

Электрокинетические показатели эритроцитов как диагностические критерии преэклампсии

С. А. Гаспарян¹, А. Г. Топузов², И. А. Василенко^{3, 4}

¹ ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна», Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования, Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ставрополь, Россия

³ ГБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского», Москва, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» Минобрнауки России, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Оценить особенности изменений морфофункционального статуса эритроцитов периферической крови при нормальной беременности и в условиях преэклампсии на основе экспресс-анализа биофизических показателей клеток.

Материалы и методы. Обследованы 136 беременных в сроке гестации 22–24 и 34–35 недель. Группы сравнения составили: 40 беременных с умеренной преэклампсией (ПЭ), 30 беременных с тяжелой преэклампсией, 30 беременных с хронической артериальной гипертензией (ХАГ), 36 женщин с нормально протекающей беременностью, не имеющих признаков гипертензивных расстройств. Электрокинетические особенности эритроцитов периферической крови исследовали методом клеточного микроэлектрофореза, анализировали среднее значение амплитуды колебаний подвижных эритроцитов (мкм) и долю подвижных клеток (%).

Результаты. В срок 22–24 недели у беременных с умеренной ПЭ% неподвижных эритроцитов повышался в 2,8 раза ($p < 0,05$), значения амплитуды колебаний подвижных клеток снижались на 21% ($p < 0,05$). У беременных с тяжелой ПЭ доля неподвижных эритроцитов увеличивалась в 3,2 раза ($p < 0,05$), амплитуда снижалась на 30% ($p < 0,05$). У беременных с ХАГ отмечено незначительное увеличение процента неподвижных клеток (8,2 vs 6,8%) и тенденция к снижению средней амплитуды (21,5 vs 23,2 мкм). В срок 34–35 недель в группе с умеренной ПЭ% неподвижных эритроцитов превышал соответствующий показатель женщин с физиологической беременностью в 3,3 раза ($p < 0,05$), средняя амплитуда снижалась на 28% ($p < 0,05$), у беременных с тяжелой ПЭ% неподвижных эритроцитов увеличился в 3,7 раза ($p < 0,05$), амплитуда снижалась на 36% ($p < 0,05$). У беременных с ХАГ сохранялась тенденция к незначительному увеличению доли неподвижных эритроцитов.

Заключение. Функциональная и морфологическая полноценность эритроцитов как активных участников патогенеза преэклампсии может быть объективно оценена с использованием показателей электрокинетической активности клеток, а эритроциты можно рассматривать в качестве биомаркеров заболевания и перспективных инструментов стратификации пациенток для раннего выявления беременностей высокого риска.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: беременность, преэклампсия, эритроцит, микроэлектрофорез.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Electrokinetic indices of erythrocytes as diagnostic criteria for preeclampsia

S. A. Gasparyan¹, A. G. Topuzov², I. A. Vasilenko^{3, 4}

¹ A. I. Burnazyan State Research and Development Center, Medical and Biological University of Innovation and Continuous Education, Moscow, Russia

² State Medical University, Stavropol, Russia

³ M. F. Vladimirsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI), Moscow, Russia

⁴ Russian State University named after A. N. Kosygin, Moscow, Russia

SUMMARY

Objective. To evaluate the features of changes in the morphofunctional status of peripheral blood erythrocytes during normal pregnancy and in preeclampsia based on rapid analysis of biophysical parameters of cells.

Materials and methods. A total of 136 pregnant women were examined at 22–24 and 34–35 weeks of gestation. The comparison groups included: 40 pregnant women with moderate preeclampsia (PE), 30 pregnant women with severe preeclampsia, 30 pregnant women with chronic arterial hypertension (CAH), 36 women with normal pregnancy who do not have signs of hypertensive disorders. Electrokinetic features of peripheral blood erythrocytes were studied using cellular microelectrophoresis, the average value of the amplitude of oscillations of mobile erythrocytes (μm) and the proportion of mobile cells (%) were analyzed.

Results. At 22–24 weeks, the percentage of immobile erythrocytes in pregnant women with moderate PE increased by 2.8 times ($p < 0.05$), the amplitude of oscillations of mobile cells decreased by 21% ($p < 0.05$). In pregnant women with severe PE, the proportion of immobile erythrocytes increased by 3.2 times ($p < 0.05$), the amplitude decreased by 30% ($p < 0.05$). In pregnant women with CAH, a slight increase in the percentage of immobile cells (8.2 vs 6.8%) and a tendency to a decrease in the average amplitude (21.5 vs 23.2 μm) were noted. At 34–35 weeks in the group with moderate PE, the% of immobile erythrocytes exceeded the corresponding indicator in women with physiological pregnancy by 3.3 times ($p < 0.05$), the average amplitude decreased by 28% ($p < 0.05$), in pregnant women with severe PE, the% of immobile erythrocytes increased by 3.7 times ($p < 0.05$), the amplitude decreased by 36% ($p < 0.05$). In pregnant women with CAH, there was a tendency for a slight increase in the proportion of immobile erythrocytes.

Conclusion. The functional and morphological usefulness of erythrocytes as active participants in the pathogenesis of preeclampsia can be objectively assessed using indicators of electrokinetic activity of cells, and erythrocytes can be considered as biomarkers of the disease and a promising tool for stratifying patients for early detection of high-risk pregnancies.

KEYWORDS: pregnancy, preeclampsia, erythrocyte, microelectrophoresis.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Введение

Преэклампсия (ПЭ) – одно из тяжелых и наиболее частых мультисистемных осложнений беременности, которые относят к группе так называемых больших акушерских синдромов [1]. По данным мировой статистики, ПЭ встречается практически у 5–8% беременных, ухудшая перинатальные исходы, осложняя течение перипартального периода, внося значительный вклад в материнскую и перинатальную заболеваемость и смертность [2–4].

Медицинский аспект проблемы тесно связан с социально-экономическими долгосрочными последствиями ПЭ: потребностью выделения увеличенных экономических бюджетов, медицинских и социальных ресурсов вследствие повышенного количества кесаревых сечений, дополнительных дней пребывания рожениц в стационаре, выхаживания новорожденных при преждевременных родах, увеличение монетарного эквивалента удельных потерь при родах, а также пожизненного риска для матери и ребенка повышенной восприимчивости к гипертензии и хроническому заболеванию почек [5, 6]. Все это объясняет повышенный интерес и востребованность изучения различных вопросов, связанных с этиологией и патогенезом, ранней диагностикой и эффективным лечением ПЭ.

В последние годы получены доказательства важной роли дисфункциональных нарушений сердечно-сосудистой системы матери, связанных во многом с изменением гемодинамики в системе «мать–плацента–плод», которые провоцируют развитие маточно-плацентарной гипоперфузии и приводят к формированию плацентарной дисфункции при ПЭ [7, 8].

Новые сведения о многофакторных патофизиологических механизмах, позволяющих связать имеющиеся клинические данные с выявленными нарушениями органов и систем при осложнениях беременности, предполагают возможность выявления потенциальных биомаркеров, которые могли бы способствовать улучшению диагностики и прогнозирования ПЭ.

Направление поиска диагностических и прогностических биомаркеров непосредственным образом связано с областью исследований патофизиологических механизмов заболевания. Основными звеньями патогенеза ПЭ считаются нарушение инвазии цитотрофобласта, связанное с дисфункцией эндотелиоцитов и дезорганизацией спиральных артерий на ранних сроках гестации, а также развитие системного воспалительного ответа, сопровождающееся гиперцитокинемией, активацией свободно-радикальных реакций и метаболической дисфункцией [9–12]. Эти процессы провоцируют выраженные изменения соединительной ткани, эндотелиальную дисфункцию и нарушение микроциркуляции. Получены доказательства взаимосвязи ишемии плаценты с различными уровнями повреждения эндотелия (от локального до генерализованного) и нарушениями эритроцитарного звена гемопоэза [13], что позволяет предположить возможность использования анализа динамики гематологических и реологических показателей как критериев риска развития этих патологических изменений при ПЭ [14–15].

Эритроциты являются ключевыми игроками, участвующими в адаптационно-компенсаторных процессах, происходящих во время гестации, и немедленно реагируют на любые изменения гомеостаза организма женщины. У беременных с ПЭ на фоне снижения общего числа эритроцитов [16] отмечают нарушение их цитоархитектоники и деформируемости [17], гипохромии [18], ускорение агрегации [14], повышение уровня разрушенных клеток [19] и т.п. Поэтому, по мнению ряда авторов, даже некоторые рутинные показатели эритроцитов – вязкость крови (ВК), плазмы (ВП), эритроциты, уровень гемоглобина, гематокрита и др. – могут служить в качестве возможных предикторов и коррелировать с тяжестью проявлений ПЭ [20–22].

В данном контексте эритроциты являются достаточно привлекательными объектами для изучения, поскольку, будучи легкодоступными для изучения и наиболее многочисленными компонентами периферической крови, не только участвуют в банальной транспортировке газов, но и в поддержании окислительно-восстановительного баланса, распознавании антигенов, в иммунной адгезии и фагоцитозе, физиологической регуляции артериального давления и сердечно-сосудистой деятельности, особенно в условиях гипоксии [9, 20, 23]. При этом нарушения гомеостаза при различных дисфункциональных состояниях вызывают вполне определенные изменения морфологии и функции красных клеток крови, что позволяет рассматривать их в качестве перспективных кандидатов для разработки новых диагностических стратегий.

Цель исследования: оценить особенности изменений морфофункционального статуса эритроцитов периферической крови при нормальной беременности и в условиях преэклампсии на основе экспресс-анализа биофизических показателей клеток.

Материал и методы исследования

Одноцентровое сравнительное рандомизированное исследование выполнено на базе Минераловодского межрайонного родильного дома в течение 2023–2024 годов. Обследованы 136 беременных в возрасте от 18 до 37 лет в сроке гестации 22–24 и 34–35 недель. Группы сравнения составили: 1-я группа – 40 беременных с умеренной преэклампсией (код по МКБХ О14.0), 2-я группа – 30 беременных с тяжелой преэклампсией (код по МКБ-Х О14.1), 3-я группа – 30 беременных с хронической артериальной гипертензией (код по МКБ-Х О10.0), 4-я группа (контрольная) – 36 женщин с нормально протекающей беременностью, не имеющих признаков гипертензивных расстройств.

Критериями включения в исследование являлись: одноплодная беременность, наступившая самопроизвольно; наличие верифицированных диагнозов хронической артериальной гипертензии или умеренной и тяжелой преэклампсии; информированное согласие женщин на участие в исследовании.

Критерии исключения: многоплодная беременность; беременность после вспомогательных репродуктивных технологий; врожденные пороки развития плода; вторичная

артериальная гипертензия; анемия средней и тяжелой степени тяжести; сахарный диабет; острые и/или обострение хронических воспалительно-инфекционных заболеваний на момент обследования; онкологические заболевания; аутоиммунные заболевания; добровольный отказ от исследования.

Проведение исследования одобрено Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 107 от 17 марта 2022 года).

Все пациентки были обследованы в соответствии с клиническими рекомендациями «Нормальная беременность» (2021 г.) и «Преэклампсия. Эклампсия. Отеки, протеинурия и гипертензивные расстройства во время беременности, в родах и послеродовом периоде» (2021 г.).

Материалом для исследований служила цельная венозная кровь, заготовленная из кубитальной вены в объеме 3 мл в вакуумные пробирки с гепарином натрия. Далее 5 мкл цельной крови разводили в 1 мл 0,3 М раствора сахарозы, отбирали 40 мкл полученной взвеси для заполнения рабочей зоны электрофоретической ячейки диагностического комплекса «Цито-Эксперт» (ТУ 9443–009–17390471–2016). Исследования проводили при значениях частоты (0,25 Гц) и напряжения (28В) на электродах электрофоретической камеры. В автоматическом режиме регистрировали треки 2–3 полных колебаний эритроцитов в 4 полях зрения. Для оценки особенностей кинетики клеток использовали следующие показатели: среднее значение амплитуды колебаний подвижных эритроцитов (мкм) и долю подвижных клеток (%).

Статистический анализ полученных данных проводили с использованием пакета прикладных программ SPSS Statistics 21.0. Сравнение показателей по количественным признакам осуществляли непараметрическим методом с использованием теста согласованных пар Вилкоксона или U-критерия Манна – Уитни. При сравнении двух групп с нормальным характером распределения данных использовали t-тест для независимых группировок. Связи между переменными оценивали с использованием коэффициента корреляции r-Пирсона. Объем выборки был достаточен для проверки статистической достоверности различия двух средних на уровне значимости 0,05.

Результаты

Изменение морфологической структуры эритроцитов, повышение агрегируемости и снижение способности к деформируемости вследствие изменения вязкости, эластичности и пластичности клеточной мембраны являются основополагающими гемореологическими факторами при ПЭ, которые ограничивают возможность прохождения клетки через мелкие капилляры, приводят к увеличению вязкости материнской крови и, соответственно, ухудшению оксигенации метаболически активной плаценты [24]. При этом нарушение транспорта кислорода к тканям при сниженной эффективности микрокровотока в обменных капиллярах, в свою очередь, приводит к дальнейшей трансформации функциональных и морфологических свойств эритроцитов, формируя замкнутый круг [25].

Для объективной оценки функциональной полноценности эритроцитов одним из наиболее доступных, точных и достоверных методов считается клеточный электрофорез, позволяющий регистрировать дзета-потенциал (электрический поверхностный заряд) исследуемых клеток при их возвратно-поступательном движении в условиях переменного электромагнитного поля.

Электрический заряд живых клеток и дзета-потенциал клеточной мембраны являются их постоянной физиологической характеристикой, входят в число показателей, определяющих на клеточном уровне гомеостаз любого живого организма, его органов и тканей, и непосредственно зависят от состава бислоя, состояния актин-спектриновой сети (цитоскелета), активности трансмембранных транспортеров и мембранных белков, а также их взаимодействия с гликолитическими и окислительно-восстановительными ферментами [26].

В *таблице 1* представлены результаты сравнительного анализа электрокинетических показателей эритроцитов периферической крови обследованных женщин. В группах беременных с ПЭ в срок 22–24 недели выявлены следующие особенности: зарегистрировано статистически значимое изменение доли неподвижных клеток и величины амплитуды их колебаний по отношению к показателям женщин с физиологической беременностью. Так, у беременных с умеренной ПЭ (группа 1) процент неподвижных эритроцитов повышался в 2,8 раза ($p < 0,05$), при этом значения амплитуды колебаний подвижных клеток в условиях переменного электрического поля, напротив, снижались практически на 21 % ($p < 0,05$). У беременных с тяжелой ПЭ (группа 2) доля неподвижных эритроцитов увеличивалась в 3,2 раза ($p < 0,05$), а амплитуда снижалась на 30 % ($p < 0,05$). Следует отметить, что у беременных с ХАГ (группа 3) также были зарегистрированы изменения электрокинетической подвижности в виде незначительного увеличения процента неподвижных клеток (8,2 vs 6,8 %) и тенденции к снижению средней амплитуды (21,5 vs 23,2 мкм).

Результаты обследования беременных в срок 34–35 недель суммированы в *таблице 2*. Установлено, что в группе с умеренной ПЭ процент неподвижных эритроцитов превышал соответствующий показатель женщин с физиологической беременностью в 3,3 раза ($p < 0,05$), при этом средняя в циркулирующей популяции амплитуда подвижных клеток снижалась на 28 % ($p < 0,05$). В группе беременных с тяжелой ПЭ доля неподвижных эритроцитов увеличивалась в 3,7 раза ($p < 0,05$), а амплитуда

Таблица 1
Показатели электрофоретической подвижности эритроцитов периферической крови в группах сравнения на 22–24-й неделе (M±σ)

Показатель	Группа 1, n=40	Группа 2, n=30	Группа 3, n=30	Группа 4, n=36
Общее число клеток	11280	9854	10278	9072
Доля неподвижных (%)	19,2±7,1*	21,6±6,9*	8,2±4,1	6,8±3,1
Средняя амплитуда (мкм)	18,3±5,9*	16,2±4,87*	21,5±7,3	23,2±7,0

Примечание. * – статистически значимые различия относительно электрокинетических показателей эритроцитов при физиологической беременности (группа 4) ($p < 0,05$).

Таблица 2
Показатели электрофоретической подвижности эритроцитов периферической крови в группах сравнения на 34–35-й неделе (M±σ)

Показатель	Группа 1, n=40	Группа 2, n=30	Группа 3, n=30	Группа 4, n=36
Общее число клеток	12257	7983	9534	8156
Доля неподвижных (%)	21,1±8,2*	24,4±8,1*	8,9±3,3	7,5±4,0
Средняя амплитуда (мкм)	18,4±6,3	15,3±6,8*	23,5±6,7	21,4±6,8

Примечание. * – статистически значимые различия относительно электрокинетических показателей эритроцитов при физиологической беременности (группа 4) ($p < 0,05$).

снижалась на 36% ($p < 0,05$). Измерения электрокинетических показателей у беременных с ХАГ по отношению к результатам обследования женщин с нормальной беременностью в срок 34–35 недель не выявили значимых изменений: можно отметить только сохраняющуюся тенденцию к незначительному увеличению доли неподвижных эритроцитов.

Известно, что у беременных с ПЭ нарушение реологических свойств крови во многом определяется состоянием форменных элементов, и в первую очередь материнских эритроцитов. В условиях окислительного стресса и воспаления происходит повышение ригидности мембран клеток, изменение их вязкостно-эластичных свойств и ухудшение деформируемости, связанные с активацией мембрано-структурных процессов: липопероксидацией, повышением уровня фосфолипаз, снижением антиоксидантного потенциала, аномалиями трансмембранных белков, связывающих бислой с мембранным скелетом (Band 3, RhAG, анкирин, белок 4.2), увеличением внутриклеточной концентрации Ca^{2+} и др. [27, 28].

Полученные нами данные служат подтверждением, что у беременных с ПЭ изменения липидного спектра и состава трансмембранных белков, определяющих текучесть и проницаемость мембраны, активные молекулы, сорбированные на ее поверхности или включенные в билипидный матрикс, а также перестройка метаболических процессов в цитозоле влияют на формирование отрицательного заряда клеточной поверхности и, следовательно, определяют повышенную агрегацию клеток. По мнению специалистов, степень таких трансформаций сопряжена с тяжестью ПЭ [24, 28]. И данный факт полностью согласуется с нашими результатами.

Корреляционный анализ зарегистрированных изменений электрокинетических показателей эритроцитов с данными клинико-лабораторного обследования беременных с ПЭ продемонстрировал наличие высокой положительной корреляции доли неподвижных эритроцитов с наличием у беременной симптомов тяжелой ПЭ (повышение САД или ДАД/ протеинурия/повышение уровня креатинина в крови/гемолиз в крови/генерализованные отеки и др.) ($r = 0,55$, $p = 0,0005$) и среднюю отрицательную корреляцию с уровнем общего белка сыворотки крови ($r = -0,31$, $p = 0,0047$).

Выявлены отрицательные корреляции между значениями амплитуды колебаний эритроцитов и наличием протеинурии ($r = -0,45$, $p < 0,0007$), а также наличием симптомов

тяжелой ПЭ (повышение САД или ДАД/ протеинурия/ повышение уровня креатинина в крови/гемолиз в крови/ генерализованные отеки и др.) ($r = -0,67$, $p < 0,0001$).

Полученные результаты и обнаруженные нами корреляционные связи между электрокинетическими показателями эритроцитов и данными клинико-лабораторного обследования беременных с ПЭ дают основание предполагать, что выявление изменений указанных параметров, выходящих за рамки диапазона нормальных значений, могут рассматриваться в качестве перспективных маркеров преэклампсии даже до появления первых клинических признаков.

Безусловно, изменения мембранных характеристик эритроцитов не являются специфичными для диагностики данного осложнения беременности, однако они могут быть количественно измерены с учетом очевидной зависимости между величиной заряда и скоростью перемещения клетки в электрическом поле. Поэтому оценка электрокинетической подвижности эритроцитов может служить дополнительным критерием для диагностики ПЭ на ранней стадии и стратификации тяжести заболевания в совокупности с критическим анализом имеющихся лабораторно-клинических показателей состояния беременной. Кроме того, для применения в медицинских учреждениях преимуществами метода являются отсутствие необходимости в использовании дорогостоящих реагентов и сложной диагностической аппаратуры, а также простота выполнения методики и оперативность получения результата (в течение 3–5 минут).

Заключение

Представленные нами результаты демонстрируют наличие ассоциаций между структурными и функциональными изменениями эритроцитов и тяжестью преэклампсии. При этом степень нарушения стабильности биологической мембраны, определяющей функциональную и морфологическую полноценность эритроцитов как активных участников патогенеза ПЭ, может быть объективно оценена с использованием показателей электрокинетической активности клеток, а эритроциты можно рассматривать в качестве биомаркеров заболевания и перспективных инструментов стратификации пациенток для раннего выявления беременных высокого риска развития преэклампсии. Практическое внедрение новых диагностических подходов может дополнить текущие диагностические тесты и повысить точность раннего выявления неблагоприятных осложнений беременности.

Список литературы / References

- Jung E, Romero R, Yeo L, Gomez-Lopez N, Chaemsaitong P, Jaovisidha A, Gotsch F, Erez O. The etiology of preeclampsia. *Am J Obstet Gynecol*. 2022 Feb; 226 (2S): S844–S866. DOI: 10.1016/j.ajog.2021.11.1356
- Долгополова Е. Л., Ломова Н. А., Караваяева А. Л., Зубков В. В., Шмаков П. Г. Тяжелая преэклампсия и задержка роста плода: отдаленные прогнозы для матерей и потомства. *Акушерство и гинекология*. 2020; 12: 100–107. DOI 10.18565/aig.2020.12.100–107
- Dolgoplova E. L., Lomova N. A., Karavaeva A. L., Zubkov V. V., Shmakov P. G. Severe preeclampsia and fetal growth restriction: long-term prognoses for mothers and offspring. *Obstetrics and Gynecology*. 2020; 12: 100–107. (In Russ.). DOI 10.18565/aig.2020.12.100–107
- Ma'ayeh M, Costantine MM. Prevention of preeclampsia. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2020; 25 (5): 101123. DOI: 10.1016/j.siny.2020.101123

4. Ives CW, Sinkey R, Rajapreyar I, Tita ATN, Oparil S. Preeclampsia-Pathophysiology and Clinical Presentations: JACC State-of-the-Art Review. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2020; 76 (14): 1690–1702. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.08.014
5. Turbeville HR, Sasser JM. Preeclampsia beyond pregnancy: long-term consequences for mother and child. *Am. J. Physiol. Renal. Physiol.* 2020; 318 (6): F1315–F1326. DOI: 10.1152/ajprenal.00071.2020
6. Svigkou A, Katsi V, Kordalis VG, Tsioufis K. The Molecular Basis of the Augmented Cardiovascular Risk in Offspring of Mothers with Hypertensive Disorders of Pregnancy. *Int J. Mol. Sci.* 2024; 25 (10): 5455. DOI: 10.3390/ijms25105455
7. Melchiorre K, Giorgione V, Thilaganathan B. The placenta and preeclampsia: villain or victim? *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2022; 226 (2S): S954–S962. DOI: 10.1016/j.ajog.2020.10.024
8. Yagel S, Cohen SM, Goldman-Wohl D. An integrated model of preeclampsia: a multifaceted syndrome of the maternal cardiovascular-placental-fetal array. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2022; 226 (2S): S963–S972. DOI: 10.1016/j.ajog.2020.10.023
9. Uygur L, Kabasakal Ilter M, Helvacı N, Mokresh ME, Kahya M, Muvaffak E, Elmuhammed MH, Ayhan I, Kumru P. Investigating the blood rheology in the first trimester pregnancies with high risk for preeclampsia. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2024; 86 (4): 519–530. DOI: 10.3233/CH-232026
10. Сяндюкова Е. Г., Чулков В. С., Рябикина М. Г. Преэклампсия: современное состояние проблемы. *Доктор.Ру.* 2021; 20(1): 11–16. DOI: 10.31550/1727-2378-2021-20-1-11-16
Syundyukova E. G., Chulkov V. S., Ryabikina M. G. Preeclampsia: current state of the problem. *Doctor.Ru.* 2021; 20(1): 11–16. (In Russ.). DOI: 10.31550/1727-2378-2021-20-1-11-16
11. MacDonald TM, Walker SP, Hannan NJ, Tong S, Kaitu'u-lino TJ. Clinical tools and biomarkers to predict preeclampsia. *EBioMedicine.* 2022; 75: 103780. DOI: 10.1016/j.ebiom.2021.103780
12. Кузнецова И. В. Роль прекоцепционной эндотелиальной дисфункции в развитии акушерских осложнений. *Медицинский алфавит.* 2019; 1 (1): 53–58. [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-1-1\(376\)-53-58](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-1-1(376)-53-58)
Kuznetsova I. V. Role of preconception endothelial dysfunction in development of obstetric complications. *Medical alphabet.* 2019; 1 (1): 53–58. (In Russ.). [https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-1-1\(376\)-53-58](https://doi.org/10.33667/2078-5631-2019-1-1(376)-53-58)
13. Staff AC, Fjeldstad HE, Fosheim IK, Moe K, Turowski G, Johnsen GM, Alnaes-Katjavivi P, Sugulle M. Failure of physiological transformation and spiral artery atherosis: their roles in preeclampsia. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2022; 226 (2S): S895–S906. DOI: 10.1016/j.ajog.2020.09.026
14. Mohaissen T, Proniewski B, Targosz-Korecka M, Bar A, Kij A, Bulat K, Wajda A, Blat A, Matyjaszczyk-Gwarda K, Grosicki M, Tworzydło A, Sternak M, Wojnar-Lason K, Rodrigues-Diez R, Kubisiak A, Briones A, Marzec KM, Chlopicki S. Temporal relationship between systemic endothelial dysfunction and alterations in erythrocyte function in a murine model of chronic heart failure. *Cardiovasc Res.* 2022; 118 (12): 2610–2624. DOI: 10.1093/cvr/cvab306
15. Alexandrova-Watanabe A, Abadjeva E, Giosheva I, Langari A, Tjanok T, Gartchev E, Komsa-Penkova R, Tadinova S. Assessment of Red Blood Cell Aggregation in Preeclampsia by Microfluidic Image Flow Analysis-Impact of Oxidative Stress on Disease Severity. *Int J. Mol. Sci.* 2024; 25 (7): 3732. DOI: 10.3390/ijms25073732
16. Sachan R, Patel ML, Vandana, Sachan P, Shyam R. Role of platelet count and mean platelet volume and red cell distribution width in the prediction of preeclampsia in early pregnancy. *J. Family Med. Prim Care.* 2021; 10 (2): 838–843. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1528_20
17. Садов Р. И., Баев Т. О., Панова И. А., Назаров С. Б., Кузьменко Г. Н. Особенности морфометрических изменений тромбоцитов и эритроцитов у женщин с различными формами гипертензивных расстройств в III триместре беременности. *Acta biomedica scientifica.* 2020; 5 (5): 31–38. DOI: 10.29413/ABS.2020-5.5.4
Sadov R. I., Baev T. O., Panova I. A., Nazarov S. B., Kuzmenko G. N. Features of morphometric changes in platelets and erythrocytes in women with various forms of hypertensive disorders in the third trimester of pregnancy. *Acta biomedica scientifica.* 2020; 5 (5): 31–38. (In Russ.). DOI: 10.29413/ABS.2020-5.5.4
18. Smith C, Teng F, Branch E, Chu S, Joseph KS. Maternal and Perinatal Morbidity and Mortality Associated With Anemia in Pregnancy. *Obstet Gynecol.* 2019; 134 (6): 1234–1244. DOI: 10.1097/AOG.00000000000003557
19. Chandrasekaran S, Simon R. Hepatic Complications in Preeclampsia. *Clin Obstet Gynecol.* 2020; 63 (1): 165–174. DOI: 10.1097/GRF.0000000000000501. PMID: 31770122.
20. Kontifidou E, Collado A, Pernow J, Zhou Z. Erythrocyte-Derived microRNAs: Emerging Players in Cardiovascular and Metabolic Disease. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* 2023; 43 (5): 628–636. DOI: 10.1161/ATVBAHA.123.319027
21. Баев Т. О., Панова И. А., Кузьменко Г. Н., Клычева М. М., Назаров С. Б. Состояние микроциркуляции у беременных женщин с гипертензивными расстройствами в III триместре беременности. *Научные результаты биомедицинских исследований.* 2023; 9 (1): 113–128. DOI: 10.18413/2658-6533-2023-9-1-0-8
Baev T. O., Panova I. A., Kuzmenko G. N., Klycheva M. M., Nazarov S. B. State of microcirculation in pregnant women with hypertensive disorders in the third trimester of pregnancy. *Scientific results of biomedical research.* 2023; 9 (1): 113–128. (In Russ.). DOI: 10.18413/2658-6533-2023-9-1-0-8
22. Csizsar B, Galos G, Funke S, Kevey DK, Meggyes M, Szereday L, Kenyeres P, Toth K, Sandor B. Peripartum Investigation of Red Blood Cell Properties in Women Diagnosed with Early-Onset Preeclampsia. *Cells.* 2021; 10 (10): 2714. DOI: 10.3390/cells10102714
23. McCann Haworth SM, Zhuge Z, Nihlén C, Von Rosen MF, Weitzberg E, Lundberg JO, Krmar RT, Nasjell J, Carlström M. Red blood cells from patients with pre-eclampsia induce endothelial dysfunction. *J. Hypertens.* 2021; 39 (8): 1628–1641. DOI: 10.1097/HJH.0000000000002834
24. Giosheva I, Srijikova V, Komsa-Penkova R, Krumova S, Langari A, Danailova A, Taneva SG, Stoyanova T, Topalova L, Gartchev E, Georgieva G, Tadinova S. Membrane Lesions and Reduced Life Span of Red Blood Cells in Preeclampsia as Evidenced by Atomic Force Microscopy. *Int J. Mol. Sci.* 2023; 24 (8): 7100. DOI: 10.3390/ijms24087100
25. Soliman AA, Csorba R, Yilmaz A, Tsikoaras P, von Tempelhoff GF. Rheologic results and their correlation to hemostatic changes in patients with moderate and severe preeclampsia: an observational cross-sectional study. *Clin. Hemorheol Microcirc.* 2015; 59 (1): 1–15. DOI: 10.3233/CH-2012-1625
26. Меджидова Д. Р., Шифман Е. М., Абдуллаев В. Р., Муслимов М. О. Изменения свойств эритроцитов крови у родильниц после кесарева сечения в зависимости от метода ведения периоперационного периода. *Доктор.Ру.* 2023; 22 (1): 56–61. DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-1-56-61
Medzhidova D. R., Shifman E. M., Abdullaev V. R., Muslimov M. O. Changes in the properties of blood erythrocytes in mothers after cesarean section depending on the method of perioperative period management. *Doctor.Ru.* 2023; 22 (1): 56–61. (In Russ.). DOI: 10.31550/1727-2378-2023-22-1-56-61
27. Зобова Д. А., Власова Т. И., Ледеякина Л. В., Маркина А. Е., Шекина С. А. Модификация фосфолипидного состава мембран эритроцитов и изменений структурно-функционального состояния гемоглобина в развитии гипоксии плода при преэклампсии. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс».* 2020; 22 (2): 71–76. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-2-71-76
Zobova D. A., Vlasova T. I., Ledyaykina L. V., Markina A. E., Shekina S. A. Modification of the phospholipid composition of erythrocyte membranes and changes in the structural and functional state of hemoglobin in the development of fetal hypoxia in preeclampsia. *Medical and pharmaceutical journal «Pulse».* 2020; 22 (2): 71–76. (In Russ.). DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-2-71-76
28. Sen P, Ghosh D, Sarkar C. Erythrocytic membrane anionic charge, sialic acid content, and their correlations with urinary glycosaminoglycans in preeclampsia and eclampsia. *Scand J. Clin. Lab. Invest.* 2020; 80 (4): 343–347. DOI: 10.1080/00365513.2020.1750687

Статья поступила / Received 28.08.2024
Получена после рецензирования / Revised 02.09.2024
Принята в печать / Accepted 03.09.2024

Сведения об авторах

Гаспарян Сусанна Арташеговна, д.м.н., проф., проф. кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии¹. E-mail: prof-gasp55@yandex.ru. eLibrary. SPIN: 5911-7761. ORCID: 0000-0001-8284-8117

Топузов Александр Георгиевич, аспирант кафедры акушерства и гинекологии с курсом ДПО². E-mail: topuzov42@mail. ORCID: 0009-0002-8613-1548

Василенко Ирина Анатольевна, д.м.н., проф., зав. лабораторией биомедицинских методов исследований³, проф. кафедры неорганической и аналитической химии⁴. E-mail: vasilenko0604@gmail.com. eLibrary. SPIN: 6611-9990. ORCID: 0000-0002-6374-9786

¹ ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна», Медико-биологический университет инноваций и непрерывного образования, Москва, Россия

² ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный медицинский университет» Минздрава России, Ставрополь, Россия

³ ФБУЗ Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М. Ф. Владимирского», Москва, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» Минобрнауки России, Москва, Россия

Автор для переписки: Гаспарян Сусанна Арташеговна. E-mail: prof-gasp55@yandex.ru

About authors

Gasparyan Susanna A., DM Sci (habil.), professor, professor at Obstetrics, gynecology and perinatology Dept¹. E-mail: prof-gasp55@yandex.ru. eLibrary. SPIN: 5911-7761. ORCID: 0000-0001-8284-8117

Topuzov Alexander G., postgraduate student at Dept of Obstetrics and Gynecology with the course of Further professional education². E-mail: topuzov42@mail. ORCID: 0009-0002-8613-1548

Vasilenko Irina A., DM Sci, professor, head of Biomedical Research Methods Laboratory³, professor at Inorganic and Analytical Chemistry Dept⁴. E-mail: vasilenko0604@gmail.com, eLibrary. SPIN: 6611-9990. ORCID: 0000-0002-6374-9786

¹ A. I. Burnazyan State Research and Development Center, Medical and Biological University of Innovation and Continuous Education, Moscow, Russia

² State Medical University, Stavropol, Russia

³ M. F. Vladimirovsky Moscow Regional Clinical and Research Institute (MONIKI), Moscow, Russia

⁴ Russian State University named after A. N. Kosygin, Moscow, Russia

Corresponding author: Gasparyan Susanna A. E-mail: prof-gasp55@yandex.ru

Для цитирования: Гаспарян С. А., Топузов А. Г., Василенко И. А. Электрокинетические показатели эритроцитов как диагностические критерии преэклампсии. *Медицинский алфавит.* 2024; (19): 33–37. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-19-33-37>

For citation: Gasparyan S. A., Topuzov A. G., Vasilenko I. A. Electrokinetic indices of erythrocytes as diagnostic criteria for preeclampsia. *Medical alphabet.* 2024; (19): 33–37. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-19-33-37>

