

## МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ У ДЕВУШЕК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И НАСЛЕДСТВЕННОГО ФАКТОРА

А.З. Даутова<sup>1</sup>, Е.А. Хажиева<sup>2</sup>, Л.З. Садыкова<sup>3</sup>, В.Г. Шамратова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, г. Казань, Россия,

<sup>2</sup>Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия,

<sup>3</sup>Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа, Россия

**Цель.** Изучить адренореактивность эритроцитов и ее связи с количественными и качественными характеристиками клеток у девушек с разным уровнем двигательной активности в зависимости от полиморфного варианта I/D гена ACE. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие девушки-студентки: 1-ю группу (n = 33) составили девушки с относительно малоподвижным образом жизни, 2-ю группу (n = 18) – систематически посещающие спортивные секции (волейбол и лапта). Анализ базовых показателей красной крови проводили с помощью гематологического анализатора ADVIA 60 производства BAYER (Германия). Адренореактивность эритроцитов (АРЭ) оценивали по изменению скорости оседания эритроцитов (СОЭ) венозной крови под действием адреналина *in vitro* в конечных концентрациях  $10^{-5}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-7}$ ;  $10^{-8}$  (повышенных, стрессовых – СКА) и  $10^{-9}$ ;  $10^{-11}$ ;  $10^{-13}$  (физиологических – ФКА) г/мл. Учитывали тип АРЭ по направленности отклонений СОЭ в присутствии адреналина – агрегационный (Аг) при повышении, антиагрегационный (АнАг) – при понижении СОЭ и ареактивный (АР), а также средние и максимальные величины отклонений. С помощью ПЦР анализа проводили генотипирование полиморфного варианта rs4646994 гена ACE. **Результаты.** Установлена прямая корреляционная связь полиморфизма I/D гена ACE со средними значениями АРЭ при воздействии ФКА ( $R = 0,52$ ,  $P = 0,04$ ), с максимальным отклонением СОЭ под влиянием СКА ( $R = 0,52$ ,  $P = 0,04$ ), а также с направленностью индуцированных адреналином сдвигов СОЭ ( $R = 0,55$ ,  $P = 0,03$ ). Так, у лиц с I/D генотипом преобладает агрегационное поведение эритроцитов, а спортсменкам с D/D генотипом не свойствен Аг тип АРЭ. **Заключение.** Наиболее устойчивыми к действию как ФКА, так и СКА являются девушки-спортсменки – носители генотипа D/D гена ACE.

**Ключевые слова:** адренореактивность эритроцитов, скорость оседания эритроцитов, уровень двигательной активности, ген ангиотензин-превращающего фермента.

**Введение.** Известно, что организм спортсмена подвергается воздействию не только интенсивных физических, но и психоэмоциональных нагрузок, сопровождающихся мобилизацией симпатoadrenalовой системы и возрастанием концентрации в крови адреналина [11, 16]. Формирование адреналином местных механизмов регуляции, адаптирующих региональные обменные процессы к целостным реакциям организма, осуществляется через адренорецепторы (АдР), присутствующие на мембранах клеток, в том числе и клеток крови. При этом АдР эритроцитов по строению и структуре не отличаются от АдР других клеток [10, 17], а их функционирование отражает основные принципы адренореактивности разных клеток и дает адекватное представление о системных реакциях организма в ответ на

изменение условий его жизнедеятельности [9]. В связи с этим следует ожидать, что на адренореактивность эритроцитов (АРЭ) оказывают влияние физические нагрузки, которые испытывают люди, регулярно занимающиеся спортом.

В то же время многочисленными исследованиями последних лет установлено, что физические возможности организма, способность к выполнению аэробных или скоростно-силовых нагрузок генетически детерминированы [4, 13–15]. В частности, к числу генетических маркеров, причастных к развитию физических качеств человека, успешности спортивной деятельности, относят полиморфизм I/D гена ACE. Интерес к изучению гена ACE вызван также тем, что фермент, кодируемый им, принимает участие во многих процессах

организма: сокращение сосудов, стимуляция синтеза гормонов, регуляция артериального давления и др. [3]. Нами в ряде работ продемонстрировано влияние полиморфизма I/D гена *ACE* на некоторые показатели кислород-транспортной системы организма, в том числе состояние эритроцитарного звена крови у юношей в зависимости от уровня их двигательной активности [2]. Учитывая, что реактивность эритроцитов по отношению к адреналину зависит от функциональных и корпускулярных характеристик эритроцитов [12], мы предположили, что полиморфный вариант *rs4646994* гена *ACE* при систематическом выполнении физических нагрузок может оказывать влияние и на агрегационную способность эритроцитов.

**Цель исследования.** Изучить адренореактивность эритроцитов и ее связи с количественными и качественными характеристиками клеток у девушек с разным уровнем двигательной активности в зависимости от полиморфного варианта I/D гена *ACE*.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании приняли участие девушки-студентки 19–21 лет ( $n = 51$ ). Из них 1-ю группу составили девушки с относительно малоподвижным образом жизни, не посещающие спортивные секции, с традиционным регламентированным двигательным режимом, предусмотренным в высшем учебном заведении (2 часа физической культуры в неделю) ( $n = 33$ ). Во 2-ю группу вошли девушки ( $n = 18$ ), которые помимо физической культуры, проводимой в университете, посещают спортивные секции 3 раза в неделю (лапта и волейбол), их спортивный стаж составлял 3–4 года (спортсменки). Обследование проводилось с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609 EC). Все испытуемые дали письменное согласие на участие в эксперименте. Протокол эксперимента одобрен комиссией по биоэтике (заключение от 18.10.2017 г.).

Оценку адренореактивности эритроцитов проводили по изменению скорости оседания эритроцитов под действием адреналина *in vitro* в конечных концентрациях  $10^{-5}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-7}$ ;  $10^{-8}$ ;  $10^{-9}$ ;  $10^{-11}$ ;  $10^{-13}$  г/мл венозной крови [8]. В соответствии с направленностью сдвигов СОЭ в присутствии адреналина мы выделили 3 типа АРЭ, обозначенные как: 1) антиагрегационный (АнАг) – если средние отклонения

СОЭ от исходного уровня имели положительный знак, то есть после внесения адреналина значения СОЭ были ниже, чем в исходной пробе (позитивный эффект); 2) агрегационный (Аг) – при котором средние отклонения СОЭ от уровня исходной пробы при различной концентрации адреналина имели отрицательный знак, то есть после внесения адреналина значения СОЭ были выше, чем в контроле (негативный эффект); 3) ареактивный (Ар) – при отсутствии заметного отклонения СОЭ при внесении адреналина в различной концентрации. Известно, что действие адреналина на клетки определяется его концентрацией [1, 7]. Физиологическая концентрация адреналина в крови составляет  $10^{-9}$  г/мл и ниже, при стрессовых ситуациях содержание адреналина превышает  $10^{-8}$  г/мл. Учитывая этот факт, мы оценивали эффекты адреналина отдельно для его физиологических ( $10^{-9}$ ;  $10^{-11}$ ;  $10^{-13}$  г/мл) и стрессовых ( $10^{-5}$ ;  $10^{-6}$ ;  $10^{-7}$ ;  $10^{-8}$  г/мл) концентраций. Помимо регистрации направленности сдвигов в эксперименте определялись и количественные показатели АРЭ: средние значения при воздействии на кровь физиологических (АРЭ ср. ФКА) и стрессовых доз адреналина (АРЭ ср. СКА), а также максимальное (АРЭ макс.) отклонение СОЭ от исходного уровня при воздействии на кровь испытанных доз адреналина.

Суммарные и индивидуальные характеристики эритроцитов (количество – RBC, Hb, средний объем – MCV, среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците – MCH, среднюю концентрацию гемоглобина в клетке – MCHC, гематокрит – Ht) определяли с помощью гематологического анализатора ADVIA 60 производства BAYER (Германия).

Для генетического анализа использовали ДНК, выделенную из лейкоцитов крови методом фенольно-хлороформной экстракции [18]. Метод определения полиморфного варианта *rs4646994* гена *ACE* заключался в амплификации специфических фрагментов ДНК (полимеразная цепная реакция) с помощью специфических олигонуклеотидов (прямой праймер – 5'-CTGGAGACCACTCCCATCCTTTCT-3', обратный праймер – 5'-GATGTGGCCATCASATTCGTCAGAT-3' («Синтол», Россия)). ПЦР проводилась на термоциклере «Терцик» (ООО «ДНК технология», Москва). Результаты амплификации оценивались путем проведения вертикального электрофореза в 7 % полиакриламидном геле (ПААГ).

Статистический анализ данных производили с помощью пакета программ Microsoft Office Excel и Statistics Version 10.0. Встречаемость разных типов АРЭ у девушек при разных генотипах гена *ACE* определяли с помощью критерия  $\chi^2$  (с поправкой Йетса на непрерывность). Для оценки достоверности показателей использовали непараметрические критерии: при сравнении двух независимых выборок использовали U-критерий Манна – Уитни. Количественные данные представлены в виде медианы значений (*Me*) и интерквартильного размаха с описанием значений 25 и 75 перцентилей: *Me* (25 %; 75 %). Для выявления скрытых переменных, объясняющих взаимоотношения изученных параметров, использовали факторный анализ. При проведении корреляционного анализа использовали критерий Спирмена. Критическое значение уровня значимости принимали равным 0,05.

**Результаты исследования.** В группе девушек с высоким уровнем двигательной активности при генотипах D/D и I/D гена *ACE* частотный анализ продемонстрировал статистически значимое различие встречаемости агрегационного типа АРЭ. Установлено, что у спортсменок с I/D генотипом как при воздействии на пробы крови ФКА, так и СКА преобладает агрегационное поведение эритроцитов, а носительницам D/D генотипа Аг тип АРЭ не свойствен ( $\chi^2 = 5,60$ ,  $p = 0,008$ ,  $OR = 0,04$  [0,001–0,9]). При этом у девушек с генотипом D/D с одинаковой частотой встречается Ар и АнАг типы АРЭ ( $p > 0,05$ ). В связи с

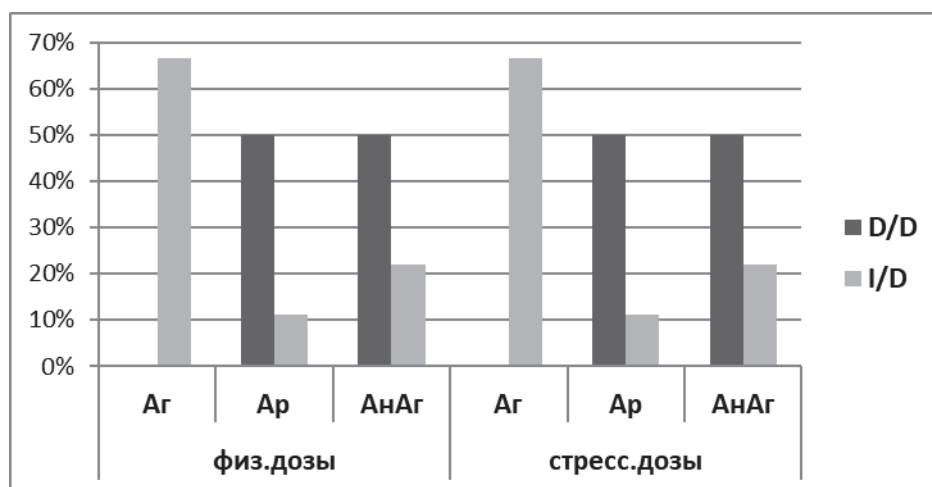
малочисленностью групп девушек с генотипом I/I и с высоким, и с низким уровнем ДА частотный анализ проводился только для двух генотипов (см. рисунок).

При сравнительном анализе изученных показателей у девушек обеих групп с вариантами I/D полиморфизма гена *ACE* не выявились статистически значимые различия базовых параметров красной крови, в то же время обнаружилось генотипические особенности параметров, характеризующих адренореактивность эритроцитов (табл. 1).

Так, судя по знаку АРЭ при генотипе D/D у девушек-спортсменок в ответ на воздействие как ФКА, так и СКА агрегационная активность эритроцитов снижается, тогда как при гетерозиготном генотипе при внесении адреналина в кровь *in vitro* происходит повышение СОЭ (негативный эффект). Количественная оценка величин АРЭ позволила установить у спортсменок с генотипом D/D достоверно более высокие значения АРЭ при использовании ФКА, чем при генотипе I/D ( $p < 0,05$ ). Максимальное отклонение АРЭ было выше также при D/D варианте гена ( $p < 0,05$ ).

В группе девушек с малоподвижным образом жизни генотипические различия выражены слабее и при всех генотипах выявляются отрицательные значения АРЭ. При этом у обладателей I/D варианта гена значения АРЭ при использовании как ФКА, так и СКА оказались значимо ниже по сравнению с девушками с генотипом D/D и имеющих высокую ДА ( $p < 0,05$ ).

Обнаруженная в эксперименте разнона-



Встречаемость разных типов АРЭ у девушек с высоким уровнем двигательной активности в зависимости от полиморфизма *rs4646994* гена *ACE*  
Frequency of different types of ARE in young women with a high level of motor activity depending on the *rs4646994* polymorphism of the *ACE* gene

Сравнительный анализ показателей крови и АРЭ у девушек с низкой и высокой двигательной активностью, Me (25 %, 75 %) Comparative analysis of blood indices and adrenergic reactivity of erythrocytes (ARE) in young women with low and high values of motor activity, Me (25 %; 75 %)

Показатель Indicator	Группа 1 / Group 1			Группа 2 / Group 2		
	D/D (n = 10)	I/D (n = 19)	I/I (n = 4)	D/D (n = 6)	I/D (n = 9)	I/I (n = 3)
Гемоглобин, г/л HGB, g/l	122,4 (119; 130)	125 (119; 132)	120 (116; 125)	122,3 (123; 128)	122,2 (121; 126)	124 (114; 134)
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л RBC, 10 <sup>12</sup> /l	4,37 (4,1; 4,6)	4,49 (4,3; 4,6)	4,1 (3,9; 4,2)	4,39 (4,1; 4,5)	4,4 (4,1; 4,7)	4,4 (4,1; 4,7)
Гематокрит, % HCT, %	38,3 (36,7; 39,5)	38,6 (36,7; 40,4)	35,2 (34,4; 35,9)	38,52 (36,9; 40,4)	37,6 (35,2; 38,5)	36,6 (33,3; 38,6)
Средний объем эритроцитов, фл. MCV, fl	87,7 (85,4; 90,6)	85,9 (81,9; 90,8)	85,8 (82,2; 89,4)	87,48 (83,5; 90,6)	85,7 (84,1; 92,2)	81,2 (79,9; 83,0)
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг MCH, pg	27,9 (27,7; 29,2)	27,7 (27,0; 29,1)	29,8 (29,2; 30,4)	27,75 (27,5; 29,4)	27,9 (28,0; 30,0)	27,4 (27,0; 28,1)
Средняя концентрация гемоглобина в клетке, г/л MCHC, g/l	318 (311; 326)	323 (318; 326)	343 (332; 354)	317 (312; 330)	318 (313; 328)	338 (325; 347)
АРЭ ср. ФКА, мм/ч ARE <sub>average</sub> PCA, mm/h	-0,42 (-1,6; 3,0)	<b>-2,39▲</b> <b>(-4,0; 0)</b>	-1,5 (-2,0; -1,0)	<b>4,45*▲</b> <b>(-0,3; 3,0)</b>	<b>-2,13*</b> <b>(-3,0; -1,0)</b>	0,56 (-1,3; 3,0)
АРЭ ср.СКА, мм/ч ARE <sub>average</sub> SCA, mm/h	-1,8 (-5,0; 1,0)	<b>-2,57▲</b> <b>(-4,0; 0)</b>	-1,75 (-2,5; -1,0)	<b>4,17▲</b> <b>(-1,0; 2,5)</b>	-2,67 (-6,5; -1,0)	0,33 (-2,0; 3,0)
АРЭ макс.ФКА, мм/ч ARE <sub>max</sub> PCA, mm/h	-0,3 (-3,0; 3,0)	<b>-2,73▲</b> <b>(-5,0; 0)</b>	-2,0 (-2,5; -1,5)	<b>4,3▲</b> <b>(-10; 3,0)</b>	-2,44 (-4,0; -1,0)	0,33 (-2,0; 3,0)
АРЭ макс.СКА, мм/ч ARE <sub>max</sub> SCA, mm/h	-1,7 (-5,0; 1,0)	<b>-2,78▲</b> <b>(-5,0; 0)</b>	-2,0 (-2,5; -1,5)	<b>4,67*▲</b> <b>(0,0; 3,0)</b>	<b>-2,78*</b> <b>(-7,0; -1,0)</b>	0,33 (-2,0; 3,0)

Примечание. \* – наличие статистической достоверности между девушками с высоким уровнем ДА и генотипом D/D и I/D; ▲ – наличие статистической достоверности между девушками с ВДА и студентками с НДА, носительницами генотипа D/D, p < 0,05.

Note. \* – statistically significant difference between young women with a high level of MA and the D/D and I/D genotypes; ▲ – statistically significant difference between young women with HMA and female students with LMA, carriers of the D/D genotype.

правленность колебаний величин АРЭ в зависимости от наследственного фактора и уровня физической активности, обусловлена, очевидно, различиями функционального состояния циркулирующих эритроцитов и возрастным составом их популяции. Известно, что молодым и зрелым эритроцитам свойственна адекватная реакция на адреналин, выражающаяся в возрастании внутриклеточного энергообмена и увеличении величины поверхностного заряда [5]. По мере физиологического старения эритроцитов вследствие модификации мембран и истощения энергетических ресурсов снижается поверхностный заряд клеток и возрастает их склонность к агрегации [6].

Можно допустить, что систематические

физические нагрузки благодаря влиянию на состав периферического звена эритрона способствуют оптимизации энергетических резервов клеток и их мобилизации адреналином. Вместе с тем из результатов исследования вытекает, что данный эффект проявляется отчетливо лишь у носителей D/D генотипа гена ACE. Этот факт, возможно, обусловлен повышенным тонусом гладкой мускулатуры сосудов у его носителей.

Результаты корреляционного анализа подтвердили наличие ассоциации полиморфизма гена ACE с адренореактивностью эритроцитов в группе девушек с высокой ДА. Показана прямая корреляционная связь полиморфного варианта I/D гена ACE со средними

значениями АРЭ при воздействии ФКА, а также с максимальным отклонением СОЭ при воздействии СКА. Помимо изменений количественных показателей АРЭ выявлена взаимосвязь полиморфного варианта гена ACE с направленностью сдвигов СОЭ (табл. 2).

Для оценки взаимосвязей адренореактив-

ности эритроцитов с их количественными, качественными и корпускулярными характеристиками был использован факторный анализ. Данные факторного анализа по учтенным показателям в группах обследованных девушек с разными генотипами I/D полиморфизма гена ACE представлены в табл. 3.

Таблица 2  
Table 2

Коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (*r*)  
между морфофункциональными характеристиками крови и полиморфизмом гена ACE  
Spearman's rank correlation coefficients (*r*) between morphofunctional characteristics  
of blood and the ACE gene polymorphism

Показатель Indicator	Группа 1 / Group 1		Группа 2 / Group 2	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
АРЭ ср. ФКА, мм/ч ARE <sub>average</sub> PCA, mm/h	0,28	0,14	<b>0,52*</b>	<b>0,04</b>
АРЭ ср. СКА, мм/ч ARE <sub>average</sub> SCA, mm/h	0,17	0,37	0,47	0,07
АРЭ макс. ФКА, мм/ч ARE <sub>max</sub> PCA, mm/h	0,34	0,07	0,50	0,05
АРЭ макс. СКА, мм/ч ARE <sub>max</sub> SCA, mm/h	0,20	0,29	<b>0,52*</b>	<b>0,04</b>
Типы АРЭ ФКА ARE type PCA	0,36	0,05	<b>0,55*</b>	<b>0,03</b>
Типы АРЭ СКА ARE type SCA	0,20	0,29	<b>0,55*</b>	<b>0,03</b>

Примечание. \* – значимые корреляционные зависимости ( $p < 0,05$ ).

Note. \* – statistically significant correlations ( $p < 0.05$ ).

Таблица 3  
Table 3

Факторная структура показателей крови и АРЭ  
у девушек с разным уровнем двигательной активности  
Factor structure of blood indices and adrenergic reactivity of erythrocytes  
in young women with different levels of motor activity

Показатель Indicator	ВДА High physical activity		НДА Low physical activity	
	Фактор 1 Factor 1	Фактор 2 Factor 2	Фактор 1 Factor 1	Фактор 2 Factor 2
	ACE	-0,18	<b>0,76</b>	-0,51
Гемоглобин, г/л / HGB, g/l	<b>-0,87</b>	-0,21	0,67	-0,62
Эритроциты, $10^{12}/л$ / RBC, $10^{12}/l$	0,25	0,45	0,45	-0,07
Гематокрит, % / HCT, %	<b>-0,83</b>	0,09	0,37	<b>-0,73</b>
Средний объем эритроцита, фл. MCV, fl	<b>-0,89</b>	-0,27	-0,09	<b>-0,85</b>
Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг MCH, pg	<b>-0,87</b>	-0,47	0,45	<b>-0,77</b>
Средняя концентрация гемоглобина в клетке, г/л MCHC, g/l	-0,46	-0,54	<b>0,74</b>	-0,17
АРЭ ср. ФКА, мм/ч / ARE <sub>average</sub> PCA, mm/h	<b>-0,79</b>	0,48	<b>-0,75</b>	-0,49
АРЭ макс., мм/ч / ARE <sub>max</sub> SCA, mm/h	<b>-0,80</b>	0,48	<b>-0,80</b>	-0,37
Типы АРЭ ФКА / ARE type PCA	-0,35	<b>0,92</b>	<b>-0,87</b>	-0,31
Типы АРЭ СКА / ARE type SCA	-0,35	<b>0,92</b>	<b>-0,73</b>	-0,41
Дисперсия, % / Dispersion, %	50	27	31	28

Примечание. Представлены только достоверные корреляции к фактору.

Note. Only reliable correlations are shown.

У девушек с высоким уровнем физической активности в факторной структуре доминирует фактор (50 % дисперсии), описывающий взаимоотношения морфофункциональных характеристик эритроцитов с их реактивностью по отношению к действию *in vitro* адреналина. Учитывая знаки корреляций переменных с фактором, можно заключить, что ослабление функциональной активности красной крови (снижение уровня Hgb, Hct, MCV, MCH) взаимосвязано с понижением энергетических резервов эритроцитов, проявляющимся в уменьшении средних и максимальных значений АРЭ при воздействии на кровь ФКА. Структура этого фактора подтверждает высказанное выше предположение о роли функционального состояния красной крови в обеспечении стабильных реологических свойств эритроцитов.

F2 в группе девушек-спортсменок – фактор генетической детерминированности – объединяет полиморфизм гена ACE и типы АРЭ. При этом лицам с генотипом D/D гена ACE свойственно преобладание Ар и АnАг типов АРЭ.

У физически малоактивных девушек указанные факторы не обнаруживаются: в отличие от первой группы здесь F1 – фактор адренореактивности, с которым помимо параметров АРЭ коррелирует только МСНС. F2 – фактор, который, объединяя качественные показатели крови, такие как MCV, MCH, Hct, с одноименными знаками, не включает АРЭ и генетический маркер (см. табл. 3).

**Заключение.** Изучение у девушек как реально фиксируемых морфофункциональных показателей эритроцитов, так и системы их корреляций позволило установить, что генотипические различия по полиморфизму I/D гена ACE проявляются главным образом у лиц, обладающих повышенной физической активностью. Ранее более выраженное влияние полиморфизма I/D гена ACE на параметры красной крови при высокой двигательной активности было продемонстрировано нами на примере юношей-спортсменов [2]. Положительный вклад систематических физических нагрузок заключается в том, что у девушек-носителей генотипа D/D гена ACE, занимающихся спортом, наблюдается более высокая устойчивость эритроцитов к воздействию не только физиологических, но и стрессовых доз адреналина.

Определение АРЭ по СОЭ-зависимой реакции может служить прогностическим критерием при определении устойчивости организма спортсмена к стрессовым факторам. При этом, как показало данное исследование, на агрегационные способности эритроцитов оказывает влияние не только уровень двигательной активности, но и полиморфный вариант rs4646994 гена ACE.

### Литература

1. Влияние сыворотки крови человека на сократимость и  $\beta$ -адренореактивность изолированного миокарда человека / К.Н. Коротяева, В.А. Вязников, В.И. Циркин, А.А. Костяев // Физиология человека. – 2011. – № 3 (37). – С. 83–91.
2. Даутова, А.З. Ассоциация полиморфизмов генов ACE, CMA1 и BDKRB2 с состоянием кислородтранспортной системы организма у юношей с разным уровнем двигательной активности / А.З. Даутова, В.Г. Шамратова, Е.В. Воробьева // Журн. мед.-биол. исследований. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 251–260.
3. Елисеева, Ю.А. Ангиотензин-превращающий фермент, его физиологическая роль / Ю.А. Елисеева // Вопросы мед. химии. – 2001. – № 1. – 35 с.
4. Использование молекулярно-генетических методов для прогноза аэробных и анаэробных возможностей у спортсменов / И.И. Ахметов, Д.В. Попов, И.В. Астратенкова и др. // Физиология человека. – 2008. – Т. 34, № 3. – С. 86–91.
5. Матюшичев, В.Б. Регуляция электрокинетических свойств эритроцитов крови человека при действии эмоционального стрессора / В.Б. Матюшичев, В.Г. Шамратова // Цитология. – 2003. – Т. 45, № 11. – С. 1119.
6. Муравьев, А.В. Анализ влияния плазменных и клеточных факторов на агрегацию эритроцитов разных возрастных популяций / А.В. Муравьев, И.А. Тихомирова, Д.В. Борисов // Физиология человека. – 2002. – № 4. – С. 118–122.
7. Оценка адренореактивности эритроцитов, основанная на способности адреналина повышать скорость агглютинации эритроцитов / В.И. Циркин, М.А. Громова, Д.А. Колгина и др. // Фундамент. исследования. – 2008. – № 7. – С. 59–60.

8. Пат. 2471189 Российская Федерация. Способ оценки адренореактивности эритроцитов / И.П. Хазипова, В.Г. Шамратова, Р.Ш. Багаутдинова; заявитель и патентообладатель Башкирский гос. ун-т. – № 2011122065/15; заявл. 31.05.2012; опубл. 27.12.2012.

9. Стрюк, Р.И. Адренореактивность и сердечно-сосудистая система / Р.И. Стрюк, И.Г. Длусская. – М.: Медицина, 2003. – 160 с.

10. Трошкина, Н.А. Эритроцит: строение и функции его мембраны (обзор литературы) / Н.А. Трошкина, В.И. Циркин, С.А. Дворянский // Вятский мед. вестник. – 2007. – № 1. – С. 17–21.

11. Хадарцев, А.А. Психоэмоциональный стресс в спорте. Физиологические основы и возможности коррекции (обзор литературы) / А.А. Хадарцев, Н.А. Фудин // Вестник новых медицинских технологий. – 2015. – № 3. – <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5256> (дата обращения: 30.09.2015).

12. Хазипова, И.П. Связи адренореактивности эритроцитов с состоянием кислородтранспортной системы организма и физической выносливостью студентов / И.П. Хазипова, В.Г. Шамратова // Вестник Челябин. гос. пед. ун-та. – 2012. – № 12. – С. 235–242.

13. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study / L.D. Papadimitriou, A. Lucia, Y.P. Pitsiladis [et al] // BMC Genomics. – 2016. – Vol. 17. – P. 285–293.

14. Genes and Athletic Performance: An Update / I.I. Akhmetov, Ye.S. Yegorova, L.Yu. Gabdrakhmanova, O.N. Fedotovskaya // Genetics and Sports. – 2016. – Vol. 61. – P. 41–54.

15. Genetic variants associated with physical and mental characteristics of the elite athletes in the Polish population / B. Peplonska, J.G. Adamczyk, M. Siewierski et al. // Scand J Med Sci Sports. – 2017. – Vol. 27 (8). – P. 788–800.

16. Influence of vigorous physical activity on structure and function of the cardiovascular system in young athletes – the MuCAYA-Study / L. Baumgartner, T. Schulz, R. Oberhoffer, H. Weiberruß // Front Cardiovasc Med. – 2019. – Vol. 6. – P. 148.

17. Kalniņa, I. Use of the Fluorescent Probe DSM in Studies of the Structural and Functional Changes of the Erythrocyte Membrane / I. Kalniņa, M.M. Toma // Journal of Fluorescence. – 2004. – Vol. 14. – No. 1. – P. 41–47.

18. Mathew, C.C. Methods in Molecular Biology / ed. J.M. Walker. – New-York: Human Press, 1984. – No.2. – P. 31–34.

**Даутова Альбина Зуфаровна**, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин, Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма. 420010, Республика Татарстан, г. Казань, Деревня Универсиады, 35. E-mail: [dautova.az@mail.ru](mailto:dautova.az@mail.ru), ORCID: 0000-0003-3069-2178.

**Хажиева Евгения Александровна**, аспирант кафедры физиологии и общей биологии, Башкирский государственный университет. 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32. E-mail: [maxi-d@mail.ru](mailto:maxi-d@mail.ru), ORCID: 0000-0002-3964-8934.

**Садыкова Лилия Зуфаровна**, студентка 6-го курса лечебного факультета, Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России. 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: [iliiya-sz@mail.ru](mailto:iliiya-sz@mail.ru), ORCID: 0000-0001-8790-6857.

**Шамратова Валентина Гусмановна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры нормальной физиологии, Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России. 450008, г. Уфа, ул. Ленина, 3. E-mail: [shamratovav@mail.ru](mailto:shamratovav@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7633-4264.

Поступила в редакцию 11 июня 2020 г.

## MORPHOFUNCTIONAL FEATURES OF ERYTHROCYTES IN YOUNG WOMEN DEPENDING ON THE LEVEL OF MOTOR ACTIVITY AND HEREDITARY FACTOR

A.Z. Dautova<sup>1</sup>, [dautova.az@mail.ru](mailto:dautova.az@mail.ru), ORCID: 0000-0003-3069-2178,  
E.A. Hazhieva<sup>2</sup>, [maxi-d@mail.ru](mailto:maxi-d@mail.ru), ORCID: 0000-0002-3964-8934,  
L.Z. Sadykova<sup>3</sup>, [iiliya-sz@mail.ru](mailto:iiliya-sz@mail.ru), ORCID: 0000-0001-8790-6857,  
V.G. Shamratova<sup>3</sup>, [shamratovav@mail.ru](mailto:shamratovav@mail.ru), ORCID: 0000-0002-7633-4264

<sup>1</sup>Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan', Russian Federation,

<sup>2</sup>Bashkir State University, Ufa, Russian Federation,

<sup>3</sup>Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

**Aim.** The paper deals with the adrenergic reactivity of erythrocytes and its connection with quantitative and qualitative characteristics of cells in young women with different levels of motor activity depending on the *rs4646994(I/D)* polymorphic variant of the angiotensin-converting enzyme (*ACE*) gene. **Materials and methods.** Young female students took part in the study: the 1<sup>st</sup> group (n = 33) included young women with a relatively inactive lifestyle, the 2<sup>nd</sup> group (n = 18) included those regularly involved in sports activity (volleyball and lapta). Red blood cells were counted with the ADVIA 60 hematology analyzer (BAYER, Germany). The adrenergic reactivity of erythrocytes (ARE) was assessed by changes in erythrocyte sedimentation rate (ESR) under the effect of adrenaline *in vitro* in final concentrations of 10<sup>-5</sup>; 10<sup>-6</sup>; 10<sup>-7</sup>; 10<sup>-8</sup> (stress concentration – SCA) and 10<sup>-9</sup>; 10<sup>-11</sup>; 10<sup>-13</sup> (physiological concentration – PCA) g/ml. The type of the adrenergic reactivity of erythrocytes was established depending on the direction of ESR changes in the presence of adrenaline – aggregative (Ag) with an ESR increase, anti-aggregative (AnAg) with a ESR decrease, and affectless (Af). The average and maximum values of changes were also taken into account. PCR analysis was performed on the *rs4646994* polymorphic variant of the *ACE* gene. **Results.** A direct correlation was found between the I/D polymorphism of the *ACE* gene with average values of ARE when exposed to PCA ( $R = 0.52$ ,  $P = 0.04$ ), with the maximum ESR change under the effect of SCA ( $R = 0.52$ ,  $P = 0.04$ ), as well as with the direction of ESR changes induced by adrenaline ( $R = 0.55$ ,  $P = 0.03$ ). Thus, among individuals with the I/D genotype erythrocyte aggregation prevails, while female athletes with the D/D genotype are not characterized by the same type of ARE. **Conclusion.** Young female athletes, carriers of the D/D genotype of the *ACE* gene, are the most resistant to the effect of both PCA and SCA.

**Keywords:** adrenergic reactivity of erythrocytes, erythrocyte sedimentation rate, level of motor activity, angiotensin-converting enzyme (*ACE*) gene.

### References

1. Korotaeva K.N., Vyaznikov V.A., Tsirkin V.I., Kostyaev A.A. [The Effect of Human Serum on the Contractility and  $\beta$ -adrenergic Reactivity of an Isolated Human Myocardium]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2011, no. 3 (37), pp. 83–91. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0362119711020071
2. Dautova A.Z., Shamratova V.G., Vorobyova E.V. [Association of Polymorphisms of the *ACE*, *SMA1* and *BDKRB2* Genes with the State of the Oxygen Transport System of an Organism in Young Men with Different Levels of Motor Activity]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Journal of Biomedical Research], 2019, vol. 7, no. 3, pp. 251–260. (in Russ.) DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.251
3. Eliseeva Yu.A. [Angiotensin-Converting Enzyme, its Physiological Role]. *Voprosy meditsinskoj khimii* [Questions of Medical Chemistry], 2001, no. 1, pp. 43–54. (in Russ.)
4. Akhmetov I.I., Popov D.V., Astratenkova I.V. et al. [The Use of Molecular Genetic Methods for Predicting Aerobic and Anaerobic Abilities in Athletes]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2008, vol. 34, no. 3, pp. 86–91. (in Russ.) DOI: 10.1134/S0362119708030110



5. Matyushichev V.B., Shamratova V.G. [Regulation of Electrokinetic Properties of Human Blood Red Blood Cells Under the Influence of an Emotional Stressor]. *Tsitologiya* [Cytology], 2003, vol. 45, no. 11, p. 1119. (in Russ.)
6. Muravyov A.V., Tikhomirova I.A., Borisov D.V. [Analysis of the Influence of Plasma and Cellular Factors on the Aggregation of Red Blood Cells of Different Age Populations]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2002, no. 4, pp. 118–122. (in Russ.)
7. Tsirkin V.I., Gromova M.A., Kolgina D.A. et al. [Evaluation of Red Blood Cell Adrenoreactivity Based on the Ability of Adrenaline to Increase the Rate of Red Blood Cell Agglutination]. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental Research], 2008, no. 7, pp. 59–60. (in Russ.)
8. Khazipova I.R., Shamratova V.G., Bagautdinova R.Sh. *Sposob otsenki adrenoreaktivnosti eritrotsitov* [A Method for Assessing Red Blood Cell Adrenoreactivity]. Patent RF, no. 2471189, 2012.
9. Stryuk R.I. *Adrenoreaktivnost' i serdechno-sosudistaya sistema* [Adrenoreactivity and the Cardiovascular System]. Moscow, Medicine Publ., 2003. 160 p.
10. Troshkina N.A., Tsirkin V.I., Noble S.A. [Red Blood Cell. Structure and Functions of its Membrane]. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik* [Vyatka Medical Bulletin], 2016, no. 1, pp. 17–21. (in Russ.)
11. Khadartsev A.A., Fudin N.A. [Psycho-Emotional Stress in Sports. Physiological Basis and Correction Possibilities]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies], 2015, no. 3. Available at: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5256> (accessed 09.30.2015). DOI: 10.12737/13378
12. Khazipova I.R., Shamratova V.G. [Relationship of Red Blood Cell Adrenoreactivity with the State of the Body's Oxygen Transport System and Students' Physical Endurance]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University], 2012, no. 12, pp. 235–242. (in Russ.)
13. Papadimitriou L.D., Lucia A., Pitsiladis Y.P. et al. *ACTN3 R577X and ACE I/D Gene Variants Influence Performance in Elite Sprinters: a Multi-Cohort Study*. *BMC Genomics*, 2016, vol. 17, pp. 285–293. DOI: 10.1186/s12864-016-2462-3
14. Akhmetov I.I., Yegorova Ye.S., Gabdrakhmanova L.Yu., Fedotovskaya O.N. Genes and Athletic Performance: An Update. *Genetics and Sports*, 2016, vol. 61, pp. 41–54. DOI: 10.1159/000445240
15. Peplonska B., Adamczyk J.G., Siewierski M. et al. Genetic Variants Associated with Physical and Mental Characteristics of the Elite Athletes in the Polish Population. *Scand J Med Sci Sports*, 2017, vol. 27 (8), pp. 788–800. DOI: 10.1111/sms.12687
16. Baumgartner L., Schulz T., Oberhoffer R., Weberruß H. Influence of Vigorous Physical Activity on Structure and Function of the Cardiovascular System in Young Athletes – the MuCAYA-Study. *Front Cardiovasc Med*, 2019, vol. 6, 148 p. DOI: 10.3389/fcvm.2019.00148
17. Kalniņa I., Toma M.M. Use of the Fluorescent Probe DSM in Studies of the Structural and Functional Changes of the Erythrocyte Membrane. *Journal of Fluorescence*, 2004, vol. 14, no. 1, pp. 41–47. DOI: 10.1023/B:JOFL.0000014658.01070.fe
18. Mathew C.C. *Methods in Molecular Biology*. ed. Walker J.M. New-York: Human Press, 1984, no. 2, pp. 31–34.

Received 11 June 2020

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

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

#### FOR CITATION

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