

ИММУНОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 571.27:618.2:612.112.91

EDN: MMBUEO

doi: 10.17072/1994-9952-2025-3-305-312



**Ассоциация показателей обмена ионов железа и
количественного соотношения разных популяций лейкоцитов
периферической крови при беременности**

**Екатерина Григорьевна Орлова^{1, 2✉}, Ольга Леонидовна Горбунова³,
Нина Вячеславовна Каримова⁴**

^{1,3} Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН, Пермь, Россия

^{2✉} Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, orlova_katy@mail.ru

³ olia15_77@mail.ru

⁴ Централизованная клиничко-диагностическая лаборатория, Пермь, Россия, Karimova.n@ckdl.ru

Аннотация. Изучены показатели обмена ионов железа и количественный состав лейкоцитов периферической крови и красной крови у здоровых женщин в I триместре нормальной беременности. Установлено, что концентрация сывороточного ферритина имеет прямую взаимосвязь с количеством сывороточного железа, но обратную зависимость с процентным и абсолютным содержанием нейтрофилов и моноцитов, а также средней концентрацией гемоглобина в эритроцитах. Выявлена положительная корреляция между уровнем сывороточного железа и общим количеством лейкоцитов. Полученные результаты расширяют наше понимание взаимосвязи показателей метаболизма ионов железа с количественными характеристиками лейкоцитов периферической крови при физиологической беременности.

Ключевые слова: ферритин, ионы железа, лейкоциты периферической крови, беременность

Для цитирования: Орлова Е. Г., Горбунова О. Л., Каримова Н. В. Ассоциация показателей обмена ионов железа и количественного соотношения разных популяций лейкоцитов периферической крови при беременности // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2025. Вып. 3. С. 305–312. <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-305-312>.

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-25-00388.

IMMUNOLOGY

Original article

**Association of iron ion metabolism and the quantitative ratio
of different populations of peripheral blood leukocytes
during pregnancy**

Ekaterina G. Orlova^{1, 2✉}, Olga L. Gorbunova³, Nina V. Karimova⁴

^{1,3} Perm Federal Research Center, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of the RAS, Perm, Russia

^{2✉} Perm State University, Perm, Russia, orlova_katy@mail.ru

³ olia15_77@mail.ru

⁴ Karimova.n@ckdl.ru

Abstract. The study examined the iron ion exchange parameters and the quantitative composition of peripheral blood leukocytes and red blood cells in healthy women during the first trimester of normal pregnancy. It was found that the serum ferritin concentration has a direct relationship with the serum iron concentration, but an inverse relationship with the percentage and absolute number of neutrophils and monocytes, as well as the average hemoglobin concentration in red blood cells. A positive correlation was found between serum iron levels and the total number of white blood cells. The obtained results expand our understanding of the relationship between iron ion metabolism indicators and the quantitative characteristics of peripheral blood leukocytes during physiological pregnancy.

Keywords: ferritin, iron ions, peripheral blood leukocytes, pregnancy

For citation: Orlova E. G., Gorbunova O. L., Karimova N. V. [Association of iron ion metabolism and the quantitative ratio of different populations of peripheral blood leukocytes during pregnancy]. *Bulletin of Perm University. Biology*. Iss. 3 (2025): pp. 305-312. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17072/1994-9952-2025-3-305-312>.

Acknowledgments: the work was carried out by Russian Science Foundation: N 25-25-00388.

Введение

При беременности иммунореактивность организма матери претерпевает существенные изменения, что необходимо для предотвращения отторжения полуаллогенного плода и сохранения беременности [Ширшев, 2009]. Основные изменения касаются снижения противомикробной резистентности организма беременной женщины в силу системного гормонально-зависимого угнетения цитотоксических реакций адаптивного иммунитета [Ширшев, Куклина, Баженова, 2008; Циркин и др., 2015]. Нейтрофилы являются ведущими эффекторами неспецифической резистентности организма. Беременность характеризуется развитием нейтрофильного лейкоцитоза, что отчасти компенсирует снижение антимикробной резистентности организма [Ширшев, Куклина, Баженова, 2008; Циркин и др., 2015]. Однако фагоцитарная и цитотоксическая активность нейтрофилов при беременности снижаются [Ширшев, Куклина, Баженова, 2008; Орлова и др., 2024]. Метаболизм ионов железа играет критическую роль в регуляции функций клеток иммунной системы, в том числе и нейтрофилов. Так, снижение концентрации ионов железа в плазме угнетает пролиферацию, дифференцировку и эффекторные функции нейтрофилов [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Нейтрофилы больных железодефицитной анемией характеризуются сниженной бактерицидной и фагоцитарной активностью, способностью к развитию окислительного взрыва, формированию внеклеточных ловушек [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Подобные изменения объясняются тем, что ионы железа входят в состав пероксидгенирующих и нитроксидгенирующих ферментов, а также миелопероксидазы и каталазы [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Функции митохондрий и активность ферментов дыхательной цепи также зависят от присутствия ионов железа [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Все вышесказанное свидетельствует о значимости изучения при беременности взаимосвязи показателей метаболизма ионов железа с количественными характеристиками лейкоцитов периферической крови, среди которых нейтрофилы являются доминирующей популяцией. Актуальность исследования подтверждается высокой распространенностью железодефицитных анемий среди беременных, что является тяжелым осложнением беременности [Юрасов и др., 2023].

Одним из ключевых факторов, характеризующих метаболизм ионов железа, является концентрация белка ферритина. Ферритин представляет собой водорастворимый гликопротеиновый комплекс, обладающий ферроксидазной активностью [Arosio, Elia, Poli, 2017]. Ферритин сосредоточен в цитоплазме клеток, где он связывает ионы железа. Макрофаги ретикулоэндотелиальной системы печени, селезенки, костного мозга содержат основные запасы внутриклеточного железа в организме. При снижении уровня железа в плазме происходит протеолиз ферритина и высвобождение железа [Arosio, Elia, Poli., 2017]. Высокие уровни ионов железа в плазме стимулируют синтез ферритина в гепатоцитах и запасаение железа. У здоровых взрослых концентрация ферритина в сыворотке прямо коррелирует с количеством депонированного железа и характеризует запасы железа в организме [Arosio, Elia, Poli., 2017]. Помимо ретикулоэндотелиальной системы печени и селезенки ферритин присутствует практически во всех тканях организма, в том числе и в клетках иммунной системы [Arosio, Elia, Poli., 2017]. При железодефицитной анемии у беременных кроме снижения уровня гемоглобина и количества сывороточного железа снижаются уровень ферритина, количество и функциональная активность гранулоцитов [Терещенко, Пахмутова, 2012; Бобров, Репина, Клиценко, 2011]. Определение уровня ферритина важно для ранней диагностики и своевременной профилактики анемии, поскольку ферритин напрямую отражает запасы железа в организме [Матюшичев, Шамратова, 2005; Сидорко, Калмаханов, 2020].

Однако взаимосвязь уровня ферритина, ионов железа в периферической крови и количественных характеристик субпопуляций лейкоцитов при физиологической беременности не изучена. Поэтому цель данной работы изучить ассоциации показателей метаболизма ионов железа и количественных характеристик лейкоцитов периферической крови при физиологической беременности.

Материалы и методы исследования

Проведено ретроспективное исследование лабораторных показателей периферической крови 34 женщин, ранее проходивших обследования в рамках пренатального скрининга I триместра беременности в ООО «Централизованная клиничко-диагностическая лаборатория», г. Пермь. Средний возраст и срок беременности, представленные в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей Me(Q1-Q3), составили 29 лет (22–35) и 12 недель (9–12) соответственно. Объектом исследования являлась венозная кровь, которую получали из локтевой вены утром натощак в вакуумные пробирки с этилендиаминтетрауксусной

кислотой в качестве антикоагулянта после 8 ч голодания. Использовались следующие критерии включения: добровольное информированное согласие на использование биологического материала, отсутствие патологий беременности в прошлом и настоящем; отсутствие острых и хронических заболеваний; отсутствие лабораторных и клинических признаков анемии, отрицание диет, приема гормональных, противовоспалительных или антибактериальных препаратов. Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. с ее последующими изменениями или сопоставимым нормам этики и одобрено локальным этическим комитетом ИЭГМ УрО РАН (протокол № 16 от 05.06.2022).

В периферической крови были изучены показатели красной крови (количество эритроцитов, уровень гемоглобина, показатели насыщенности эритроцитов гемоглобином и анизоцитоза эритроцитов) субпопуляционный состав лейкоцитов на гематологическом анализаторе DxH800-Beckman Coulter. Уровень ферритина в сыворотке крови детектировали на анализаторе AU480-Beckman методом турбодиметрии. Концентрацию хорионического гонадотропина для верификации срока беременности определяли методом иммунохемилюминесцентного анализа на анализаторе AU480-Beckman. Уровень ионов железа в сыворотке крови изучали калориметрическим методом на анализаторе Beckman Coulter.

Статистический анализ проводили с помощью программы Prism v.8.0.1 (Graphpad, США). Для проверки нормальности распределения использовали критерий Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Поскольку данные не подчинялись закону нормального распределения, то были представлены в виде медианы (Me), нижних (LQ) и верхних квартилей (UQ). Корреляционные взаимосвязи анализировали с помощью корреляции Спирмена ($p < 0.05$). Анализ отличий между независимыми группами проводили с использованием U -критерия Манна – Уитни.

Результаты и обсуждение

В исследуемую группу были включены женщины в I триместре физиологической беременности, у которых по данным проведенных исследований отсутствовали клинические и лабораторные маркеры железодефицитной анемии. Количество эритроцитов, уровень гемоглобина, показатель анизоцитоза эритроцитов, концентрация сывороточного железа и ферритина были в пределах диапазона референсных значений для данного срока беременности (табл. 1). Анализ литературы показывает, что уровень ферритина в сыворотке крови снижается, пропорционально сроку беременности [Терещенко, Пахмутова, 2012; Юрасов и др., 2023]. А референсные значения для уровня ферритина в сыворотке крови в разные триместры беременности имеют большие различия, что, очевидно, обусловлено разным сроком беременности у обследуемых и методом детекции ферритина [Сидорко, Калмаханов 2005]. Большинство авторов считают нормой для женщин репродуктивного возраста и беременных концентрацию в пределах 15–150 нг/мл [Сидорко, Калмаханов 2005; Терещенко, Пахмутова, 2012; Юрасов и др., 2023]. В исследовании С.А. Боброва с соавторами показано, что у женщин репродуктивного возраста и здоровых беременных в I триместре нормальная концентрация сывороточного ферритина должна превышать 63.0 нг/мл [Бобров, Репина, Клиценко, 2011]. В исследованной нами группе на фоне отсутствия клинических и лабораторных маркеров железодефицитной анемии уровень ферритина в I триместре беременности варьировал от 27.2 до 53.7 нг/мл, а концентрация сывороточного железа составляла от 16.25 до 19.30 мкмоль/л (табл. 1). Оба показателя соответствовали диапазону референсных значений, при этом концентрация ферритина имела прямую положительную корреляцию с уровнем сывороточного железа, что подтверждает значимость определения сывороточного ферритина для оценки запасов железа в организме (табл. 1). Подобные взаимосвязи отмечены в работах многих авторов.

Таблица 1

Гематологические показатели женщин в I триместре физиологической беременности
[Hematological parameters in women during the first trimester of physiological pregnancy]

	Показатель	Me(Q1-Q3)	Референсные значения	Коэффициент корреляции Спирмена с концентрацией ферритина, R	Уровень значимости коэффициента корреляции Спирмена, p
1	Эритроциты, $10^{12}/л$	4.5 (4.1-4.8)	3.5-5.2	-0.25	0.27
2	Гемоглобин, г/л	127.0 (125.1-137.2)	120-152	0.04	0.87
3	Гематокрит, %	39.1 (36.8-41.1)	36.0-42.0	0.03	0.90
4	Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	28.7 (28.3-30.1)	27.0-34.0	-0.47	0.03
5	Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	338.2 (330.2-340.1)	320-370	-0.46	0.03

	Показатель	Me(Q1-Q3)	Референсные значения	Коэффициент корреляции Спирмена с концентрацией ферритина, R	Уровень значимости коэффициента корреляции Спирмена, p
6	Показатель анизоцитоза эритроцитов, %	13.4 (12.9-13.8)	11.5-14.5	0.13	0.59
7	Средний объем тромбоцита, фл	10.5 (9.1-10.6)	7.5-11.2	-0.02	0.94
8	Тромбоциты, 10 ⁹ /л	286 (251-301)	150-400	0.11	0.65
9	Лейкоциты, 10 ⁹ /л	6.86 (6.19-7.42)	4.37-9.68	-0.25	0.27
10	Нейтрофилы, %	57.4 (55.2-63.2)	42.5-73.2	-0.53	0.01
11	Нейтрофилы, 10 ⁹ /л	3.94 (3.42-4.69)	2.0-7.2	-0.53	0.01
12	Моноциты, %	7.30 (6.72-7.65)	4.3-11.0	-0.44	0.04
13	Моноциты, 10 ⁹ /л	0.50 (0.42-0.55)	0.3-0.7	-0.53	0.01
14	Лимфоциты, %	33.8 (26.9-36.4)	18.2-47.4	-0.41	0.06
15	Лимфоциты, 10 ⁹ /л	2.22 (1.95-2.25)	1.2-3.2	0.32	0.15
16	Эозинофилы, %	1.6 (1.24-2.07)	0.0-5.0	-0.03	0.91
17	Эозинофилы, 10 ⁹ /л	0.11 (0.08-0.16)	0-0.3	-0.09	0.69
18	Базофилы, %	0.45 (0.35-0.50)	0.0-1.0	-0.56	0.01
19	Базофилы, 10 ⁹ /л	0.03 (0.02-0.03)	0-0.1	-0.44	0.05
20	СОЭ, мм/ч	7.2 (3.1-10.3)	1-20	0.12	0.59
21	Железо, мкмоль/л	17.40 (16.25-19.30)	13.2-30.43	0.53	0.01
22	Ферритин, нг/мл	50.9 (27.2-53.7)	15-150	-	-

Примечание: данные представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей Me(Q1-Q3).

Изучение корреляционных взаимосвязей ферритина с показателями красной крови выявило следующие закономерности. Так, уровень ферритина имел обратную зависимость со средним объемом эритроцитов и содержанием гемоглобина в эритроците (табл. 1), тогда как достоверных взаимосвязей с общим уровнем гемоглобина выявлено не было. Отсутствие прямой зависимости между уровнем гемоглобина и ферритина отмечается многими авторами, поскольку уровень этих белков в периферической крови отражает разные физиологические процессы [Матюшичев, Шамратова, 2005; Сидорко, Калмаханов, 2020]. Количество ферритина в сыворотке крови показывает запасы железа во внутриклеточных депо организма, главным образом, в гепатоцитах, клетках селезенки, костного мозга, которые расходуются не только для синтеза гемоглобина. Поэтому уровень ферритина снижается уже в предлатентный период дефицита железа, когда истощаются запасы железа в депо, но поступление его для гемопоэза не снижается, т. е. концентрация гемоглобина остается в пределах допустимых значений [Сидорко, Калмаханов, 2020]. Выявленные обратные ассоциации количества ферритина с содержанием гемоглобина в эритроцитах, по-видимому, объясняется взаимосвязью с интенсивностью расходования ионов железа на гемопоэз. Можно полагать, что выявленная обратная корреляция отражает характерный для беременности процесс снижения концентрации ферритина из-за увеличения расходования ионов железа на фоне компенсаторного увеличения синтеза эритроцитов.

Изучение корреляционных взаимосвязей уровня ферритина с количеством лейкоцитов показывает обратную, но не достоверную зависимость с общим количеством лейкоцитов, а также достоверную обратную зависимость с относительным и абсолютным числом нейтрофилов, базофилов и моноцитов (табл. 1). Известно, что уровень лейкоцитов нарастает в динамике беременности за счет увеличения абсолютного количества нейтрофилов, а число моноцитов и лимфоцитов не меняется [Sanci, Töz, Ince, 2017; Ozel, Davutoglu, Yurtkal, 2020]. Можно полагать, что выявленная обратная зависимость между концентрацией ферритина и количеством нейтрофилов и моноцитов обусловлена интенсивным расходованием ионов железа для их образования и дифференцировки в костном мозге. Строгая зависимость гранулоцитопоза от уровня ионов железа показана в работах нескольких авторов [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Так, даже незначительное снижение концентрации ионов железа в плазме угнетало пролиферацию, дифференцировку и эффекторные функции нейтрофилов, но не лимфоцитов [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. В экспериментах на мышах индуцированная гипоферремия снижала дифференцировку и выход в кровоток нейтрофилов, присутствие нейтрофилов в селезенке и брюшной полости, а также их фагоцитарную активность [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022]. Эти же авторы отмечают, что лимфопоэз в значительно меньшей степени зависит от присутствия ионов железа [Frost et al., 2022; Kuźmicka et al., 2022].

Поскольку в публикациях нескольких авторов показано, что уровень ферритина в 30 нг/мл является критичным для выявления снижения запасов ионов железа и диагностики предлатентной стадии железо-

дефицитной анемии [Сидорко, Калмаханов 2005; Бобров, Репина, Клиценко, 2011; Терещенко, Пахмутова, 2012; Юрасов и др., 2023], мы разделили исследуемую группу в соответствии с концентрацией ферритина. В первую группу были включены обследуемые, у которых концентрация ферритина была менее 30 нг/мл (n=19), а вторую группу составили обследуемые с концентрацией ферритина более 30 нг/мл (n=15) (табл. 2).

Таблица 2

**Гематологические показатели женщин в I триместре физиологической беременности
в зависимости от концентрации ферритина в сыворотке крови**
[Hematological parameters of women in the first trimester of physiological pregnancy, depending
on the concentration of ferritin in the blood serum]

	Показатель	Референсные значения	Концентрация ферритина меньше 30 нг/мл Ме(Q1-Q3)	Концентрация ферритина больше 30 нг/мл Ме(Q1-Q3)
			Группа А	Группа Б
1	Эритроциты, $10^{12}/л$	3.5-5.2	4.5 (4.1-4.7)	4.5 (4.0-4.8)
2	Гемоглобин, г/л	120-152	127.0 (125.1-137.2)	127.0 (123.2-133.2)
3	Гематокрит, %	36.0-42.0	39.1 (36.8-41.1)	39.0 (36.7-39.2)
4	Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг	27.0-34.0	28.7 (28.3-30.1) <i>R=-0.47; p=0.03 к уровню ферритина</i>	28.2 (27.3-29.1)
5	Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л	320-370	338.2 (330.2-340.1) <i>R=-0.46; p=0.03 к уровню ферритина</i>	338.0 (329.2-344.1)
6	Показатель анизоцитоза эритроцитов, %	11.5-14.5	13.4 (12.9-13.8)	13.4 (12.8-14.5)
7	Средний объем тромбоцита, фл	7.5-11.2	10.5 (9.1-10.6)	10.0 (7.9-10.5)
8	Тромбоциты, $10^9/л$	150-400	286 (251-301)	275 (225-297)
9	Лейкоциты, $10^9/л$	4.37-9.68	6.86 (6.19-7.42) <i>R=0.44; p=0.04 к уровню ионов железа</i>	6.86 (5.59-7.93) <i>R=0.44; p=0.04 к уровню ионов железа</i>
10	Нейтрофилы, %	42.5-73.2	57.4 (55.2-63.2) <i>R=-0.51; p=0.01 к уровню ферритина</i>	57.4 (57.2-67.2)
11	Нейтрофилы, $10^9/л$	2.0-7.2	3.94 (3.42-4.69) <i>R=-0.51; p=0.01 к уровню ферритина</i>	3.94 (3.2-5.33)
12	Моноциты, %	4.3-11.0	7.30 (6.72-7.65)	7.30 (6.5-7.61)
13	Моноциты, $10^9/л$	0.3-0.7	0.50 (0.42-0.55)	0.50 (0.38-0.65)
14	Лимфоциты, %	18.2-47.4	33.8 (26.9-36.4)	33.0 (32.3-37.1)
15	Лимфоциты, $10^9/л$	1.2-3.2	2.22 (1.95-2.25)	2.20 (1.75-2.29)
16	Эозинофилы, %	0.0-5.0	1.6 (1.24-2.07)	1.6 (1.3-2.2)
17	Эозинофилы, $10^9/л$	0-0.3	0.11 (0.08-0.16)	0.11 (0.08-0.17)
18	Базофилы, %	0.0-1.0	0.45 (0.35-0.50)	0.45 (0.32-0.52)
19	Базофилы, $10^9/л$	0-0.1	0.03 (0.02-0.03)	0.03 (0.01-0.03)
20	СОЭ, мм/ч	1-20	6 (2-8)	11 (7-15.3) <i>p=0.04 к группе А R=0.53; p=0.01 к уровню ферритина</i>
21	Железо, мкмоль/л	13.2-30.43	17.40 (16.25-19.30) <i>R=0.50; p=0.01 к уровню ферритина</i>	27.5 (22.3-29.1) <i>p=0.02 к группе А R=0.53; p=0.01 к уровню ферритина</i>
22	Ферритин, нг/мл	15-150	20.1 (17.2-33.7)	57.7 (36.6-83.9) <i>p=0.02 к группе А</i>

Примечание: данные представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей Ме(Q1-Q3). Анализ отличий между группами с уровнем ферритина менее 30 нг/мл (группа А) и более 30 нг/мл (группа Б) проводили с использованием U-критерия Манна – Уитни. Взаимосвязь показателей анализировали, рассчитывая коэффициент корреляции Спирмена (R).

Установлено, что выделенные по уровню ферритина группы не отличались по показателям красной крови, а также количеству и субпопуляционному составу лейкоцитов (табл.2). Однако были выявлены достоверные отличия по показателю СОЭ и уровню сывороточного железа между группами, хотя оба показателя находились в пределах референсных значений. Так, в группе с высоким уровнем ферритина (более 30 нг/мл) определялись достоверно большее количество сывороточного железа и более высокий показатель СОЭ (табл. 2) по сравнению с группой с низким уровнем ферритина (менее 30 нг/мл). Также в группе с высоким уровнем ферритина показана положительная корреляция показателя СОЭ с уровнем ферритина (табл. 2). Следует отметить, что физиологическое течение беременности характеризуется увеличением уровня СОЭ по причине увеличения содержания белков, главным образом относящихся к белкам острой фазы воспаления, к которым принадлежит и ферритин, поэтому выявленная взаимосвязь не является случайной. Однако все упомянутые показатели находились в пределах референсных значений, что свидетельствует об отсутствии воспалительных процессов.

В обеих группах выявлены прямые корреляции количества лейкоцитов с уровнем ионов железа, что играет важную роль ионов железа для синтеза лейкоцитов (табл. 2).

В группе с низким уровнем ферритина (менее 30 нг/мл) сохранялись отрицательные корреляции ферритина с относительным и абсолютным содержанием нейтрофилов и моноцитов, и с количеством гемоглобина в эритроцитах, описанные нами ранее (табл. 1, 2), тогда как в группе с высоким уровнем ферритина эти корреляции присутствовали, но не были статистически достоверными, что, очевидно, связано с меньшим количеством участников в данной группе. Полученные результаты подтверждают описанные выше предположения о взаимосвязи снижения концентрации ферритина вследствие расходования запасов железа для синтеза эритроцитов и гранулоцитов при беременности. Можно полагать, что определение уровня ферритина при беременности значимо не только для контроля запасов ионов железа в организме, но и для прогнозирования гранулопоза.

Заключение

У женщин в I триместре физиологической беременности выявлена статистически значимая связь между основными показателями обмена ионов железа, показателями красной крови, общим содержанием лейкоцитов, а также относительным и абсолютным количеством нейтрофилов и моноцитов. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли ионов железа и ферритина, отражающих запасы ионов железа в организме, в регуляции количественного и качественного состава лейкоцитов периферической крови при беременности. Выявленные ассоциации дополняют наше понимание механизмов регуляции функций клеток иммунной системы при беременности и перспективны для направленной модуляции их функций.

Список источников

1. Бобров С.А., Репина М.А., Клиценко О.А. Сывороточный ферритин как фактор прогноза развития железодефицитной анемии у беременных женщин // Журнал акушерства и женских болезней. 2011. Т. 60, № 3. С. 49–55. EDN: OFSQIX.
2. Матюшичев В.Б., Шамратова В.Г. Взаимосвязи показателей эритроцитов и лейкоцитов крови при железодефицитной анемии // Biological Communications. 2005. № 1. С. 93–97. EDN: RTSYVF.
3. Орлова Е.Г. и др. Метаболические особенности гранулоцитов периферической крови при физиологической беременности // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2024. Том 21, № 3. С. 233–241. EDN: FYWKOM.
4. Сидорко Т.Н., Калмаханов С.Б. Анемия беременных и ферритин: природа ничего не создает напрасно (Обзор литературы) // Вестник КазНМУ. 2020. № 2. С. 31–36. EDN: MIQQOD.
5. Терещенко С.Ю., Пахмутова О.А. К вопросу о нормативных значениях уровня сывороточного ферритина для диагностики железодефицитного состояния // Гематология и трансфузиология. 2012. Т. 57, № S3. С. 140. EDN: QOAGYK.
6. Циркин В.И. и др. Роль нейтрофилов в физиологическом течении беременности и родов и некоторых акушерских осложнениях // Вестник Уральской академической науки. 2015. № 4(55). С. 75–86. EDN: VKFDNH.
7. Ширшев С.В. Иммунология материнско-фетальных взаимодействий. Екатеринбург, 2009. 582 с.
8. Ширшев С.В., Куклина Е.М., Баженова А.В. Влияние прогестерона на фагоцитарную и окислительную активность моноцитов и нейтрофилов // Вестник Пермского университета. 2008. Вып. 9(25), Биология. С. 87–90.

9. Юрасов В.В. и др. Изучение связи концентрации железа с показателями ферритина и трансферрина в сыворотке крови // Молекулярная медицина. 2023. Т. 21, № 1. С. 37–42. DOI: 10.29296/24999490-2023-01-05

10. Arosio P., Elia L., Poli M. Ferritin, cellular iron storage and regulation // *IUBMB Life* 2017. Vol. 69. P. 414-422. DOI: 10.1002/iub.1621.

11. Frost J.N. et al. Plasma iron controls neutrophil production and function // *Sci. Adv.* 2022. Vol. 8(40). Art. eabq5384. DOI: 10.1126/SCIADV.ABQ5384.

12. Kuźmicka W. et al. Iron excess affects release of neutrophil extracellular traps and reactive oxygen species but does not influence other functions of neutrophils // *Immunol. Cell. Biol.* 2022. Vol. 100(2). P. 87–100. DOI: 10.1111/IMCB.12509.

13. Ozel A., Davutoglu E.A., Yurtkal A. How do platelet-to-lymphocyte ratio and neutrophil-to-lymphocyte ratio change in women with preterm premature rupture of membranes, and threaten preterm labour? // *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. 2020. Vol. 40(2). P. 195–199. DOI: 10.1080/01443615.2019.1621807.

14. Sancı M., Töz E., Ince O. Reference values for maternal total and differential leukocytes counts in different trimesters of pregnancy and the initial postpartum period in western Turkey // *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. 2017. Vol. 37(5). P. 571–575. DOI: 10.1080/01443615.2016.1268575.

References

1. Bobrov S.A., Repina M.A., Klicenko O.A. [Serum ferritin as a prognostic factor for the development of iron deficiency anemia in pregnant women]. *Žurnal akušerstva i ženskih boleznej*. V. 60, No. 3 (2011): pp. 49-55. (In Russ.). EDN: OFSQIX.

2. Matyushichev V.B., Shamratova V.G. [Interrelation of indicators of erythrocytes and leukocytes of blood in iron deficiency anemia]. *Biological Communications*. No. 1 (2005): pp. 93-97. (In Russ.). EDN: RTSYVF.

3. Orlova E.G., Loginova O.A., Gorbunova O.L., Shirshov S.V. [Metabolic features of peripheral blood granulocytes in physiological pregnancy]. *Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademičeskoj nauki*. V. 21, No. 3 (2024): pp. 233-241. (In Russ.). EDN: FYWKOM.

4. Sidorko T.N., Kalmakhanov S.B. [Anemia of pregnant women and ferritin: nature does not create anything in vain (Literature review)]. *Vestnik KazNMU*. No. 2 (2020): pp. 31-36. (In Russ.). EDN: MIQQOD.

5. Tereshchenko S.Yu., Pakhmutova O.A. [On the issue of the normative values of serum ferritin levels for the diagnosis of iron deficiency]. *Gematologija i transfuziologija*. V. 57, No. S3 (2012): p. 140. (In Russ.). EDN: QOAGYK.

6. Tsikin V.I., Anisimov K.Yu., Polezhaeva T.V., Zaitseva O.O., Khudyakov A.N., Solomina O.N., Khlybova S.V., Dmitrieva S.L., Popova V.S. [The role of neutrophils in the physiological course of pregnancy and childbirth and some obstetric complications]. *Vestnik Ural'skoj akademičeskoj nauki*. No. 4(55) (2015): pp. 75-86. (In Russ.). EDN: VKFDNH.

7. Shirshov S.V. *Immunologija materinsko-fetal'nyh vzaimodejstvij* [Immunology of maternal-fetal interactions]. Ekaterinburg, 2009. 582 p. (In Russ.).

8. Shirshov S.V., Kuklina E.M., Bazhenova A.V. [The effect of progesterone on the phagocytic and oxidative activity of monocytes and neutrophils]. *Vestnik Permskogo universiteta*. Iss. 9(25). *Biologiya* (2008): pp. 87-90. (In Russ.).

9. Yurasov V.V., Sadykov A.R., Morozova G.D., Namiot E.D., Logvinenko A.A., Skalny A.V. [Study of the relationship of iron concentration with the ferritin and transferrin in blood serum]. *Molekuljarnaja medicina*. No. 1 (2023): pp. 37-42. DOI: 10.29296/24999490-2023-01-05.

10. Arosio P., Elia L., Poli M. Ferritin, cellular iron storage and regulation. *IUBMB Life*. V. 69 (2017): pp. 414-422. DOI: 10.1002/iub.1621.

11. Frost J.N., Wideman S.K., Preston A.E., Teh M.R., Ai Z., Wang L., Cross A., White N., Yazicioglu Y., Bonadonna M., Clarke A.J., Armitage A.E., Galy B., Udalova I.A., Drakesmith H. Plasma iron controls neutrophil production and function. *Sci. Adv.* V. 8(40) (2022). Art. eabq5384. DOI: 10.1126/SCIADV.ABQ5384.

12. Kuźmicka W., Manda-Handzik A., Mroczek A., Cieloch A., Moskalik A., Demkow U., Wachowska M., Ciepiela O. Iron excess affects release of neutrophil extracellular traps and reactive oxygen species but does not influence other functions of neutrophils. *Immunol. Cell. Biol.* V. 100(2). (2022): pp. 87-100. DOI: 10.1111/imcb.12509.

13. Ozel A., Davutoglu E.A., Yurtkal A. How do platelet-to-lymphocyte ratio and neutrophil-to-lymphocyte ratio change in women with preterm premature rupture of membranes, and threaten preterm labour? *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. V. 40(2) (2020): pp. 195-199. DOI: 10.1080/01443615.2019.1621807.

14. Sancı M., Töz E., Ince O. Reference values for maternal total and differential leukocytes counts in different trimesters of pregnancy and the initial postpartum period in western Turkey. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*. V. 37(5) (2017): pp. 571-575. DOI: 10.1080/01443615.2016.1268575.

Статья поступила в редакцию 05.09.2025; одобрена после рецензирования 12.09.2025; принята к публикации 18.09.2025.

The article was submitted 05.09.2025; approved after reviewing 12.09.2025; accepted for publication 18.09.2025.

Информация об авторах

Е. Г. Орлова – д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунорегуляции, доцент кафедры микробиологии и иммунологии;

О. Л. Горбунова – канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории иммунорегуляции;

Н. В. Каримова – руководитель Централизованной клинико-диагностической лаборатории.

Information about the authors

E. G. Orlova – doctor of biology, leading researcher of laboratory of immunoregulation, associate professor at the department of microbiology and immunology;

O. L. Gorbunova – candidate of biology, researcher of laboratory of immunoregulation;

H. V. Karimova – Head of the Centralized Clinical and Diagnostic Laboratory.

Вклад авторов:

Орлова Е. Г. – концепция исследования; написание статьи.

Горбунова О. Л. – оформление статьи; статистическая обработка результатов.

Каримова Н. В. – выполнение лабораторных исследований.

Contribution of the authors:

Orlova E. G. – research concept; writing of the review.

Gorbunova O. L. – the design of the article; statistical processing of results.

Karimova H. V. – performing laboratory tests.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.