

Оценка диагностических возможностей транспульмональной термодилуции после радикальной коррекции тетрады Фалло у детей раннего возраста

И.В. Бондаренко¹, В.В. Ломиворотов¹, И.А. Велюханов¹, А.А. Кривошапкина¹, Е.Н. Амансахатова^{1, 2}, В.А. Непомнящих¹, В.Я. Мартыненко¹, И.А. Соинов¹

Для корреспонденции: Илья Викторович Бондаренко, i_bondarenko@meshalkin.ru

Поступила в редакцию 3 марта 2025 г. Исправлена 11 мая 2025 г. Принята к печати 30 октября 2025 г.

Цитировать: Бондаренко И.В., Ломиворотов В.В., Велюханов И.А., Кривошапкина А.А., Амансахатова Е.Н., Непомнящих В.А., Мартыненко В.Я., Соинов И.А. Оценка диагностических возможностей транспульмональной термодилуции после радикальной коррекции тетрады Фалло у детей раннего возраста. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2025;29(4):112-121. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-4-112-121>

Информированное согласие

Получено информированное согласие официальных представителей пациентов на публикацию и использование медицинских данных в научных целях.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства здравоохранения Российской Федерации № 124022500251-0.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: И.В. Бондаренко, В.В. Ломиворотов, И.А. Велюханов, И.А. Соинов
Сбор и анализ данных: И.В. Бондаренко, И.А. Велюханов, А.А. Кривошапкина
Статистическая обработка данных: И.В. Бондаренко, В.В. Ломиворотов, В.Я. Мартыненко
Написание статьи: И.В. Бондаренко, И.А. Велюханов, Е.Н. Амансахатова, И.А. Соинов
Исправление статьи: Е.Н. Амансахатова, В.А. Непомнящих, В.Я. Мартыненко, И.А. Соинов
Утверждение окончательного варианта статьи: все авторы

ORCID

И.В. Бондаренко, <https://orcid.org/0009-0005-3141-9909>
В.В. Ломиворотов, <https://orcid.org/0000-0001-8591-6461>
И.А. Велюханов, <https://orcid.org/0000-0003-3742-8396>
А.А. Кривошапкина, <https://orcid.org/0009-0005-0522-3283>
Е.Н. Амансахатова, <https://orcid.org/0009-0008-3193-4160>
В.А. Непомнящих, <https://orcid.org/0009-0008-6140-8663>
В.Я. Мартыненко, <https://orcid.org/0000-0001-6627-626X>
И.А. Соинов, <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

© Бондаренко И.В., Ломиворотов В.В., Велюханов И.А., Кривошапкина А.А., Амансахатова Е.Н., Непомнящих В.А., Мартыненко В.Я., Соинов И.А., 2025

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени академика Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. В хирургии врожденных пороков сердца, в частности при радикальной коррекции тетрады Фалло у детей до 1 года, рутинно определяемые показатели гемодинамики зачастую не позволяют в полной мере оценить индивидуальный гемодинамический профиль пациента и составить индивидуальный протокол целенаправленной гемодинамической терапии.

Это обстоятельство обуславливает применение расширенного гемодинамического мониторинга, в частности методики транспульмональной термодилуции (PiCCO). Однако применение данной методики ограничено отсутствием референтных показателей для пациентов с данной нозологической формой и данной возрастной категории.

Цель. Определить референтные показатели транспульмональной термодилуции у детей до 1 года после радикальной коррекции тетрады Фалло для составления протоколов целенаправленной гемодинамической терапии.

Методы. Проспективное когортное исследование, основанное на результатах показателей транспульмональной термодилуции 30 пациентов до 1 года после радикальной коррекции тетрады Фалло за период с 2019 по 2022 г., проводилось на базе ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России.

Результаты. Правожелудочковая недостаточность развивалась у 11 пациентов (36,7%). Фактором риска развития дисфункции правого желудочка являлась легочная регургитация II степени и более, которая развивалась у 14 пациентов (46,7%). Средний объем регургитации составил 18,8 (12,1; 19,5) мл. По данным PiCCO не было выявлено развития правожелудочковой недостаточности у детей в раннем послеоперационном периоде.

Заключение. Стандартные показатели гемодинамического мониторинга с использованием системы PiCCO, рекомендованные для взрослых пациентов, не могут быть применены к детям, особенно в раннем возрасте после радикальной коррекции тетрады Фалло. Показатели транспульмональной термодилуции не позволяют диагностировать правожелудочковую недостаточность после радикальной коррекции тетрады Фалло у детей до 1 года.

Ключевые слова: транспульмональная термодилуция; тетрада Фалло; врожденные пороки сердца; сердечно-сосудистая хирургия



Assessment of the diagnostic potential of transpulmonary thermodilution in young children after radical correction of tetralogy of Fallot

Ilya V. Bondarenko¹, Vladimir V. Lomivorotov¹, Ilya A. Velukhanov¹, Alexandra A. Krivoschapkina¹, Ekaterina N. Amansakhatova^{1,2}, Valery A. Nepomnyashchy¹, Victor Y. Martynenkov¹, Ilya A. Soynov¹

¹ Meshalkin National Medical Research Center, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

Corresponding author: Ilya V. Bondarenko,
i_bondarenko@meshalkin.ru

Received 17 March 2025. Revised 11 May 2025.
Accepted 23 October 2025.

How to cite: Bondarenko I.V., Lomivorotov V.V., Velukhanov I.A., Krivoschapkina A.A., Amansakhatova E.N., Nepomnyashchy V.A., Martynenkov V.Y., Soynov I.A. Assessment of the diagnostic potential of transpulmonary thermodilution in young children after radical correction of tetralogy of Fallot. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2025;29(4):112-121. (In Russ.)
<https://doi.org/10.21688/1681-3472-2025-4-112-121>

Informed consent: The patient's official representative has provided informed consent for the use of the recordings for medical purposes.

Funding: The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 124022500251-0.

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

Contribution of the authors

Conception and study design: I.V. Bondarenko, V.V. Lomivorotov, I.A. Velukhanov

Data collection and analysis: I.V. Bondarenko, I.A. Velukhanov, A.A. Krivoschapkina

Statistical analysis: I.V. Bondarenko, V.V. Lomivorotov, V.Y. Martynenkov

Drafting the article: I.V. Bondarenko, I.A. Velukhanov, I.A. Soynov

Critical revision of the article: E.N. Amansakhatova, V.A. Nepomnyashchy, V.Y. Martynenkov, I.A. Soynov

Final approval of the version to be published: I.V. Bondarenko, V.V. Lomivorotov, I.A. Velukhanov, A.A. Krivoschapkina, E.N. Amansakhatova, V.A. Nepomnyashchy, V.Y. Martynenkov, I.A. Soynov

ORCID

I.V. Bondarenko, <https://orcid.org/0009-0005-3141-9909>

V.V. Lomivorotov, <https://orcid.org/0000-0001-8591-6461>

I.A. Velukhanov, <https://orcid.org/0000-0003-3742-8396>

A.A. Krivoschapkina, <https://orcid.org/0009-0005-0522-3283>

E.N. Amansakhatova, <https://orcid.org/0009-0008-3193-4160>

V.A. Nepomnyashchy, <https://orcid.org/0009-0008-6140-8663>

V.Y. Martynenkov, <https://orcid.org/0000-0001-6627-626X>

I.A. Soynov, <https://orcid.org/0000-0003-3691-2848>

© 2025 Bondarenko et al.



Abstract

Background: In congenital heart surgery, in particular upon the radical correction of tetralogy of Fallot in children aged up to 1 year, hemodynamic indicators determined routinely often do not enable to assess in full the individual hemodynamic profile of the patient and to develop an individualized protocol for targeted hemodynamic therapy. This circumstance stipulates the use of advanced hemodynamic monitoring, and specifically the transpulmonary thermodilution (PiCCO) technique. However, the use of this technique is limited by the lack of reference values for patients with this nosological form and in this specific age group.

Objective: The study was aimed at determining reference indicators of transpulmonary thermodilution in children aged up to 1 year after radical correction of Tetralogy of Fallot to develop protocols of targeted hemodynamic therapy.

Methods: This prospective cohort study was based on the transpulmonary thermodilution data of 30 patients aged up to 1 year after radical correction of Tetralogy of Fallot performed at the Meshalkin National Medical Research Center of the Ministry of Health of Russia from 2019 to 2022.

Results: Right ventricular failure developed in 11 patients (36.7%). A risk factor for right ventricular dysfunction was pulmonary regurgitation of grade 2 or higher, which developed in 14 patients (46.7%). The average regurgitation volume was 18.8 (12.1; 19.5) ml. According to the PiCCO data, no right ventricular failure was detected in children in the early postoperative period.

Conclusion: Standard hemodynamic monitoring parameters using the PiCCO system, recommended for adult patients, cannot be applied to children, especially tender-age infants, after radical correction of tetralogy of Fallot. Transpulmonary thermodilution parameters do not enable to detect right ventricular failure after radical correction of tetralogy of Fallot in children aged up to 1 year.

Keywords: transpulmonary thermodilution; tetralogy of Fallot; congenital heart defects; cardiovascular surgery

Введение

Кардиохирургические операции относятся к вмешательствам высокого риска и характеризуются высокой сложностью, а также быстрым развитием и прогрессированием угрожающих жизни состояний [1]. При этом новорожденные и дети до 1 года, подвергающиеся операциям в условиях искусственного кровообращения (ИК), имеют большее количество послеоперационных осложнений, высокую частоту развития полиорганной недостаточности и более высокую летальность, достигающую по различным данным 8 % [2; 3].

Ценность и польза отдельных гемодинамических параметров (среднее артериальное давление (САД), центральное венозное давление (ЦВД)) остаются предметом дискуссий [4]. Метаболические критерии (центральная или смешанная венозная сатурация, лактат крови) также не позволяют в полной мере оценить индивидуальный гемодинамический профиль пациента [5].

Еще с конца XX века был введен термин «целенаправленная терапия», рассматриваемая как системный подход в реаниматологии, заключающийся в поэтапных мероприятиях по оптимизации пред- и постнагрузки и сократимости сердца и обеспечивающий адекватную доставку кислорода тканям [6–10].

Для составления индивидуального протокола целенаправленной гемодинамической терапии среди инвазивных методов определения сердечного выброса (СВ) в педиатрической практике в качестве альтернативы используют метод транспульмональной термодилуции, который в отличие от катетера Свана – Ганца является менее инвазивным и более безопасным [8; 9].

В ходе немногочисленных исследований по применению методики транспульмональной термодилуции при различных патологических состояниях у детей было показано, что значения индекса глобального конечного диастолического объема (ИГКДО) и индекса внесосудистой воды легких (ИВСВЛ) статистически значимо отличались от нормальных показателей у взрослых пациентов [11–13]. Однако неоднородность групп, выраженная вариабельность показателей, относительно небольшая выборка не позволяют в полной мере использовать данные показатели при составлении протокола целенаправленной гемодинамической терапии. Многие авторы делают вывод о необходимости дальнейших исследований для уточнения статистической значимости и клинической ценности метода [13–15].

Очень существенной проблемой у детей до года с врожденными пороками сердца (ВПС) и тетрадой Фалло являются, в частности, крайне скудные данные нормальных значений показателей транспульмональной термодилуции, что делает сложным на практике осуществление целенаправленной гемодинамической терапии [14]. Тетрада Фалло является наиболее часто встречающимся цианотическим врожденным пороком сердца. Тетрада Фалло относится к группе ВПС, связанной с аномалией конотрункуса, в результате которого формируются дефект межжелудочковой перегородки, обструкция выходного отдела правого желудочка или стеноз клапана легочной артерии (ЛА), дислокация (декстрапозиция) аорты, а также гипертрофия правого желудочка (ПЖ) [16–19]. Распространенность тетрады Фалло составляет 3–5 случаев на 10 000 родившихся, частота – 7 % среди всех ВПС [20; 21].

Таким образом, целью данного исследования явилось определение референтных показателей транспульмональной термодилуции у детей до года, радикально оперированных по поводу тетрады Фалло в условиях ИК, для их последующего использования при составлении протоколов целенаправленной гемодинамической терапии.

Методы

В проспективное когортное исследование с 2019 по 2022 г. было включено 30 пациентов до 1 года с тетрадой Фалло, которые были радикально оперированы во ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» (рис. 1). Было получено разрешение локального этического комитета (протокол № 10 от 10.10.2019). Форма информированного согласия подписана официальными представителями всех участников исследования. Сбор и анализ данных проводился согласно рекомендациям Хельсинской декларации.

Критерии включения: первичная радикальная коррекция тетрады Фалло, возраст до 1 года, подписанное информированное согласие.

Критерии не включения: подтвержденная внутриутробная инфекция, гестационный возраст <37 недель, острая дыхательная, почечная недостаточность, острое повреждение почек до операции, отказ от исследования родителей или законных представителей пациента.

Критерии исключения: сердечный индекс (СИ) <2 л/мин/м², инотропный индекс (Inotropic Score = Допамин (мкг/кг/мин) + Добутамин (мкг/кг/мин) + 100 × Адреналин (мкг/кг/мин)) > 10, индекс оксигенации (ОИ = PaO₂ / FiO₂) < 200 мм рт. ст., отказ от исследования.

Рис. 1. Схема исследования

Примечание. ТФ – тетрада Фалло;

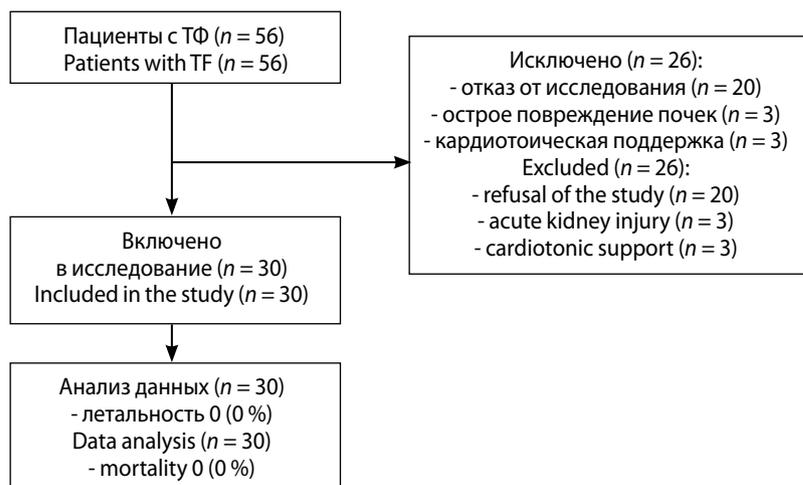
TF – Tetralogy of Fallot

Критерии включения:

- радикальная коррекция тетрады Фалло
- возраст до 1 года
- подписанное информированное согласие

Inclusion criteria:

- radical surgery for tetralogy of Fallot
- infants
- signed informed consent



Всем пациентам, включенным в исследование, осуществлялось общепринятое стандартное анестезиологическое и реанимационное обеспечение. Оперативное вмешательство проводилось в условиях общей комбинированной анестезии. Для индукции использовался севофлуран 6–7 об.%, фентанил в дозировке 5–6 мкг/кг, рокуроний 0,6 мкг/кг. Для поддерживающей анестезии применялись севофлуран (2,0–3,0 об.%), фентанил 5–7 мкг/(кг·ч), рокуроний 0,6–1,0 мг/(кг·ч). Интраоперационно после индукции пациенту устанавливалась система транспульмональной термодилуции (PiCCOplus). После завершения модифицированной ультрафильтрации (МУФ) были определены следующие показатели (после трехкратного измерения одним исследователем на каждом этапе принято среднее значение): среднее артериальное давление (САД), центральное венозное давление (ЦВД), сердечный индекс (СИ), индекс глобального конечного диастолического объема (ИГКДО), индекс внесосудистой воды легких (ИВСВЛ), индекс системного сосудистого сопротивления (ИССС), вариабельность ударного объема (ВУО). Из стандартных показателей оценивались уровень лактата, индекс оксигенации, длительность искусственного кровообращения, время окклюзии аорты, продолжительность искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и инотропной поддержки, продолжительность пребывания в отделении реанимации.

Период активного наблюдения – 48 часов раннего послеоперационного периода. В качестве кардиотонической поддержки в раннем послеоперационном периоде у данных пациентов использовали комбинацию из следующих препаратов: адреналин, норадреналин, милринон и мезатон.

Измерение лактата проводили с помощью газоанализатора Rapidlab 865 (Bayer Corporation, Великобритания). Показатели гемодинамики иссле-

довали, используя систему PiCCOplus. Устанавливали терморазводящий артериальный катетер (в бедренную или лучевую артерию) и центральный венозный катетер. Затем подключали датчики давления к монитору PiCCOplus с калибровкой по нулю на уровне правого предсердия. Калибровку методом транзиторной термодилуции осуществляли введением болюса 5 мл охлажденного (4–8 °С) физиологического раствора через центральный венозный катетер (ЦВК), после чего проводили измерение необходимых параметров. Далее указанные параметры были оценены в режиме реального времени в отделении реанимации с калибровкой каждые 12 часов. Измерение показателей производили на следующих этапах: Т1 – исходно (после МУФ); Т2 – 12 часов послеоперационного периода; Т3 – 24 часа послеоперационного периода; Т4 – 48 часов послеоперационного периода.

Легочная регургитация была оценена с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ) на 2–5-е сутки после операции (с помощью размера выходного отдела правого желудочка и изображений поперечной черной крови строилась карта скорости для расчета объема легочной регургитации).

Признаки правожелудочковой недостаточности оценивались на основании [16; 17]:

- клинических данных: отеки, гепатомегалия, асцит, гидроторакс, признаки ренальной дисфункции;
- лабораторных данных: метаболический ацидоз, повышенный уровень лактата в сыворотке, повышенный уровень креатинина в сыворотке;
- данных электрокардиографии (ЭКГ): ЭКГ-признаки «перегрузки» правой половины сердца (правограмма, S1-Q3, остроконечный P «pulmonale», блокада правой ножки пучка Гиса (ПНПГ), элевация сегмента ST в отведениях II, III, aVF, V1-3, инверсия зубцов T в отведениях III, aVF, V1-4);

Табл. 1. Базовые и предоперационные характеристики пациентов ($n = 30$)

Показатель	Значение
Пол:	
мальчики, n (%)	17 (57)
девочки, n (%)	13 (43)
Возраст, мес.	7,5 (6; 10)
КДО ЛЖ, мл/м ²	71,20 (64,50; 77,50)
КСР ЛЖ, мл/м ²	18,68 (16,30; 22,85)
ФВ ЛЖ, %	72,00 (67,50; 77,00)
Ударный объем	37,45 (32,00; 38,50)
Ударный индекс	30,07 (24,15; 31,55)
Сердечный выброс	2,00 (1,60; 2,40)
Сердечный индекс	2,45 (1,95; 2,65)

Примечание. КДО ЛЖ – конечный диастолический объем левого желудочка; КСР ЛЖ – конечный систолический размер левого желудочка; ФВ ЛЖ – фракция выброса левого желудочка.

- данных эхокардиографии: расширение полости и снижение сократимости правого желудочка, легочная регургитация, снижение показателей систолической экскурсии трикуспидального кольца (TASPE);
- инвазивной диагностики: измерение давления внутри правого желудочка.

Хирургическая техника

Реконструктивные оперативные вмешательства осуществлялись двумя опытными хирургами в одной из хирургических техник:

- 1) с сохранением фиброзного кольца легочной артерии ($n = 9$):
 - раздельная пластика выходного отдела правого желудочка (ВОПЖ) и ствола легочной артерии ($n = 8$);
 - изолированная пластика ВОПЖ ($n = 1$);
- 2) без сохранения фиброзного кольца легочной артерии ($n = 21$):
 - трансаннулярная пластика без моностворки ($n = 18$);
 - трансаннулярная пластика с использованием моностворки ($n = 3$).

Статистический анализ

Проверка гипотезы о нормальности распределения признаков выполнялась с помощью критерия Шапиро – Уилка. Непрерывные данные представлены в виде медианы и межквартильного интервала (25-й; 75-й процентиля), категориальные – в виде чисел и процентов. Различия между группами сравнивались с использованием критерия Фишера для кате-

Табл. 2. Данные интраоперационного и раннего послеоперационного периодов ($n = 30$)

Показатель	Значение
ИК, мин	62,5 (50; 75)
Окклюзия аорты, мин	47,5 (30; 60)
ИВЛ, мин	24 (15; 47,5)
Кардиотоническая поддержка, ч	38 (23; 72)
Продолжительность в ОРИТ, сут	4 (3; 5)
Правожелудочковая недостаточность, n (%)	11 (36)
Jet-тахикардии, n (%)	2 (6)
Кровотечения в 1-е сутки после операции, n (%)	2 (6)
КДО ПЖ, МРТ, мл/м ²	75,58 (54,5; 90,43)
КДО ПЖ синусная часть, МРТ, мл/м ²	64,45 (44,95; 84,95)
КДО ВОПЖ, МРТ, мл/м ²	11,88 (9; 13,4)
КДО ПЖ, УЗИ, мл/м ²	42,25 (31; 55)
КСР ПЖ, МРТ, мл/м ²	33,59 (19,75; 45)
КСР ПЖ синусная часть, МРТ, мл/м ²	27,75 (15,4; 41,55)
КСР ВОПЖ, МРТ, мл/м ²	5,75 (4,25; 6,65)
КСР ПЖ, УЗИ, мл/м ²	14,4 (8; 19)
ФВ ПЖ, МРТ	48,8 (42,3; 53,85)
ФВ ПЖ синусная часть, МРТ	29,25 (20,75; 37,45)
ФВ ВОПЖ, МРТ	40,3 (34,7; 48,85)
ФВ ПЖ, УЗИ	54,9 (49,5; 60)
Ударный объем ПЖ, МРТ	29,16 (20,7; 35,1)
Ударный объем ПЖ, УЗИ	24,3 (21; 33,5)
Ударный индекс ПЖ	34,45 (26,6; 41,4)
Сердечный выброс ПЖ	2,33 (1,7; 2,75)
Сердечный индекс ПЖ	2,75 (2,1; 3,4)
Легочная регургитация, МРТ, %	24,95 (17,5; 29)
Легочная регургитация, МРТ, мл	12,5 (6,7; 12,85)

Примечание. ВОПЖ – выходной отдел правого желудочка; ИВЛ – искусственная вентиляция легких; ИК – искусственное кровообращение; КДО – конечный диастолический объем; КСР – конечный систолический размер; МРТ – магнитно-резонансная томография; ОРИТ – отделение реанимации и интенсивной терапии; ПЖ – правый желудочек; УЗИ – ультразвуковое исследование; ФВ – фракция выброса.

горизонтальных переменных и U -критерия Манна – Уитни для непрерывных переменных. Результат логистического регрессивного анализа выражен в виде отношения шансов с 95 % доверительным интервалом (95 % ДИ). Тест Крускала – Уоллиса использовался при сравнении более двух групп для выявления статистически

Табл. 3. Основные показатели гемодинамического мониторинга после радикальной коррекции тетрады Фалло у детей до 1 года ($n = 30$)

Показатель	T1	T2	T3	T4	p
САД, мм рт. ст.	58 (55; 65)	76(73; 80)	75 (69; 79)	74 (67; 79)	0,631
ЦВД, мм рт. ст.	8 (8; 10)	10 (8; 11)	9 (8; 11)	9 (6; 10)	0,821
Максимальный инотропный индекс	2,5 (1,5; 2,5)	2,5 (1,5; 2,5)	1,5 (0,5; 2,5)	1,5 (0,5; 2,5)	0,563
Лактат, ммоль/л	3,1 (2,6; 4,3)	2,1 (1,7; 3,4)	1,6 (1,4; 1,9)	1,4 (1,1; 1,6)	0,438
Индекс оксигенации, мм рт. ст.	377 (324; 420)	360 (313; 424)	380 (305; 441)	346 (290; 382)	0,521
СИ, л/мин/м ²	2,9 (2,5; 3,3)	2,7 (2,5; 3,1)	3,3 (2,5; 3,6)	2,8 (2,5; 3,1)	0,381
ИГКДО, мл/м ²	273 (230; 320)	304 (253; 340)	342 (275; 456)	328 (295; 390)	0,075
ИВСВЛ, мл/м ²	14 (12,5; 18,3)	14,5 (12; 22)	19 (16; 21)	19 (15; 23)	0,145
ИССС, дин·с·см ⁵ /м ²	1876 (1505; 2238)	1892 (1665; 2135)	1622 (1484; -1956)	1693 (1490; 2360)	0,088
ВУО, %	12 (8; 14)	10,5 (7,25; 12,75)	16 (9,75; 18,5)	13 (8; 16)	0,091

Примечание. ВУО – вариабельность ударного объема; ИВСВЛ – индекс внесосудистой воды легких; ИГКДО – индекс глобального конечного диастолического объема; ИССС – индекс системного сосудистого сопротивления; САД – среднее артериальное давление; СИ – сердечный индекс; ЦВД – центральное венозное давление.

значимых различий распределения средних значений в заданных ранее группах исследования. Нулевая гипотеза для всех видов статистического анализа отвергалась, когда значение p было менее 0,05. При значении уровня значимости p более 0,05 статистические расчеты считались недостоверными. Анализ данных проводился с помощью программы Stata 14 (StataCorp LP, College Station, США). Для статистического анализа использовали программу MedCalcStatisticalSoftware v12.1.4 (MedCalcSoftware, Mariakerke, Бельгия).

Результаты

В исследование включены 30 пациентов: 17 (57%) мальчиков и 13 (43%) девочек. Возраст пациентов составил 7,5 (6;10) месяца. Остальные данные пациентов предоперационного этапа представлены в табл. 1.

Продолжительность искусственного кровообращения составила 62,5 (50; 75) минуты, время окклюзии аорты – 47,5 (30; 60) минуты, длительность ИВЛ – 24 (15; 47,5) часа; продолжительность кардиотонической поддержки составила 38 (23; 72) часов, продолжительность пребывания в отделении реанимации – 4 (3–5) суток. При анализе вида пластики выходного отдела правого желудочка (с сохранением и без сохранения кольца клапана легочной артерии) статистически значимых различий по данным PiCCO между исследуемыми группами не выявлено, $p = 0,235$. Данные раннего послеоперационного периода представлены в табл. 2.

Основные данные в динамике стандартного и расширенного гемодинамического мониторинга представлены в табл. 3.

Как видно по данным табл. 3, ни на одном из этапов не выявлено статистически значимых различий при исследовании каждого из показателей в динамике. Реинтубаций по легочным показаниям не отмечалось. Показатели стандартного гемодинамического мониторинга, уровень лактата не отличались от нормальных значений. Соответственно полученные данные расширенного гемодинамического мониторинга и следует считать характерными для данной группы.

Данные расширенного гемодинамического мониторинга за исключением ИГКДО и ИВСВЛ не отличались от нормы для взрослых пациентов. Однако выявлено, что в исследуемой группе значения индекса глобального конечного диастолического объема (ИГКДО) в 2 раза ниже, а индекса внесосудистой воды легких (ИВСВЛ), наоборот, в 2 раза выше нормальных значений для взрослых пациентов (рекомендуемые нормальные значения при проведении целенаправленной гемодинамической терапии у взрослых пациентов: ИГКДО = 680–850 мл/м², ИВСВЛ = 3–10 мл/кг).

Легочная регургитация II степени и выше имела у 14 (46,7 %) пациентов. Средний объем регургитации составил 18,8 (12,1; 19,5) мл.

Различные проявления правожелудочковой недостаточности присутствовали у 11 пациентов (36,7 %). Развитие правожелудочковой недостаточности мы оценивали по клиническим, лабораторным и инстру-

Табл. 4. Однофакторный и многофакторный регрессионный анализ для правожелудочковой недостаточности

Показатель	Однофакторный Univariate		Многофакторный Multivariate	
	ОШ (95 % ДИ)	p	ОШ (95 % ДИ)	p
СИ	4,2 (2,9; 6,6)	0,001	6,8 (0,59; 28,9)	0,549
ИГКДО	1,87 (1,52; 2,11)	0,003	2,04 (0,16; 3,12)	0,245
ИССС	1,55 (1,22; 1,81)	0,001	1,69 (0,91; 2,14)	0,099
ВУО	1,75 (1,34; 1,99)	0,004	0,97 (0,82; 2,23)	0,720
Объем легочной регургитации	2,42 (1,47; 3,21)	0,001	2,51 (1,61; 3,52)	0,021

Примечание. ВУО – варибельность ударного объема; ДИ – доверительный интервал; ИГКДО – индекс глобального конечного диастолического объема; ИССС – индекс системного сосудистого сопротивления; ОШ – отношение шансов; СИ – сердечный индекс; p – уровень статистической значимости.

ментальным данным: застойные явления в легких, внешние отеки, асцит, гидроторакс, гепатомегалия (более 3 см), лактат более 4 ммоль/л, креатинин более 2 мг/дл (по шкале RIFL), PH менее 7,3.

Для правожелудочковой недостаточности проведен однофакторный и многофакторный регрессионный анализ, который представлен в табл. 4.

Как видно по данным табл. 4, единственным из изученных нами факторов риска правожелудочковой недостаточности при многофакторном регрессионном анализе был объем легочной регургитации, который в 2,5 раза увеличивал правожелудочковую недостаточность.

При проведении Receiver Operator Characteristic (ROC) анализа было выявлено, что объем легочной регургитации влияет на правожелудочковую недостаточность, площадь под ROC-кривой – 0,82 (95 % ДИ (0,65; 0,97)), при этом точка «cutpoint» составила 15 мл с чувствительностью 78 % и специфичностью 83 %, $p = 0,01$ (рис. 2).

Данные раннего послеоперационного периода представлены в табл. 5.

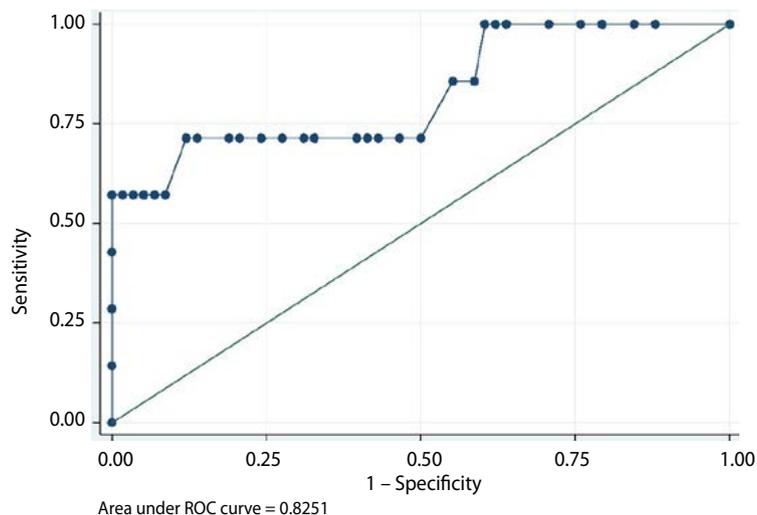
Обсуждение

При естественном течении тетрады Фалло летальность в период новорожденности составляет от 35 до 75 % (в зависимости от степени выраженности стеноза клапана ЛА, что требует экстренного перевода в специализированный хирургический стационар и проведения своевременной радикальной коррекции [22]. Показатели выживаемости после хирургической коррекции тетрады Фалло достигают более 90 % при 30-летнем периоде наблюдения [17]. Несмотря на высокие показатели выживаемости в послеоперационном периоде, ранний послеоперационный период не исключает развитие нарушений сердечного ритма и недостаточности правого желудочка [16].

Наиболее грозным осложнением у таких пациентов в раннем послеоперационном периоде является правожелудочковая недостаточность, к предпосылкам которой относят низкую сатурацию в предоперационном периоде, трансаннулярную пластику ВОПЖ, продолжительное время искусственного кровообращения и окклюзии аорты,

Рис. 2. ROC-анализ влияния объема легочной регургитации на правожелудочковую недостаточность

Примечание. ROC – Receiver Operator Characteristic.



а также гипертрофию правого желудочка более 5 мм [16; 19; 23]. Часто после радикальной коррекции тетрады Фалло дисфункция ПЖ может развиваться на фоне проведения трансаннулярной пластики ВОПЖ с использованием заплаты, а также может приводить к развитию дисфункции ПЖ вследствие повышенной преднагрузки ПЖ и его дальнейшей дилатации, вызванной недостаточностью клапана ЛА [24]. Легочная регургитация является одним из главных предикторов правожелудочковой недостаточности [24] за счет перегрузки объемом на фоне повреждения ПЖ, возникающего в результате хирургического вмешательства. Поэтому одной из задач исследования была оценка легочной регургитации и корреляция с параметрами PiCCO. Мы не выявили связь при регрессионном анализе между легочной регургитацией и параметрами PiCCO.

На сегодняшний день существуют различные градации дисфункции ПЖ – от легкой степени, сопровождающейся экссудативным плевритом, до крайне тяжелой степени, характеризующейся развитием полиорганной недостаточности и необходимостью высокой кардиотонической поддержки [16]. Прогнозировать правожелудочковую недостаточность невозможно, однако перспективной методикой оценки функции ПЖ является методика PiCCO [25–29], поскольку она измеряет различные гемодинамические показатели, которые, на наш взгляд, должны помочь в диагностике правожелудочковой недостаточности в раннем послеоперационном периоде.

В нашем исследовании у детей раннего возраста с течением периоперационного периода после радикальной коррекции тетрады Фалло наряду со стандартными параметрами гемодинамики изучены показатели транспульмональной термодилуции (сердечный индекс, ИГКДО, ИВСВЛ, ИССС, ВУО). Выявлено, что у данной категории пациентов значения ИГКДО в 2 раза ниже, а ИВСВЛ, наоборот, в 2 раза выше нормальных значений для взрослых пациентов. Полученные нами результаты в целом соответствуют данным зарубежных исследователей. Несмотря на относительно небольшую выборку группы в проведенном нами исследовании были сопоставимы по основным показателям, что делает полученные результаты статистически значимыми.

Также в результате исследования отмечена значимая (прямая и обратная) корреляционная зависимость между показателями расширенного гемодинамического мониторинга (СИ, ИГКДО, ИВСВЛ, ВУО, ИССС) и значениями максимального инотропного индекса и индексом оксигенации, уровнем лактата,

Табл. 5. Данные раннего послеоперационного периода (n = 30)

Показатель	Значение
ЦВД, мм рт. ст.	8,65 (7,25; 9,5)
САД, мм рт. ст.	95,7 (85; 106)
ДАД, мм рт. ст.	59,2 (51; 68)
УО, мл	7,5 (6,15; 8,65)
ССС, дин·с/см ³	5388 (4159; 6717)
dPmax	710,4 (573,5; 857)
ВУО, мл	11,85 (8,5; 14,5)
СВ, л/мин	1,1 (0,8; 1,25)
СИ, л/мин/м ²	5,9 (2,45; 3,3)
ИФС, %	10,5 (8,75; 11,9)
ГФВ, %	30,05 (27,5; 33,5)
ОКДО, мл	104,2 (85; 120)
ВГОК, мл	126,5 (104; 146,5)
ЭВЛЖ, мл	128,8 (90,5; 144,5)
ИПЛС	4,55 (3,6; 40,5)

Примечание. ВГОК – внутригрудной объем крови; ВУО – вариабельность ударного объема; ГФВ – глобальная фракция выброса; ДАД – диастолическое артериальное давление; ИПЛС – индекс периферического легочного сопротивления; ИФС – индекс фракции сокращения; ОКДО – общий конечный диастолический объем; САД – систолическое артериальное давление; СВ – сердечный выброс; СИ – сердечный индекс; СССР – сердечно-сосудистое сопротивление; ЦВД – центральное венозное давление; УО – ударный объем; ЭВЛЖ – экстравазальная легочная жидкость; dPmax – скорость нарастания деформации левого желудочка.

длительностью ИВЛ и кардиотонической поддержки. Эти обстоятельства необходимо учитывать при проведении целенаправленной гемодинамической терапии.

Однако исследование имеет определенные ограничения. Прежде всего оно является одноцентровым с небольшой выборкой. Анализ проводился per protocol. Следовательно, полученные результаты не могут быть в полной мере отнесены к пациентам с другими нозологическими формами и к более тяжелой категории пациентов со снижением сократительной функции миокарда. Кроме того, в данном исследовании не изучались прочие факторы, влияющие на развитие дисфункции ПЖ, такие как аритмии, резидуальные дефекты, рестриктивная физиология ПЖ.

Следует также отметить, что нормальные показатели расширенного гемодинамического мониторинга, полученные при использовании системы PiCCO, не исключают наличия у пациента острой правожелудочковой недостаточности.

Также при проведении данного исследования выявлено, что наиболее значимым фактором риска развития правожелудочковой недостаточности у пациентов с отсутствующими исходно признаками острой сердечной недостаточности является результат хирургической коррекции, а именно легочная регургитация, которая в 2,5 раза увеличивала правожелудочковую недостаточность (чувствительность – 78 % и специфичность – 83 %, $p=0,01$).

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует, что стандартные показатели гемодинамического мониторинга с использованием системы PiCCO, рекомендованные для взрослых пациентов, не могут быть применены к детям, особенно в раннем возрасте после радикальной коррекции тетрады Фалло. У данной категории пациентов характерными значениями являются индекс глобального конечного диастолического объема (ИГКДО) в диапазоне 270–350 мл/м² и индекс внесосудистой воды легких (ИВСВЛ) – 14–20 мл/кг, что должно учитываться при разработке протоколов целенаправленной

гемодинамической терапии. Результаты исследования подтверждают статистически значимую корреляцию между показателями расширенного гемодинамического мониторинга с помощью системы PiCCO и стандартными методами контроля гемодинамики у детей раннего возраста после коррекции тетрады Фалло. Однако даже нормальные значения гемодинамических параметров и сохранная сократительная способность миокарда не исключают наличия правожелудочковой недостаточности. Ключевым фактором риска развития правожелудочковой недостаточности у детей после радикальной коррекции тетрады Фалло является легочная регургитация, увеличивающая вероятность данной патологии в 2,5 раза. Это подчеркивает важность оценки результатов хирургической коррекции и необходимости индивидуального подхода в ведении пациентов в раннем послеоперационном периоде. Полученные данные расширяют понимание особенностей гемодинамики у детей с корригированной тетрадой Фалло и могут служить основой для оптимизации мониторинга и терапии в раннем послеоперационном периоде.

Список литературы / References

1. Паромов К.В., Ленкин А.И., Кузьков В.В., Киров М.Ю. Анестезиолог и гемодинамика: что нам дают протоколы целенаправленной терапии. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2012;3:17-21.
Paromov K.V., Lenkin A.I., Kuzkov V.V., Kirov M.Yu. Anesthesiologist and hemodynamics: what are the protocols of targeted therapy given to us? *Pacific Medical Journal*. 2012;3:17-21. (In Russ.)
2. Davidson J., Tong S., Hancock H., Hauck A., da Cruz E., Kaufman J. Prospective validation of the vasoactive-inotropic score and correlation to short-term outcomes in neonates and infants after cardiothoracic surgery. *Intensive Care Med*. 2012;38(7):1184-1190. PMID: 22527067; PMCID: PMC4984395.
<https://doi.org/10.1007/s00134-012-2544-x>
3. Gaies M.G., Gurney J.G., Yen A.H., Napoli M.L., Gajarski R.J., Ohye R.G., Charpie J.R., Hirsch J.C. Vasoactive-inotropic score as a predictor of morbidity and mortality in infants after cardiopulmonary bypass. *Pediatr Crit Care Med*. 2010;11(2):234-238. PMID: 19794327.
<https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3181b806fc>
4. Schiffmann H., Erdlenbruch B., Singer D., Singer S., Herting E., Hoeft A., Buhre W. Assessment of cardiac output, intravascular volume status, and extravascular lung water by transpulmonary indicator dilution in critically ill neonates and infants. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2002;16(5):592-7. PMID: 12407612. <https://doi.org/10.1053/jcan.2002.126954>
5. Basaran M., Sever K., Kafali E., Ugurlucan M., Sayin O.A., Tansel T., Alpogut U., Dayioglu E., Onursa E. Serum lactate level has prognostic significance after pediatric cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2006;20(1):43-7. PMID: 16458212.
<https://doi.org/10.1053/j.jvca.2004.10.010>
6. Gan T.J., Soppitt A., Maroof M., el-Moalem H., Robertson K.M., Moretti E., Dwane P., Glass P.S. Goal-directed intraoperative fluid administration reduces length of hospital stay after major surgery. *Anesthesiology*. 2002;97(4):820-6. PMID: 12357146.
<https://doi.org/10.1097/00000542-200210000-00012>
7. Kapoor P.M., Kakani M., Chowdhury U., Choudhury M., Lakshmy, Kiran U. Early goal-directed therapy in moderate to high-risk cardiac surgery patients. *Ann Card Anaesth*. 2008;11(1):27-34. PMID: 18182756.
<https://doi.org/10.4103/0971-9784.38446>
8. Lenkin A.I., Kuzkov V.V., Smetkin A.A., Paromov K.V., Slastilin V., Kirov M. Goal-directed therapy guided by transpulmonary thermodilution or pulmonary artery catheter in combined valve surgery. *Eur J Anaesth*. 2011;28(S48):56-57.
<https://doi.org/10.1097/00003643-201106001-00177>
9. Lenkin A.I., Kirov M.Y., Kuzkov V.V., Paromov K.V., Smetkin A.A., Lie M., Bjertnaes L.J. Comparison of goal-directed hemodynamic optimization using pulmonary artery catheter and transpulmonary thermodilution in combined valve repair: a randomized clinical trial. *Crit Care Res Pract*. 2012;2012: 21218. PMID: 22611489; PMCID: PMC3350845.
<https://doi.org/10.1155/2012/821218>
10. Mikkelsen M.E., Gaieski D.F., Goyal M., Miltiades A.N., Munson J.C., Pines J.M., Barry D Fuchs B.D., Shah C.V., Bellamy S.L., Christie J.D. Factors associated with nonadherence to early goal-directed therapy in the ED. *Chest*. 2010;138(3):551-8. PMID: 20173053; PMCID: PMC2939882. <https://doi.org/10.1378/chest.09-2210>
11. Branski L.K., Herndon D.N., Byrd J.F., Kinsky M.P., Lee J.O., Fagan S.P., Jeschke M.G. Transpulmonary thermodilution for hemodynamic measurements in severely burned children. *Crit*

- Care. 2011;15(2):R118. PMID: 21507260; PMCID: PMC3219401. <https://doi.org/10.1186/cc10147>
12. Nusmeier A., Cecchetti C., Blohm M., van der Hoeven J., Lemson J. Near-normal values of extravascular lung water in children. *Pediatr Crit Care Med.* 2015;16(2):e28-33. PMID: 25647139. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000000312>
13. Proulx F., Lemson J., Choker G., Tibby S.M. Hemodynamic monitoring by transpulmonary thermodilution and pulse contour analysis in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med.* 2011;12(4):459-66. PMID: 21263372. <https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3182070959>
14. Grindheim G., Eidet J., Bentsen G. Transpulmonary thermodilution (PiCCO) measurements in children without cardiopulmonary dysfunction: large interindividual variation and conflicting reference values. *Pediatr Anaesth.* 2016;26(4):418-24. PMID: 26857433. <https://doi.org/10.1111/pan.12859>
15. Hammett O., Griksaitis M.J. Management of tetralogy of Fallot in the pediatric intensive care unit. *Front Pediatr.* 2023;11:1104533. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1104533>
16. Banjoko A., Seyedzenouzi G., Ashton J., Hedayat F., Smith N.N., Nixon H., Tarmahomed A., Ashry A., Harky A. Tetralogy of Fallot: stent palliation or neonatal repair? *Cardiol Young.* 2021;31(10):1658-1666. PMID: 33682651. <https://doi.org/10.1017/S1047951121000846>
17. Adesanya A.M., Best K.E., Coats L., Rankin J. Predictors of Post-Operative Hospital Length of Stay Following Complete Repair of Tetralogy of Fallot in a Pediatric Cohort in the North of England. *Pediatr Cardiol.* 2024;45(1):92-99. PMID: 37698700; PMCID: PMC10776676. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-9-16>
18. Козырев И.А., Морозов А.А., Грехов Е.В., Аверкин И.И., Гордеев М.Л., Латыпов А.К. Непосредственные результаты клапан-сохраняющей радикальной коррекции тетрады Фалло. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2019;23(1):9-16. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-9-16>
Kozyrev I.A., Morozov A.A., Grekhov E.V., Averkina I.A., Gordeev M.L., Latypov A.K. The immediate results of valve-sparing complete repair of tetralogy of Fallot. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2019;23(1):9-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-9-16>
19. Miller J.R., Stephens E.H., Goldstone A.B., Glatz A.C., Kane L., Van Arsdell G.S., Stellin G., Barron D.J., d'Udekem Y., Benson L., Quintessenza J., Ohye R.G., Talwar S., Fremes S.E., Emani S.M., Eghtesady P. The American Association for Thoracic Surgery (AATS) 2022 Expert Consensus Document: Management of infants and neonates with tetralogy of Fallot. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2023;165(1):221-250. PMID: 36522807. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2022.07.025>
20. Al Mosa A., Bernier P.L., Tchervenkov C.I. Considerations in Timing of Surgical Repair in Tetralogy of Fallot. *CJC Pediatr Congenit Heart Dis.* 2023;2(6Part A):361-367. PMID: 38161680; PMCID: PMC10755837. <https://doi.org/10.1016/j.cjpc.2023.10.006>
21. Mekenbayeva R., Sarsembayeva A., Nurkeyev B., Kursanova Z., Mekenbayeva N., Akseitov A. Clinical case of a patient with the natural flow of Fallot's tetrad. *J Clin Med Kaz.* 2019;2(52):68-71. <https://doi.org/10.23950/1812-2892-JCMK-00682>
22. Свободов А.А., Левченко Е.Г., Неталиева Г.А., Костав В.Т., Зеливянская М.В., Разумовский В.С. Использование заплаты из яремной вены быка с собственной створкой в хирургии тетрады Фалло. *Патология кровообращения и кардиохирургия.* 2020;24(4):42-49. <https://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-42-49>
Svobodov A.A., Levchenko E.G., Netaliev G.A., Kostava V.T., Zelyvnyanskaya M.V., Razumovsky V.S. Bovine monocusp valve in surgery for tetralogy of Fallot. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery.* 2020;24(4):42-49. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2020-4-42-49>
23. Омельченко А.Ю., Соинов И.А., Горбатов Ю.Н., Кулябин Ю.Ю., Горбатов А.В., Ничай Н.Р., Войтов А.В., Богочев-Прокофьев А.В. Дисфункция правого желудочка у пациентов после коррекции тетрады Фалло: все ли вопросы решены? *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2017;(6):84-90. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2017684-90>
Omel'chenko A.Yu., Soyinov I.A., Gorbatykh Yu.N., Kulyabin Yu.Yu., Gorbatykh A.V., Nichay N.R., Voytov A.V., Bogochev-Prokofyev A.V. Right ventricular dysfunction after tetralogy of Fallot repair: are all questions resolved? *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2017;(6):84-90. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/hirurgia2017684-90>
24. Точило С.А., Дудко В.А., Марочков А.В., Никифорова Ю.Г., Бондаренко А.А., Ливинская В.А. Мониторинг центральной гемодинамики у пациентов с синдромом полиорганной недостаточности. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета.* 2021;19(2):187-93. <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2021-19-2-187-193>
Tochylo A.S., Dudko V.A., Marochkov A.V., Nikiforova Yu.G., Bondarenko A.A., Livinskaya V.A. Monitoring of central hemodynamics in patients with multiple organ dysfunction syndrome. *Journal of the Grodno State Medical University.* 2021;19(2):187-193. (In Russ.) <https://doi.org/10.25298/2221-8785-2021-19-2-187-193>
25. Gamble J.J., McKay W.P., Ambros B., Miller G.G., Camargo A.V., Norton J., Cowan J., du Rand J., McNair E.D., Milbrandt K., Gérard M., Carrozzo M.V. A performance comparison of the most commonly used minimally invasive monitors of cardiac output. Comparaison des performances des moniteurs minimalement invasifs du débit cardiaque les plus couramment utilisés. *Can J Anaesth = Journal canadien d'anesthésie.* 2021;68(11):1668-1682. <https://doi.org/10.1007/s12630-021-02085-0>
26. Ganter M.T., Geisen M., Hartnack S., Dzemali O., Hofer C.K. Prediction of fluid responsiveness in mechanically ventilated cardiac surgical patients: the performance of seven different functional hemodynamic parameters. *BMC anesthesiology.* 2018;18(1):55. PMID: 29788919; PMCID: PMC5964892. <https://doi.org/10.1186/s12871-018-0520-x>
27. Lamia B., Kim H.K., Severyn D.A., Pinsky M.R. Cross-comparisons of trending accuracies of continuous cardiac-output measurements: pulse contour analysis, bioactance, and pulmonary-artery catheter. *J Clin Monit Comput.* 2018;32(1):33-43. PMID: 28188408. <https://doi.org/10.1007/s10877-017-9983-4>
28. Andrei M., Dragoescu N.A., Stanculescu A., Chiutu L., Dragoescu O., Istratoaie O. PiCCO or Cardiac Ultrasound? Which Is Better for Hemodynamic Monitoring in ICU? *Medicina (Kaunas).* 2024;60(11):1884. PMID: 39597069; PMCID: PMC11596616. <https://doi.org/10.3390/medicina60111884>
29. Kan C.F.K., Skaggs J.D. Current Commonly Used Dynamic Parameters and Monitoring Systems for Perioperative Goal-Directed Fluid Therapy: A Review. *Yale J Biol Med.* 2023;96(1):107-123. <https://doi.org/10.59249/JOAP6662>