



Научная статья
УДК 612.111.11
DOI: 10.37482/2687-1491-Z253

Особенности влияния динамики фетального гемоглобина на содержание кислорода в крови доношенных и недоношенных новорожденных

Иван Владимирович Гераськин**/ ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3978-2268>
Анна Вячеславовна Дерюгина* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>
Олег Вячеславович Военнов*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3602-4736>
Владимир Анатольевич Гераськин*** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0607-7004>
Наталья Валентиновна Гераськина** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6312-6538>

*Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
(Нижний Новгород, Россия)

**Нижегородская областная детская клиническая больница
(Нижний Новгород, Россия)

***Приволжский исследовательский медицинский университет
(Нижний Новгород, Россия)

Аннотация. Сохраняется дефицит исследований влияния динамики фетального гемоглобина (HbF) неонатального периода на регуляцию кислородного статуса здоровых доношенных новорожденных и недоношенных новорожденных с морфофункциональной незрелостью, низкой массой тела. Анализ изменчивости оксигенации под влиянием биологических и патологических гемотрансфузионных факторов, динамики HbF способствует определению механизма развития гипоксического повреждения. **Цель работы** – детализация влияния изменений уровня фракции фетального гемоглобина на динамику параметров оксигенации в течение неонатального периода. **Материалы и методы.** Проанализирована медицинская документация пациентов неонатологических и реанимационных отделений Нижегородской областной детской клинической больницы за период с 2019 по 2021 год. Определено 712 показателей транспорта кислорода у 198 пациентов неонатального периода: 337 – у доношенных и 375 – у недоношенных новорожденных. Выполнено 226 исследований изменений кислородного статуса у детей неонатального и младенческого (29–60 сут.) периодов при гемотрансфузиях и без них. Проведен сравнительный анализ динамики концентрации общего гемоглобина, кислородной емкости гемоглобина (КЕГ), уровня HbF, общего содержания кислорода (ctO_2), сродства гемоглобина к кислороду ($p50$) в артериализованной крови капилляров у детей неонатального периода. **Результаты.** Уровень HbF в ранний неонатальный период был более высоким в группе недоношенных по сравнению с доношенными ($80,44 \pm 7,75$ против $73,96 \pm 2,91$ %). Наиболее активно (на 32,55 %

© Гераськин И.В., Дерюгина А.В., Военнов О.В., Гераськин В.А., Гераськина Н.В., 2025

Ответственный за переписку: Иван Владимирович Гераськин, адрес: 306122, г. Нижний Новгород, ул. Богородского, д. 7/19; e-mail: Ivan_geraskin19@mail.ru

от исходного значения) в ходе неонатального периода концентрация HbF уменьшалась у недоношенных (у доношенных – на 11,08 %). Количественная и структурная динамика HbF и гемоглобина взрослых коррелировала с изменениями показателей содержания кислорода (КЕГ, р50, сtO₂). У доношенных и недоношенных детей динамика показателей оксигенации имела отрицательную направленность, за исключением р50. У новорожденных и младенцев, получавших гемотрансфузии в неонатальный период, отмечены снижение уровня HbF и рост р50 по сравнению с пациентами без гемотрансфузий.

Ключевые слова: фетальный гемоглобин, гипоксия, сродство гемоглобина к кислороду, неонатальный период, доношенные новорожденные, недоношенные новорожденные, младенцы, гемотрансфузии

Для цитирования: Особенности влияния динамики фетального гемоглобина на содержание кислорода в крови доношенных и недоношенных новорожденных / И. В. Гераськин, А. В. Дерюгина, О. В. Военнов, В. А. Гераськин, Н. В. Гераськина // Журнал медико-биологических исследований. – 2025. – Т. 13, уровня № 3. – С. 297-307. – DOI 10.37482/2687-1491-Z253.

Original article

Influence of Foetal Haemoglobin Dynamics on the Oxygen Content in the Blood of Full-Term and Premature Newborns

Ivan V. Geraskin^{*/**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3978-2268>

Anna V. Deryugina^{*} ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>

Oleg V. Voennov^{***} ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3602-4736>

Vladimir A. Geraskin^{***} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0607-7004>

Natalia V. Geraskina^{**} ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6312-6538>

^{*}National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
(Nizhny Novgorod, Russia)

^{**}Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital
(Nizhny Novgorod, Russia)

^{***}Privolzhsky Research Medical University
(Nizhny Novgorod, Russia)

Abstract. There is limited research into the influence of foetal haemoglobin (HbF) dynamics in the neonatal period on the regulation of oxygen status in healthy full-term newborns and premature newborns with morphofunctional immaturity and low body mass. Analysis of the variability of oxygenation under the influence of biological and pathological blood transfusion factors, as well as HbF dynamics helps detect the mechanisms of development of hypoxic damage. The **purpose** of this study was to detail the effect of changes in the foetal haemoglobin fraction on the dynamics of oxygenation parameters during the neonatal period. **Materials and methods.** We analysed medical documentation of patients in the neonatology and intensive care departments of Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital for the period of 2019–2021. A total of 712 indicators of oxygen transport were determined in 198 neonatal patients: 337 in full-term and 375 in premature

Corresponding author: Ivan Geraskin, address: ul. Bogorodskogo 7/19, Nizhny Novgorod, 306122, Russia; e-mail: Ivan_geraskin19@mail.ru

newborns. Further, we conducted 226 tests looking into changes in the oxygen status in 39 neonates and infants (29–60 days old) given and not given blood transfusions. A comparative analysis was performed of the dynamics of total haemoglobin concentration, oxygen-binding capacity of haemoglobin (CHb), HbF level, total oxygen content (ctO₂) and haemoglobin's affinity for oxygen (p50) in the arterialized capillary blood of neonates. **Results.** HbF level during the early neonatal period was higher in the group of preterm compared to full-term children (80.44 ± 7.75 vs 73.96 ± 2.91 %). Most actively (by 32.55 % from the baseline), in the neonatal period, HbF concentration decreased in premature infants (in full-term children, by 11.08 %). The quantitative and structural dynamics of HbF and haemoglobin from adults correlated with the changes in oxygen indicators (CHb, p50 and ctO₂). In full-term and premature children, we observed a negative dynamics of oxygenation parameters, with the exception of p50. Newborns and infants who were given blood transfusions during the neonatal period showed a decrease in HbF levels and an increase in p50 compared to patients that did not receive blood transfusions.

Keywords: foetal haemoglobin, hypoxia, haemoglobin's affinity for oxygen, neonatal period, full-term newborns, premature newborns, infants, blood transfusions

For citation: Geraskin I.V., Deryugina A.V., Voennov O.V., Geraskin V.A., Geraskina N.V. Influence of Foetal Haemoglobin Dynamics on the Oxygen Content in the Blood of Full-Term and Premature Newborns. *Journal of Medical and Biological Research*, 2025, vol. 13, no. 3, pp. 297–307. DOI: 10.37482/2687-1491-Z253

Гипоксия является наиболее частой причиной развития стресса у новорожденных. Нехватка кислорода может привести к выраженным тканевым и органным повреждениям, тяжесть которых зависит от длительности и степени выраженности кислородного голодания. В период новорожденности элементы развития тканевой гипоксии связаны с декомпенсированной гемической и циркуляторной недостаточностью, что способствует формированию стойких некротических или дегенеративных повреждений тканей [1–2]. Фетальный гемоглобин (HbF) является основным переносчиком кислорода в крови новорожденных, по сравнению с гемоглобином взрослых (HbA) он обладает значительно более высоким сродством к кислороду, и кривая диссоциации фетального оксигемоглобина, соответственно, смещена влево. Есть данные исследований, что у новорожденных с очень низкой массой тела более высокий уровень фракции HbF связан с более низкой частотой ретинопатии недоношенных (РН). Это позволяет выдвинуть гипотезу, что HbF может служить защитным фактором от гипоксического повреждения тканей у недоношенных новорожденных. Отмечено, что существует зависимость формирования

окислительного повреждения тканей новорожденных от количественного показателя HbF в структуре гемоглобина крови [3]. Следовательно, определение уровня HbF у новорожденных представляет значительный интерес для оценки оксигенации тканей и органов.

Сохраняется дефицит исследований, рассматривающих роль динамики уровня HbF неонатального периода в регуляции баланса кислородного статуса здоровых новорожденных и недоношенных с морфофункциональной незрелостью и низкой массой тела, что не позволяет оценить значимости данных изменений при адаптации организма к гипоксии [4–6]. При этом в неонатальной практике распространено применение гемотрансфузий для компенсации гипоксии у недоношенных детей [7]. Ряд исследователей констатирует, что практика гемотрансфузий новорожденным представляет постоянную проблему. Противоречия в рекомендациях по переливанию крови препятствуют формированию базы сопоставимых клинических данных, что, в свою очередь, не способствует разработке и использованию сбалансированных протоколов по гемотрансфузиям. Для ликвидации проблемы необходимы новые исследования с примене-

нием биохимических и клинических методов, позволяющие врачам собирать данные причинно-следственных связей вместо косвенных корреляций [8].

До настоящего времени не удалось сформировать единые показатели физиологической нормы уровня HbF для неонатального и младенческого периодов развития. При анализе литературных источников фиксируются существенные отличия приводимых значений нормы HbF для неонатального периода – в диапазоне от 55 до 85 % [9–12].

К 6-му месяцу жизни содержание HbF не превышает 4–5 % от уровня при рождении. Стабильный уровень гемоглобина формируется в течение 1-го года жизни. В дальнейшем структура общего гемоглобина крови представлена 1 % HbF, 97 % HbA, 2 % HbA₂ [12]. Вместе с тем некоторые авторы отмечают, что вероятно зависимость формирования повреждения тканей новорожденных от количества HbF в структуре гемоглобина крови [13]. N. Prasad et al. считают, что замена HbF на HbA при переливании крови способствует развитию ретинопатии, а поддержание более высокого уровня HbF, наоборот, может применяться как способ профилактики данного заболевания. Однако в их публикации отсутствует детализация патогенеза, за основную причину повреждения принят дисбаланс ангиогенеза сетчатой оболочки [14]. Необходима разработка методов оценки кислородного статуса у новорожденных с учетом влияния возрастных особенностей и факторов, действующих в неонатальный период [11].

Цель данного исследования – детализация влияния HbF на динамику параметров оксигенации в течение неонатального периода.

Материалы и методы. Определение функциональных особенностей параметров кислородного статуса выполнено на основе ретроспективного математического анализа данных из историй болезней новорожденных, являвшихся пациентами неонатологических и реанимационных отделений Нижегородской областной детской клинической больницы, за период с 2019 по 2021 год. Общая выборка результа-

тов из массива клинической диагностической документации была сформирована с учетом критериев доношенности и недоношенности, возрастных параметров обследуемых. Выполнен анализ 712 комплексных клинических исследований показателей транспорта кислорода у 198 детей неонатального периода (до 28 сут. жизни): 337 у доношенных и 375 у недоношенных новорожденных. Изучены 226 изменений кислородного статуса у детей неонатального (до 28 сут.) и младенческого (29–60 сут.) периодов: 39 – при гемотрансфузиях, 187 – без гемотрансфузий (группа контроля).

Показатели газового состава, оксиметрии и кислотно-щелочного состояния крови исследовались по материалам, полученным в ходе лечебно-диагностического процесса, при применении лабораторного автоматического газового анализатора крови Radiometer ABL800 BASIC Radiometer Medical ApS (Дания). Выполнен анализ динамики следующих величин: концентрации общего гемоглобина в крови (ctHb); кислородной емкости гемоглобина (КЕГ) – количества O₂, которое может связаться с гемоглобином эритроцитов крови при его 100 %-м насыщении; уровня фракции HbF; общего содержания кислорода (ctO₂); сродства гемоглобина к кислороду (p50) [15].

Данные обработаны с использованием ресурсов статистического анализа «Медицинская статистика» (<https://medstatistic.ru>), программы MS Excel 2016 (Microsoft, США) с применением параметра «Анализ данных». Выполнена оценка зависимости совокупностей показателей с определением корреляции по Пирсону. Степень связи сравниваемых показателей определялась по значению коэффициента корреляции (r_{xy}). Для сравнения несвязанных совокупностей использовался параметрический критерий Стьюдента. Статистически значимые различия фиксировались при $p < 0,05$ [16].

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о том, что у доношенных и недоношенных пациентов на протяжении неонатального периода ctHb, КЕГ, HbF, ctO₂ снижались, но при этом сильно отличались исходные значения показателей (при рож-

дении), параметры возрастной динамики, темпы развития изменений (см. *таблицу*). Уровень HbF в ранний неонатальный период (1-я неделя жизни) был более высоким в группе недоношенных ($80,44 \pm 7,75$ %, против $73,96 \pm 2,91$ % у доношенных). К завершению неонатального периода наиболее активно от исходных значений уменьшался уровень HbF у недоношенных и менее выражено – у доношенных, на 32,55 и 11,08 % соответственно. Количественная и структурная динамика

компонентов гемоглобина (HbF и HbA) отражена в изменениях показателей содержания кислорода: ctHb, КЕГ, HbF, p50, ctO₂. В обеих группах динамика показателей оксигенации имела отрицательную направленность, за исключением p50.

Как у доношенных, так и у недоношенных детей определялось снижение КЕГ. Более высокие темпы наблюдались у недоношенных (на 24,53 %) в сравнении с доношенными (на 20,94 %). При анализе коэффициентов корреля-

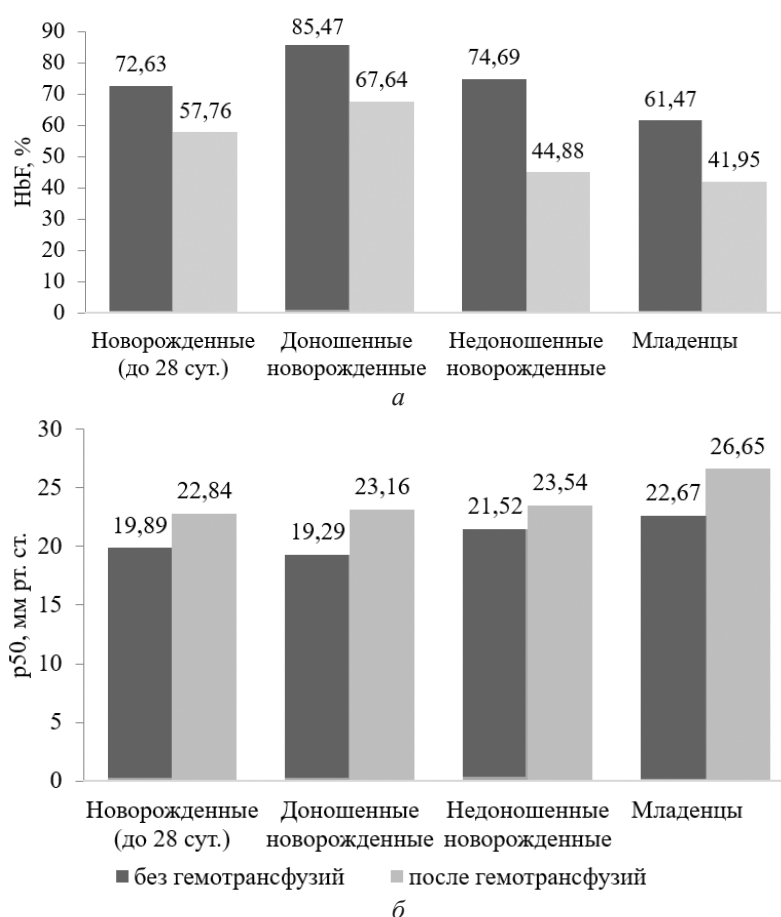
**Динамика показателей кислородного статуса у доношенных и недоношенных детей
в ходе неонатального периода развития**

Dynamics of oxygen status indicators in full-term and premature newborns during the neonatal period

Неделя жизни	Доношенные дети			Недоношенные дети		
	<i>M±m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>M±m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>
<i>ctHb, г/дл</i>						
1-я	15,07±0,79	46	–	14,05±0,70	44	–
2-я	13,62±1,16	24	–	12,36±1,02	20	–
3-я	12,05±1,51	11	–	10,12±0,68	13	–
4-я	11,92±1,29	11	–	10,56±0,80	25	–
<i>КЕГ, мл O₂</i>						
1-я	20,20±1,05	46	<0,05	18,82±0,94	44	<0,05
2-я	18,25±1,55	24	<0,05	16,56±1,36	20	<0,05
3-я	16,14±2,02	11	>0,05	13,56±0,91	13	<0,05
4-я	15,97±1,73	11	>0,05	14,16±1,07	25	<0,05
<i>HbF, %</i>						
1-я	73,96±2,91	26	<0,05	80,44±7,75	25	<0,05
2-я	70,35±5,51	20	<0,05	69,00±11,58	9	<0,05
3-я	63,10±9,60	8	<0,05	69,00±11,58	9	<0,05
4-я	62,08±7,63	12	<0,05	47,89±5,58	18	<0,05
<i>p50, мм рт. ст.</i>						
1-я	19,44±1,15	17	<0,05	20,04±1,33	24	<0,05
2-я	20,40±1,78	11	<0,05	19,96±1,13	13	<0,05
3-я	24,09±3,21	5	<0,05	21,17±2,84	5	<0,05
4-я	20,52±2,12	3	<0,05	23,33±2,13	9	<0,05
<i>ctO₂, мл/дл</i>						
1-я	21,24±1,06	22	<0,05	18,22 ±0,95	25	<0,05
2-я	16,00±2,08	13	>0,05	16,50 ±1,68	13	>0,05
3-я	14,93±2,33	9	>0,05	11,20±1,22	9	>0,05
4-я	15,63±1,95	7	>0,05	11,61 ±0,74	12	<0,05

ции и сравнении динамики показателей окислительного статуса крови с изменением уровня HbF определена более сильная зависимость у доношенных ($0,50 < |r_{xy}| < 0,69$). Снижение stHb у доношенных детей составляло 21,00 %, а у недоношенных – 28,14 %. В обеих группах зафиксирована отрицательная корреляция между динамикой показателей HbF и p50. У доношенных обратная зависимость показателей динамики HbF и p50 соответствовала $|r_{xy}| = -0,68$, у недоношенных – $|r_{xy}| = -0,40$.

Определение динамики уровня HbF и p50 при гемотрансфузиях проводилось с дифференциацией новорожденных на доношенных и недоношенных, также изучались данные младенцев, недавно завершивших неонатальный период развития (29–60 сут. жизни) (см. рисунок). Зарегистрировано более низкое содержание HbF у всех возрастных категорий обследованных, получавших гемотрансфузии, по сравнению с показателями контрольной группы.



Влияние гемотрансфузий неонатального периода на показатели артериализованной крови новорожденных и младенцев ($n = 226$): *а* – уровень фетального гемоглобина ($p < 0,01$); *б* – сродство гемоглобина к кислороду ($p < 0,05$)

Effect of neonatal blood transfusions on the arterialized blood parameters in newborns and infants ($n = 226$): *a* – level of foetal haemoglobin ($p < 0.01$); *b* – haemoglobin's affinity for oxygen ($p < 0.05$)

Параллельно во всех анализируемых посттрансфузионных группах отмечено нарастание $p50$. Наиболее высокое значение данного показателя (26,65 мм рт. ст.) зафиксировано в посттрансфузионный период у младенцев. Эта же группа отличалась от других минимальным уровнем HbF.

Обсуждение. Сложность определения влияния HbF на динамику кислородтранспортной функции в течение неонатального периода заключается в том, что в данном интервале развиваются гетерогенные процессы уменьшения содержания HbF [17]. Первый процесс (физиологическое снижение уровня HbF) – эволюционно выработанный и закреплённый у всех индивидуумов, второй – приобретенный, формирующийся под влиянием гемотрансфузий и заболеваний периода новорожденности: при ранней анемии, гемолитической болезни, кровотечениях, операционной кровопотере. Большое значение имеют уровень HbF при рождении, наличие недоношенности, незрелости [18, 19].

Повторные гемотрансфузии по стандартным схемам переливания крови недоношенным новорожденным от взрослых доноров приводят к нефизиологической прогрессирующей замене HbF на HbA [20]. Полученные нами результаты свидетельствуют о снижении уровня HbF при параллельном возрастании $p50$. Данная динамика $p50$ зафиксирована во всех группах исследования, что говорит о необходимости более высокого парциального давления кислорода для достижения 50 %-го насыщения гемоглобина крови и сохранения необходимого баланса оксигенации. С учетом различий в способности к диссоциации структурных гемоглобинов (HbF и HbA) периода новорожденности, снижение величины HbF определяет последующее уменьшение сродства общего гемоглобина к кислороду и более быстрое высвобождение его в тканях. Если у пациентов старших возрастных групп увеличение содержания общего гемоглобина крови и ускорение транспорта кислорода по сосудистому руслу является желаемым результатом

гемотрансфузий, то у пациентов неонатального периода и младенцев посттрансфузионная ситуация в существенной степени отличается. С момента рождения и на протяжении 1-го года жизни в организме существует уникальное состояние биологической гетерогенности структурных гемоглобинов крови с различными параметрами оксигенации [21]. Физиологически в крови ребенка одновременно, в нестабильных пропорциях, присутствуют две наиболее крупные фракции оксигемоглобина (HbF+O₂ и HbA+O₂), количественно зависящие от постнатального возраста. Соответственно, формируется двухконтурная диссоциация общего оксигемоглобина у новорожденных детей и младенцев, зависящая от динамики соотношений физиологических гемоглобинов крови [22].

Уменьшение содержания HbF (физиологическое или в результате трансфузий эритроцитов крови) сочетается с увеличением $p50$ как показателя снижения сродства общего гемоглобина к O₂ у детей периода новорожденности. Это определяет ухудшение снабжения O₂ участков тканей с наиболее выраженной гипоксией. Уменьшение количества O₂, доставляемого к тканям, в состоянии прогрессирующей гемической гипоксии способствует тому, что их метаболические потребности не могут быть полностью удовлетворены.

Окислительная система организма человека функционирует как единое целое, где все ее отдельные компоненты взаимосвязаны. В ходе неонатального периода формируется эволюционно выработанное динамичное сочетание гемоглобинов крови как сложный гетерогенный состав различных изоформ гемоглобина со структурным преобладанием HbF. Данный период развития характеризуется динамичным влиянием уникальных структурных, физико-химических и функциональных особенностей HbF как на содержание кислорода в крови, так и на его поступление в ткани. Сочетание у новорожденного низкого $p50$ и высокого уровня HbF приводит к увеличению сродства гемоглобина к кисло-

роду и усилению его высвобождения в участках тканевой гипоксии и ацидоза с наиболее малыми значениями рН. Полученные данные свидетельствуют о наличии прямой зависимости между динамикой содержания HbF и показателей окислительного статуса крови. Эта система наряду с транспортом газов и обеспечением буферной функции занимает заметное место в реакциях защиты и адаптации при гипоксии.

Динамика показателей окислительного статуса у детей в ходе неонатального периода отражает сочетание действия биологиче-

ских эволюционно обусловленных факторов, уменьшающих активность влияния HbF, и патологических факторов, снижающих структурные и функциональные параметры HbF в результате выполненных гемотрансфузий. При переливании крови у новорожденных с анемией HbF замещается на взрослый HbA, имеющий низкое сродство к кислороду.

Полученные данные динамики уровня HbF при регистрации сопутствующих параметров оксигенации будут способствовать росту эффективности лечения заболеваний, связанных с развитием гипоксии и ее последствий.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Пальчик А.Б., Шабалов Н.П. Гипоксически-ишемическая энцефалопатия новорожденных. М.: МЕДпресс-информ, 2021. 304 с.
2. Рагимова Л. Характеристика неонатального периода у детей с гипоксически-ишемической энцефалопатией // Мед. новости. 2023. № 1(340). С. 70–72.
3. Stutchfield C.J., Jain A., Odd D., Williams C., Markham R. Foetal Haemoglobin, Blood Transfusion, and Retinopathy of Prematurity in Very Preterm Infants: A Pilot Prospective Cohort Study // Eye (Lond.). 2017. Vol. 31, № 10. P. 1451–1455. <https://doi.org/10.1038/eye.2017.76>
4. Cannavò L., Perrone S., Viola V., Marseglia L., Di Rosa G., Gitto E. Oxidative Stress and Respiratory Diseases in Preterm Newborns // Int. J. Mol. Sci. 2021. Vol. 22, № 22. Art. № 12504. <https://doi.org/10.3390/ijms222212504>
5. Strauss E., Gotz-Więckowska A., Sobaniec A., Chmielarz-Czarnocińska A., Szpecht D., Januszkiewicz-Lewandowska D. Hypoxia-Inducible Pathway Polymorphisms and Their Role in the Complications of Prematurity // Genes (Basel). 2023. Vol. 14, № 5. Art. № 975. <https://doi.org/10.3390/genes14050975>
6. Гераськин И.В., Трофимов В.А., Военнов О.В., Гераськина Н.В., Гераськин В.А. Особенности динамики фракций гемоглобинов крови у пациентов периодов новорожденности и грудного возраста // Саратов. науч.-мед. журн. 2022. Т. 18, № 3. С. 394–398.
7. Pellegrino C., Papacci P., Beccia F., Serrao F., Cantone G.V., Cannetti G., Giannantonio C., Vento G., Teofili L. Differences in Cerebral Tissue Oxygenation in Preterm Neonates Receiving Adult or Cord Blood Red Blood Cell Transfusions // JAMA Netw. Open. 2023. Vol. 6, № 11. Art. № e2341643. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.41643>
8. Bellach L., Eigenschink M., Hassanein A., Savran D., Salzer U., Müllner E.W., Repa A., Klebermass-Schrehof K., Wisgrill L., Giordano V., Berger A. Packed Red Blood Cell Transfusion in Preterm Infants // Lancet Haematol. 2022. Vol. 9, № 8. P. e615–e626. [https://doi.org/10.1016/s2352-3026\(22\)00207-1](https://doi.org/10.1016/s2352-3026(22)00207-1)
9. Бисалиева Р.А., Кривенцев Ю.А., Носков А.И., Гудинская Н.И., Кривенцева Л.А., Поляков В.К. Антенатальные гемоглобины человека: биологическая роль и клинично-диагностическое значение // Междунар. журн. приклад. и фундам. исслед. 2016. № 11-6. С. 1081–1085.
10. Данилова Л.А. Анализы крови, мочи и других биологических жидкостей в различные возрастные периоды. СПб.: СпецЛит, 2019. 119 с.

11. Токовая И.А., Модель Г.Ю., Пенжоян Г.А., Тен Ф.П., Сысоева И.П., Левадная А.В., Торишин В.А., Дегтярев Д.Н. Клиническое значение углубленной оценки кислородного статуса у недоношенных новорожденных с респираторным дистресс-синдромом // Неонатология: новости, мнения, обучение. 2016. № 4(14). С. 83–93.
12. Manca L., Masala B. Disorders of The Synthesis of Human Fetal Hemoglobin // IUBMB Life. 2008. Vol. 60, № 2. P. 94–111. <https://doi.org/10.1002/iub.4>
13. Гераськин И.В., Дерюгина А.В., Гераськина Н.В., Гераськин В.А. Влияние возрастных изменений состава физиологических гемоглобинов и кислородного баланса крови на формирование реактивности организма в неонатальном периоде // Патол. физиология и эксперим. терапия. 2024. Т. 68, № 1. С. 81–88.
14. Prasad N., Kumar K., Dubey A. Fetal Hemoglobin, Blood Transfusion, and Retinopathy of Prematurity in Preterm Infants: An Observational, Prospective Study // Indian J. Ophthalmol. 2023. Vol. 71, № 7. P. 2803–2807. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_692_23
15. Shiao S.-Y.P.K., Ou C.-N., Pierantoni H. The Measurement of Accurate Fetal Hemoglobin and Related Oxygen Saturation by the Hemoximeter // Clin. Chim. Acta. 2006. Vol. 374, № 1–2. P. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2006.05.042>
16. Лэ В.Х., Черненко Л.В. Алгоритм оценки отклонения между регуляризованным и точным решениями в обратных задачах // Int. J. Open Inform. Technol. 2023. Т. 11, № 10. С. 6–13.
17. Kaufman D.P., Khattar J., Lappin S.L. Physiology, Fetal Hemoglobin // StatPearls. Treasure Island: StatPearls Publishing, 2023. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK500011/> (дата обращения: 20.12.2024).
18. Gavulic A.E., Dougherty D., Li S.-H., Carver A.R., Bermick J.R., Mychaliska G.B., Hirschl R.B., Perrone E.E. Fetal Hemoglobin Levels in Premature Newborns. Should We Reconsider Transfusion of Adult Donor Blood? // J. Pediatr. Surg. 2021. Vol. 56, № 11. P. 1944–1948. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2021.04.018>
19. Marin T., Moore J., Kosmetatos N., Roback J.D., Weiss P., Higgins M., McCauley L., Strickland O.L., Josephson C.D. Red Blood Cell Transfusion-Related Necrotizing Enterocolitis in Very-Low-Birthweight Infants: A Near-Infrared Spectroscopy Investigation // Transfusion. 2013. Vol. 53, № 11. P. 2650–2658. <https://doi.org/10.1111/trf.12158>
20. Teofili L., Papacci P., Dani C., Cresi F., Remaschi G., Pellegrino C., Bianchi M., Ansaldo G., Campagnoli M.F., Vania B., Lepore D., Franco F.G.S., Fabbri M., de Vera d'Aragona R.P., Molisso A., Beccastrini E., Dragonetti A., Orazi L., Pasciuto T., Mozzetta I., Baldascino A., Locatelli E., Valentini C.G., Giannantonio C., Carducci B., Gabbriellini S., Albiani R., Ciabatti E., Nicolotti N., Baroni S., Mazzoni A., Besso F.G., Serrao F., Purcaro V., Coscia A., Pizzolo R., Raffaeli G., Villa S., Mondello I., Trimarchi A., Beccia F., Ghirardello S., Vento G. 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 // Ital. J. Pediatr. 2024. Vol. 50, № 1. Art. № 142. <https://doi.org/10.1186/s13052-024-01714-w>
21. Yazdanbakhsh M., Eid H., Acker J.P., Bar Am N., Cheung P.-Y., Dotchin S.A., Rabi Y. Hemoglobin-Oxygen Affinity Changes in Neonatal Blood Transfusions: RBC Selection Insights // Pediatr. Res. 2024. Vol. 97, № 6. P. 2090–2096. <https://doi.org/10.1038/s41390-024-03646-x>
22. Houben N.A.M., Lopriore E. Oxygen Affinity of Fetal and Adult Hemoglobin in Action: Shifting Our Understanding of Red Blood Cell Transfusions in Neonates // Pediatr. Res. 2024. Vol. 97, № 6. P. 1767–1768. <https://doi.org/10.1038/s41390-024-03784-2>

References

1. Pal'chik A.B., Shabalov N.P. *Gipoksicheski-ishemicheskaya entsefalopatiya novorozhdennykh* [Neonatal Hypoxic Ischemic Encephalopathy]. Moscow, 2021. 304 p.
2. Ragimova L. Kharakteristika neonatal'nogo perioda u detey s gipoksicheski-ishemicheskoy entsefalopatiey [Characteristics of the Neonatal Period of Children with Hypoxic-Ischemic Encephalopathy]. *Meditinskije novosti*, 2023, no. 1, pp. 70–72.
3. Stutchfield C.J., Jain A., Odd D., Williams C., Markham R. Foetal Haemoglobin, Blood Transfusion, and Retinopathy of Prematurity in Very Preterm Infants: A Pilot Prospective Cohort Study. *Eye (Lond.)*, 2017, vol. 31, no. 10, pp. 1451–1455. <https://doi.org/10.1038/eye.2017.76>
4. Cannavò L., Perrone S., Viola V., Marseglia L., Di Rosa G., Gitto E. Oxidative Stress and Respiratory Diseases in Preterm Newborns. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 22. Art. no. 12504. <https://doi.org/10.3390/ijms22212504>

5. Strauss E., Gotz-Więckowska A., Sobaniec A., Chmielarz-Czarnocińska A., Szpecht D., Januszkiewicz-Lewandowska D. Hypoxia-Inducible Pathway Polymorphisms and Their Role in the Complications of Prematurity. *Genes (Basel)*, 2023, vol. 14, no. 5. Art. no. 975. <https://doi.org/10.3390/genes14050975>
6. Geraskin I.V., Trofimov V.A., Voennov O.V., Geraskina N.V., Geraskin V.A. Features of the Dynamics of Blood Hemoglobin Fractions in Patients of the Newborn and Infancy Periods. *Sarat. J. Med. Sci. Res.*, 2022, vol. 18, no. 3, pp. 394–398 (in Russ.).
7. Pellegrino C., Papacci P., Beccia F., Serrao F., Cantone G.V., Cannetti G., Giannantonio C., Vento G., Teofili L. Differences in Cerebral Tissue Oxygenation in Preterm Neonates Receiving Adult or Cord Blood Red Blood Cell Transfusions. *JAMA Netw. Open*, 2023, vol. 6, no. 11. Art. no. e2341643. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.41643>
8. Bellach L., Eigenschink M., Hassanein A., Savran D., Salzer U., Müllner E.W., Repa A., Klebermass-Schrehof K., Wisgrill L., Giordano V., Berger A. Packed Red Blood Cell Transfusion in Preterm Infants. *Lancet Haematol.*, 2022, vol. 9, no. 8, pp. e615–e626. [https://doi.org/10.1016/s2352-3026\(22\)00207-1](https://doi.org/10.1016/s2352-3026(22)00207-1)
9. Bisalieva R.A., Kriventsev Yu.A., Noskov A.I., Gudinskaya N.I., Kriventseva L.A., Polyakov V.K. Antenatal'nye gemoglobiny cheloveka: biologicheskaya rol' i kliniko-dagnosticheskoe znachenie [Human Antenatal Hemoglobins: Biological Role and Clinical and Diagnostic Significance]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2016, no. 11-6, pp. 1081–1085.
10. Danilova L.A. *Analizy krovi, mochi i drugikh biologicheskikh zhidkostey v razlichnye vozrastnye periody* [Blood, Urine and Other Biological Fluid Tests at Different Age Periods]. St. Petersburg, 2019. 119 p.
11. Tokovaya I.A., Model' G.Yu., Penzhoyan G.A., Ten F.P., Sysoeva I.P., Levadnaya A.V., Torshin V.A., Degtyarev D.N. Klinicheskoe znachenie uglublennoy otsenki kislorodnogo statusa u nedonoshennykh novorozhdennykh s respiratornym distress-sindromom [Clinical Relevance of Insightful Oxygen Status Assessment in Preterm Infants with Respiratory Distress Syndrome]. *Neonatologiya: novosti, mneniya, obuchenie*, 2016, no. 4, pp. 83–93.
12. Manca L., Masala B. Disorders of the Synthesis of Human Fetal Hemoglobin. *IUBMB Life*, 2008, vol. 60, no. 2, pp. 94–111. <https://doi.org/10.1002/iub.4>
13. Geraskin I.V., Deryugina A.V., Geraskina N.V., Geraskin V.A. The Effect of Age-Related Changes in the Composition of Physiological Hemoglobins and Blood Oxygen Balance on the Formation of Reactivity of the Body in the Neonatal Period. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*, 2024, vol. 68, no. 1, pp. 81–88 (in Russ.).
14. Prasad N., Kumar K., Dubey A. Fetal Hemoglobin, Blood Transfusion, and Retinopathy of Prematurity in Preterm Infants: An Observational, Prospective Study. *Indian J. Ophthalmol.*, 2023, vol. 71, no. 7, pp. 2803–2807. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_692_23
15. Shiao S.-Y.P.K., Ou C.-N., Pierantoni H. The Measurement of Accurate Fetal Hemoglobin and Related Oxygen Saturation by the Hemoximeter. *Clin. Chim. Acta*, 2006, vol. 374, no. 1–2, pp. 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2006.05.042>
16. Le V.H., Chernen'kaya L.V. Algoritm otsenki otkloneniya mezhdru regulyarizovannym i tochnym resheniyami v obratnykh zadachakh [An Algorithm for Estimating the Deviation Between Regularized and Exact Solutions in Inverse Problems]. *Int. J. Open Inform. Technol.*, 2023, vol. 11, no. 10, pp. 6–13.
17. Kaufman D.P., Khattar J., Lappin S.L. Physiology, Fetal Hemoglobin. *StatPearls*. Treasure Island, 2023. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK500011/> (accessed: 20 December 2024).
18. Gavulic A.E., Dougherty D., Li S.-H., Carver A.R., Bermick J.R., Mychaliska G.B., Hirschl R.B., Perrone E.E. Fetal Hemoglobin Levels in Premature Newborns. Should We Reconsider Transfusion of Adult Donor Blood? *J. Pediatr. Surg.*, 2021, vol. 56, no. 11, pp. 1944–1948. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2021.04.018>
19. Marin T., Moore J., Kosmetatos N., Roback J.D., Weiss P., Higgins M., McCauley L., Strickland O.L., Josephson C.D. Red Blood Cell Transfusion-Related Necrotizing Enterocolitis in Very-Low-Birthweight Infants: A Near-Infrared Spectroscopy Investigation. *Transfusion*, 2013, vol. 53, no. 11, pp. 2650–2658. <https://doi.org/10.1111/trf.12158>

20. Teofili L., Papacci P., Dani C., Cresi F., Remaschi G., Pellegrino C., Bianchi M., Ansaldi G., Campagnoli M.F., Vania B., Lepore D., Franco F.G.S., Fabbri M., de Vera d'Aragona R.P., Molisso A., Beccastrini E., Dragonetti A., Orazi L., Pasciuto T., Mozzetta I., Baldascino A., Locatelli E., Valentini C.G., Giannantonio C., Carducci B., Gabbriellini S., Albiani R., Ciabatti E., Nicolotti N., Baroni S., Mazzoni A., Besso F.G., Serrao F., Purcaro V., Coscia A., Pizzolo R., Raffaeli G., Villa S., Mondello I., Trimarchi A., Beccia F., Ghirardello S., Vento G. 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. *Ital. J. Pediatr.*, 2024, vol. 50, no. 1. Art. no. 142. <https://doi.org/10.1186/s13052-024-01714-w>

21. Yazdanbakhsh M., Eid H., Acker J.P., Bar Am N., Cheung P.-Y., Dotchin S.A., Rabi Y. Hemoglobin-Oxygen Affinity Changes in Neonatal Blood Transfusions: RBC Selection Insights. *Pediatr. Res.*, 2024, vol. 97, no. 6, pp. 2090–2096. <https://doi.org/10.1038/s41390-024-03646-x>

22. Houben N.A.M., Lopriore E. Oxygen Affinity of Fetal and Adult Hemoglobin in Action: Shifting Our Understanding of Red Blood Cell Transfusions in Neonates. *Pediatr. Res.*, 2024, vol. 97, no. 6, pp. 1767–1768. <https://doi.org/10.1038/s41390-024-03784-2>

Поступила в редакцию 15.03.2024 / Одобрена после рецензирования 12.05.2025 / Принята к публикации 14.05.2025.
Submitted 15 March 2024 / Approved after reviewing 12 May 2025 / Accepted for publication 14 May 2025.