

© Коллектив авторов, 2023

УДК 616-092

Гераськин И.В.<sup>1</sup>, Гераськин В.А.<sup>1</sup>, Гераськина Н.В.<sup>2</sup>

## Влияние гемотрансфузий у новорожденных и детей грудного возраста на состав и сродство к кислороду физиологического гемоглобина

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», 603005, Нижний Новгород, Россия, пл. Минина и Пожарского. д.10/1;

<sup>2</sup>ГБУЗ НО «Нижегородская областная детская клиническая больница», 603005, Нижний Новгород, Россия, ул. Ванеева, д. 211

В клинической практике гемотрансфузий используется переливание эритроцитов крови от взрослых доноров реципиентам неонатального и младенческого периода развития с динамично изменяющимся уровнем фетального гемоглобина крови HbF (70-90%). Именно эта возрастная группа отличается уникальными физиологическими особенностями в быстро изменяющихся соотношениях гемоглобинов крови при росте и взрослении организма. Сохраняется ситуация неопределенности четких научных критериев изменчивости состава гемоглобинов крови у пациентов неонатального периода, способности динамично-меняющейся структуры гемоглобинов новорожденных к обеспечению тканей кислородом.

**Цель исследования** – изучение влияния гемотрансфузий у новорожденных и детей грудного возраста на изменение состава и сродство к кислороду физиологического гемоглобина.

**Методика.** Работа основана на результатах анализа клинических данных неонатологических отделений, отделений реанимации и интенсивной терапии. Систематизированы 923 исследования показателей типов гемоглобинов крови, кислотно-щелочного баланса и газового состава крови у 256 пациентов. Проведено сравнение динамики показателей структуры гемоглобинов крови и сродства к кислороду у новорожденных детей и младенцев до и после переливания эритроцитосодержащих компонентов донорской крови в процессе лечения.

**Результаты.** При сравнении показателей фетального гемоглобина (HbF%) у новорожденных детей в зависимости от наличия или отсутствия гемотрансфузий показано, что снижение уровня фетального гемоглобина от общего гемоглобина крови, более выражено у пациентов, получавших трансфузии эритроцитов крови. Более значителен был уровень снижения HbF% при переливаниях крови у недоношенных детей (до 29,81% по сравнению с 17,83% в группе доношенных). Определены уровни парциального давления кислорода в крови у новорожденных, при которых достигается 50 %-я сатурация (P50 mmHg) – по этому параметру оценивается сродство гемоглобина к кислороду. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости достижения большей величины парциального давления кислорода (pO<sub>2</sub>) для 50% насыщения гемоглобина крови у новорожденных после проведения гемотрансфузий.

**Заключение.** В отличие от старших возрастных групп накопление и выделение кислорода в ответ на потребности тканей у детей первого года жизни зависит не только от количественных показателей общего гемоглобина крови, но также от состава и соотношения типов. Снижение уровня фетального гемоглобина как физиологическое, так и при трансфузиях эритроцитов крови, сопровождается снижением сродства общего гемоглобина к кислороду у детей первого года жизни. Последнее обуславливает уменьшение способности к адресной доставке кислорода в участки тканей с наиболее выраженным ацидозом и гипоксией.

**Ключевые слова:** гемотрансфузии; фетальный гемоглобин; диссоциация оксигемоглобина; сродство гемоглобина к кислороду; неонатальный период

**Для цитирования:** Гераськин И.В., Гераськин В.А., Гераськина Н.В. Влияние гемотрансфузий у новорожденных и детей грудного возраста на состав и сродство к кислороду физиологического гемоглобина. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2023; 67(1): 71-78.

DOI: 10.25557/0031-2991.2023.01.71-78

**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Гераськин И.В.; сбор и обработка материала – Гераськин И.В., Гераськина Н.В.; подготовка иллюстративного материала – Гераськин В.А.; статистическая обработка материала – Гераськин И.В.; написание текста – Гераськин И.В., Гераськина Н.В.; редактирование – Гераськин В.А. Утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все авторы.

**Для корреспонденции:** Гераськин Иван Владимирович, e-mail: ivan\_geraskin19@mail.ru (аспирант кафедры нормальной и патологической физиологии; ординатор ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»)

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 03.07.2022

Принята в печать 2023

Опубликована 2023

Geraskin I.V.<sup>1</sup>, Geraskin V.A.<sup>1</sup>, Geraskina N.V.<sup>2</sup>

## Effect of hemotransfusions in newborns and infants on the composition and oxygen affinity of physiological hemoglobin

<sup>1</sup>Privolzhsky Research Medical University,  
Ploshchad Minina i Pozharskogo 10/1, Nizhny Novgorod 603005

<sup>2</sup>Nizhny Novgorod Regional Children's Clinical Hospital,  
Vaneeva St. 211, Nizhny Novgorod 603005

In the clinical practice of transfusions, red blood cells containing adult-type hemoglobin (HbA, 98-100%) are transfused from adult donors to neonatal and infant recipients with dynamically changing levels of fetal blood hemoglobin (HbF, 70-90%). It is this age group that is distinguished by unique physiological features of the rapidly changing ratios of blood hemoglobins with the growth and maturation of the body. The situation of uncertainty remains with respect of clear scientific criteria for the variability of the composition of blood hemoglobins in neonatal patients, specifically, the ability of the dynamically changing hemoglobin structure of newborns to provide oxygen to tissues.

**Aim** was to physiological hemoglobin. determine the effect of blood transfusions on changes in the composition and functions of he moglobins in neonatal patients and infants.

**Methods.** The work was based on the analysis of clinical data from neonatology departments and intensive care units and systematized 923 studies of indicators of blood hemoglobin types, acid-base state. and blood gas composition in 256 patients. The dynamics of indicators of physiological hemoglobin and oxygen affinity were compared in newborns and infants before and after blood transfusion during treatment.

**Results.** Comparing the values of HbF % in newborns, depending on the use of hemotransfusions showed that a decrease in fetal hemoglobin proportion of total blood hemoglobin was more pronounced in patients receiving blood transfusions. A more significant decrease in fetal hemoglobin during blood transfusions was observed in premature infants, up to 29.81% vs. 17.83% in the full-term group. The partial oxygen pressure in the blood of newborns, at which 50% saturation (P50 mmHg) is achieved was determined. This parameter is used to estimate the hemoglobin oxygen affinity. The study results indicate that a higher oxygen partial pressure (pO<sub>2</sub>) is required for 50% saturation of hemoglobin in the blood of newborns after hemotransfusion.

**Conclusion.** In contrast to older age groups, the accumulation and release of oxygen in response to the tissue demands in children of the first year of life depend not only on the quantitative values of total blood hemoglobin, but also on its composition, the hemoglobin fraction ratio. A decrease in the proportion of fetal hemoglobin, both physiological and induced by blood transfusion, is accompanied by a decrease in the total hemoglobin oxygen affinity in children of the first year of life. This reduces the capability for targeted oxygen delivery to tissue areas with the most pronounced acidosis and hypoxia.

**Keywords:** hemotransfusion; fetal hemoglobin; dissociation of oxyhemoglobin; hemoglobin oxygen affinity; neonatal period

**For citation:** Geraskin I.V., Geraskin V.A., Geraskina N.V. The effect of hemotransfusions in newborns and infants on the composition and oxygen affinity of physiological hemoglobin. *Patologicheskaya Fiziologiya I Eksperimentalnaya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2023; 67(1) 71-78. (in Russian).

DOI: 10.25557/0031-2991.2023.01.71-78

**For correspondence:** Ivan Vladimirovich Geraskin (postgraduate student of the Department of Normal and Pathological Physiology; place of work – resident of the Volga Research Medical University) ivan\_geraskin19@mail.ru

**Author's contribution:** The concept and design of the study – Geraskin I.V.; collection and processing of the material – Geraskin I.V., Geraskina N.V.; preparation of illustrative material – Geraskin V.A.; statistical processing of the material – Geraskin I.V.; Writing of the text – Geraskin I.V., Geraskina N.V.; editing – Geraskin V.A. Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors

### Information about the authors

Geraskin I.V., <https://orcid.org/0000-0003-3978-2268>

Geraskin V.A., <https://orcid.org/0000-0002-0607-7004>

Geraskina N.V., <https://orcid.org/0000-0002-6312-6538>

**Financing.** The study had no sponsorship.

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

Received 03.07.2022

Accepted 2023

Published 2023

## Введение

К наиболее распространенным формам анемии у пациентов неонатального периода относится физиологическая анемия новорожденных и анемия недоношенных. Анемия в неонатальном периоде может быть обусловлена кровопотерей, уменьшением продукции эритроцитов или усилением гемолиза. Значительная распространенность неонатальной анемии тяжелой степени в отделениях интенсивной терапии новорожденных обуславливает необходимость в переливании эритроцитов донорской крови пациентам [1]. Ни в какой иной период жизни пациента процесс принятия врачебного решения о переливании компонентов крови не является таким сложным и ответственным, как в период новорожденности. Именно эта возрастная группа при росте и взрослении организма, отличается уникальными физиологическими особенностями состава гемоглобинов крови: фетального (HbF) и гемоглобина взрослого человека (HbA). Необходимо констатировать, что в существующей практике трансфузий, осуществляется переливание эритроцитов крови от взрослых доноров с содержанием гемоглобина HbA (98-100%) реципиентам неонатального и младенческого периода развития с динамично изменяющимся уровнем гемоглобина HbF (70-90%). В отличие от взрослых у новорожденного ребенка способность эритроцитов связывать и выделять кислород в ткани зависит как от сродства гемоглобина к кислороду (p50), его концентрации, так и от количества HbF в составе общего гемоглобина крови – totHb [2].

При патологии неонатального периода регуляторные факторы структуры гемоглобина крови мобильны, постоянно трансформируются и не всегда предсказуемым образом. Потенциальное воздействие стремительных изменений соотношения фракций гемоглобинов крови при гемотрансфузиях, последующее влияние на сродство гемоглобина к кислороду и его доступность тканям пациентов периода новорожденности и младенчества остаются малоизученными [3].

Если индивидуальные параметры состава и кислородтранспортной функции гемоглобинов крови новорожденного не могут быть установлены, возрастает вероятность гемотрансфузии на основе лишь клинической картины и базовых лабораторных показателей крови: количества эритроцитов, общего гемоглобина, гематокрита. Изучение способности у каждого больного ребенка к пропорциональному обеспечению кислородом относительно потребности способствует рационализации принятия решения – когда и как переливать донорские трансфузионные среды с эритроцитами [4-5].

**Цель исследования** – изучение влияния гемотрансфузий у новорожденных и детей грудного возраста на изменение состава и на сродство к кислороду физиологического гемоглобина.

## Методика

Проведено сравнение динамики показателей HbF% и p50 mmHg у новорожденных детей и младенцев до и после гемотрансфузий. Исследования осуществлялись по принципу случайной выборки клинических показателей пациентов в неонатологических отделениях и отделениях реанимации и интенсивной терапии [6].

В обследование включены клинические данные 256 пациентов педиатрического профиля, выполнено 923 исследования показателей типов гемоглобинов крови. Возраст пациентов в группах составлял от 0 до 29 сут жизни что соответствовало неонатальному периоду развития. Кроме того, проведены исследования динамики HbF% и p50 mmHg у пациентов в возрастном интервале от 29 до 60 сут жизни, входящему в период младенческого возраста. У детей в возрасте первого года жизни, находящихся в критическом состоянии, трансфузия компонентов донорской крови содержащих эритроциты, проводилась при уровне гемоглобина менее 85 г/л. Объем проводимых трансфузий эритроцитарной массы у новорожденных детей определялся из расчета 1 мл/кг. Использовались компоненты крови, содержащие эритроциты со сроком хранения не более 10 сут с момента заготовки. Приведенные данные – соответствуют требованиям Приказа Министерства здравоохранения Российской Федерации (Минздрав России) от 2 апреля 2013 г. N 183н г. Москва «Об утверждении правил клинического использования донорской крови и (или) ее компонентов». Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом университета. Все исследования выполнялись по международным правилам работы с биоматериалом людей.

Отдельные исследования выполнены у пациентов в возрастном интервале от 0 до 60 сут, так как это позволяло отследить динамику изменений в течение более продолжительного времени. Количество исследований в выборках по показателю HbF % составило 811, а количество исследований в выборках по показателю p50 mmHg – 768. Результаты получены при анализе данных историй болезней в педиатрических отделениях на этапах лечебно-диагностического процесса (табл. 1). Распределение исследований типов гемоглобина у пациентов проводилось в соответствии с международной классификации болезней (МКБ-10):

отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде (P00-P96) – 467 исследований, врожденные аномалии, деформации и хромосомные нарушения (Q00-Q99) – 92 исследования, другие формы заболеваний – 76 исследований. Сформировано распределение количества обследованных пациентов по критериям доношенности: д – доношенные дети, н – недоношенные дети. Учитывая выраженную зависимость регистрируемых показателей объемов и концентраций относительно массы тела и циркулирующей крови пациентов, в категории детей первого года жизни выделено 4 группы исследований (табл. 1) [7-8].

Фиксация возраста после рождения в сутках обусловлена высокими скоростными параметрами изменений регистрируемых показателей. В качестве критерия тяжести состояния использовали показатели выраженности гипоксии и объема врачебного вмешательства для достижения компенсации патологического процесса.

Исследования проведены при помощи анализатора оксиметрии и газов крови «Radiometer ABL 800 basic». Осуществлен анализ показателей: уровня фетального гемоглобина (HbF); концентрации взрослого гемоглобина (HbA); фракции метгемоглобина – MetHb. Для оценки сродства гемоглобина к кислороду p50, определялась величина парциального давления кислорода (pO<sub>2</sub>) в крови. Выборка результатов исследований осуществлялась в группах по критерию не связанных совокупностей. Данное распределение исследований основано на сравнении показателей у различных категорий пациентов: без гемотрансфузий и при проведении гемотрансфузий.

Обработка результатов исследования проведена с помощью статистического анализа «Medstatistic» и прикладного пакета программ Microsoft Office Excel 2010 с использованием ресурса «Анализ данных». Для сравнения выборок использован параметрический t-критерий Стьюдента. Критическим уровнем статистической значимости различий (p) считали p < 0,05. Средние значения (M) и стандартные откло-

нения (σ) определены данными вариационных рядов. Распределение признаков соответствует нормальному (распределение Гаусса) [9].

**Результаты**

При анализе зависимости исследуемых показателей от проведения гемотрансфузий обнаружено, что снижение доли фетального гемоглобина (HbF) в общем количестве физиологического гемоглобина крови было статистически значимо (p < 0,05) более выраженным в группе новорожденных, получавших переливания эритроцитов крови (табл. 2). При увеличении временного интервала исследований с 0 до 60 сут жизни (n-410) сохранялась аналогичная тенденция – отмечалось снижение уровня HbF в группе пациентов (2), получавших гемотрансфузии (n-125) по отношению к показателям в группе (1) без проведения гемотрансфузий (n-285). Причем, разница между значениями HbF до и после гемотрансфузии возрастала до 25,4%; (табл. 2). Снижение содержания фетального гемоглобина в крови пациентов, получавших гемотрансфузии, в возрастном интервале от 29 до 60 сут жизни, по сравнению с группой без гемотрансфузий также было статистически значимым (p < 0,01).

Результаты исследования динамики HbF у пациентов неонатального периода по признаку доношенности и недоношенности свидетельствуют о более выраженном снижении уровня фетального гемоглобина при гемотрансфузиях у недоношенных пациентов. Если у доношенных детей в группах сравнения: (1) без гемотрансфузий и (2) на фоне гемотрансфузий, показатель снижения уровня фетального гемоглобина (Δ HbF) составил 17,83%, то у недоношенных детей аналогичный показатель соответствовал 29,81%. Более значительное увеличение Δ HbF в группе с гемотрансфузиями у недоношенных детей свидетельствует о более выраженном изменении соотношения фракций физиологических типов гемоглобинов крови (табл. 3).

Сродство гемоглобина к кислороду, определяемое по величине значений p50, в клинической прак-

**Таблица 1. Количество исследований в выборках по группам, в зависимости от возраста пациентов**

**Table 1. The number of research results in samples by groups, depending on the age of patients**

Количество исследований/Number of studies	HbF % n	HbA n
Исследования у новорожденных (возраст < 29 сут жизни) / Studies in newborns (age < 29 days of life)	299	292
Исследования у доношенных (возраст < 29 сут жизни) /Studies in term baby (age < 29 days of life)	73	81
Исследования у недоношенных (возраст < 29 сут жизни) / Studies in premature baby((age < 29 days of life)	376	324
Исследования у младенцев (возраст 29 - 60 сут жизни) /Studies in infants (age 29 days to 60 days of life)	63	71

тике при исследовании крови, зачастую является недооцененным параметром [10]. Выполнены сравнения изменений уровней сродства гемоглобина крови к кислороду р50 mmHg в группах пациентов неан-

тологических отделений при гемотрансфузиях и без них (табл. 4).

Данные, выявленные при обследованиях пациентов неонатального и младенческого периода

**Таблица 2. Влияние гемотрансфузий на динамику уровней HbF % у детей (n-285)**

**Table 2. The effect of blood transfusions on the dynamics of HbF% levels in children (n-285)**

Группы пациентов/patient groups	HbF %	
	Без гемотрансфузий (1) / no hemotransfusions	Гемотрансфузии(2)/hemotransfusions-
Новорожденные (возраст < 29 сут жизни) / newborns (age < 29 days of life)	72,63±2,6 n-120	57,76±3,2 * n-179
Доношенные (возраст < 29 сут жизни/term baby (age < 29 days of life)	85,47±1,7 n-45	67,64±4,7 * n-28
Недоношенные (возраст < 29 сут жизни)/preterm baby (age < 29 days of life)	74,69±3,2 n-119	44,88±3,0 * n-257
Младенцы (возраст 29 - 60 сут жизни)/infant (age 29-60 days)	61,47±7,6 n-19	41,95±3,6 * n-44

**Примечание.** \* –  $p < 0,01$ , статистическая значимость различий с показателями контрольной группы (без гемотрансфузий)

**Note.** \* –  $p < 0,01$ , statistical significance of differences with the control group (without hemotransfusions)

**Таблица 3. Влияние гемотрансфузий на динамику изменений показателей  $\Delta$  HbF % и  $\Delta$  р50 mmHg у новорожденных (n-285)**

**Table 3. The effect of blood transfusions on the dynamics of the values of  $\Delta$  HbF % and  $\Delta$  P50 mmHg in newborns (n-285)**

Группы пациентов / patient groups	$\Delta$ HbF%	$\Delta$ p50 mmHg
Новорожденные (возраст < 29 сут жизни)/newborns (age < 29 days of life)	14,87	- 2,95
Доношенные (возраст < 29 сут жизни)/term baby (age < 29 days of life)	17,83	-3,87
Недоношенные (возраст < 29 сут жизни)/preterm baby (age < 29 days of life)	29,81	-2,02
Новорожденные и младенцы (возраст 29 – 60 сут жизни) /Младенцы (возраст 29 – 60 сут жизни)/infant (age 29-60 days)	19,52	-3,98

**Примечание.**  $\Delta$  – показатель разности значений величин в группах сравнения до и после гемотрансфузий

**Note.**  $\Delta$  – index of the difference between the values in the comparison groups before and after hemotransfusions.

**Таблица 4. Влияние гемотрансфузий на динамику уровней сродства гемоглобина крови к кислороду р50 mmHg у детей (n-285)**

**Table 4. The effect of blood transfusions on the dynamics of blood hemoglobin affinity to oxygen p50 mmHg in children (n-285)**

Группы пациентов/patient groups	p50 mmHg	
	Без гемотрансфузий(1)	Гемотрансфузии(2)
Новорожденные (возраст < 29 сут жизни)/newborns (age < 29 days of life)	19,89±0,3 n-168	22,84±0,5* n-124
Доношенные (возраст < 29 суток жизни)/term baby (age < 29 days of life)	19,29±0,5 n-61	23,16±1,1* n-20
Недоношенные (возраст < 29 сут жизни)/preterm baby (age < 29 days of life)	21,52±0,4 n-159	23,54±0,6* n-165
Младенцы (возраст 29 – 60 суток жизни) /infant (age 29-60 days)	22,67±0,5 n-14	26,65±1,0* n-57

**Примечание.** \* –  $p < 0,05$  – статистически значимое отличие показателей от значений в контрольной группе (пациенты без гемотрансфузий)

**Note.** \* –  $p < 0.05$  – statistically significant difference in indicators from the values in the control group (patients without blood transfusions)

развития получавших гемотрансфузии, свидетельствуют о формировании низких значений HbF % и возрастании величины p50. Причем, во всех группах исследования зафиксированы отрицательные значения Δ p50 (табл. 3), что свидетельствует о возрастании уровня p50 после проведения гемотрансфузий и необходимости большего парциального давления кислорода для 50% насыщения гемоглобина крови. Приходится констатировать, что снижение уровня фракции HbF % определяет последующее уменьшение сродства общего гемоглобина к кислороду и ускоренное высвобождение его в тканях. Если у взрослых и пациентов старших возрастных групп ускорение и усиление высвобождения O<sub>2</sub> в тканях является ожидаемым конечным результатом проведенных гемотрансфузий, то у новорожденных и младенцев посттрансфузионная ситуация отличается в значительной степени.

У новорожденных детей и младенцев с момента рождения существует уникальное состояние гетерогенности структур гемоглобина крови. Физиологически в крови ребенка одновременно, в пропорциях зависящих от постнатального возраста, присутствуют 2 наиболее крупные фракции оксигемоглобина – HbF+O<sub>2</sub> и HbA+O<sub>2</sub>. Соответственно диссоциация общего оксигемоглобина у новорожденных детей

и младенцев многоконтурная и зависит от динамики соотношений величин физиологических гемоглобинов. Известно, что общий гемоглобин донора состоит из фракции HbA гемоглобина взрослого человека, способного диссоциировать при определенном сочетании: насыщения O<sub>2</sub>%, напряжения кислорода PO<sub>2</sub> и показателя концентрации водородных ионов pH (рис. 1).

Как правило, в источниках литературы, кривая диссоциации оксигемоглобина крови однокомпонентная и обозначается как (HbO<sub>2</sub>) – так как в старших возрастных группах, структура оксигемоглобина крови однородна и представлена фракцией HbA.

Преобладание HbF в составе структуры гемоглобинов у новорожденного обуславливает увеличение сродства гемоглобина к кислороду и способствует доставке и высвобождению кислорода в участках тканевой гипоксии. По сравнению с гемоглобином пациентов старших возрастных групп и взрослых более высокое сродство фетального гемоглобина к кислороду определяет его особенность диссоциировать в условиях более низких значений pH (рис. 2). Наиболее значимы эти изменения для клеток и тканей пациентов неонатального периода, находящихся в состоянии ишемии и гипоксии – головной мозг, сердце, почки, кишечник, железы внутренней секреции.

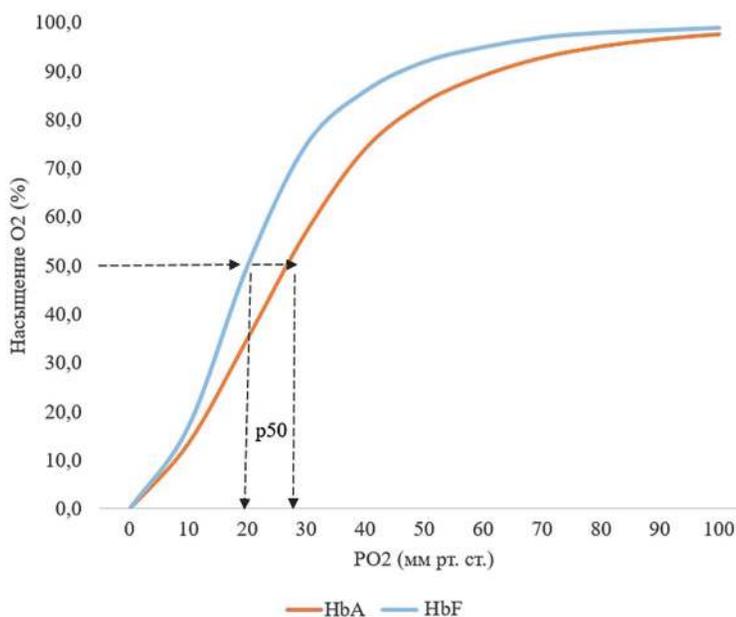


Рис. 1. Кривые диссоциации оксигемоглобинов – HbF и HbA

Fig. 1. Oxyhemoglobin dissociation curves – HbF and HbA

Существующая в настоящее время практика трансфузий эритроцитарной среды с гемоглобином НbА, от взрослого донора новорожденному реципиенту с высоким уровнем НbF в крови определяет развитие последовательности причинно-следственных событий, связанных с трансформацией состава общего гемоглобина крови [11].

В посттрансфузионном периоде зарегистрирована отчетливая динамика снижения уровня фетального гемоглобина в совокупности с обратной зависимостью величин  $p50$  (табл. 3). Причем, данная зависимость зафиксирована во всех возрастных интервалах у обследованных пациентов от рождения до младен-

ческого периода развития. При переливании эритроцитов крови взрослого донора в кровеносной системе ребенка реципиента возрастает объем циркулирующей крови на величину объема трансфузии, увеличивается содержание гемоглобина НbА и снижается концентрация фетального гемоглобина. В ходе исследований, решено данные изменения концентрации фетального гемоглобина обозначить как «эффект разведения НbF».

Снижение уровня концентрации фетального гемоглобина в посттрансфузионном периоде способствует уменьшению способности оксигемоглобина, к адресной диссоциации в участках ткани с наиболее выраженным ацидозом и гипоксией (рис. 3).

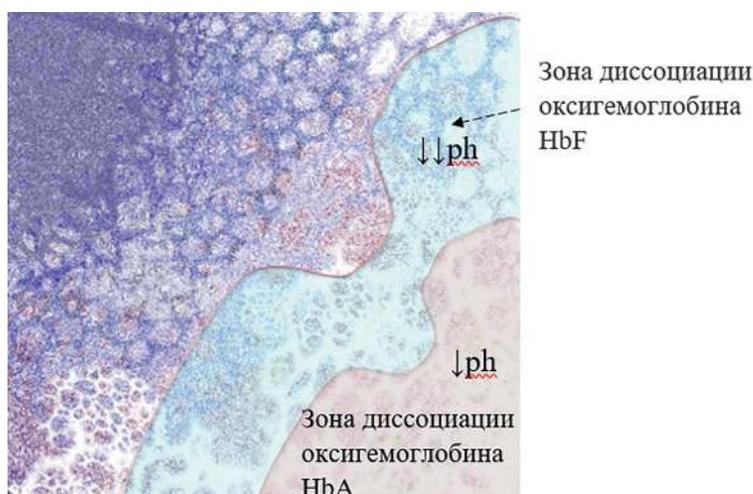


Рис. 2. Структура обеспечения  $O_2$  гипоксической зоны повреждения у новорожденных до гемотрансфузии.

Fig. 2. The structure of the provision of  $O_2$  hypoxic damage zone in newborns before hemotransfusion.

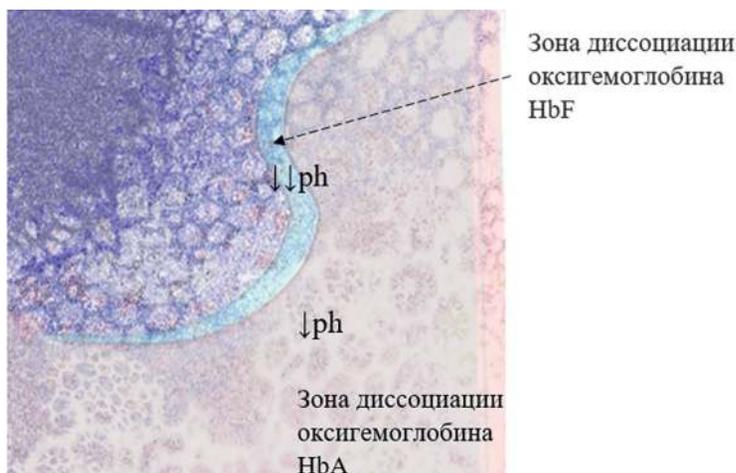


Рис. 3. Структура обеспечения гипоксической зоны повреждения у новорожденных при гемотрансфузии.

Fig. 3. The structure of the hypoxic zone of damage in newborns during hemotransfusion.

### Заключение

Восстановление уровня общего гемоглобина при гемотрансфузии и, соответственно, повышение общей способности транспортировки кислорода не является единственным и всеобъемлющим критерием компенсации нарушений критических функций крови. У новорожденных детей и младенцев формирование баланса кислорода в крови, его доставки к тканям при патологии происходит в состоянии непрерывных изменений структуры физиологических гемоглобинов, в отличие от стабильных значений состава гемоглобина у детей старшего возраста и взрослых пациентов. У новорожденных и младенцев снижение уровня фетального HbF % как физиологическое, так и при гемотрансфузиях, сопутствующее понижению сродства общего гемоглобина к кислороду определяют уменьшение способности к адресной доставке O<sub>2</sub> в участки тканей с наиболее выраженным ацидозом и гипоксией.

Показания к проведению гемотрансфузий в неонатологии должны быть детально обоснованы. Если существует возможность стабилизации состояния пациента без осуществления гемотрансфузии или отсутствует уверенность, что она принесет ему пользу, то от переливания эритроцитов крови целесообразно воздержаться.

### Литература

(п.п. 1-3; 5; 7; 8; 10; 11 см. References)

4. Аксельрод Б.А., Балашова Е.Н., Баутин А.Е., и др. Клиническое использование эритроцит содержащих компонентов донорской крови. *Гематология и трансфузиология*. 2018; 63(4): 372-435. <https://doi.org/10.25837/HAT.2019.62.39.006>
6. Матвеев В.А. *Статистика*. М.: Типография Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. 2015.
9. Полякова В.В. *Основы теории статистики*. М.: Издательство Уральского университета; 2015.

### References

1. Aher S., Malwatkar K., Kadam S. Neonatal anemia. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2008 Aug; 13(4): 239-47. doi: 10.1016/j.siny.2008.02.009. Epub 2008 Apr 14. PMID: 18411074.
2. Storz J.F. Gene Duplication and Evolutionary Innovations in Hemoglobin-Oxygen Transport. *Physiology (Bethesda)*. 2016 May;31(3):223-32. doi: 10.1152/physiol.00060.2015. PMID: 27053736; PMCID: PMC5005275.
3. Stockman J.A. 3rd. Anemia of prematurity. Current concepts in the issue of when to transfuse. *Pediatr Clin North Am*. 1986; 33(1): 111-28. doi: 10.1016/s0031-3955(16)34972-0. PMID: 3513096.
4. Akselrod B.A., Balashova E.N., Bautin A.E., et al. Clinical guidelines for red blood cell transfusion. *Gematologiya i transfuziologiya*. 2018; 63(4): 372-435. <https://doi.org/10.25837/HAT.2019.62.39.006> (in Russian)
5. Ree I.M.C., Lopriore E. Updates in Neonatal Hematology: Causes, Risk Factors, and Management of Anemia and Thrombocytopenia. *Hematol Oncol Clin North Am*. 2019 Jun;33(3):521-532. doi: 10.1016/j.hoc.2019.01.013. Epub 2019 Mar 23. PMID: 31030817.
6. Matveev V.A. *Statistics. [Statistika]*. Moscow: Printing House of Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky. 2015. (in Russian)
7. Hasanbegovic E., Cengic N., Hasanbegovic S., Heljic J., Lutolli I., Begic E. Evaluation and Treatment of Anemia in Premature Infants. *MedArch*. 2016; 70(6): 408-12. doi: 10.5455/medarch.2016.70.408-412. PMID: 28210010; PMCID: PMC5292221.
8. Liao Z., Zhao X., Rao H., Kang Y. Analysis of correlative risk factors for blood transfusion therapy for extremely low birth weight infants and extreme preterm infants. *Am J Transl Res*. 2021; 13(7): 8179-85. PMID: 34377303; PMCID: PMC8340198.
9. Polyakova. V. *Fundamentals of the theory of statistics. [Osnovy teorii statistiki]* Moscow; Publishing House of the Ural Federal University, 2015. (in Russian)
10. Lavrinenko I.A., Vashanov G.A., Hernández Cáceres J.L., et al. A new model of hemoglobin oxygenation. *Entropy (Basel)*. 2022; 24(9): 1214. doi: 10.3390/e24091214. PMID: 36141103; PMCID: PMC9498255.
11. Gavulic A.E., Dougherty D., Li S.H., et al. Fetal hemoglobin levels in premature newborns. Should we reconsider transfusion of adult donor blood? *J Pediatr Surg*. 2021; 56(11): 1944-8. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2021.04.018. Epub 2021 Apr 24. PMID: 34052004.

### Сведения об авторах:

**Гераськин Иван Владимирович**, аспирант, каф. нормальной и патологической физиологии; место работы — ординатор ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет», e-mail: ivan\_geraskin19@mail.ru;  
**Гераськин Владимир Анатольевич**, канд. мед. наук, доцент каф. анестезиологии, реаниматологии и трансфузиологии ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет»;  
**Гераськина Наталья Валентиновна**, врач — неонатолог, ГБУЗ НО «Нижегородская областная детская клиническая больница».