

УДК 612.111:612.062

АДРЕНОЗАВИСИМОЕ ОСЕДАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ У ДЕВУШЕК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАЗЫ МЕНСТРУАЛЬНОГО ЦИКЛА И УРОВНЯ ТОЛЕРАНТНОСТИ К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

¹Хажиева Е.А., ²Даутова А.З., ³Шамратова В.Г.

¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Уфа, e-mail: maxi-d@mail.ru;

²Башкирский институт физической культуры (филиал), ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Уфа, e-mail: dautova.az@mail.ru;

³ФГБОУ ВО МЗ «Башкирский государственный медицинский университет», Уфа, e-mail: shamratovav@mail.ru

В данной работе представлены материалы исследования β -адренореактивности эритроцитов (АРЭ) девушек в разные фазы менструального цикла в зависимости от толерантности к физическим нагрузкам. Оценку АРЭ проводили по изменению скорости оседания эритроцитов (СОЭ) 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. Толерантность к физическим нагрузкам оценивали по величине снижения кардиореспираторного индекса после дозированной физической нагрузки. Установлено, что фазы менструального цикла без учета физических возможностей организма значимо не влияют на показатели СОЭ-зависимого оседания эритроцитов. В то же время у девушек с низкой толерантностью к физическим нагрузкам в фолликулярную фазу цикла ниже величины средних и максимальных отклонений СОЭ при добавлении как физиологических концентраций (ниже 10^{-9} г/мл) (ФКА), так и стрессовых доз адреналина (выше 10^{-9} г/мл) (СКА). Показано, что в лютеиновой фазе цикла возрастание агрегационной активности эритроцитов (повышение СОЭ в присутствии адреналина) у девушек с низкой толерантностью к физическим нагрузкам коррелирует с повышением среднечорпускулярной концентрации гемоглобина.

Ключевые слова: менструальный цикл, адренореактивность эритроцитов, СОЭ, фолликулярная фаза, лютеиновая фаза, кардиореспираторный индекс

ADREPENDENT SEDIMENTATION OF RYTHROCYTES IN GIRLS, DEPENDING ON THE PHASE OF THE MENSTRUAL CYCLE AND THE LEVEL OF TOLERANCE TO PHYSICAL LOAD

¹Khazhieva E.A., ²Dautova A.Z., ³Shamratova V.G.

¹Bashkir State University, Ufa, e-mail: maxi-d@mail.ru;

²Bashkir Institute of Physical Culture (branch), Ural State University of Physical Culture, Ufa, e-mail: dautova.az@mail.ru;

³Bashkir State Medical University, Ufa, e-mail: shamratovav@mail.ru

This work presents materials for the study of β -adrenoreactivity of girls erythrocytes (ARE) in different phases of the menstrual cycle, depending on tolerance to physical activity. The ARE was evaluated according to the erythrocyte sedimentation rate (ESR) change under the influence of adrenaline *in vitro* in final concentrations 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8} ; 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} g/ml of venous blood. Exercise tolerance was evaluated by the decrease in the cardiorespiratory index after dosed physical activity. It was established that the phases of the menstrual cycle, without taking into account the physical capabilities of the body, do not significantly affect the indicators of ESR-dependent erythrocyte sedimentation. At the same time, girls with low exercise tolerance in the follicular phase of the cycle have lower average and maximum ESR deviations when both physiological concentrations (below 10^{-9} g/ml) (PCA) and stress doses of adrenaline (above 10^{-9} g/ml) (SKA). It was shown that in the luteal phase of the cycle, an increase in the aggregation activity of red blood cells (an increase in ESR in the presence of adrenaline) in girls with low exercise tolerance correlates with an increase in the average corpuscular concentration of hemoglobin.

Keywords: menstrual cycle, erythrocyte adrenoreactivity, erythrocyte sedimentation rate (ESR), follicular phase, luteal phase, cardiorespiratory index

Физиологическое состояние разных систем организма женщин находится в определенной зависимости от фаз менструального цикла (ФМЦ) [1]. Считается, что перед началом менструации содержание эритроцитов и гемоглобина в крови нарастает (лютеиновая фаза), а в дни менструации происходит потеря крови, что приводит к снижению ее кислородной емкости. Поскольку степень насыщения тканей кислородом обуславливает диапазон адаптивных

возможностей организма, ФМЦ сказывается на характере и выраженности ответных реакций организма на нагрузку, в частности на физическую активность [2–4].

Исследования влияния фаз менструального цикла на функциональные возможности организма девушек, занимающихся спортом, продемонстрировали наиболее выраженные изменения в системе гемодинамики спортсменок. В предовуляторную фазу цикла наблюдалось повышение эко-

номичности ССС девушек со значительном приростом показателя КВ, тогда как в постовуляторной фазе оптимальное состояние организма обеспечивалось за счет повышения мощности дыхательной системы [5]. В динамике ФМЦ спортсменок выявлено значительное повышение индекса напряжения регуляторных систем непосредственно перед менструацией, что является следствием увеличения активности симпатического канала регуляции [6].

Адекватное представление о системных реакциях организма в ответ на изменение его функциональной активности дает адренореактивность эритроцитов (АРЭ), отражающая основные принципы адренореактивности разных клеток [7]. Так, показатель АРЭ использовался для определения устойчивости организма к действию различных нагрузок [8]. Нами было показано влияние на АРЭ уровня двигательной активности юношей [9].

В связи с этим представляет интерес изучение β -адренореактивности эритроцитов у девушек в разные фазы менструального цикла с учетом выносливости организма по отношению к физическим нагрузкам.

Целью исследования явилось изучить связи СОЭ-зависимой адренореактивности эритроцитов с их количественными и морфофункциональными особенностями у девушек в зависимости от менструального цикла и уровня толерантности к физической нагрузке.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняло участие 142 девушки в возрасте 19–23 лет, с регулярным менструальным циклом (77 в фолликулярной и 65 в лютеиновой фазе цикла). Все испытуемые были проинформированы о методах и задачах исследования и дали добровольное письменное согласие.

Для исследований использовалась венозная кровь, взятая натощак в пробирку с антикоагулянтом (цитрат Na 3,8%). Адренореактивность эритроцитов (АРЭ) определяли методом Панченкова путем добавления в пробы крови адреналина в дозах 10^{-5} – 10^{-13} г/мл. Рассчитывали среднюю величину отклонений СОЭ от исходного значения, а также максимальное (АРЭ макс.) отклонение СОЭ от исходного уровня при воздействии на кровь испытанных доз адреналина [10]. Направленность сдвигов оценивали при понижении СОЭ более чем на единицу от исходного как антиагрегационный тип (АнАг), при повышении более чем на единицу – агрегационный тип (Аг), отсутствие сдвигов обозначили как ареактивный тип (Ар). Влияние адреналина на состояние эри-

троцитов рассматривали отдельно для его физиологических (ниже 10^{-9} г/мл) (ФКА) и повышенных стрессовых концентраций (выше 10^{-9} г/мл) (СКА). Фаза цикла определялась методом анкетирования, в группу фолликулиновой фазы вошли девушки на 5–12-й день менструального цикла, лютеиновой – 17–26-й день. Показатели красной крови, такие как количество эритроцитов (RBC), гемоглобин (Hb), гематокрит (HCT), средний объем эритроцитов (MCV), среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците (MCH), средняя концентрация гемоглобина в клетке (MCHC), определяли на гематологическом анализаторе Sysmex KX-21N (Япония).

Физическую выносливость девушек оценивали путем расчета кардиореспираторного индекса – КРИС (в модификации Н.Н. Самко). У испытуемых последовательно измеряли систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД), частоту сердечных сокращений (ЧСС), максимальное давление выдоха (МДВ), определяли жизненную емкость легких (ЖЕЛ) и время максимальной задержки дыхания (МЗД). Используя эти данные, рассчитали КРИС по формуле:

$$\text{КРИС} = \frac{\text{ЖЕЛ} + \text{МДВ} + \text{МЗД} + \text{возраст}}{\text{САД} + \text{ДАД} + \text{ЧСС}}$$

КРИС определяли на протяжении двух фаз физической деятельности: адинамической и динамической. Адинамической фазе соответствует 10-минутный отдых, а динамической – дозированная физическая нагрузка на велотренажере в течение 5 минут и со скоростью не менее 20 км/ч. Процент снижения КРИС после физической нагрузки рассчитывали по формуле:

$$\text{КРИС}\% = \frac{\text{КРИС}_{\text{ад}} - \text{КРИС}_{\text{д}}}{\text{КРИС}_{\text{ад}}} \times 100\%$$

где КРИС_{ад} – физическая выносливость в адинамической фазе; КРИС_д – физическая выносливость после динамической фазы. В соответствии с полученными значениями КРИС % девушки были поделены на две группы: 1-я группа имела значения КРИС % от 0 до 15% (высокая толерантность к физическим нагрузкам) (n = 59), 2-я группа – КРИС % более 15% (низкая толерантность к физическим нагрузкам) (n = 83).

Для статистической обработки использовалась программа Statistica 10. Сравнительный анализ проводился при помощи t-критерия Стьюдента, взаимосвязь изученных показателей оценивали с помощью корреляционного анализа по Спирмену ($p < 0,05$).

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Анализ среднегрупповых значений показателей красной крови девушек на разных стадиях менструального цикла представлен в табл. 1.

Таблица 1

Показатели ($M \pm m$) красной крови девушек на разных стадиях менструального цикла

Показатели	Лютеиновая фаза (n = 65)	Фолликулярная фаза (n = 77)
RBC, *10 ¹² /л	4,43 ± 0,29	4,48 ± 0,38
НВ, г/л	125,8 ± 13,0	128,6 ± 15,0
НСТ, %	37,5 ± 3,38	38,0 ± 3,98
MCV, фл	83,9 ± 5,9	84,3 ± 5,2
MCH, пг	29,2 ± 7,3	28,5 ± 2,7
MCHC, мг/л	33,1 ± 4,0	33,6 ± 1,7

Видно, что все учтенные показатели варьируют в границах возрастной нормы и статистически значимо не различаются в зависимости от цикла.

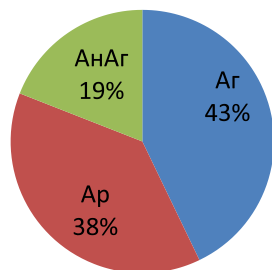
При изучении СОЭ-зависимой адренореактивности у девушек оказалось, что в лютеиновой фазе частота встречаемости разных типов АРЭ при добавлении ФКА является примерно одинаковой. В фолликулярной фазе цикла несколько возрастает доля Аг типа и снижается – АНАг (рис. 1).

Аналогичная картина наблюдается и при внесении в пробы СКА (рис. 2).

Таким образом, фаза менструального цикла девушек несущественно сказывается на распределении разных типов АРЭ. При расчете средних и максимальных отклонений СОЭ под влиянием как ФКА, так и СКА в разные фазы цикла также не выявлено достоверных различий ($p > 0,05$), что согласуется с результатами других исследований. Так, в работе Цветковой Е.Ю. с соавт. (2009) показано, что β-адренореактивность эритроцитов в фолликулярную и лютеиновую фазы цикла значительно не менялась [11].

В связи с влиянием физических нагрузок на состояние красной крови [12] мы изучили показатели крови у девушек в зависимости от толерантности к физической нагрузке (на основании процента снижения КРИС после дозированной физической нагрузки).

Фолликулярная фаза



Лютеиновая фаза

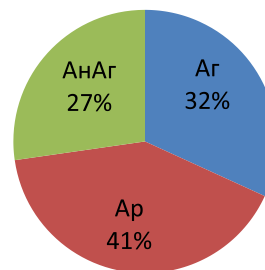
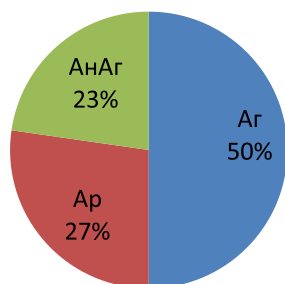


Рис. 1. Распределение встречаемости разных типов АРЭ у девушек в лютеиновую и фолликулярную фазы при внесении ФКА

Фолликулярная фаза



Лютеиновая фаза

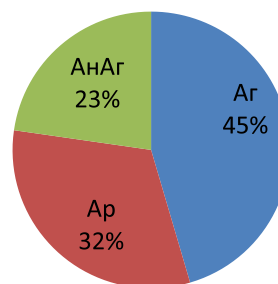


Рис. 2. Распределение встречаемости разных типов АРЭ у девушек в лютеиновую и фолликулярную фазы при внесении СКА

В табл. 2 представлены показатели крови при низкой (КРИС% > 15%) и высокой толерантности (КРИС% от 0 до 15%) к физическим нагрузкам в фолликулярную и лютеиновую фазы цикла.

Из результатов сравнительного анализа вытекает, что у студенток с относительно высокой выносливостью фаза цикла значимо не влияет на морфофункциональные и количественные параметры красной крови. При рассмотрении показателей у девушек с низкой толерантностью к физическим нагрузкам выявлены некоторые особенности показателей крови. У девушек с пониженной толерантностью к физическим нагрузкам обнаружены статистически значимые отличия таких показателей, как общий и среднекорпускулярный объем эритроцитов, которые оказались выше в лютеиновой фазе ($p < 0,05$) (табл. 2), что соответствует данным литературы, согласно которым кровопотери в дни менструации

служат физиологическим раздражителем для усиления эритропоэза.

Сравнительный анализ средних и максимальных величин АРЭ девушек в зависимости от толерантности к физическим нагрузкам в разные фазы менструального цикла представлен в табл. 3.

В лютеиновой фазе цикла в группе девушек с КРИС от 0 до 15% (высокая толерантность) значимых отличий величины средних и максимальных отклонений СОЭ не установлено. В то же время в группе с КРИС более 15% (низкая толерантность) среднегрупповые значения и максимальные отклонения АРЭ при добавлении ФКА в фолликулярную и лютеиновую фазу цикла имели статистически значимые отличия. В фолликулярную фазу менструального цикла величины АРЭ резко сдвинулись в отрицательную сторону по сравнению с показаниями в лютеиновую фазу ($p < 0,05$) (табл. 3).

Таблица 2

Показатели ($M \pm m$) красной крови у девушек с высокой и низкой толерантностью к нагрузкам в фолликулярную и лютеиновую фазы менструального цикла

Показатели	КРИС% от 0 до 15%		КРИС% > 15%	
	Лютеиновая фаза (n = 27)	Фолликулярная фаза (n = 32)	Лютеиновая фаза (n = 38)	Фолликулярная фаза (n = 45)
RBC, $\cdot 10^{12}/л$	4,43 ± 0,29	4,32 ± 0,38	4,4 ± 0,08	4,4 ± 0,06
НВ, г/л	125,8 ± 13,0	120,6 ± 15,0	126,4 ± 2,7	121,1 ± 2,4
НСТ, %	37,5 ± 3,38	37,2 ± 1,08	39,7 ± 0,67*	37,5 ± 0,5*
MCV, фл	86,8 ± 3,27	85,8 ± 2,15	89,4 ± 1,18*	84,6 ± 1,12*
MCH, пг	27,8 ± 1,28	27,8 ± 0,97	28,4 ± 0,44	27,2 ± 0,47
MCHC, г/л	31,9 ± 0,55	31,5 ± 1,1	31,8 ± 3,42	32,2 ± 2,83

Примечание: * – статистически значимое различие параметров крови у девушек с низкой выносливостью при фолликулярной и лютеиновой фазах, $p < 0,05$.

Таблица 3

АРЭ в фолликулярную и лютеиновую фазы менструального цикла девушек с высокой и низкой толерантностью к физическим нагрузкам

	КРИС% от 0 до 15%		КРИС% > 15%	
	Фолликулярная фаза (n = 32)	Лютеиновая фаза (n = 27)	Фолликулярная фаза (n = 45)	Лютеиновая фаза (n = 38)
Среднее отклонение АРЭ при добавлении ФКА, мм/ч	-0,38 ± 1,4	-1,2 ± 0,98	-2,31 ± 0,81*	-0,25 ± 0,6*
Среднее отклонение АРЭ при добавлении СКА, мм/ч	-1,08 ± 1,4	-0,38 ± 1,28	-2,59 ± 1,18	-1,19 ± 0,65
Максимальное отклонение АРЭ при добавлении ФКА, мм/ч	-0,66 ± 1,58	-1,5 ± 1,02	-2,6 ± 0,82*	-0,15 ± 0,72*
Максимальное отклонение АРЭ при добавлении СКА, мм/ч	-1,0 ± 1,57	-0,66 ± 1,37	-2,6 ± 1,22	-1,3 ± 0,73

Примечание: * – статистически значимое различие между показателями АРЭ при добавлении ФКА и СКА у девушек с низкой выносливостью при фолликулярной и лютеиновой фазах, $p < 0,05$.

Кроме того, в группе студенток с более высокой толерантностью к физическим нагрузкам не удалось выявить значимых корреляций базовых показателей красной крови с чувствительностью эритроцитов к адреналину. В то же время у девушек с низкой толерантностью обнаружен ряд взаимосвязей. В частности, установлены значимые корреляции с циклом среднекорпускулярных содержаний и концентрации гемоглобина (МСН: $r = 0,37$, $p = 0,004$; МСНС: $r = -0,38$, $p = 0,02$), а также общего и среднеэритроцитарного объемов (Hct: $r = 0,44$, $p = 0,00$, MCV: $r = 0,51$, $p = 0,00$).

При этом у девушек с низкой толерантностью АРЭ коррелирует с концентрацией гемоглобина в отдельном эритроците: средняя ($r = -0,48$; $p = 0,03$) и максимальная ($r = -0,53$; $p = 0,04$) величины АРЭ при ФКА и (по $r = -0,37$; $p = 0,02$) – при СКА, максимальная величина АРЭ при добавлении ФКА с общей концентрацией гемоглобина ($r = -0,38$; $p = 0,02$).

Заключение

Таким образом, в проведенном исследовании без учета физической выносливости не обнаружено достоверного влияния ФМЦ на количественные, качественные и морфофункциональные характеристики эритроцитов. Вместе с тем установлено, что ФМЦ значимо сказываются на ряде показателей у девушек с низкой толерантностью к физическим нагрузкам. Так, у девушек со значениями КРИС $> 15\%$ в лютеиновую фазу увеличивается общий и среднекорпускулярный объем эритроцитов по сравнению с их уровнем в фолликулярную фазу цикла. Также у девушек с низкой толерантностью повышение среднекорпускулярной концентрации гемоглобина сопровождается возрастанием агрегационной активности эритроцитов, об этом же свидетельствуют обнаруженные у них корреляции с типом АРЭ. В этой группе девушек с увеличением МСН возрастает встречаемость агрегативного типа адренореактивности, т.е. в целом по выборке возрастает склонность к повышению величины СОЭ в присутствии адре-

налина, которая особенно выражена в лютеиновой фазе цикла.

Список литературы

1. Горбунов Р.В. Комплексная оценка функционального состояния женщин в различные фазы менструального цикла // Кубанский научный медицинский вестник. 2006. № 10. С. 55–59.
2. Matsuda T., Furuhashi T., Ogata H., Kamemoto K., Yamada M., Sakamaki-Sunaga M. Effects of the Menstrual Cycle on Serum Carnitine and Endurance Performance of Women. *Int. J. Sports. Med.* 2020. Feb 14. DOI: 10.1055/a-1088-5555.
3. Goldsmith E., Glaister M. The effect of the menstrual cycle on running economy. *J. Sports. Med. Phys. Fitness.* 2020. DOI: 10.23736/S0022-4707.20.10229-9.
4. Julian R., Hecksteden A., Fullagar H.H., Meyer T. The effects of menstrual cycle phase on physical performance in female soccer players. *PLoS One.* 2017. № 12 (3). e0173951. DOI: 10.1371/journal.pone.0173951.
5. Лагутина М.В. Особенности функциональных свойств организма спортсменок фитнес-аэробики в разные фазы менструального цикла // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2013. № 1 (26). С. 117–125.
6. Погодина С.В. Регуляторные влияния менструального цикла на механизмы реактивности организма высококвалифицированных спортсменок в возрасте 16–45 лет // Физическая культура, спорт – наука и практика. 2017. № 1. С. 65–70.
7. Циркин В.И., Громова М.А., Колгина Д.А., Михайлова В.И., Пленусова Я.К. Оценка адренореактивности эритроцитов, основанная на способности адреналина повышать скорость агглютинации эритроцитов // Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 59–60.
8. Тупиневич Г.С., Шамратова В.Г. Адренореактивность эритроцитов как показатель физической выносливости организма // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=28261> (дата обращения: 30.03.2020).
9. Даутова А.З., Хажиева Е.А., Шамратова В.Г., Садыкова Л.З. Ассоциация полиморфизмов генов *BDKRB2* и *ACE* с адренореактивностью эритроцитов у юношей с разной двигательной активностью // Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. № 1. С. 96–107. DOI: 10.34014/2227-1848-2020-1-96-107.
10. Хазипова И.Р., Шамратова В.Г. Способ оценки адренореактивности эритроцитов. Патент РФ № 2011122065/15. 2012.
11. Цветкова Е.Ю., Жуликова О.А., Никитюк К.С., Софьяна А.С., Патурова И.Г. Вариабельность сердечного ритма и адренореактивность эритроцитов в зависимости от фазы менструального цикла // Вятский медицинский вестник. 2009. № 1. С. 108.
12. Дроздов Д.Н., Кравцов А.В. Влияние физической нагрузки на показатели периферической крови человека // Вестник МДПУ имени И.П. Шамякина. 2015. № 1 (45). С. 23–28.