

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ, КУРЕНИЯ И НАСЛЕДСТВЕННОГО ФАКТОРА НА ГАЗОТРАНСПОРТНУЮ СИСТЕМУ КРОВИ ЮНОШЕЙ

Е.Е. Исаева¹, agent373@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4806-257X>

А.З. Даутова², dautova.az@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178>

И.З. Хабибуллина¹, bkmvbhf99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1504-0075>

В.Г. Шамратова¹, shamratovav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264>

¹Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

²Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань, Россия

Аннотация. Цель работы – изучить влияние внешних (средовых) факторов, таких как уровень двигательной активности (ДА) и курение, а также наследственной предрасположенности (на примере полиморфного варианта *rs4646994* гена *ACE*) на показатели газотранспортной системы (ГТС) крови юношей. **Материалы и методы.** В исследовании приняло участие 95 курящих и некурящих юношей в возрасте $20,43 \pm 1,99$ лет с разным физическим статусом. У испытуемых оценивали следующие показатели ГТС крови: парциальное давление кислорода (pO_2), парциальное давление углекислого газа (pCO_2), кислородную сатурацию ($satO_2$), содержание окси- (O_2Hb), карбокси- ($COHb$) и метгемоглобина ($MetHb$), pH, напряжение O_2 при 50 % десатурации крови ($p50$). Определяли количественные, качественные и корпускулярные характеристики эритроцитов крови. Для установления раздельного влияния факторов, а также их сочетанного взаимодействия на параметры ГТС крови использовался многофакторный дисперсионный анализ ANOVA. **Результаты.** Полиморфный вариант *rs4646994* гена *ACE* оказывал влияние на $p50$ ($p = 0,004$); ДА – на число эритроцитов ($p = 0,022$) и pO_2 ($p = 0,007$); курение – на среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците ($p = 0,005$), pO_2 ($p = 0,007$), O_2Hb ($p = 0,00009$), $COHb$ ($p = 0,0002$) и $p50$ ($p = 0,0008$). Совместное влияние *ACE**ДА установлено для pO_2 ($p = 0,001$); *ACE**Курение – для $MetHb$ ($p = 0,035$); ДА*Курение – для pO_2 ($p = 0,003$), $satO_2$ ($p = 0,001$) и O_2Hb ($p = 0,002$). **Заключение.** В наибольшей степени и непосредственное, и совместное с уровнем ДА влияние на изученные звенья ГТС оказывало курение. Сочетано эти средовые факторы влияли на процессы оксигенации крови (pO_2) и гемоглобина ($satO_2$, O_2Hb). Что касается вклада полиморфного варианта *rs4646994* гена *ACE*, то здесь адаптационные механизмы реализуются на молекулярном уровне ($p50$ и $MetHb$).

Ключевые слова: уровень двигательной активности, газотранспортная система крови, курение, полиморфный вариант гена *ACE*, взаимодействие факторов среды

Для цитирования: Влияние физической активности, курения и наследственного фактора на газотранспортную систему крови юношей / Е.Е. Исаева, А.З. Даутова, И.З. Хабибуллина, В.Г. Шамратова // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 3. С. 45–53. DOI: 10.14529/hsm220306

THE EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY, SMOKING AND HEREDITARY FACTORS ON BLOOD GAS TRANSPORT CHARACTERISTICS IN YOUNG PEOPLE

*E.E. Isaeva*¹, agent373@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4806-257X>
*A.Z. Dautova*², dautova.az@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178>
*I.Z. Khabibullina*¹, bkmvbhf99@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1504-0075>
*V.G. Shamratova*¹, shamratovav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264>

¹Bashkir State Medical University, Ufa, Russia

²Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

Abstract. Aim. The paper aims to identify the effect of external factors, such as the level of motor activity (MA), smoking and hereditary predisposition (using the ACE I/D polymorphism (rs4646994)), on blood gas transport characteristics in young males. **Materials and methods.** The study involved 95 male smokers and non-smokers with different physical status aged 20.43 ± 1.99 years. The following parameters of blood gas transport were examined: partial oxygen pressure (pO₂), partial carbon dioxide pressure (pCO₂), oxygen saturation (satO₂), oxy- (O₂Hb), carboxy- (COHb) and methemoglobin (MetHb) levels, pH, O₂ tension at 50% desaturation (p50). Blood erythrocytes were monitored with respect to their quantitative, qualitative and corpuscular characteristics. Multivariate analysis of variance was used to identify the effect of separate and combined factors on blood gas transport characteristics. **Results.** The ACE I/D polymorphism (rs4646994) affected p50 values (p = 0.004); motor activity – erythrocyte (p = 0.022) and pO₂ (p = 0.007) levels; smoking – the average concentration of erythrocyte hemoglobin (p = 0.005), pO₂ (p = 0.007), O₂Hb (p = 0.00009), COHb (p = 0.0002) and p50 (p = 0.0008). The combined effect of ACE * MA was found for pO₂ (p = 0.001); ACE * Smoking – for MetHb (p = 0.035); MA * Smoking – for pO₂ (p = 0.003), satO₂ (p = 0.001) and O₂Hb (p = 0.002). **Conclusion.** Smoking had the greatest effect, both single and combined with MA, on blood gas transport characteristics. When it comes to the combined effect, these factors influenced blood (pO₂) and hemoglobin (satO₂, O₂Hb) oxygenation. As for the effect of the ACE I/D polymorphism (rs4646994), adaptation mechanisms are implemented at the molecular level (p50 and MetHb).

Keywords: motor activity, blood gas transport, smoking, ACE I/D polymorphism, interaction of factors

For citation: Isaeva E.E., Dautova A.Z., Khabibullina I.Z., Shamratova V.G. The effect of physical activity, smoking and hereditary factors on blood gas transport characteristics in young people. *Human. Sport. Medicine*. 2022;22(3):45–53. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220306

Введение. Отягощающим фактором урбанизации и технизации жизнедеятельности современного общества является снижение двигательной активности [10]. Среди лиц молодого возраста гиподинамия в наибольшей степени присуща студентам. Длительное времяпровождение студентов за компьютером, в статическом положении (сидя) на лекциях и семинарах, снижение двигательной активности приводит к гиподинамии и, как следствие, ослаблению мышечной деятельности [1]. В ряде вузов ситуация усугубилась в связи с переходом на дистанционное обучение, вызванное пандемией COVID-19.

Другой проблемой, определяющей многие болезни современности, является табакокурение [4, 7, 11]. По итогам глобального опроса взрослого населения о потреблении

табака (GATS), проведенного в 2016 г.¹, Россия занимает пятое место в мире по распространенности курения у мужчин. Для лиц молодого возраста гиподинамия в сочетании с курением рассматривается предпосылкой к возникновению целого ряда болезненных состояний и даже заболеваний, ведущей причиной которых служит развитие у них кислородного голодания – гипоксии [1, 5].

При этом следует отметить, что физические качества каждого индивида детерминируются генетическими факторами, что доказывают многочисленные данные литературы

¹Глобальный опрос взрослого населения о потреблении табака: Краткий обзор, 2016 г. URL: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0012/347979/GATS2016-rus-ES-FINAL-170906.pdf.

[2, 3, 8, 9]. Учитывая этот факт, на сегодняшний день представляется актуальным рассматривать полиморфные варианты генов, как один из факторов фенотипического разнообразия признаков. Одним из таких генов является ген *ACE* кодирующий ангиотензин-превращающий фермент (АСЕ), являющийся важным физиологическим регулятором артериального давления и водно-солевого обмена.

Цель исследования – изучить влияние внешних (средовых) факторов, таких как уровень двигательной активности и курение, а также наследственной предрасположенности (на примере полиморфного варианта I/D гена *ACE*) на показатели ГТС крови юношей.

Материалы и методы исследования. В исследовании приняло участие 95 юношей в возрасте $20,43 \pm 1,99$ года. Все исследования проводились в осенний период (сентябрь – ноябрь) в течение 2 лет. Обследование проводилось с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609 ЕС). Все испытуемые подписали добровольное письменное согласие на участие в эксперименте. Протокол эксперимента одобрен комиссией по биоэтике (заключение от 18.10.2017 г.).

Информацию о физической активности испытуемых получили на основе анкетных данных. При изучении влияния на ГТС уровня ДА весь контингент обследованных ($n = 95$) мы разбили на две группы в соответствии с рекомендациями ВОЗ². Студенты, которые, согласно данным анкет, уделяли менее 150 мин в неделю занятиям физической культуры вошли в группу с низкой двигательной активностью (НДА) ($n = 57$, в возрасте $20,6 \pm 1,84$ года). Во вторую группу (с высокой ДА) вошли студенты-спортсмены ($n = 38$ в возрасте $21,3 \pm 2,18$ года), которые на момент обследования имели 1-й взрослый спортивный разряд по легкой атлетике. Их физическая активность складывалась из занятий, предусмотренных учебным планом высшего учебного заведения, а также тренировок, обусловленных профилем спортивной принадлежности студентов.

Для изучения влияния курения на ГТС контингент обследованных был поделен на 2 группы: некурящие ($n = 33$, возраст $19,6 \pm 1,65$) –

согласно анкетным данным, не употребляющие никотин и курящие ($n = 62$, возраст $20,8 \pm 2,05$) – с индексом курения 120–240. Индекс курения в соответствии с рекомендациями ВОЗ рассчитывался по формуле: индекс курения = число сигарет в сутки \times 12. Средний стаж курения обследованных составлял от 3 до 5 лет. Забор крови проводили в утреннее время натощак. Испытуемым разрешалось выкурить не более одной сигареты и не менее чем за час до сдачи анализа.

Выделение ДНК проводили методом фенольно-хлороформной экстракции из лейкоцитов крови [12]. Метод генотипирования полиморфного варианта *rs4646994* гена *ACE* более подробно описывался в работе опубликованной ранее [3]. Для изучения влияния полиморфного варианта *rs4646994* гена *ACE* испытуемые были поделены на три группы в зависимости от носительства аллелей: юноши с генотипом D/D – 30, I/D – 47 и I/I – 18 человек.

С помощью анализатора «RAPIDLAB865» (BAYER, Германия) определяли следующие показатели ГТС: парциальное давление кислорода (pO_2), парциальное давление углекислого газа (pCO_2), кислородную сатурацию ($satO_2$), содержание окси- (O_2Hb), карбокси- ($COHb$) и метгемоглобина ($MetHb$), pH, $p50$ – напряжение O_2 при 50 % десатурации крови. Показатели крови, такие как общее число эритроцитов (RBC), содержание гемоглобина (Hb), средний объем отдельного эритроцита (MCV), гематокрит (Ht), средняя концентрация гемоглобина в эритроците (MCHC) определялись с помощью гематологического анализатора «ADVIA 60» (BAYER, Германия).

Математическая обработка результатов проведена при помощи программы Statistica версия 10. Исследуемые выборки были проверены на нормальность распределения количественных показателей с помощью критерия Шапиро – Уилка, а также на равенство дисперсий изучаемого признака с помощью критерия Levene. Для выявления отдельного, а также сочетанного влияния факторов был проведен многофакторный дисперсионный анализ Factorial ANOVA. Изучаемые факторы были представлены градациями: полиморфный вариант гена *ACE* тремя градациями – D/D, I/D и I/I; фактор ДА – двумя градациями, отражающими уровень ДА мужчин (высокая/низкая); третий фактор (курение) – двумя градациями (некурящие/курящие). Для выявления статистических различий между груп-

²Глобальные рекомендации по физической активности для здоровья Всемирная организация здравоохранения, 2010 г. URL: http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789244599976_rus.pdf.

пами проводили апостериорные сравнения с помощью t-Стюдента с расчетом нового уровня критической значимости с целью контроля ошибки 1-го типа. Цифровые значения в тексте представлены в виде среднего (m) и стандартного отклонения (SD).

Результаты исследования. С помощью многофакторного дисперсионного анализа, установлен вклад средовых (курение и уровень ДА) и наследственных факторов (аллельные варианты полиморфного локуса I/D гена ACE) на ряд показателей ГТС организма. Обнаружено статистически значимое влияние полиморфного варианта rs4646994 гена ACE на значение p50, которому соответствует на кривой диссоциации оксигемоглобина 50%-ное насыщение кислородом ($F_{2,59} = 5,98, p = 0,004$). Установить значимость различий между группами с разной наследственной предрасположенностью позволил сравнительный анализ: величина p50 была ниже у юношей с генотипом D/D по сравнению с лицами, имеющими генотип I/I (D/D: 25,4 (2,11) мм рт. ст., I/I: 27,6 (2,67) мм рт. ст., $p = 0,0107$).

Фактор ДА по результатам дисперсионного анализа оказывал влияние на число эритроцитов ($F_{1,84} = 5,4, p = 0,022$) и pO_2 ($F_{1,84} = 7,604, p = 0,007$). У юношей в группе ВДА количество циркулирующих эритроцитов статисти-

чески значимо превышало уровень у лиц с ограниченной ДА (4,97 (0,40) $10^{12}/л$ и 4,71 (0,58) $10^{12}/л$, соответственно, $p = 0,017$). Сравнение средних значений pO_2 в группе юношей НДА и ВДА показало при возрастании интенсивности физических нагрузок статистически значимое повышение напряжения кислорода в крови – 83,2 (10,7) мм рт. ст. при ВДА, против 76,6 (8,5) мм рт. ст. – с низкой ДА ($p = 0,001$).

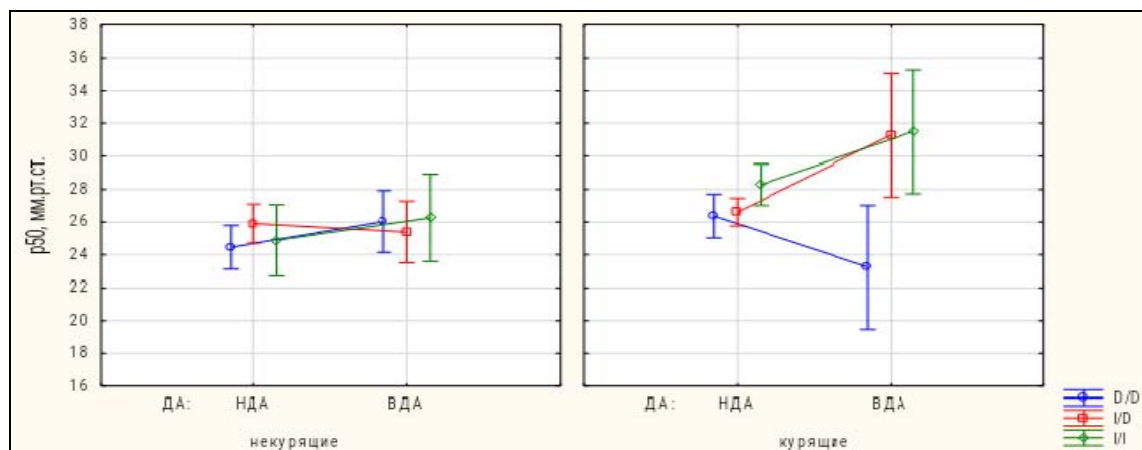
Наибольшее влияние на показатели ГТС оказывал фактор курения. Так, было продемонстрировано отдельное влияние фактора на МСНС, на соотношение фракций гемоглобина: O_2Hb и $COHb$, а также на показатель p50, характеризующий сродство гемоглобина с кислородом (см. таблицу). Установлено, что у курящих юношей статистически значимо превышали уровень у некурящих величины МСНС (соответственно, 33,9 (0,64) пг и 33,4 (0,60) пг, $p = 0,0006$) и доля $COHb$ (3,4 (1,8) % и 1,15 (0,64) %, $p = 0,000000$). При этом у студентов с вредной привычкой оказалась ниже, чем у некурящих, концентрация O_2Hb (92,8 (2,2) %; 94,6 (2,1) %, $p = 0,0002$) и сродство гемоглобина к кислороду (27,08 (2,37) мм рт. ст. и 25,39 (1,60) мм рт. ст., $p = 0,0011$).

Сочетанное влияние на изучаемые показатели двух факторов представлено в таблице.

Сочетанное влияние двух факторов на показатели газотранспортной системы юношей
The combined effect of two factors on blood gas transport characteristics in young males

Показатель Parameter	ACE*ДА ACE*MA		ACE*Курение ACE*Smoking		ДА*Курение MA*Smoking	
	F	P	F	P	F	P
Эритроциты, $10^{12}/л$ / RBC, $10^{12}/л$	0,21	0,809	1,10	0,337	0,82	0,368
Гемоглобин, г/л / Hgb, g/l	0,48	0,618	0,34	0,708	0,97	0,327
Гематокрит, % / Hct, %	0,36	0,698	0,36	0,698	1,43	0,235
Средний объем эритроцита, фл / MCV, fl	3,64	0,05	1,31	0,275	0,01	0,938
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л / МСНС, g/l	0,43	0,651	1,41	0,251	1,17	0,284
pH	2	0,155	1	0,334	7	0,012*
pCO_2 , мм рт. ст. / pCO_2 , mmHg	2,84	0,066	2,25	0,113	0,95	0,332
pO_2 , мм рт. ст. / pO_2 , mmHg	7,10	0,001*	1,00	0,372	9,14	0,003*
sat O_2 , %	1,3	0,278	0,3	0,768	11,2	0,001*
O_2Hb , %	2,2	0,113	0,59	0,555	9,8	0,002*
$COHb$, %	1,51	0,227	1,24	0,294	0,002	0,963
MetHb, %	0,32	0,725	5,38	0,006*	1,69	0,198
p50, мм рт. ст. / p50, mmHg	2,05	0,137	4,52	0,014*	0,26	0,607

Примечание: * – статистически значимое различие.
Note: * – statistically significant difference.



Сочетанное влияние ДА, курения и полиморфизма гена ACE на p50 ($p = 0,011$)
The combined effect of MA, smoking and ACE I/D polymorphism on p50 ($p = 0,011$)

Сочетанное влияние полиморфизма гена ACE и уровня ДА было выявлено на величину pO_2 . Так, в группе НДА у носителей I/D генотипа среднее значение напряжения кислорода в крови составило 73,9 мм рт. ст. (SD = 7,8), у обладателей I/I генотипа в соответствующей группе – 81,7 мм рт. ст. (SD = 10,7, $p = 0,012$), а также ниже, чем у лиц с одноименным генотипом и высоким уровнем ДА (I/D ВДА: 86,3 (10,4), $p = 0,00028$).

Совместный вклад полиморфного варианта гена ACE и курения продемонстрирован для концентрации MetHb. Сравнительный анализ позволил установить генотипическое различие концентрации MetHb в группе некурящих: носители D/D (0,438 (0,19), %) и I/D (0,437 (0,13), %) генотипов характеризовались более высокими значениями показателя по сравнению с лицами с I/I вариантом гена (0,16 (0,15), %, $p = 0,012$; $p = 0,0007$ соответственно).

Сочетанное влияние таких факторов, как курение и ДА сказалось на показателях ГТС в наибольшей степени. При сравнении показателя в группах НДА и ВДА в зависимости от наличия вредной привычки у некурящих выявлено статистически значимое повышение среднегрупповых значений pO_2 при возрастании физической активности (НДА: 75,8 (8,1), мм рт. ст.; ВДА: 88,5 (10,1) мм рт. ст., $p = 0,00031$), тогда как у курящих различия в значениях pO_2 оказались недостоверными. Таким образом, благоприятное влияние физической нагрузки нивелируется отрицательным влиянием курения.

У некурящих спортсменов статистически значимо выше насыщение гемоглобина кислородом, чем у юношей некурящих, но и

ведущих малоподвижный образ жизни (96,6 (1,04), % против 94,8 (1,7), %, $p = 0,0019$), а также выше, чем у спортсменов с вредной привычкой (94,7 (2,3), %, $p = 0,0084$).

Одним из показателей, на которое было выявлено сочетание влияния курения и ДА – содержание оксигемоглобина в крови. Так, если в группе юношей с низким уровнем ДА статистически значимых различий O_2Hb в зависимости от курения выявлено не было, то в группе спортсменов у некурящих юношей содержание O_2Hb было достоверно выше (95,6 (1,56), %), чем у курящих спортсменов (92,2 (2,6), %, $p = 0,00011$).

Совместное влияние трех учтенных факторов было выявлено только на показатель p50 (см. рисунок).

Графики, описывающие результаты дисперсионного анализа, продемонстрировали незначительное варьирование p50 у некурящих юношей как в зависимости от генотипов, так и уровня физической активности. В то же время у юношей с вредной привычкой, занимающихся спортом, отчетливо проявилось влияние полиморфизма гена. При этом носители аллеля *I (I/I и I/D генотипы) характеризовались более высокими значениями p50 (см. рисунок).

Обсуждение результатов. Трехфакторный дисперсионный анализ позволил установить, что изученные параметры ГТС в наибольшей степени подвержены влиянию табакокурения. Это выявилось при анализе как отдельного, так и сочетанного влияния изучаемых факторов.

Как и следовало ожидать, курение сопровождается повышением уровня в крови кар-

боксигемоглобина и, соответственно, снижением концентрации оксигемоглобина. Главной причиной выявленных нарушений является угарный газ, который, попадая в легкие, а затем в кровь, как продукт неполного сгорания табака, связывается с гемоглобином. Сродство CO к Hb в 250–300 раз больше, чем у O₂, поэтому даже незначительная концентрация CO в легких способствует образованию карбоксигемоглобина, который не способен присоединять и транспортировать кислород [4].

Результаты исследования показали, что еще более пагубное воздействие табакокурение оказывает на организм юношей, систематически испытывающих интенсивные физические нагрузки. У лиц, регулярно занимающихся спортом, наблюдается повышенный кислородный запрос, который достигается различными механизмами: выраженной мобилизацией эритропоэтической функции, высоким напряжением кислорода в крови и т. д. [14]. Исследования доказывают, что под влиянием физической активности происходит улучшение оксигенации крови [6]. Действительно, нами установлено, что у студентов-спортсменов, не употребляющих табак, оказались достоверно более высокими, чем у физически малоактивных юношей, такие показатели кислородообеспечения, как pO₂, satO₂ и O₂Hb. Вместе с тем у курящих спортсменов уровень оксигемоглобина и напряжение кислорода в крови было ниже по сравнению со спортсменами без вредной привычки. Кроме того, воздействие табака на организм юношей, занимающихся спортом, ослабляет степень насыщения гемоглобина кислородом. Данная картина свидетельствует о развитии гипоксического состояния у курящих спортсменов, поскольку первым его признаком является снижение степени насыщения оксигемоглобина кислородом. Данные литературы говорят также о развитии легочных осложнений у заядлых курильщиков, что приводит к хроническому снижению степени насыщения кислородом крови [4]. Если занятия спортом способствуют улучшению диффузионной функции легких, что ведет к высокой способности легких к обогащению крови кислородом, то курение приводит к значительному снижению газообмена в легких.

Таким образом, можно заключить, что решающий вклад во взаимодействие двух средовых факторов вносит курение. Курение не только нивелирует положительное влияние

физических нагрузок на систему кислородообеспечения, но и влечет за собой существенное ослабление дыхательной функции крови. Причем его негативное влияние затрагивает главным образом параметры кислородного режима и гемоглобиновый профиль крови.

Взаимодействие генетического фактора и уровня физической активности установлено также по отношению к pO₂. Учитывая, что pO₂-параметр оценки адекватности газообмена кислорода на уровне легких, можно предположить, что у юношей, не занимающихся спортом и имеющих в своем генотипе аллель *D, снижена вентиляция легких по сравнению с юношами-носителями генотипа I/I, а также в отличие от спортсменов, обладателей I/D генотипа.

Обнаружено, что у некурящих лиц с генотипом I/I ниже содержание метгемоглобина, чем у носителей генотипов I/D и D/D. Возможно, аэробные возможности генотипа I/I и восстановительные системы эритроцитов противодействуют окислению Fe²⁺ в Fe³⁺ и образованию метгемоглобина.

Полиморфизм гена *ACE* в сочетании с курением оказывает влияние на значения p50: курящие юноши, имеющие генотип I/I, отличаются повышенными значениями p50 по сравнению с некурящими с одноименным вариантом гена, а также курящими, но с генотипом D/D. Показатель p50, характеризует систему доставки кислорода кровью, на кривой диссоциации оксигемоглобина соответствует 50%-ному насыщению кислородом. При возрастании показателя p50 точка 50%-ного насыщения смещается вправо, что говорит об ослаблении аффинитета (сродства) между гемоглобином и кислородом. Учитывая, что генотип I/I гена *ACE* ассоциирован с высокими аэробными возможностями организма [8, 13], можно предположить, что выявленные различия значений p50 у курящих лиц с генотипом I/I, вызваны адаптационными сдвигами у их носителей и призваны обеспечить более эффективную экстракцию кислорода к тканям, в условиях его недостатка по сравнению с лицами, имеющими генотип D/D гена *ACE*.

Заключение. Результаты настоящего исследования показали, что на различные звенья газотранспортной системы в наибольшей степени непосредственно и совместно с физической активностью влияет курение. Эти факторы определяют степень поглощения кислорода в легких и гемоглобиновый профиль

красной крови, при этом курение нивелирует благоприятное действие физических нагрузок на ряд параметров ГТС. В то же время генетический фактор как раздельно, так и в сочетании со средовыми влияет на показатели, ответственные за реализацию адаптационных процессов на молекулярном уровне. Так, величина интегрального показателя кислородообеспечения тканей – р50 определяется кооперативным взаимодействием молекулы ге-

моглобина и O₂, а содержание MetHb – активностью восстановительных систем эритроцитов. Доступность кислорода для тканей и способность тканей утилизировать кислород модифицируется в зависимости от действия изученных средовых факторов прежде всего у носителей генотипа I/I гена ACE, что, возможно, наряду с другими причинами обуславливает более высокие аэробные возможности организма.

Список литературы

1. Ассоциация гиподинамии и других поведенческих факторов риска развития хронических неинфекционных заболеваний у студентов / А.П. Анищенко, А.Н. Архангельская, Д.А. Пустовалов и др. // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физ. культуры. – 2017. – № 1. – С. 15–20. DOI: 10.17116/kurort201794115-20
2. Мельнов, С.Б. Молекулярно-генетические аспекты спортивной успешности в циклических видах спорта / С.Б. Мельнов, Т.Л. Лебедь, Е.Б. Комар // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 67–76. DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-2-67-76
3. Морфофункциональные особенности эритроцитов у девушек в зависимости от уровня двигательной активности и наследственного фактора / А.З. Даутова, Е.А. Хажиева, Л.З. Садыкова, В.Г. Шамратова // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 25–33. DOI: 10.14529/hsm200303
4. Никитин В.А. Табакокурение и болезни легких: эффективность подходов к лечению / В.А. Никитин, О.В. Черенкова, Л.В. Васильева // Туберкулез и болезни легких. – 2016. – Т. 94, № 12. – С. 7–12. DOI: 10.21292/2075-1230-2016-94-12-7-12
5. Особенности частоты факторов риска хронических неинфекционных заболеваний среди студентов средних специальных и высших учебных заведений различных направлений подготовки / О.С. Кобякова, И.А. Деев, Е.С. Куликов и др. // Профилактика. медицина. – 2020. – Т. 23, № 4. – С. 61–66. DOI: 10.17116/profmed20202304161
6. Усманова С.Р. Влияние гена PPAR γ 2 на состояние систем кислородного обеспечения в зависимости от средовых факторов / С.Р. Усманова, В.Г. Шамратова, А.З. Даутова // Вестник АГУ. Серия: Естеств.-математ. и технич. науки. – 2018. – Вып. 3 (226). – С. 67–75.
7. Demographics and Medical Disorders Associated With Smoking: A Population-Based Study / W.S. Chung, P.T. Kung, H.Y. Chang, W.C. Tsai // BMC Public Health. – 2020. – Vol. 20 (1). – P. 702. DOI: 10.1186/s12889-020-08858-4
8. Genetic Markers Associated with Power Athlete Status / A. Maciejewska-Skrendo, P. Cięszczyk, J. Chycki et al. // Hum. Kinet. – 2019. – Vol. 68. – P. 17–36. DOI: 10.2478/hukin-2019-0053
9. Genes and power athlete status / A Maciejewska-Skrendo, M. Sawczuk, P. Cięszczyk, I.I. Ahmetov // In Sports, Exercise, and Nutritional Genomics; Elsevier Academic Press: London, UK, 2019. – P. 41–72. DOI: 10.1016/B978-0-12-816193-7.00003-8
10. Goryakin Y. The contribution of urbanization to non-communicable diseases: Evidence from 173 countries from 1980 to 2008 / Y. Goryakin, L. Rocco, M. Suhrcke // Economics & Human Biology. – 2017. – Vol. 26. – P. 151–163 DOI: 10.1016/j.ehb.2017.03.004
11. Mackenbach, J.P. The effects of smoking on health: growth of knowledge reveals even grimmer picture / J.P Mackenbach, R.A Damhuis, J.V Been // Ned TijdschrGeneesk. – 2017. – Vol. 160. – D869. Dutch. PMID: 28098043.
12. Mathew, C.C. Methods in Molecular Biology / ed. J.M. Walker. – New York: HumanPress, 1984. – No.2. – P. 31–34.
13. Semenova E.A. Genetic profile of elite endurance athletes / E.A. Semenova, N. Fuku, I.I. Ahmetov // Sports, Exercise, and Nutritional Genomics: Current Status and Future Direction. – 2019. – P. 73–104. DOI: 10.1016 / B978-0-12-816193-7.00004-X

14. Training-induced annual changes in red blood cell profile in highly-trained endurance and speed-power athletes / M. Ciekot-Sołtysiak, K. Kusy, T. Podgórski, J. Zieliński // *J Sports Med Phys Fitness*. – 2018. – Vol. 58. – P. 1859–1866. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07819-7

References

1. Anischenko A.P., Arkhangelskaya A.N., Pustovalov D.A. et al. [Association of Hypodynamia and Other Behavioral Risk Factors for the Development of Chronic Non-Infectious Diseases in Students]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury* [Questions of Balneology, Physiotherapy and Therapeutic Physical Culture], 2017, no. 1, pp. 15–20. (in Russ.) DOI: 10.17116/kurort201794115-20
2. Melnov S.B., Lebed T.L., Komar E.B. [Molecular Genetic Aspects of Sports Success in Cyclic Sports]. *Nauka i sport: sovremennyye tendentsii* [Science and Sport. Modern Trends], 2020, vol. 8, no. 2, pp. 67–76. DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-2-67-76
3. Dautova A.Z., Hazhieva E.A., Sadykova L.Z., Shamratova V.G. Morphofunctional Features of Erythrocytes in Young Women Depending on the Level of Motor Activity and Hereditary Factor. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 25–33. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm200303
4. Nikitin V.A., Cherenkova O.V., Vasilieva L.V. [Tobacco Smoking and Lung Diseases. Efficiency of Treatment Approaches]. *Tuberkulez i bolezni legkikh* [Tuberculosis and Lung Diseases], 2016, vol. 94, no. 12, pp. 7–12. (in Russ.) DOI: 10.21292/2075-1230-2016-94-12-7-12
5. Kobyakova O.S., Deev I.A., Kulikov E.S. et al. [Features of the Frequency of Risk Factors for Chronic Non-Infectious Diseases Among Students of Secondary Specialized and Higher Educational Institutions of Various Areas of Training]. *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive Medicine], 2020, vol. 23, no. 4, pp. 61–66. (in Russ.) DOI: 10.17116/profmed20202304161
6. Usmanova S.R., Shamratova V.G., Dautova A.Z. [The Influence of the PPAR γ 2 Gene on the State of Oxygen Supply Systems Depending on Environmental Factors]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriyay estestvenno-matematicheskikh i tekhnicheskikh nauk* [Bulletin of the Adyge State University. Series of Natural-Mathematical and Technical Sciences], 2018, no. 3 (226), pp. 67–75. (in Russ.)
7. Chung W.S., Kung P.T., Chang H.Y., Tsai W.C. Demographics and Medical Disorders Associated With Smoking: A Population-Based Study. *BMC Public Health*, 2020, vol. 20 (1), p. 702. DOI: 10.1186/s12889-020-08858-4
8. Maciejewska-Skrendo A., Ciężczyk P., Chycki J. et al. Genetic Markers Associated with Power Athlete Status. *Human Kinetics*, 2019, no. 68, pp. 17–36. DOI: 10.2478/hukin-2019-0053
9. Maciejewska-Skrendo A., Sawczuk M., Ciężczyk P., Ahmetov I.I. Genes and Power Athlete Status. In *Sports, Exercise, and Nutritional Genomics*. Elsevier Academic Press: London, UK, 2019, pp. 41–72. DOI: 10.1016/B978-0-12-816193-7.00003-8
10. Goryakin Y., Rocco L., Suhrcke M. The Contribution of Urbanization to Non-Communicable Diseases: Evidence from 173 Countries from 1980 to 2008. *Economics & Human Biology*, 2017, vol. 26, pp. 151–163 DOI: 10.1016/j.ehb.2017.03.004
11. Mackenbach J.P., Damhuis R.A., Been J.V. The Effects of Smoking on Health: Growth of Knowledge Reveals Even Grimmer Picture. *Ned Tijdschr Geneeskde*, 2017, vol. 160, D869. Dutch. PMID: 28098043.
12. Mathew C.C. *Methods in Molecular Biology*. New-York: Human Press, 1984, no. 2, pp. 31–34.
13. Semenova E.A., Fuku N., Ahmetov I.I. Genetic Profile of Elite Endurance Athletes. *Sports, Exercise, and Nutritional Genomics: Current Status and Future Direction*, 2019, pp. 73–104. DOI: 10.1016/B978-0-12-816193-7.00004-X
14. Ciekot-Sołtysiak M., Kusy K., Podgórski T., Zieliński J. Training-Induced Annual Changes in Red Blood Cell Profile in Highly-Trained Endurance and Speed-Power Athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 2018, vol. 58, pp. 1859–1866. DOI: 10.23736/S0022-4707.17.07819-7

Информация об авторах

Исаева Екатерина Евгеньевна, ассистент кафедры нормальной физиологии, Башкирский государственный медицинский университет. Республика Башкортостан, 450008, Уфа, ул. Ленина, д. 3.

Даутова Альбина Зуфаровна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма. Республика Татарстан, 420010, Казань, Деревня Универсиады, д. 35.

Хабибуллина Ильмира Зульфатовна, студент 5-го курса лечебного факультета, Башкирский государственный медицинский университет. Республика Башкортостан, 450008, Уфа, ул. Ленина, д. 3.

Шамратова Валентина Гусмановна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры нормальной физиологии, Башкирский государственный медицинский университет. Республика Башкортостан, 450008, Уфа, ул. Ленина, д. 3.

Information about the authors

Ekaterina E. Isaeva, Assistant, Department of Normal Physiology, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia.

Albina Z. Dautova, Candidate of Biological Sciences, Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia.

Ilmira Z. Khabibullina, 5th-year student, Faculty of General Medicine, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia.

Valentina G. Shamratova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor at the Department of Normal Physiology, Bashkir State Medical University, Ufa, Russia.

Статья поступила в редакцию 15.04.2022

The article was submitted 15.04.2022