статистически значимые различия между группами; М (SD) – среднее значение и стандартное отклонение; ДИ – доверительный интервал

Таблица 2 – Гематологические показатели женщин в группе российских спортсменов и контрольной группе
Table 2 – Hematological parameters of female in Russian athletes and control group

Гематологические показатели Hematological traits	Спортсмены Athletes (n = 118)		Контрольная группа Control group (n = 306)	
	М (SD)	ДИ (95%) CI (95%)	М (SD)	ДИ (95%) CI (95%)
Уровень гемоглобина Hemoglobin	141.1 (9)*	139.4-142.7	129.8 (10.1)	128.7-130.9
Число эритроцитов Red blood cell	4.52 (0.33)	4.46-4.58	4.47 (0.35)	4.44-4.51
Среднее содержание гемоглобина в эритроците Mean corpuscular hemoglobin	31.3 (1.5)*	30.9-31.5	29.1 (1.9)	28.9-29.3
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците Mean corpuscular hemoglobin concentration	336.0 (6.4)*	334.9-337.2	361.6 (36)	357.5-365.6
Средний объем эритроцита Mean corpuscular volume	93.0 (4.0)*	92.3-93.7	81.2 (8.3)	80.2-82.1
Гематокрит Haematocrit	42.0 (2.6)*	41.5-42.5	36.2 (4.1)	35.8-36.7

*P < 0.05, статистически значимые различия между группами; М (SD) – среднее значение и стандартное отклонение; ДИ – доверительный интервал

поиск полиморфизмов генов, ассоциирующихся с гематологическими показателями. Были выбраны 93 полиморфизма генов, ассоциирующихся с гематологическими показателями, по данным литературы [2, 13]. Ниже приведены все этапы и основные результаты данного исследования (рисунок, Figure).

На этапе воспроизведения результатов ассоциация между генетическими маркерами и гематологическими показателями в группе российских спортсменов подтвердилась для 15 из 93 генетических маркеров (указаны аллели, повышающие значения таких показателей, как уровень гемоглобина, число эритроцитов, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита, гематокрит: *RSRP1* rs1043879 T, *ATG101* rs10783487 G, *IKZF1* rs12718598 C, *ODF3B* rs140522 C, *TRIM38* (5.6 kb) rs169219 A, *TERT* rs2853677 A, *SLC25A37* rs2942194 G, *NFE2* (8.9 kb)

rs35979828 T, *SLC17A1* (11.5 kb) rs3887266 T, *PEAS* rs4791641 C, *CITED2* (138 kb) rs632057 T, *CITED2* (143.6 kb) rs643381 C, *PTPN1* (39.8 kb) rs6512645 G, *FNTB* (42 kb) rs726668 G, *TMPRSS6* (4.3 kb) rs926331 T) ($P < 0.05$). Из этих 15 маркеров с предрасположенностью к видам спорта на выносливость в российской выборке ассоциированы 6 генетических вариантов (указаны аллели, частоты которых значимо выше в группе стайеров по сравнению с контрольной группой: *RSRP1* rs1043879 T, *TRIM38* (5.6 kb) rs169219 A, *TERT* rs2853677 A, *SLC17A1* (11.5 kb) rs3887266 T, *FNTB* (42 kb) rs726668 G, *TMPRSS6* (4.3 kb) rs926331 T). Из 6 маркеров 2 полиморфизма показали ассоциацию с высокими значениями МПК в группе российских спортсменов (аллели, повышающие значения МПК: *RSRP1* rs1043879 T, *TRIM38* (5.6 kb) rs169219 A). На последнем этапе с участием европейских спортсменов ассоциация с предрасположенностью к видам

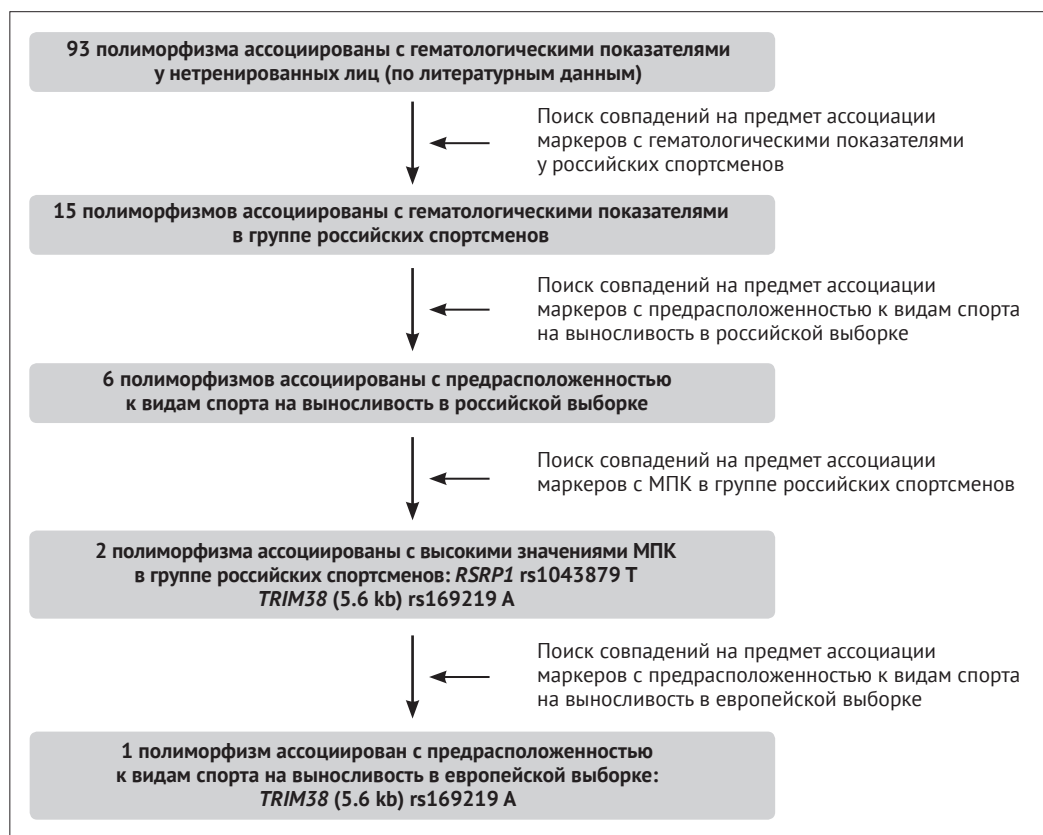


Рисунок 1 – Этапы и основные результаты исследования по выявлению значимых маркеров
Figure 1 – Study design showing the selection process for significant SNPs

спорта на выносливость подтвердилась только для маркера *TRIM38* (5.6 kb) rs169219. Ниже представлены более детальные результаты по двум самым значимым маркерам.

RSRP1 rs1043879

Частота ТС+ТТ генотипов полиморфизма rs1043879 гена *RSRP1* была значимо выше в группе российских спортсменов, тренирующих выносливость (уровень от МС и выше: 97.2%, OR=3.7, P=0.0086), по сравнению с российской контрольной группой (90.5%). Кроме того, было обнаружено, что Т аллель гена *RSRP1* ассоциирован с высокими значениями МПК в группе российских спортсменов (ТТ=61.4 (6.8), ТС=65.8 (5.1), СС=56.6 (0) мл/мин/кг; P=0.033).

TRIM38 (5.6 kb) rs169219

Частота СА+АА генотипов полиморфизма rs169219 гена *TRIM38* (5.6 kb) была значимо выше у российских спортсменов, тренирующих выносливость (87.0%, OR=1.99 P=0.0078), по сравнению с российской контрольной группой (77.1%). Кроме того, частота СА+АА генотипов была значимо выше у европейских стайеров (92.3%, OR=4.2 P=0.047) по сравнению с европейскими спортсменами скоростно-силовой направленности (73.9%). Дополнительное исследование показало, что А аллель гена *TRIM38* (5.6 kb) ассоциирован с высокими значениями МПК в группе мужчин-спортсменов (АА=64.9 (7.2), АС=62.5 (5.1), СС=58.2 (6.4) мл/мин/кг; P=0.019). Также было выявлено, что данный маркер ассоциирован с различными фенотипами в британской когорте (UK Biobank; <https://genetics.opentargets.org/>): А аллель ассоциирован с высокими дыхатель-

ными возможностями (форсированная жизненная емкость легких (ФЖЕЛ)) (n=321047, P=5.5×10⁻¹⁰), с высоким уровнем тестостерона (n=4259, P=1.9×10⁻⁴), с высокой физической активностью (n=359115, P=2.2×10⁻⁷), с высоким темпом ходьбы (n=358974, P=8.4×10⁻⁶), а также с низким содержанием жира в организме (n=354628, P=7.1×10⁻¹⁰). Все вышеуказанные факторы могут положительно влиять на проявление выносливости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди спортсменов, тренирующих выносливость, выявлены высокие значения таких гематологических показателей, как уровень гемоглобина, среднее содержание гемоглобина в эритроците, средняя концентрация гемоглобина в эритроците, средний объем эритроцита и гематокрит, по сравнению с контрольной группой. Мы предполагаем, что эти различия обусловлены как тренировочной деятельностью, так и возможным естественным отбором (то есть в виды спорта на выносливость отбираются индивиды с изначально высоким уровнем гематологических показателей). В ходе работы мы обнаружили 15 полиморфизмов, ассоциированных с гематологическими показателями в группе российских спортсменов, из которых два маркера также взаимосвязаны с предрасположенностью к видам спорта на выносливость и высокими значениями МПК. Таким образом, применение геномных предикторов гематологических показателей позволяет прогнозировать аэробные возможности человека, а также выявлять потенциал предрасположенности к видам спорта на выносливость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дурманов, Н. Д. Диагностика и коррекция нарушений обмена железа в спорте высших достижений : метод. рекомендации для врачей клубов / Н. Д. Дурманов, А. С. Филимонов. – М. : [б.и.]. – 2010. – 84 с. – <http://www.vhlru.ru/documents/anaemia.pdf>.
2. Astle, W. J. The Allelic Landscape of Humale Blood Cell Trait Variation and Links to Common Complex Disease / W. J. Astle, H. Elding, T. Jiang, et al. // Cell. – 2016. – 167. – P. 1415-1429.
3. Barton, J. C. Peripheral blood erythrocyte parameters in hemochromatosis: evidence for increased erythrocyte hemoglobin content / J. C. Barton, L. F. Bertoli, B. E. Rothenberg // J. Lab. Clin. Med. – 2000. – 135. – P. 96-104.
4. Calbet, J. A. Effect of blood haemoglobin concentration on V(O₂,max) and cardiovascular function in lowlanders acclimatised to 5260 m / J. A. Calbet, G. Radegran, R. Boushel, et al. // J. Physiol. – 2002. – 545. – P. 715-728.
5. Evans, D. M. Genetic and environmental causes of variation in basal levels of blood cells / D. M. Evans, I. H. Frazer, N. G. Martin // Twin Res. – 1999. – 2. – P. 250-257.
6. Hoffmann, J. J. Effect of age and gender on reference intervals of red blood cell distribution width (RDW) and mean red cell volume (MCV) / J. J.

- Hoffmann, K. C. Nabbe, N. M. van den Broek // Clin. Chem. Lab. Med. – 2015. – 53. – P. 2015-2019.
7. Kiss, J. E. Laboratory and genetic assessment of iron deficiency in blood donors / J. E. Kiss // Clin. Lab. Med. – 2015. – 35. – P. 73-91.
 8. Kratz, A. Laboratory reference values / A. Kratz, M. Ferraro, P. M. Sluss, K. B. Lewandrowski // N. Engl. J. Med. – 2004. – 351. – P. 1548-1563.
 9. Murphy, W. G. The sex difference in haemoglobin levels in adults – mechanisms, causes, and consequences / W. G. Murphy // Blood Rev. – 2014. – 28. – P. 41-47.
 10. Njajou, O. T. Heritability of serum iron, ferritin and transferrin saturation in a genetically isolated population, the Erasmus Rucphen Family (ERF) Study / O. T. Njajou, B. Z. Alizadeh, Y. Aulchenko, et al. // Hum. Hered. – 2006 – 61. – P. 222-228.
 11. Rossi, E. Effect of hemochromatosis genotype and lifestyle factors on iron and red cell indices in a community population / E. Rossi, M. K. Bulsara, J. K. Olynyk, et al. // Clin. Chem. – 2001. – 47. – P. 202-208.
 12. Sarma, P. R. Red cell indices / P. R. Sarma // Chapter 152 in: H. K. Walker, W. D. Hall, J. W. Hurst (Eds.). – Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd edition. – Boston : Butterworths. – 1990. – ISBN-10: 0-409-90077-X.
 13. Vuckovic, D. The Polygenic and Monogenic Basis of Blood Traits and Diseases / D. Vuckovic, E. L. Bao, P. Akbari, et al. // Cell. – 2020. – 182. – P. 1214-1231.e11.

REFERENCES

1. Durmanov, N. D. Diagnostics and correction of disorders of iron metabolism in elite sports: method. recommendations for doctors of clubs / N.D. Durmanov, A.S. Filimonov // M. : [b.i.]. – 2010. – 84 p. (in Russian)
2. Astle, W. J. The Allelic Landscape of Humale Blood Cell Trait Variation and Links to Common Complex Disease / W. J. Astle, H. Elding, T. Jiang, et al. // Cell. – 2016. – 167. – P. 1415-1429.
3. Barton, J. C. Peripheral blood erythrocyte parameters in hemochromatosis: evidence for increased erythrocyte hemoglobin content / J. C. Barton, L. F. Bertoli, B. E. Rothenberg // J. Lab. Clin. Med. – 2000. – 135. – P. 96-104.
4. Calbet, J. A. Effect of blood haemoglobin concentration on V(O₂,max) and cardiovascular function in lowlanders acclimatised to 5260 m / J. A. Calbet, G. Radegran, R. Boushel, et al. // J. Physiol. – 2002. – 545. – P. 715-728.
5. Evans, D. M. Genetic and environmental causes of variation in basal levels of blood cells / D. M. Evans, I. H. Frazer, N. G. Martin // Twin Res. – 1999. – 2. – P. 250-257.
6. Hoffmann, J. J. Effect of age and gender on reference intervals of red blood cell distribution width (RDW) and mean red cell volume (MCV) / J. J. Hoffmann, K. C. Nabbe, N. M. van den Broek // Clin. Chem. Lab. Med. – 2015. – 53. – P. 2015-2019.
7. Kiss, J. E. Laboratory and genetic assessment of iron deficiency in blood donors / J. E. Kiss // Clin. Lab. Med. – 2015. – 35. – P. 73-91.
8. Kratz, A. Laboratory reference values / A. Kratz, M. Ferraro, P. M. Sluss, K. B. Lewandrowski // N. Engl. J. Med. – 2004. – 351. – P. 1548-1563.
9. Murphy, W. G. The sex difference in haemoglobin levels in adults – mechanisms, causes, and consequences / W. G. Murphy // Blood Rev. – 2014. – 28. – P. 41-47.
10. Njajou, O. T. Heritability of serum iron, ferritin and transferrin saturation in a genetically isolated population, the Erasmus Rucphen Family (ERF) Study / O. T. Njajou, B. Z. Alizadeh, Y. Aulchenko, et al. // Hum. Hered. – 2006 – 61. – P. 222-228.
11. Rossi, E. Effect of hemochromatosis genotype and lifestyle factors on iron and red cell indices in a community population / E. Rossi, M. K. Bulsara, J. K. Olynyk, et al. // Clin. Chem. – 2001. – 47. – P. 202-208.
12. Sarma, P. R. Red cell indices / P. R. Sarma // Chapter 152 in: H. K. Walker, W. D. Hall, J. W. Hurst (Eds.). – Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd edition. – Boston : Butterworths. – 1990. – ISBN-10: 0-409-90077-X.
13. Vuckovic, D. The Polygenic and Monogenic Basis of Blood Traits and Diseases / D. Vuckovic, E. L. Bao, P. Akbari, et al. // Cell. – 2020. – 182. – P. 1214-1231.e11.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Семенова Екатерина Александровна (Semenova Ekaterina Alexandrovna) – кандидат биологических наук; Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма; 420010, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, 35; e-mail: alecsekaterina@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1248-2855.

Кулемин Николай Александрович (Kulemin Nikolay Aleksandrovich) – кандидат биологических наук; Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА России; 119435, г. Москва, Малая Пироговская, 1а; e-mail: maveriksvao@gmail.com; ORCID: 0000-0002-8588-3206.

Ларин Андрей Константинович (Larin Andrey Konstantinovich) – Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА России; 119435, г. Москва, Малая Пироговская, 1а, e-mail: zelaz@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-9429-792X.

Попов Даниил Викторович (Popov Daniil Viktorovich) – доктор биологических наук; Институт медико-биологических проблем РАН; 123007, г. Москва, Хорошёвское шоссе, 76А; e-mail: danil-popov@yandex.ru; ORCID: 0000-0002-3981-244X.

Тарасова Гульзада Рафаиловна (Tarasova Gulzada Rafailovna) – Медико-санитарная часть Казанского федерального университета, Клинико-диагностическая лаборатория № 1; 420043, г. Казань, Чехова, 1А; e-mail: TGR_1990@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3599-1599.

Черепнев Георгий Валентинович (Cherepnev Georgy Valentinovich) – доктор медицинских наук; Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; 420012, г. Казань,

ул. Бутлерова, 36; e-mail: rkb2_rt@mail.ru; ORCID: 0000-0001-7924-8356.

Фатима Аль-Хелаифи (Fatima Al-Khelaifi) – Антидопинговая лаборатория Катар; P.O. Box 27775, Доха, Катар, улица Спортивный город (Sports City Street); e-mail: falkhelaifi@adlqatar.qa; ORCID: 0000-0002-1712-2499.

Костас Георгакopoulos (Costas Georgakopoulos) – доктор наук (Ph.D.); Антидопинговая лаборатория Катар; P.O. Box 27775, Доха, Катар, улица Спортивный город (Sports City Street); e-mail: costas@adlqatar.qa; ORCID: 0000-0001-5744-1243.

Ноха А. Юсри (Noha A. Yousri) – доктор наук (Ph.D.); кафедра генетической медицины; Медицинский колледж Вейл Корнелл в Катаре; P.O. Box 24144, Образовательный город, Доха, Катар; e-mail: nay2005@qatar-med.cornell.edu; ORCID: 0000-0003-1918-0331.

Ильхам Дибун (Ilhame Diboun) – Колледж здоровья и науки о жизни, Университет Хамада бин Халифа; P.O. Box: 34110, Образовательный город, Доха, Катар; e-mail: contact@hbku.edu.qa; ORCID: 0000-0002-9326-101X.

Омар Альбага (Omar Albagha) – Колледж здоровья и науки о жизни, Университет Хамада бин Халифа; P.O. Box: 34110, Образовательный город, Доха, Катар; e-mail: contact@hbku.edu.qa; ORCID: 0000-0001-5916-5983.

Карстен Сухре (Karsten Suhre) – доктор наук (Ph.D.); кафедра физиологии и биофизики, Медицинский колледж Вейл Корнелл в Катаре; P.O. Box 24144, Образовательный город, Доха, Катар; e-mail: kas2049@qatar-med.cornell.edu; ORCID: 0000-0001-9638-3912.

Мохамед Эль-Райес (Mohamed A. Elrayess) – доктор наук (Ph.D.); Антидопинговая лаборатория Катар; P.O. Box 27775, Доха, Катар, улица Спортивный город (Sports City Street); e-mail: maelrayess@hotmail.com; ORCID: 0000-0003-3803-4604.

Генерозов Эдуард Викторович (Generozov Edward Viktorovich) – кандидат биологических наук, доцент; Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА России; 119435, г. Москва, Малая Пироговская, 1а; e-mail: generozov@gmail.com; ORCID: 0000-0002-6314-4883.

Ахметов Ильдус Ильясович (Ahmetov Ildus Ilyasovich) – доктор медицинских наук; Федеральный научно-клинический центр физико-химической медицины ФМБА России; 119435, г. Москва, Малая Пироговская, 1а; e-mail: genoterra@mail.ru; ORCID: 0000-0002-6335-4020.

Поступила в редакцию 29 октября 2021 г.

Принята к публикации 15 ноября 2021 г.

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Роль геномных предикторов гематологических показателей в видах спорта на выносливость / Е.А. Семенова, Н.А. Кулемин, А.К. Ларин и др. // Наука и спорт: современные тенденции. – 2021. – Т. 9, № 4. – С. 26-34. DOI: 10.36028/2308-8826-2021-9-4-26-34

FOR CITATION

Semenova E.A., Kulemin N.A., Larin A.K., D.V. Popov, Tarasova G.R., Cherepnev G.V., Al-Khelaifi F., Georgakopoulos C., Yousri N.A., Diboun I., Albagha O., Suhre K., Elrayess M.A., Generozov E.V. Ahmetov I.I. The role of genomic predictors of hematological traits in endurance sports. Science and sport: current trends, 2021, vol. 9, no.4, pp. 26-34 (in Russ.) DOI: 10.36028/2308-8826-2021-9-4-26-34
