

DOI: 10.24287/1726-1708-2024-23-1-165-171

Экстракорпоральная мембранная оксигенация у детей с онкогематологическими заболеваниями

Е.А. Рядинская¹, А.Ю. Иванашкин¹, А.С. Рыбалко², В.В. Лазарев^{1,2}, И.А. Крюков¹, А.А. Павленко¹, Д.Н. Арзин³

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России, Москва

²ФГАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва

³ГАУЗ «Детская республиканская клиническая больница» Минздрава Республики Татарстан, Казань

Развитие современных технологий и увеличение частоты развития тяжелого педиатрического острого респираторного дистресс-синдрома у детей с онкогематологическими заболеваниями позволяют пересмотреть показания для экстракорпоральной мембранной оксигенации у данной группы пациентов. В обзоре литературы представлены сведения о применении экстракорпоральной мембранной оксигенации у детей с онкогематологическими заболеваниями и после трансплантации гемопоэтических стволовых клеток, которые демонстрируют повышение выживаемости этих пациентов за последнее десятилетие.

Ключевые слова: дети, онкогематологические заболевания, экстракорпоральная мембранная оксигенация, экстракорпоральная поддержка жизни, педиатрический острый респираторный дистресс-синдром, острая дыхательная недостаточность, трансплантация гемопоэтических стволовых клеток, иммунная терапия

Рядинская Е.А. и соавт. Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии 2024; 23 (1): 165–71. DOI: 10.24287/1726-1708-2024-23-1-165-171

Extracorporeal membrane oxygenation in children with oncohematological diseases

E.A. Ryadinskaya¹, A.Yu. Ivanashkin¹, A.S. Rybalko², V.V. Lazarev^{1,2}, I.A. Kryukov¹, A.A. Pavlenko¹, D.N. Arzin³

¹The Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow

²The N.I. Pirogov Russian National Research Medical University of Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow

³Children's Republican Clinical Hospital of Ministry of Healthcare of the Republic of Tatarstan, Kazan

The development of modern technologies and an increase in the incidence of severe pediatric acute respiratory distress syndrome in children with oncohematological diseases provide some evidence for the medical society to reconsider the indications for extracorporeal membrane oxygenation in this group of patients. The literature review presents an analysis of recent studies on extracorporeal membrane oxygenation usage in children with oncohematological diseases and after hematopoietic stem cell transplantation. The reviewed studies revealed an improvement of the survival rate among such patients over the last decade.

Key words: children, oncohematological diseases, extracorporeal membrane oxygenation, extracorporeal life support, pediatric acute respiratory distress syndrome, acute respiratory failure, hematopoietic stem cell transplantation, immune therapy

Ryadinskaya E.A., et al. Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology 2024; 23 (1): 165–71. DOI: 10.24287/1726-1708-2024-23-1-165-171

В течение последних 30 лет благодаря совершенствованию методов терапии детей с онкогематологическими заболеваниями удалось добиться у них снижения летальности с 85 до 20%, что подтверждается данными отечественной и зарубежной литературы [1–4].

Однако по-прежнему 35–40% этих детей требуют перевода в отделения реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), что связано с проводимой полихимиотерапией, тяжелой нейтропенией, последствиями лучевой терапии, осложнениями после трансплантации гемопоэтических стволовых клеток (ТГСК) или прогрессией основного заболевания [5, 6].

Одной из причин перевода детей с онкогематологическими заболеваниями в ОРИТ является острая

дыхательная недостаточность (ОДН), которая сопровождается высокой летальностью при развитии тяжелого педиатрического острого респираторного дистресс-синдрома (ПОРДС) [7, 8].

Наиболее неблагоприятный исход при развитии тяжелого ПОРДС отмечался у пациентов после аллогенной ТГСК, летальность у которых ранее достигала 95–100% [9–11].

Согласно рекомендациям Второй согласительной конференции группы по педиатрическому острому легочному повреждению (Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference, PALICC-2), ПОРДС определяется как повреждение легких некардиогенной этиологии с тяжелой гипоксемией, соответствующей индексу оксигенации (ИО) ≥ 16 или индексу сату-

© 2024 ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России

Поступила 11.12.2023

Принята к печати 16.01.2024



EDN: QGWJPI

Контактная информация:

Рядинская Елена Андреевна, врач-анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии №2 ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России
Адрес: 117997, Москва, ул. Саморы Машела, 1
E-mail: ryadinskaya.elena@yandex.ru

© 2024 by «D. Rogachev NMRCPHOI»

Received 11.12.2023

Accepted 16.01.2024

Correspondence:

Elena A. Ryadinskaya, an anesthesiologist-intensivist at Intensive Care Unit No. 2 of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Ministry of Healthcare of the Russian Federation
Address: 1 Samory Mashela St., 117997, Moscow, Russia
E-mail: ryadinskaya.elena@yandex.ru

рации (ИС) $\geq 12,3$ для пациентов на искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 100$ или $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2 \leq 150$ для пациентов на неинвазивной ИВЛ (НИВЛ) (таблица 1).

Рекомендуемая рабочей группой стратегия эскалации респираторной поддержки при тяжелом ПОРДС подразумевает использование экстракорпоральной мембранной оксигенации (ЭКМО) как единственного жизнеспасающего метода при неэффективности традиционной ИВЛ (рисунок) [12].

ЭКМО – метод временного поддержания функции газообмена и/или кровообращения при критической, потенциально обратимой сердечной и/или легочной недостаточности, рефрактерной к стандартной интенсивной терапии [13, 14].

Первое успешное применение ЭКМО было проведено Дж. Дональдом Хиллом в 1972 г. пациенту с травматическим разрывом аорты [15].

В начале 1980-х годов Роберт Х. Бартлетт использовал ЭКМО у новорожденных с рефрактерной ОДН и в 1989 г. создал организацию экстракорпорального обеспечения (Extracorporeal Life Support Organization, ELSO) для развития технологии и поддержки медицинских специалистов [16].

С тех пор методика ЭКМО непрерывно совершенствуется. Технические характеристики и качество используемых компонентов модифицируются, способствуя большей биологической совместимости материалов контура и организма пациента. Благодаря развитию современных технологий удалось конкретизировать и расширить показания к проведению ЭКМО, добиться увеличения выживаемости пациентов и снизить частоту развития осложнений при данной процедуре [17].

По данным международного регистра случаев ЭКМО за 2023 г., выживаемость в педиатрической группе при респираторных и кардиальных показаниях увеличилась до 73% [18], хотя еще 5 лет назад при респираторных показаниях она составляла 58%, при кардиальных причинах – 52% [19].

Исследования последних десятилетий также демонстрируют увеличение выживаемости среди детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК при ЭКМО и расширение показаний к ЭКМО у пациентов данной группы [20–22].

В настоящее время за рубежом ЭКМО широко используется в повседневной практике врачей-анестезиологов-реаниматологов, существуют программы экстракорпорального жизнеобеспечения для детей, дающие шанс на выздоровление при обратимых причинах тяжелой сердечной и/или легочной недостаточности или при возможности проведения трансплантации органов.

Несмотря на улучшение результатов лечения детей с онкогематологическими заболеваниями и после аллогенной ТГСК, госпитализированных в ОРИТ, использование ЭКМО у этих групп пациентов ограничено, так как онкогематологические пациенты относятся к группе высокого риска по развитию необратимых осложнений с низкими шансами на выживаемость при проведении данной процедуры.

По этой причине многие авторы утверждали, что у детей с онкогематологическими заболеваниями и/или после ТГСК нецелесообразно выполнять ЭКМО [23–25].

Однако на данный момент профильные специалисты предлагают использовать индивидуальный

Таблица 1

Критерии постановки диагноза ПОРДС и оценки его степени тяжести

Table 1

The criteria for the diagnosis of pediatric acute respiratory distress syndrome (PARDS) and for the assessment of its severity

Критерий Criterion	Характеристика Characteristics			
Возраст Age	Исключаются пациенты с врожденными заболеваниями легких Patients with congenital lung diseases are excluded			
Время Timing	В течение 7 дней до известного клинического события Within 7 days of a known clinical insult			
Этиология отека Origin of edema	Отек легких, который нельзя полностью объяснить сердечной недостаточностью и перегрузкой жидкостью Pulmonary edema which can not be fully explained by cardiac failure or fluid overload			
Рентгенография X-ray	Визуализация новых инфильтративных изменений в легких New infiltrative changes in the lungs			
Оксигенация Oxygenation	НИВЛ Noninvasive mechanical ventilation (NIV)	ИВЛ Invasive mechanical ventilation		
	CPAP 5 cmH ₂ O $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 \leq 3'00$ $\text{SpO}_2/\text{FiO}_2 \leq 264$	Легкий ПОРДС Mild PARDS	Средний ПОРДС Moderate PARDS	Тяжелый ПОРДС Severe PARDS
		$4 \leq \text{IO} < 8$ $5 \leq \text{IS} < 7,5$ $4 \leq \text{OI} < 8$ $5 \leq \text{OSI} < 7,5$	$8 \leq \text{IO} < 16$ $7,5 \leq \text{IS} < 12,3$ $8 \leq \text{OI} < 16$ $7,5 \leq \text{OSI} < 12,3$	$\text{IO} \geq 16$ $\text{IS} \geq 12,3$ $\text{OI} \geq 16$ $\text{OSI} \geq 12,3$
Специфические пациенты Specific patients	Цианотичные пороки сердца Хронические заболевания легких Дисфункция левого желудочка сердца Cyanotic heart diseases Chronic lung diseases Left ventricular dysfunction			

Примечание. CPAP – постоянное положительное давление в дыхательных путях.

Note. CPAP – continuous positive airway pressure; OI – oxygenation index; OSI – oxygen saturation index.

подход при решении вопроса о начале ЭКМО, учитывать курабельность пациента, диагноз, стадию и прогноз онкогематологического заболевания [22, 26, 27].

Целями данного обзора литературы являются анализ современных исследований и обобщение мирового опыта применения ЭКМО у детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК.

Обзор литературы включает анализ печатных и электронных изданий по ЭКМО у детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК, в том числе учебники, рукописи, международные рекомендации, данные международных опросов и статистику сообществ ELSO. Поиск проводился по основным глобальным информационным системам: PubMed, Google Scholar, eLIBRARY с использованием ключевых слов и их комбинаций.

В обзор вошли метаанализы, мультицентровые исследования, в том числе анализы баз данных ELSO, одноцентровые исследования и клинические случаи.

Метаанализ группы POKER (PICU Oncology Kids in Europe Research group), включавший 13 ретроспективных когортных исследований и 625 онкогематологических педиатрических пациентов, которым

применялась ЭКМО, показал, что наиболее частым показанием к ней была тяжелая ОДН (92%). Общая летальность во время ЭКМО составила 55%, а общая госпитальная летальность – 60%. Характеристика включенных исследований и результаты летальности представлены в таблице 2 [28].

В мультицентровое ретроспективное когортное исследование, объединившее 10 медицинских центров в период с 2011 по 2016 г., вошли 204 ребенка, перенесших вено-венозную ЭКМО, 21 из них были дети с онкогематологическими заболеваниями и 9 детей, перенесших аллогенную ТГСК. Показаниями к ЭКМО у всех пациентов был тяжелый ПОРДС с ИО > 40 как компонент синдрома полиорганной недостаточности. В группе пациентов с онкогематологическими заболеваниями выживаемость составила 38%, в группе детей после ТГСК – 33%. Низкая выживаемость регистрировалась среди пациентов, у которых показаниями к ТГСК были злокачественные новообразования, по сравнению с детьми с другими показаниями (серповидноклеточная анемия, остеопетроз, анемия Даймонда–Блекфена). Авторами было отмечено, что аплазия кроветворения ассоциирована с повышенной частотой осложнений на ЭКМО, таких как геморрагические и инфекционные, однако досто-

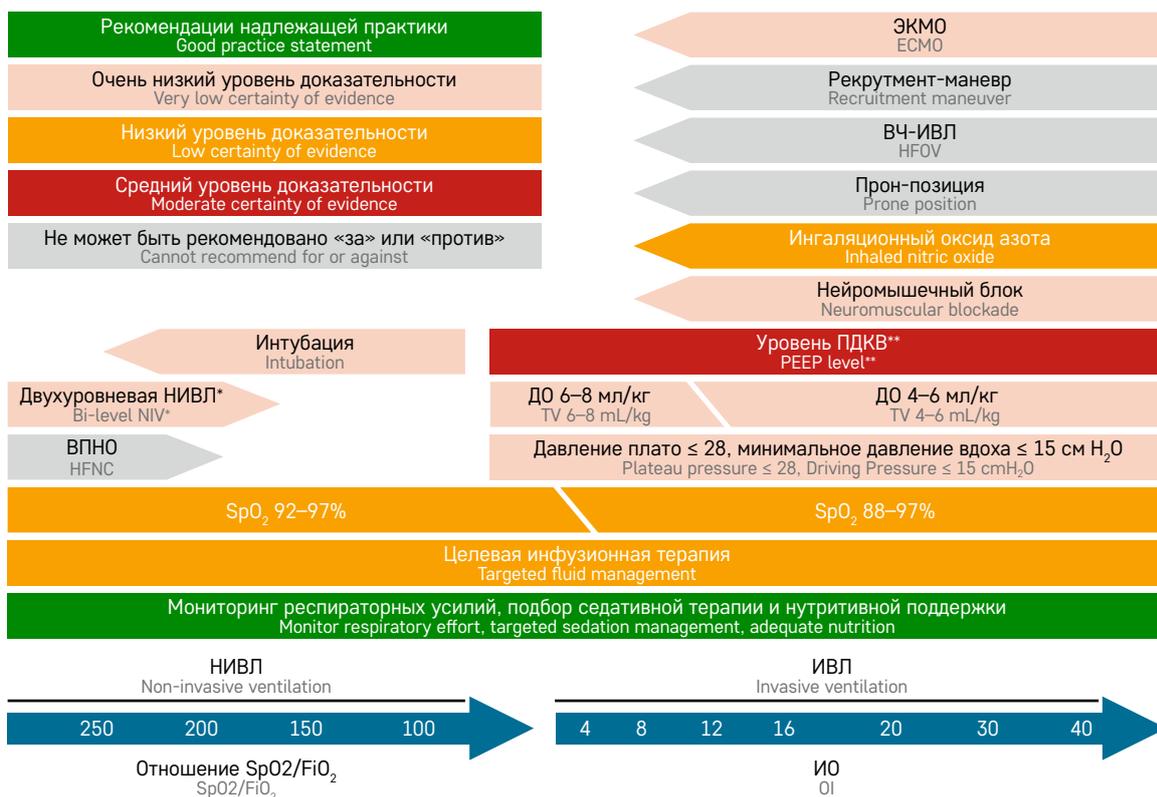
Рисунок

Схематичное изображение ключевых этапов в терапии ПОРДС по PALICC-2

ПДКВ – положительное давление в конце выдоха; ДО – дыхательный объем; ВПНО – высокопоточная назальная оксигенация; ВЧ-ИВЛ – высокочастотная ИВЛ. * – CPAP, если невозможно применение двухуровневой поддержки НИВЛ; ** – по таблице «Отношение ПДКВ/FiO₂»

Figure

Schematic representation of the key steps in the treatment of PARDS according to PALICC-2
PEEP – positive end-expiratory pressure; TV – tidal volume; HFNC – high-flow nasal cannula oxygen therapy; HFOV – high frequency oscillatory ventilation. * – CPAP, if unable to tolerate bilevel NIV; ** – see PEEP/FiO₂ table



верных данных по увеличению летальности в связи с этими осложнениями не выявлено [39].

Ретроспективный анализ данных центров ELSO, касающийся длительного использования ЭКМО у детей после аллогенной ТГСК за период с 1990 по 2019 г., показал, что первичная невысокая общая выживаемость, которая составляла 19%, за последнее десятилетие выросла до 26% [20].

Ретроспективное исследование Реестра исходов ЭКМО (Pediatric ECMO Outcomes Registry) с 2011 по 2018 г. продемонстрировало выживаемость 61,1% у детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК, что было сопоставимо с выживаемостью «общереанимационных» пациентов [21].

Однако в другом одноцентровом ретроспективном анализе была зафиксирована более высокая летальность (71%) и отмечена бóльшая потребность в гемотрансфузиях у детей с онкогематологическими заболеваниями по сравнению с детьми «общереанимационного» профиля, несмотря на схожую клиническую картину до подключения ЭКМО [35].

В ретроспективном исследовании, объединившем базы данных Virtual PICU Systems и Центра международных исследований трансплантации костного мозга, проанализированы 936 детей после ТГСК. Летальность в ОРИТ составила 17,4%, общая летальность – 28,5%. Летальность среди этих пациентов была выше при необходимости в замещении функций органов и при ИВЛ составила 44%, при почечно-заместительной терапии – 56%, при ЭКМО – 77,8% [40].

Таблица 2

Характеристика исследований, вошедших в метаанализ, и результаты летальности

Table 2

Characteristics of studies included in the meta-analysis and mortality rate

Авторы Authors	Период Time span	Число пациентов Number of patients	Диагноз Diagnosis	Госпитальная летальность, n (%) Hospital mortality, n (%)
Linden et al. [29]	Неизвестно Unknown	4	Злокачественные новообразования Malignant neoplasms	1/4 (25)
Gupta et al. [25]	1985–2004	60	Иммунокомпрометированные состояния Immunocompromised conditions	44/60 (73)
Gow et al. [26]	1992–2007	107	Злокачественные новообразования Malignant neoplasms	70/107 (65,4)
Meister et al. [30]	Неизвестно Unknown	4	Лейкемия Leukemia	2/4 (50)
Di Nardo et al. [31]	1991–2012	15	Пациенты после ТГСК Patients after HSCT	14/15 (93)
Smith et al. [32]	1993–2014	9	Нейтропенический сепсис Neutropenic sepsis	5/9 (66)
Bailly et al. [33]	2001–2013	161	Первичная патология легких Primary lung pathology	101/161 (62,7)
Cortina et al. [34]	2004–2007	9	Лейкемия Leukemia	5/9 (56)
Maue et al. [35]	2011–2016	5	Злокачественные новообразования и/или пациенты после ТГСК Malignant neoplasms and/or patients after HSCT	5/5 (100)
Steppan et al. et al. [21]	2011–2018	16	Злокачественные новообразования и/или пациенты после ТГСК Malignant neoplasms and/or patients after HSCT	6/16 (37,5)
Ranta et al. [36]	2008–2016	12	Онкогематологические заболевания Oncohematological diseases	6/12 (50)
Coleman et al. [37]	2004–2013	200	Злокачественные новообразования Malignant neoplasms	126/200 (63)
Friedman et al. [38]	2011–2016	23	Онкогематологические заболевания Oncohematological diseases	Неизвестно Unknown

В мировой литературе встречается описание клинических случаев успешного применения ЭКМО у детей с онкогематологическими заболеваниями [41–43].

Одним из таких примеров является применение ЭКМО у ребенка с тяжелой ОДН, обусловленной полным сдавлением дыхательных путей первичной медиастинальной В-клеточной лимфомой, проникающей в трахею. В течение экстракорпоральной поддержки жизни были выполнены фтордезоксиглюкозная позитронно-эмиссионная томография, курс полихимиотерапии и лучевой терапии. В результате уменьшения массы опухоли после проведенного лечения пациент был отключен от ЭКМО и в дальнейшем выписан из стационара [41].

По мере улучшения результатов выживаемости у детей с онкогематологическими заболеваниями на ЭКМО отмечается изменение мнения в профессиональном сообществе относительно ее применения у данной группы пациентов.

В 2009 г. при опросе центров ELSO выявлено, что 5% респондентов считали злокачественное новообразование абсолютным противопоказанием и 17% – относительным противопоказанием к ЭКМО [26].

При этом рефрактерная ОДН у пациентов после ТГСК в раннем посттрансплантационном периоде считалась абсолютным противопоказанием к ЭКМО [44].

Проведенный в 2021 г. опрос специалистов США, Канады и Европы, в котором приняли участие

210 врачей из отделений детской интенсивной терапии и онкогематологии, показал, что 99,5% участников рассматривают детей с онкогематологическими заболеваниями, после ТГСК и иммунной терапии в качестве кандидатов на ЭКМО и только 0,5% специалистов считают ТГСК абсолютным противопоказанием к ЭКМО. На вопрос, связанный с отбором кандидатов, 23% ответили, что имеют локальные протоколы по подбору кандидатов на ЭКМО в этой группе пациентов [45].

Первые международные рекомендации по ЭКМО у детей после ТГСК и иммунной терапии были опубликованы в 2022 г. [27].

В рекомендациях было достигнуто полное соглашение исследовательской группы по следующим утверждениям:

- ЭКМО может рассматриваться для пациентов после ТГСК с доброкачественными заболеваниями или злокачественными новообразованиями при условии низкого риска рецидива и адекватной оценки безрецидивной выживаемости (> 30% безрецидивной выживаемости в течение 1 года) [46];

- ЭКМО следует рассматривать только при высоких шансах на выздоровление от критического заболевания в течение ограниченного периода времени (2–3 нед) [47];

- должна проводиться оценка степени органной дисфункции;

- необходимо организовывать междисциплинарные обсуждения с привлечением членов семьи пациента;

- прекращение ЭКМО в случаях необратимых осложнений.

Таким образом, учитывая актуальные данные литературы, онкогематологические заболевания и ТГСК не должны рассматриваться как абсолютные противопоказания к проведению вено-венозной ЭКМО при ПОРДС.

Согласно исследованию Американского сообщества по изучению острого повреждения легких и сепсиса в педиатрии (Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators), отбор кандидатов на ЭКМО должен осуществляться индивидуально на основании разработанных критериев [22].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успехи в лечении детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК и иммунной терапии значительно повысили их выживаемость, в связи с чем показания к ЭКМО в этой группе пациентов пересмотрены.

Учитывая рост выживаемости детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК, конкретизацию и расширение показаний к экстракорпоральным методам жизнеобеспечения, эти пациенты могут рассматриваться в качестве кандидатов на ЭКМО.

Анализ литературы подтверждает, что использование ЭКМО у пациентов с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК возможно при индивидуальном подходе к выбору кандидатов, наличии опытной мультидисциплинарной команды и технических возможностей.

В настоящее время в России недостаточно опубликованных научных данных для составления клинических рекомендаций по ЭКМО у детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК, что требует начала исследований по этой проблеме.

Международное сообщество рекомендует продолжать научную работу в области ЭКМО у детей с онкогематологическими заболеваниями и после ТГСК для улучшения исходов терапии, учитывая накопленный опыт.

Будущие исследования по данной проблеме должны включать разработку алгоритма по отбору кандидатов на ЭКМО, определение сроков начала процедуры, подбор стратегий лечения, в том числе антикоагулянтной и инфузионной терапии.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Не указан.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

ORCID

Ryadinskaya E.A. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6120-6331>

Ivanashkin A.Yu. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4348-4573>

Литература

- Smith M., Hare M.L. An overview of progress in childhood cancer survival. *J Pediatr Oncol Nurs* 2004; 21 (3): 160–4.
- Davidoff A.M. *Pediatric Oncology. Semin Pediatr Surg* 2010; 19 (3): 225–33.
- Nakata K., Ito Y., Magadi W., Bonaventure A., Stiller C.A., Katano K., et al. Childhood cancer incidence and survival in Japan and England: A population-based study (1993–2010). *Cancer Sci* 2018; 109 (2): 422–34.
- Румянцев А.Г. Эволюция лечения острого лимфобластного лейкоза у детей: эмпирические, биологические и организационные аспекты. *Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии* 2015; 14 (1): 5–15. DOI:

- 10.24287/1726-1708-2015-14-1-5-15 [Rumyantsev A.G. Evolution of therapy for acute lymphoblastic leukemia in children: Empirical, biological, and organizational aspects. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2015; 14 (1): 5–15. (In Russ.)].
5. Chima R.S., Daniels R.C., Kim M.-O., Li D., Wheeler D.S., Davies S.M., Jodele S. Improved outcomes for stem cell transplant recipients requiring pediatric intensive care. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13 (6): e336–42.
 6. Wösten-van Asperen R.M., van Gestel J.P.J., van Grotel M., Tschiedel E., Dohna-Schwake C., Valla F.V., et al. PICU mortality of children with cancer admitted to pediatric intensive care unit a systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Oncol Hematol* 2019; 142: 153–63.
 7. Owens C., Mannion D., O'Marcaigh A., Waldron M., Butler K., O'Meara A. Indications for admission, treatment and improved outcome of paediatric haematology/oncology patients admitted to a tertiary paediatric ICU. *Ir J Med Sci* 2011; 180 (1): 85–9.
 8. Dursun O., Hazar V., Tezcan Karasu G., Uygun V., Tosun O., Yesilipek A. Prognostic factors in pediatric cancer patients admitted to the pediatric intensive care unit. *J Pediatr Hematol Oncol* 2009; 31 (7): 481–4.
 9. Bojko T., Notterman D.A., Greenwald B.M., De Bruin W.J., Magid M.S., Godwin T. Acute hypoxemic respiratory failure in children following bone marrow transplantation: an outcome and pathologic study. *Crit Care Med* 1995; 23 (4): 755–9.
 10. Nichols D.G., Walker L.K., Wingard J.R., Bender K.S., Bezman M., Zahurak M.L., et al. Predictors of acute respiratory failure after bone marrow transplantation in children. *Crit Care Med* 1994; 22 (9): 1485–91.
 11. DeBruin W., Notterman D.A., Magid M., Godwin T., Johnston S. Acute hypoxemic respiratory failure in infants and children: clinical and pathologic characteristics. *Crit Care Med* 1992; 20 (9): 1223–34.
 12. Emeriaud G., López-Fernández Y.M., Prabhu Iyer N., Bembea M.M., Agulnik A., Barbaro R.P., et al. Executive Summary of the Second International Guidelines for the Diagnosis and Management of Pediatric Acute Respiratory Distress Syndrome (PALICC-2). *Pediatr Crit Care Med* 2023; 24 (2): 143–68.
 13. Корнилов И.А. Экстракорпоральная поддержка жизни в педиатрии. Патология кровообращения и кардиохирургия 2018; 22 (4): 35–47. DOI: 10.21688/1681-3472-2018-4-35-47 [Kornilov I.A. Extracorporeal life support in pediatric patients. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery* 2018; 22 (4): 35–47. (In Russ.)].
 14. Лысенко М.А., Кецкало М.В., Андреев С.С., Ибрагимов И.П., Нечаев Д.С., Рогова Л.В. Экстракорпоральная мембранная оксигенация. Практические рекомендации. Под ред. О.Э. Луцевича. СПб.: ООО «Технопроект»; 2020. 72 с. [Lysenko M.A., Ketskalo M.V., Andreev S.S., Ibragimov I.P., Nechaev D.S., Rogova L.V. Extracorporeal membrane oxygenation. Practical recommendations. Edited by O.E. Lutsevich. Saint Petersburg: ООО Technoproject; 2020. p 72. (In Russ.)].
 15. Hill J.D., O'Brien T.G., Murray J.J., Dontigny L., Bramson M.L., Osborn J.J., Gerbode F. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome). Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med* 1972; 286 (12): 629–34.
 16. Bartlett R.H., Andrews A.F., Toomasian J.M., Haiduc N.J., Gazzaniga A.B. Extracorporeal membrane oxygenation for newborn respiratory failure: forty-five cases. *Surgery* 1982; 92 (2): 425–33.
 17. Ben Sivarajan V., Best D., Brizard C.P., Shekerdemian L.S., D'Udekem Y., Horton S.B., Warwick B. Improved outcomes of paediatric extracorporeal support associated with technology change. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2010; 11 (4): 400–5.
 18. Extracorporeal Life Support Organization. International Summary. Ann Arbor, 2023. [Electronic resource] URL: <https://www.else.org/registry/internationalsummaryandreports/internationalsummary.aspx> (accessed 06.02.2024).
 19. Ann Arbor: International Summary. Extracorporeal Life Support Organization. ECLS registry report. 2018. [Electronic resource] URL: <https://www.else.org/registry/internationalsummaryandreports/reports.aspx> (accessed 06.02.2024).
 20. Olson T.L., O'Neil E.R., Kurtz K.J., MacLaren G., Anders M.M. Improving Outcomes for Children Requiring Extracorporeal Membrane Oxygenation Therapy Following Hematopoietic Stem Cell Transplantation. *Crit Care Med* 2021; 49 (4): E381–93.
 21. Stepan D.A., Coleman R.D., Viamonte H.K., Hanson S.J., Carroll M.K., Klein O.R., et al. Outcomes of pediatric patients with oncologic disease or following hematopoietic stem cell transplant supported on extracorporeal membrane oxygenation: The PEDECOR experience. *Pediatr Blood Cancer* 2020; 67 (10): e28403.
 22. Zinter M.S., McArthur J., Duncan C., Adams R., Kreml E., Dalton H., et al. Candidacy for Extracorporeal Life Support in Children After Hematopoietic Cell Transplantation: A Position Paper From the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators Network's Hematopoietic Cell Transplant and Cancer Immunotherapy Subgroup. *Pediatr Crit Care Med* 2022; 23 (3): 205–13.
 23. Green T.P., Timmons O.D., Fackler J.C., Moler F.W., Thompson A.E., Sweeney M.F. The impact of extracorporeal membrane oxygenation on survival in pediatric patients with acute respiratory failure. *Pediatric Critical Care Study*. *Crit Care Med* 1996; 24 (2): 323–9.
 24. Masiakos P.T., Islam S., Doody D.P., Schnitzer J.J., Ryan D.P. Extracorporeal membrane oxygenation for nonneonatal acute respiratory failure. *Arch Surg* 1999; 134 (4): 375–80.
 25. Gupta M., Shanley T.P., Moler F.W. Extracorporeal life support for severe respiratory failure in children with immune compromised conditions. *Pediatr Crit Care Med* 2008; 9 (4): 380–5.
 26. Gow K.W., Heiss K.F., Wulkan M.L., Katzenstein H.M., Rosenberg E.S., Heard M.L., et al. Extracorporeal life support for support of children with

- malignancy and respiratory or cardiac failure: The extracorporeal life support experience. *Crit Care Med* 2009; 37 (4): 1308–16.
27. Di Nardo M., Ahmad A.H., Merli P., Zinter M.S., Lehman L.E., Rowan C.M., et al. Extracorporeal membrane oxygenation in children receiving haematopoietic cell transplantation and immune effector cell therapy: an international and multidisciplinary consensus statement. *Lancet Child Adolesc Health* 2022; 6 (2): 116–28.
 28. Slooff V., Hoogendoorn R., Nielsen J.S.A., Pappachan J., Amigoni A., et al. Role of extracorporeal membrane oxygenation in pediatric cancer patients: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Ann Intensive Care* 2022; 12 (1): 1–11.
 29. Lindén V., Karlén J., Olsson M., Palmér K., Ehrén H., Henter J.I., Kalin M. Successful extracorporeal membrane oxygenation in four children with malignant disease and severe *Pneumocystis carinii* pneumonia. *Med Pediatr Oncol* 1999; 32 (1): 25–31.
 30. Meister B., Zelger B., Kropshofer G., Klein-Franke A., Crazzolaro R., Frühwirth M., Neu N. Extracorporeal membrane oxygenation as a rescue therapy for leukaemic children with pulmonary failure. *Br J Haematol* 2010; 148 (1): 126–31.
 31. Di Nardo M., Locatelli F., Palmer K., Amodeo A., Lorusso R., Belliati M., et al. Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric recipients of hematopoietic stem cell transplantation: an updated analysis of the Extracorporeal Life Support Organization experience. *Intensive Care Med* 2014; 40 (5): 754–6.
 32. Smith S., Butt W., Best D., MacLaren G. Long-term survival after extracorporeal life support in children with neutropenic sepsis. *Intensive Care Med* 2016; 42 (5): 942–3.
 33. Bailly D.K., Reeder R.W., Zabrocki L.A., Hubbard A.M., Wilkes J., Bratton S.L., et al. Development and Validation of a Score to Predict Mortality in Children Undergoing Extracorporeal Membrane Oxygenation for Respiratory Failure: Pediatric Pulmonary Rescue With Extracorporeal Membrane Oxygenation Prediction Score. *Crit Care Med* 2017; 45 (1): e58–66.
 34. Cortina G., Neu N., Kropshofer G., Meister B., Klingkowski U., Crazzolaro R. Extracorporeal membrane oxygenation offers long-term survival in childhood leukemia and acute respiratory failure. *Crit Care* 2018; 22 (1): 222.
 35. Maue D.K., Hobson M.J., Friedman M.L., As Moser E., Rowan C.M. Outcomes of pediatric oncology and hematopoietic cell transplant patients receiving extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion* 2019; 34 (7): 598–604.
 36. Ranta S., Kalzén H., Nilsson A., von Schewelov K., Broman L.M., Berner J. Extracorporeal Membrane Oxygenation Support in Children With Hematologic Malignancies in Sweden. *J Pediatr Hematol Oncol* 2021; 43 (2): e272–5.
 37. Coleman R.D., Goldman J., Moffett B., Guffey D., Loftis L., Thomas J., Shekerdemian L. Extracorporeal Membrane Oxygenation Mortality in High-Risk Populations: An Analysis of the Pediatric Health Information System Database. *ASAIO J* 2020; 66 (3): 327–31.
 38. Friedman M.L., Barbaro R.P., Bembea M.M., Bridges B.C., Chima R.S., Kilbaugh T.J., et al. Mechanical Ventilation in Children on Venovenous ECMO. *Respir Care* 2020; 65 (3): 271–80.
 39. Bridges B.C., Kilbaugh T.J., Barbaro R.P., Bembea M.M., Chima R.S., Potera R.M., et al. Veno-Venous Extracorporeal Membrane Oxygenation for Children With Cancer or Hematopoietic Cell Transplant: A Ten Center Cohort. *ASAIO J* 2021; 67 (8): 923–9.
 40. Zinter M.S., Logan B.R., Fretham C., Sapru A., Abraham A., Aljurf M.D., et al. Comprehensive Prognostication in Critically Ill Pediatric Hematopoietic Cell Transplant Patients: Results from Merging the Center for International Blood and Marrow Transplant Research (CIBMTR) and Virtual Pediatric Systems (VPS) Registries. *Biol Blood Marrow Transplant* 2020; 26 (2): 333–42.
 41. Rotz S.J., Almeida F.A., Koefman S., Krishnan S., Singh Thind G., Phillips W., et al. Continuous infusion chemotherapy, radiotherapy, and FDG-PET are feasible during extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Blood Cancer* 2020; 67 (9): e28429.
 42. Евсютина Е.П., Диникина Ю.В., Смирнова А.Ю., Федулова Е.Е., Терёшина А.А., Кириченко М.М. и др. Экстракорпоральная мембранная оксигенация при остром респираторном дистресс-синдроме у ребенка с опухолью центральной нервной системы. *Онкогематология* 2021; 16 (2): 81–5. DOI: 10.17650/1818-8346-2021-16-2-81-85 [Evsyutina E.P., Dinikina Yu.V., Smirnova A.Yu., Fedulova E.E., Tereshina A.A., Kirichenko M.M., et al. Extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome in a child with central nervous system tumor. *Oncohematology*. 2021; 16 (2): 81–5. (In Russ.)].
 43. Wolfson R.K., Kahana M.D., Nachman J.B., Lantos J. Extracorporeal membrane oxygenation after stem cell transplant: Clinical decision-making in the absence of evidence. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6 (2): 200–3.
 44. MacLaren G. When to initiate ECMO with low likelihood of success. *Crit Care* 2018; 22 (1): 217.
 45. Ghafoor S., Fan K., Di Nardo M., Talleur A.C., Saini A., Potera R.M., et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation Candidacy in Pediatric Patients Treated With Hematopoietic Stem Cell Transplant and Chimeric Antigen Receptor T-Cell Therapy: An International Survey. *Front Oncol* 2021; 11: 798236.
 46. Di Nardo M., Locatelli F., Di Florio F., Cecchetti C., Amodeo A., Rutella S., Bertaina A. Extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to allogeneic T-cell depleted hematopoietic stem cell transplantation in infants with severe combined immune deficiency: is it feasible? *Intensive Care Med* 2014; 40 (10): 1600–1.
 47. Nasr V.G., Raman L., Barbaro R.P., Guner Y., Tonna J., Ramanathan K., et al. Highlights from the Extracorporeal Life Support Organization Registry: 2006–2017. *ASAIO J* 2019; 65 (6): 537–44.