Дата публикации: 01.12.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_4
УДК 612.64

ЗНАЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СТРУКТУРЫ ГЕМОГЛОБИНОВ ПЕРИОДА НОВОРОЖДЕННОСТИ, КАК ФАКТОРОВ АДАПТАЦИИ И ДЕЗАДАПТАЦИИ

И.В. Гераськин[1,2], А.В. Дерюгина[2], В.А. Гераськин[3], Н.В. Гераськина[1]

[1]Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Нижегородской области «Нижегородская областная детская клиническая больница», г. Нижний Новгород, Россия

[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Россия

[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. ***Введение.*** В настоящее время активно исследуется роль физиологических и патологических факторов на адаптацию организма в неонатальный период и вклад изменения уровней гемоглобинов крови и содержания кислорода в процессы адаптации. Остается неизученным влияние фетального гемоглобина в неонатальный период при переходе с плацентарного газообмена на легочный у недоношенных детей. ***Методы.*** Для сопоставления значений динамики гемоглобинов в процессе адаптации организма использован анализ массива клинико-лабораторных данных доношенных и недоношенных детей неонатального периода (0-7 и 8-28 дней). ***Результаты.*** Установлено, что на количество кислорода, транспортируемого общим гемоглобином крови, отрицательно влияет снижение содержания фетального гемоглобина с большим сродством к кислороду. У новорожденных, как доношенных, так и недоношенных, с увеличением возраста регистрируется уменьшение уровня кислорода, при одинаковом комплексе изменений показателей данные отличались амплитудой и скоростью. ***Заключение.*** При возрастной, физиологической или транфузионной депрессии уровня фетального гемоглобина требуется большее парциальное давление кислорода для формирования уровня 50% насыщения гемоглобина кислородом, что не всегда достижимо при эпизодах гипоксии и способствует нарушениям адаптации. Следовательно, содержание фетального гемоглобина оказывает регулирующее влияние в неонатальный период на адаптационные процессы новорожденных и может вызывать дезадаптационный эффект при его снижении, особенно у недоношенных детей.

Ключевые слова: адаптация, фетальный гемоглобин, гипоксия, дезадаптация.

SIGNIFICANCE OF TRANSFORMATION OF THE HEMOGLOBIN STRUCTURE IN THE NEONATAL PERIOD AS ADAPTATION AND MALADAPTATION FACTORS

I.V. Geraskin[1,2], A.V. Deryugina[2], V.A. Geraskin[3], N.V. Geraskina[1]

[1]Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital, Nizhny Novgorod, Russia

[2]Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

[3]Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Currently, the role of physiological and pathological factors on the adaptation of the body in the neonatal period and the contribution of changes in blood hemoglobin levels and oxygen content to adaptation processes are actively studied. The effect of fetal hemoglobin in the neonatal period during the transition from placental to pulmonary gas exchange in premature infants remains unknown. ***Methods.*** To compare the values of hemoglobin dynamics in the process of body adaptation, an analysis of an array of clinical and laboratory data from full-term and premature neonatal infants (0-7 and 8-28 days) was used. ***Results.*** It was found that the amount of oxygen transported by total blood hemoglobin is negatively affected by a decrease in the fetal hemoglobin content with a high affinity for oxygen. In newborns, both full-term and premature, a decrease in oxygen is recorded with increasing age, the data differed in amplitude and speed with the same complex of changes in indicators. ***Conclusion.*** In age-related, physiological, or transfusion fetal hemoglobin depression, higher partial pressure of oxygen is required to form a 50% hemoglobin oxygen saturation level, which is not always achievable in hypoxia episodes and contributes to adaptation disorders. Consequently, the fetal hemoglobin content has a regulatory effect in the neonatal period on the adaptation processes of newborns and can cause maladaptation when it decreases, especially in premature infants.

Keywords: adaptation, fetal hemoglobin, hypoxia, maladaptation.

Введение. В последние годы активно проводятся исследования, изучающие адаптационные механизмы организма в неонатальном периоде и их значение в методах лечения. Несмотря на клиническую важность биологических и возрастных особенностей ответа на действие патологических факторов мы только начинаем понимать, как адаптивная система формирует и регулирует реакции, препятствующие повреждению [1-3].

Плод находится в физиологическом состоянии низких величин содержания кислорода в крови (по сравнению с постнатальными стандартами) при малых величинах парциального давления кислорода (PaO_2) – около 25 мм рт. ст. и насыщении кислородом крови в аорте – 55%. Тем не менее несмотря на низкие параметры содержания кислорода в крови в физиологическом состоянии плод не испытывает гипоксии, необходимое поступление O_2 в ткани формируется посредством разнообразия адаптационных механизмов: повышенного сердечного выброса и высокого уровня гемоглобина у доношенного плода, наличия фетального гемоглобина с высоким сродством к O_2. Градиент насыщения кислородом в плаценте аналогичен градиенту насыщения O_2 в легких у взрослых: плацента (85 – 55 = 30%), легкие (98 – 70 = 28%). Он достигается при значительно более низких значениях PaO_2 (32 мм рт. ст.) в пупочной вене у плода по сравнению с величиной PaO_2 (95 мм рт. ст.) у новорожденного или взрослого. Эта особенность снижает риск окислительного стресса у плода, уровень оксигенации тканей способствует нормальному росту и дифференциации клеток и поддерживает нормальный морфогенез [4].

При рождении осуществляется переход от плодного (плацентарного) к легочному газообмену новорожденного, среда с низким содержанием кислорода сменяется на более насыщенную окислителем. В данный период важно, чтобы в неонатальном организме развились и реализовались адаптационные, антиоксидантные механизмы для защиты от потенциального вреда производными O_2 [5-7].

Даже при обычном, нормальном внешнем дыхании неполное снижение вдыхаемого кислорода может обусловить накопление токсичных активных форм O_2 (АФК), способствующих повреждению капилляров и патологии легочной паренхимы. Чтобы справиться с этой потенциальной проблемой, формы аэробной жизни в послеродовом периоде, встречаясь с опасностью окисления молекулярным кислородом атмосферы, сформировали сложные, многокомпонентные механизмы антиоксидантной защиты [8-10].

С учетом роли кислорода в развитии адаптации и дезадаптации организма новорожденного, в современной литературе исследуются процессы динамики различных фракций гемоглобинов крови. Анализируется направленность изменений структуры гемоглобинов крови как при физиологических процессах, формирующихся по мере увеличения постнатального возраста, так и при патологии в результате гемотрансфузий из-за уже существующих заболеваний, что позволяет предположить в значительном количестве случаев развитие нарушений адаптации. Важно учитывать не только изменение показателей содержания кислорода и уровней антиоксидантной активности биохимических ингредиентов крови, но и развитие реакций адаптации организма к условиям гипоксии и гипероксии. В тех случаях, когда адаптационные реакции к гипоксии, естественные или сформированные в процессе лечения (например, гемотрансфузия при гемической гипоксии), становятся чрезмерными по степени выраженности, скоростным и временным параметрам, происходит трансформация адаптации в дезадаптацию [11, 12].

Цель: определение влияния физиологических и патологических факторов на адаптацию организма детей при изменениях уровней фетального гемоглобина (HbF) и содержания кислорода в неонатальном периоде развития.

Методы и организация исследования. Выполненные исследования по критериям раннего и позднего неонатального периода включают клинические и лабораторные данные 179 пациентов неантологического профиля. Осуществлено 341 исследование показателей физиологических гемоглобинов крови (табл. 1).

Таблица 1

Распределение групп исследований по критериям раннего неонатального и позднего неонатального периодов с учетом наличия и отсутствия признаков недоношенности

Количество	Неонатальный период развития			
	недоношенные		доношенные	
	Ранний (0-7 сут)	Поздний (8-28 сут)	Ранний (0-7 сут)	Поздний (8-28 сут)
новорожденные	32	25	72	50
исследования	73	85	97	86

В исследовании выделяли доношенных и недоношенных в раннем неонатальном (первые 7 суток жизни) и позднем неонатальном (с 8 по 28 сутки) периодах.

Данные определены при изучении и обработке материалов историй болезней в неонатологических отделениях во время лечебно-диагностического процесса. Формирование структуры исследований, состава фракций гемоглобина у пациентов отделений неонатологии выполнено с учетом положений Международной классификации болезней (МКБ-10). Учтены отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде (P00-P96); врожденные аномалии, деформации и хромосомные нарушения; иные формы заболеваний (Q00-Q99). Регистрация исследуемых показателей выполнена анализатором оксиметрии и газов крови «Radiometer ABL 800». Выполнен анализ следующих показателей: ctHbg/dL – концентрация общего гемоглобина крови; FHbF% – фракция фетального гемоглобина крови; FHbA% – фракция гемоглобина крови взрослого типа; p50mmHg – парциальное давление крови для 50% насыщения гемоглобина кислородом; КЕК – кислородная емкость крови; $ctO_2Vol\%$ – объемное содержание кислорода в капиллярной крови; pH – показатель концентрации водородных ионов; pCO_2mmHg – напряжение углекислого газа в крови; pO_2mmHg – напряжение кислорода в крови; $sO_2\%$ – насыщение гемоглобина кислородом в артериальной крови; $FO_2Hb\%$ – фракция оксигемоглобина; FCOHb% – фракция карбоксигемоглобина; FHHb% – фракция дезоксигемоглобина; FMetHb% – фракция метгемоглобина; Hct% – гематокрит; cHCO3-(P)mmol/L – концентрация бикарбоната (гидроксикарбоната) в крови; SBEmmol/L – показатель буферной способности крови, характеризует избыток оснований; концентрация лактата – cLacmmol/L.

Помимо основной неонатальной группы – проведено исследование средних величин кислородного статуса (M) и выполнен сравнительный анализ динамики показателей HbF% и p50mmHg в отдельных группах пациентов неонатального периода (n=591). Количество учтенных результатов исследований – 854, зависело от наличия или отсутствия в терапии гемотрансфузий и объема посттрансфузионных обследований.

Обработка результатов исследования проведена на основе статистического анализа посредством применения прикладного пакета программ MS Excel, Statistica 6. Данные вариационных рядов представлены средним значением (M) и стандартным отклонением (σ). Характер распределения признаков соответствовал распределению Гаусса. Выполнено сравнение несвязанных совокупностей. Параметрический t-критерий Стьюдента использовался для сравнения выборок с поправкой Бонферрони. Критическим уровнем статистической значимости различий считался уровень $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. В проведенном исследовании мы изучали динамичность, структурную нестабильность показателей гемоглобинов и газов крови как факторов адаптации к новым условиям неонатального периода (табл. 2).

В результате исследования выявлена разница величин показателей FHbF в группах недоношенных и доношенных новорожденных. Значения средних величин FHbF% у недоношенных пациентов в первые 7 дней жизни достигали уровня 84,17+2,24 от общего гемоглобина крови, к окончанию неонатального периода показатели составляли 67,39+2,37, разница значений показателей – 16,78%. В абсолютных значениях

разница уровней HbF составила 4,46 g/dL при разнице общего гемоглобина 3,07 g/dL, что свидетельствует о более высокой скорости снижения уровня HbF в составе ctHb.

Таблица 2

Показатели динамики средних величин кислородного статуса (M) в раннем и позднем неонатальных периодах, n=341, M±σ

Группы	Недоношенность		Доношенность	
Неонатальный период	Ранний 0-7 сут (n=73)	Поздний 8-28 сут (n=85)	Ранний 0-7 сут (n=97)	Поздний 8-28 сут (n=86)
pCO_2mmHg	37,47±2,99	40,76±2,08	38,01±2,10	38,13±1,74
pO_2mmHg	66,89±5,32	53,68±4,70	61,92±2,88	60,62±2,27
sO_2%	95,23±1,30	87,75±1,94**	93,74±1,89	92,70±1,97
ctHbg/dL	14,25±0,57*	11,18±0,50**	16,11±0,56	13,77±0,63
Hct%	43,56±1,69*	33,70±1,47**	49,32±1,70	42,26±1,90
FHbF%	84,17±2,24*	67,39±2,37**	78,57±2,04	72,42±2,31
FO_2Hb%	91,97±1,11	85,51±1,84**	91,48±0,86	91,06±0,66
FCOHb%	2,50±0,30	1,50±0,21	3,04±1,83	2,42±2,06
FHHb%	4,42±1,23	12,46±2,08	6,00±1,78	7,81±2,21
FMetHb%	1,63±0,25	1,55±0,18	1,53±0,18	1,46±0,14
p50mmHg	20,39±0,43*	22,60±0,49	19,65±0,73	21,46±0,52
ctO_2Vol%	18,15±0,77*	13,39±0,83**	21,72±0,72	17,36±0,88
pH	7,37±0,03	7,36±0,02	7,40±0,02	7,35±0,09
cHCO3-(P)mmol/L	20,50±1,00*	22,53±0,85	22,63±0,94	23,13±1,05
SBEmmol/L	-4,05±1,00*	-1,77±0,98	-1,69±0,93	-1,19±1,01
cLacmmol/L	3,24±0,53	2,52±0,47	2,77±0,31	2,40±0,26

Примечание: в таблице приведены данные обследований пациентов без гемотрансфузий; pCO_2mmHg – напряжение углекислого газа в крови; pO_2mmHg – напряжение кислорода в крови; sO_2% – насыщение гемоглобина кислородом в артериальной крови; ctHbg/dL – концентрация общего гемоглобина крови; Hct% – гематокрит; FHbF% – фракция фетального гемоглобина крови; FO_2Hb% – фракция оксигемоглобина; FCOHb% – фракция карбоксигемоглобина; FHHb% – фракция дезоксигемоглобина; FMetHb% – фракция метгемоглобина; pH – показатель концентрации водородных ионов; cHCO3-(P)mmol/L – концентрация бикарбоната (гидроксикарбоната) в крови; SBEmmol/L – показатель буферной способности крови, характеризует избыток оснований; cLacmmol/L – концентрация лактата; * – $p<0,05$ по отношению к доношенным 0-7 сут; ** – $p<0,05$ по отношению к доношенным 8-28 сут.

Значения средних величин FHbF% у доношенных пациентов в первые 7 дней жизни достигали уровня 78,57±2,04 от общего гемоглобина крови, к окончанию неонатального периода показатели FHbF составляли 72,42±2,31, разница значений показателей – 6,15%. В абсолютных значениях разница уровней HbF составила 2,69 g/dL при разнице общего гемоглобина 2,34 g/dL, что также свидетельствует о более высокой скорости снижения уровня HbF в сравнении с ctHb. Содержание в эритроцитах FHbF у доношенных отличалось исходно более низкими значениями, чем у недоношенных. При определении сравнительной динамики показателей оксигенации у доношенных и недоношенных новорожденных в зависимости от постнатального возраста выявлено направленное снижение регистрируемых величин. Причем данная тенденция сохраняется среди регистрируемых значений кислотно-щелочного состояния (КЩС), газов крови, структурных показателей исследуемых гемоглобинов на протяжении всего неонатального периода.

Для анализа влияния FHbF на динамику сродства гемоглобина крови к кислороду мы исследовали зависимость между показателями FHbF и p50mmHg.

Результаты свидетельствуют, что снижение содержания фетального гемоглобина, обладающего большим сродством к кислороду, отрицательно влияет на количество кислорода, связанного и транспортируемого общим гемоглобином крови. Возрастающая количественная динамика p50mmHg в неонатальном периоде имела обратно пропорциональную зависимость к уровню транспортируемого кислорода к тканям. Анализ динамики маркеров кислородного метаболизма: ctHbg/dL, FHbF%, FHbA%, p50mmHg, КЕК, ctO_2Vol%, pCO_2mmHg, pO_2mmHg, FO_2Hb%, FCOHb%, FHHb%, sO_2%, Hct%, SBEmmol/L, pH, cHCO3-(P)mmol/L, cLacmmol/L свидетельствует о поэтапном снижении количества поступающего кислорода в кровоток у новорожденных как в раннем, так и в позднем неонатальном периоде, о формирующейся адаптации к новым условиям кислородного окружения (табл. 2).

В своем исследовании мы рассматриваем адаптивный ответ организма периода новорожденности при переходе с плацентарного газообмена на легочный и регулирующее влияние динамики содержания фетального гемоглобина крови на выраженность оксигенации. Применяемые методы анализа массива клинико-лабораторных данных позволили сопоставлять исследования функций гемоглобинов, клеток, динамику эволюционных, биологических, морфологических параметров с физиологическими и патологическими последствиями [13, 14].

Полученные данные свидетельствуют о направленном уменьшении величин кислородного статуса у новорожденных детей по мере увеличения возраста. Изменения зарегистрированы во всех группах обследованных – как у доношенных, так и у недоношенных. В группах исследований при одинаковом комплексе изменений показателей данные отличались только амплитудой и скоростью.

Выявленные особенности реализуются в физиологических процессах у новорожденных детей при: замещении участков экстрамедуллярного эритропоэза на костномозговой с выработкой эритроцитов, содержащих гемоглобин взрослого типа (HbA); образовании слабогемоглобинизированных молодых форм эритроидных клеток; уменьшении в эритроцитах количества HbF; укорочении продолжительности жизни эритроцитов до 10-12 сут; активизации гемолитических реакций [15, 16].

Интенсивная терапия, осуществляемая в неонатальном периоде, имеет противоположную направленность по формированию количества поставляемого O_2. Используются методы повышения доставки и содержания кислорода в организм пациента. Если по большинству кислородных показателей крови удается сформировать более высокие величины, то прогрессирующее снижение количества фракции фетального гемоглобина продолжается на фоне проводимой терапии. Соответственно, при снижении сродства гемоглобина крови к O_2 уменьшается доставка кислорода в участки тканей с более выраженной гипоксией. В группе недоношенных первых 7 суток жизни мы зарегистрировали увеличение средних значений показателей (M) p50mmHg с 20,38±0,93 до 22,54±2,69 к окончанию неонатального периода. У доношенных новорожденных показатели p50mmHg были аналогично увеличены (19,65±0,73 – 21,47±0,92) к завершению периода новорожденности. Приведенные данные свидетельствуют о том, что по мере снижения содержания HbF в крови увеличивается показатель p50mmHg, характеризующий величину нарастания pO_2mmHg, необходимого для сохранения уровня насыщения гемоглобина O_2 в 50%. Диапазон полного насыщения гемоглобина крови кислородом (sO%) в обследуемых группах изменялся в пределах 87,75±1,94 – 95,23±1,30%. Более выраженное увеличение значений p50mmHg и снижение количественных и концентрационных величин HbF мы фиксировали в группах сравнения у пациентов неонатального периода (n=591) в зависимости от наличия гемотрансфузии при лечении (табл. 3).

В неонатальном периоде значения показателей p50mmHg у недоношенных новорожденных превышали аналогичные значения у доношенных новорожденных. Что свидетельствовало о необходимости большего парциального давления кислорода PO_2 для 50% насыщения гемоглобина у

недоношенных новорожденных. У пациентов, получавших гемотрансфузии в период новорожденности – как доношенных, так и недоношенных – регистрировались более высокие уровни p50mmHg. Соответственно увеличивалась и потребность в кислороде для достижения 50% уровня насыщения гемоглобина крови. Значения средних величин HbF% в структуре общего гемоглобина крови (ctHbg/dL) у доношенных и недоношенных новорожденных после проведения гемотрансфузий в неонатальном периоде были минимальными в сравнении с данными у пациентов, не получавших гемотрансфузий. Необходимо отметить, что посттрансфузионное уменьшение содержания фетального гемоглобина и сродства ctHbg/dL к кислороду происходит на фоне физиологического уменьшения фракции HbF%, что имеет потенцирующий эффект. Зафиксированная в посттрансфузионном периоде отчетливая динамика снижения уровня фетального гемоглобина сочетается с обратной зависимостью сочетания величин P50mmHg и сродства гемоглобина к кислороду. Изменение показателей: снижение уровня HbF и повышение значений p50 – в группах новорожденных пациентов после гемотрансфузий отличались большей амплитудой и скоростью. Стремительные количественные изменения содержания гемоглобина в крови при гемотрансфузиях минимизирует время для становления качественных адаптивных реакций к тканевой гипоксии и может способствовать развитию повреждений.

В современной научной литературе приводятся многочисленные клинические данные о развитии повреждений тканей и органов у новорожденных (особенно недоношенных) после проведенных гемотрансфузий. Патогенез происходящих изменений остается не детализированным [17-20].

Таблица 3

Результаты исследований влияния гемотрансфузий на динамику уровней HbF% и показателя p50mmHg в неонатальном периоде, n=854; M±σ

Возраст (сутки жизни)	HbF%		p50mmHg	
	Без гемотрансфузии	Гемотрансфузии	Без гемотрансфузии	Гемотрансфузии
Доношенные (0-28)	85,47±1,7 n=45	67,64±4,7* n=28	19,29±0,5 n=61	23,16±1,1* n=20
Недоношенные (0-28)	74,69±3,2 n=119	44,88±3,0* n=257	21,52±0,4 n=159	23,54±0,6* n=165

Примечание: HbF% – фетальный гемоглобин крови; pO_2mmHg – напряжение кислорода в крови; * – $p<0,01$ статистически значимое отличие показателей от значений группы пациентов без гемотрансфузии. n – количество исследований.

Заключение. Преобладание HbF в составе структуры гемоглобинов у новорожденного определяет повышенное сродство гемоглобина к O_2 и способствует доставке и высвобождению O_2 в участках тканевой гипоксии с наиболее низкими показателями pH. При анализе поученных нами данных определено, что по мере увеличения постнатального возраста и физиологической депрессии уровня HbF или его посттрансфузионного снижения требуется большее парциальное давление O_2 для формирования уровня p50mmHg, что не всегда достижимо при эпизодах гипоксии и способствует нарушениям адаптационных и компенсаторных процессов.

Кислородная терапия, искусственная вентиляция легких часто применяются в неонатальном периоде для повышения адаптации и выживаемости, увеличивают содержание кислорода в крови, но не гарантируют его повышение в тканях, так как переход кислорода из крови в ткани зависит от сродства гемоглобина к O_2 и его способности к диссоциации. В проведенных нами исследованиях определено, что после рождения эта зависимость имеет отрицательную направленность, обусловленную снижением содержания фракции HbF. В сочетании с активизацией оксигенотерапии возможны изменения в адаптационных процессах новорожденных, выработке

аномальных метаболитов окислительного стресса органами, такими как легкие, кишечник, мозг и нервная система, метаболическое перепрограммирование, что определяет необходимость дальнейшей интенсификации и детализации исследований комплекса процессов дезадаптации неонатального периода.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hyperoxia and oxidative stress in anesthesia and critical care medicine / S. Ottolenghi, G. Sabbatini, A. Brizzolari [et al.] // Minerva Anestesiol. – 2020. – No. 86(1). – P. 64-75. DOI: 10.23736/S0375-9393.19.13906-5.
2. Cord blood transfusions in extremely low gestational age neonates to reduce severe retinopathy of prematurity: results of a prespecified interim analysis of the randomized BORN trial / L. Teofili, P. Papacci, C. Dani [et al.] // Ital J Pediatr. – 2024. – No. 50(1). – P. 142. DOI: 10.1186/s13052-024-01714-w.
3. Швецова, А.А. Роль активных форм кислорода в регуляции тонуса кровеносных сосудов в перинатальном и раннем постнатальном онтогенезе / А.А. Швецова, Д.К. Гайнуллина, О.С. Тарасова // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2023. – Т. 109. – № 12. – С. 1742-1762. DOI: 10.31857/S0869813923120105. [In English] Shvetsova A.A., Gaynullina D.K., Tarasova O.S. The Role of Reactive Oxygen Species in the Regulation of Blood Vessel Tone in Perinatal and Early Postnatal Ontogenesis. *Russian Journal of Physiology*, 2023, vol. 109, no. 12, pp. 1742-1762. DOI: 10.31857/S0869813923120105. (in Russ.)
4. Gebb, S.A. Hypoxia and lung branching morphogenesis / S.A. Gebb, P.L. Jones // Adv Exp Med Biol. – 2003. – No. 543. – P. 117-125. DOI: 10.1007/978-1-4419-8997-0_8.
5. Wang, H.C. Molecular Mechanisms of Hyperoxia-Induced Neonatal Intestinal Injury / H.C. Wang, H.C. Chou, C.M. Chen // Int J Mol Sci. – 2023. – No. 24(5). – P. 4366. DOI: 10.3390/ijms24054366.
6. Haddad, J.J. O2-evoked regulation of HIF-1alpha and NF-kappaB in perinatal lung epithelium requires glutathione biosynthesis / J.J. Haddad, S.C. Land // Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol. – 2000. – No. 278(3). – P. 492-503. DOI: 10.1152/ajplung.2000.278.3.L492.
7. Emerging role of metabolic reprogramming in hyperoxia-associated neonatal diseases / T. Sun, H. Yu, D. Li [et al.] // Redox Biol. – 2023. – No. 66. – P. 102865. DOI: 10.1016/j.redox.2023.102865.
8. Sharma, V. Persistent pulmonary hypertension of the newborn / V. Sharma, S. Berkelhamer, S. Lakshminrusimha // Matern health, neonatol and perinatal. – 2015. – No. 1. – P. 14. DOI: 10.1186/s40748-015-0015-4.
9. Физиология плода и детей / А.С. Батуев, В.Д. Глебовский, В.А. Жданов [и др.]; Под ред. В.Д. Глебовского. – М.: Медицина, 1988. – С. 60-65. [In English] Batuev A.S., Glebovskij V.D., Zhdanov V.A., Ivanov K.P., Korotko G.F., Kurduban L.I., Milutina L.A., Nasledov G.A., Skorobovichuk N.F., Finkinstein Ya.D., Khodorovsky D.I., Shimaraeva T.N., Shipova N.V. Fetus and children physiology. Glebovskij V.D., ed. Moscow: Medicine, 1988. pp. 60-65 (in Russ.)
10. Do Lower Levels of Fetal Hemoglobin in Preterm Infants Relate to Oxidative Stress? / L. Torrejón-Rodríguez, A. Parra-Llorca, A. Pinilla-González [et al.] // Antioxid Redox Signal. – 2024. – No. 40(7-9). – P. 453-459. DOI: 10.1089/ars.2023.0378.
11. Гераськин, И.В. Влияние гемотрансфузий у новорожденных и детей грудного возраста на состав и сродство к кислороду физиологических гемоглобинов / И.В. Гераськин, В.А. Гераськин, Н.В. Гераськина // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 2023. – Т. 67. – № 1. – С. 71-78. DOI: 10.25557/0031-2991.2023.01.71-78. [In English] Geraskin I.V., Geraskin V.A., Geraskina N.V. Effect of hemotransfusions in newborns and infants on the composition and oxygen affinity of physiological hemoglobin. *Pathological physiology and experimental therapy*, 2023, vol. 67, no. 1, pp. 71-78. DOI: 10.25557/0031-2991.2023.01.71-78.
12. Differences in Cerebral Tissue Oxygenation in Preterm Neonates Receiving Adult or Cord Blood Red Blood Cell Transfusions / C. Pellegrino, P. Papacci, F. Beccia [et al.] // JAMA Netw Open. – 2023. – No. 6(11). – P. e2341643. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.41643.
13. Samaja, M. The Oxygen Cascade from Atmosphere to Mitochondria as a Tool to Understand the (Mal)adaptation to Hypoxia / M. Samaja, S. Ottolenghi // Int J Mol Sci. – 2023. – No. 24(4). – P. 3670. DOI: 10.3390/ijms24043670.
14. Ramirez, Z.R. Mechanisms of Fetal Adaptation to Chronic Hypoxia following Placental Insufficiency: A Review / Z.R. Ramirez, A. Dall'Asta, T. Ghi // Fetal Diagn Ther. – 2022. – No. 49(5-6). – P. 279-292. DOI: 10.1159/000525717.
15. Чеснокова, Н.П. Эритропоэз и его регуляция. Общие характеристики эритроцитов, их

свойств и функций / Н.П. Чеснокова, Е.В. Понукалина, М.Н. Бизенкова // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1-2. – С. 325-328. [In English] Chesnokova N.P., Ponukalina E.V., Bizenkova M.N. Erythropoiesis and its regulation. Basic characteristics of erythrocytes, their properties and functions. *Advances in current natural sciences*, 2015, no. 1-2, pp. 325-328. (in Russ.)
16. Diagnostic Value and Prognostic Significance of Nucleated Red Blood Cells (NRBCs) in Selected Medical Conditions / K. Pikora, A. Krętowska-Grunwald, M. Krawczuk-Rybak, M. Sawicka-Żukowska // Cells. – 2023. – No. 12(14). – P. 1817. DOI: 10.3390/cells12141817.
17. Effects of Freshly Irradiated vs Irradiated and Stored Red Blood Cell Transfusion on Cerebral Oxygenation in Preterm Infants: A Randomized Clinical Trial / M. Saito-Benz, K. Bennington, C.L. Gray [et al.] // JAMA Pediatr. – 2022. – No. 176(5). – P. e220152. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2022.0152.
18. Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development Neonatal Research Network. Tissue Oxygenation Changes After Transfusion and Outcomes in Preterm Infants: A Secondary Near-Infrared Spectroscopy Study of the Transfusion of Prematures Randomized Clinical Trial (TOP NIRS) / V.Y. Chock, H. Kirpalani, E.F. Bell [et al.] // JAMA Netw Open. – 2023. – No. 6(9). – P. e2334889. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.34889.
19. Eunice Kennedy Shriver National Institute of Child Health and Human Development Neonatal Research Network. Early brain and abdominal oxygenation in extremely low birth weight infants / V.Y. Chock, E. Smith, S. Tan [et al.] // Pediatr Res. – 2022. – No. 92(4). – P. 1034-1041. DOI: 10.1038/s41390-022-02082-z.
20. Fetal haemoglobin and oxygen requirement in preterm infants: an observational study / T. Ulinder, W. Hellström, C. Gadsbøll [et al.] // Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. – 2025. – No. 110(3). – P. 285-290. DOI: 10.1136/archdischild-2024-327411.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иван Владимирович Гераськин – врач-патологоанатом ГБУЗ «Нижегородская областная детская клиническая больница», Нижний Новгород, e-mail: ivan_geraskin19@mail.ru.
Анна Вячеславовна Дерюгина – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой физиологии и анатомии Института биологии и биомедицины, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, e-mail: derugina69@yandex.ru.
Владимир Анатольевич Гераськин – доцент, кандидат медицинских наук, преподаватель кафедры анестезиологии, реаниматологии и трансфузиологии Приволжского исследовательского медицинского университета (ПИМУ), Нижний Новгород, e-mail: gvarm@mail.ru.
Наталья Валентиновна Гераськина – врач-неонатолог ГБУЗ «Нижегородская областная детская клиническая больница», Нижний Новгород, e-mail: gvarm@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Ivan V. Geraskin – Autopsist, Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital, Nizhny Novgorod, e-mail: ivan_geraskin19@mail.ru.
Anna V. Deryugina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology and Anatomy, Institute of Biology and Biomedicine, Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, e-mail: derugina69@yandex.ru.
Vladimir A. Geraskin – Associate Professor, Candidate of Medical Sciences, Lecturer of the Department of Anesthesiology, Intensive Care Medicine and Transfusiology, Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, e-mail: gvarm@mail.ru.
Natalya V. Geraskina – Neonatologist, Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital, Nizhny Novgorod, e-mail: gvarm@mail.ru.

Для цитирования: Значение трансформации структуры гемоглобинов периода новорожденности, как факторов адаптации и дезадаптации / И.В. Гераськин, А.В. Дерюгина, В.А. Гераськин, Н.В. Гераськина // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 4(34). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_4

For citation: Geraskin I.V., Deryugina A.V., Geraskin V.A., Geraskina N.V. Significance of transformation of the hemoglobin structure in the neonatal period as adaptation and maladaptation factors. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 4(34). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_04_4