https://doi.org/10.21320/1818-474X-2025-3-80-90

Длительность произвольного порогового апноэ после глубокого вдоха в прогнозировании интраоперационных критических инцидентов у детей: проспективное наблюдательное исследование

И.А. Трембач[1,2,*]

[1] *ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» Минздрава Краснодарского края, Краснодар, Россия*
[2] *ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Краснодар, Россия*

Реферат

АКТУАЛЬНОСТЬ: Интраоперационные критические инциденты (КИ) у детей встречаются часто вследствие анатомо-физиологических особенностей, ограниченных компенсаторных резервов и чувствительности к внешним воздействиям. Актуальным остается поиск неинвазивных функциональных проб для оценки риска КИ в повседневной практике педиатрической анестезиологии. **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ:** Определить прогностическую роль длительности произвольного порогового апноэ (ППА) после глубокого вдоха в оценке риска интраоперационных КИ у детей. **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** В проспективном наблюдательном исследовании приняли участие 160 детей (5–10 лет, ASA 1–2, плановые абдоминальные вмешательства). Всем проводили общую комбинированную анестезию с ингаляцией севофлурана на самостоятельном дыхании и болюсным введением фентанила. Длительность ППА оценивали трехкратно утром перед операцией, рассчитывали среднее значение. Регистрировали интраоперационные гемодинамические (гипотензия, брадикардия и др.) и респираторные (гипер-/гипокапния, гипоксемия и др.) КИ. Статистический анализ выполнен с использованием ROC-анализа и расчета AUC. **РЕЗУЛЬТАТЫ:** КИ зарегистрированы у 39 (24,3 %) детей, в основном гемодинамические: гипотензия (26 случаев) и брадикардия (31 случай). У детей с КИ длительность ППА была статистически значимо короче ($p < 0{,}05$). По результатам ROC-анализа при ППА ≤ 30 сек вероятность гипотензии возрастала, при ППА ≤ 25 сек возрастал риск брадикардии. AUC для КИ составила 0,883. **ВЫВОДЫ:** Недостаточная длительность ППА (< 28 сек) достоверно повышает риск развития интраоперационных КИ у детей, преимущественно гемодинамических.

Duration of breath-holding test after deep inspiration in predicting intraoperative critical incidents in children: a prospective observational study

I.A. Trembach[1,2,*]

[1] *Children's Regional Clinical Hospital, Krasnodar, Russia*
[2] *Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia*

Abstract

INTRODUCTION: Intraoperative critical incidents (CI) in children are common due to anatomical and physiological features, limited compensatory reserves and sensitivity to external influences. The search for non-invasive functional tests to assess the risk of CI in the daily practice of pediatric anesthesiology remains relevant. **OBJECTIVE:** Determine the prognostic role of the duration of breath-holding test (BHT) after deep inspiration in assessing the risk of intraoperative critical incidents in children. **MATERIALS AND METHODS:** 160 children (5–10 years old, ASA 1–2, abdominal surgical operations) took part in a prospective observational study. All underwent combined anesthesia with sevoflurane inhalation on spontaneous breathing and bolus administration of fentanyl. The duration of BHT was assessed three times in the morning before surgery, the mean value was recorded. CI were defined according to the accepted criteria: hemodynamic (hypotension, bradycardia, etc.) and respiratory (hyper-/hypocapnia, hypoxemia, etc.). Statistical analysis was performed using ROC analysis and AUC calculation. **RESULTS:** Critical incidents were registered in 39 (24.3 %) children, mainly hemodynamic: hypotension (HT, 26 cases) and bradycardia (BC, 31 cases). In children with CI, the duration of BHT was statistically significantly shorter ($p < 0.05$). According to the results of ROC analysis, with BHT ≤ 30 sec, the probability of hypotension increased, with BHT ≤ 25 sec the risk of bradycardia increased. AUC for CI was 0.883. **CONCLUSIONS:** Insufficient duration of BHT (< 28 sec) significantly increases the risk of developing intraoperative critical incidents in children, mainly hemodynamic.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: анестезиология, медицинские отклонения, задержка дыхания, прогноз, ребенок

KEYWORDS: anesthesiology, medical errors, breath holding, prognosis, child

* *Для корреспонденции:* Трембач Илья Антонович — ассистент кафедры анестезиологии, реаниматологии и трансфузиологии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Краснодар, Россия; e-mail: trembachilya@gmail.com

* *For correspondence:* Ilya A. Trembach — Assistant of the Department of Anesthesiology, Intensive Care and Transfusiology, Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia; e-mail: trembachilya@gmail.com

Для цитирования: Трембач И.А. Длительность произвольного порогового апноэ после глубокого вдоха в прогнозировании интраоперационных критических инцидентов у детей: проспективное наблюдательное исследование. Вестник интенсивной терапии им. А.И. Салтанова. 2025; 3:80–90. https://doi.org/10.21320/1818-474X-2025-3-80-90

For citation: Trembach I.A. Duration of breath-holding test after deep inspiration in predicting intraoperative critical incidents in children: a prospective observational study. Annals of Critical Care. 2025; 3:80–90. https://doi.org/10.21320/1818-474X-2025-3-80-90

Поступила: 30.01.2025.
Принята к печати: 16.05.2025.

Received: 30.01.2025.
Accepted: 16.05.2025.

DOI: 10.21320/1818-474X-2025-3-80-90

Введение

Проблема критических инцидентов (КИ) в педиатрической анестезиологии остается актуальной из-за уникальных физиологических особенностей детей, ограниченности компенсаторных резервов и высокой чувствительности к внешним воздействиям. Дети подвержены быстрому развитию гипоксии и гипотензии, что обусловлено анатомо-физиологическими особенностями дыхательных путей и системы кровообращения. Помимо этого, ошибки дозирования препаратов и технические трудности, связанные с ограниченным опытом специалистов, существенно повышают риск периоперационных осложнений. Учитывая эти аспекты, обеспечение безопасности в педиатрической анестезиологии требует строгого соблюдения протоколов и постоянного обучения медицинского персонала [1, 2].

Согласно данным исследования APRICOT (Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia), частота тяжелых КИ в педиатрической анестезиологии остается высокой, несмотря на существование различных методов оценки и прогнозирования периоперационных осложнений [1]. Наиболее распространенные инциденты включают нарушения сердечно-сосудистой системы (гипотензия, брадикардия) и респираторные осложнения (гипоксия, обструкция дыхательных путей) [2]. Однако большинство методов прогнозирования имеют существенные ограничения: сложность применения, высокая стоимость, трудоемкость выполнения и необходимость в специализированном оборудовании. Это затрудняет их использование в повседневной клинической практике.

На фоне этих вызовов растет интерес к неинвазивным функциональным пробам, которые могут быть использованы для оценки состояния кардиореспираторной системы. Одним из таких методов является проба с задержкой дыхания после максимального вдоха, которая отражает интегральное состояние регуляции дыхательной и сердечно-сосудистой систем [6, 7]. Ранее данный подход применялся преимущественно для оценки рефлекторной регуляции у взрослых, но его роль в педиатрической практике до сих пор изучена недостаточно [8].

В данном исследовании предпринята попытка определить прогностическую ценность длительности произвольного порогового апноэ (ППА) после глубокого вдоха в оценке риска развития интраоперационных КИ у детей. Это позволит выявить потенциально уязвимые группы пациентов и повысить безопасность анестезиологического обеспечения.

Цель исследования

Определить прогностическую роль длительности ППА после глубокого вдоха в оценке риска интраоперационных КИ у детей.

Материалы и методы

Дизайн исследования

В проспективном наблюдательном исследовании на базе ГБУЗ «Детская краевая клиническая больница» Минздрава Краснодарского края (г. Краснодар) добровольно приняли участие 160 респондентов (110 лиц мужского пола, 50 лиц женского пола). Исследование одобрено локальным этическим комитетом (№ 112 от 12.10.2022 г.) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России (г. Краснодар). Информированное добровольное согласие законных представителей на проведение исследование получено во всех случаях.

Каждый респондент прошел 2 этапа обследования: предоперационный (информированное конфиденциальное согласие на участие в исследовании, сбор анамнеза, мониторинг состояния до трехкратной пробы и после нее с задержкой дыхания) и интраоперационный (стандартный мониторинг витальных функций организма во время анестезиологического обеспечения, особенности течения анестезии, наличие КИ, длительность оперативного вмешательства и время пробуждения) (рис. 1).

Критерии включения в исследование: дети возрастной группы старше 5 лет и младше 10 лет, плановые абдоминальные вмешательства, сопутствующие заболевания в стадии компенсации, физический статус 1–2-го класса по ASA (American Society of Anesthesiologists). Формат оперативных вмешательств включал стандартные плановые операции с доступом через переднюю брюшную стенку:

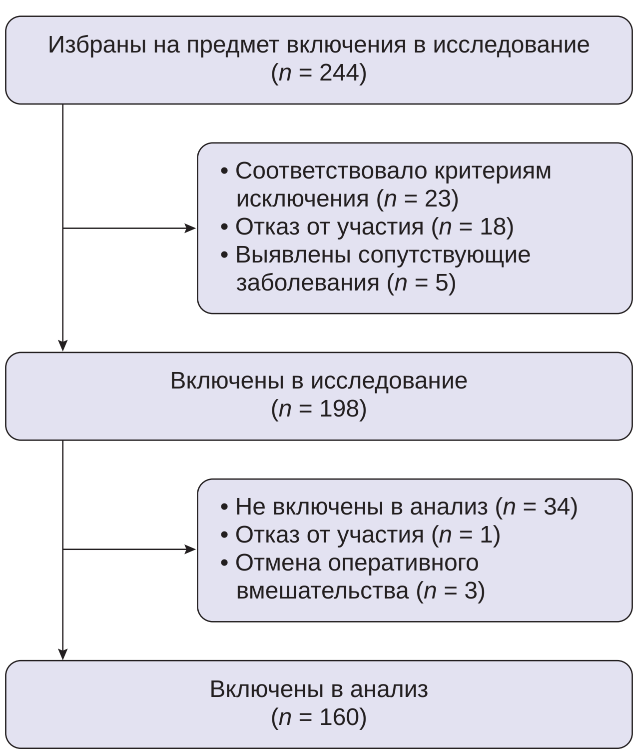

Рис. 1. Блок-схема последовательности проведения исследования

Fig. 1. Flowchart of the research sequence

- грыжесечения при паховых грыжах, пластика пупочного кольца и апоневроза при пупочных грыжах и грыжах белой линии живота соответственно — ~55 %.
- урологические оперативные вмешательства с доступом через переднюю брюшную стенку (низведение при крипторхизмах, операции Паломо при варикоцеле и т. д.) — ~45 %.

Критерии исключения в исследование: сопутствующие заболевания в стадии декомпенсации, физический статус по ASA 3–5-го класса, отказ от участия, онкологические заболевания в анамнезе.

Произвольное пороговое апноэ после глубокого вдоха

Проба с максимальной задержкой дыхания после глубокого вдоха проводилась утром перед оперативным вмешательством следующим образом: продолжительность апноэ оценивалась трижды с интервалом 10 мин. После глубокого вдоха респондентов просили задержать дыхание, и измеряли длительность произвольного апноэ от начала произвольного вдоха до момента, когда при пальпации отмечались рефлекторные сокращения диафрагмы. После чего производился расчет среднего значения продолжительности трех проб.

Интраоперационный период

Всем респондентам проводилась комбинированная анестезия на самостоятельном дыхании. Индукция анестезии осуществлялась путем ингаляции 8 об.% севофлурана через лицевую маску с потоком свежего газа 8 л/мин, поддерживающая анестезия проводилась ингаляционным анестетиком на низком потоке (в среднем 1–2 л/мин) с достижением оптимального значения минимальной альвеолярной концентрации (0,9–1,2), обезболивание — внутривенным болюсным введением раствора фентанила 0,005 % в дозах 1,8–2,5 мкг/кг через периферический венозный доступ.

Классический подход при абдоминальных вмешательствах чаще предусматривает (особенно у взрослых) более глубокую анестезию с контролируемой искусственной вентиляцией легких. В педиатрической практике, особенно при относительно коротких и малотравматичных операциях, допустима комбинированная анестезия на самостоятельном дыхании с опциональной поддержкой Pressure Support [9,10].

Во время оперативного вмешательства участникам проводили стандартный мониторинг витальных функций организма (Nihon Kohden, Япония) во все стадии анестезиологического обеспечения: электрокардиография, частота сердечных сокращений, частота дыхания, неинвазивное измерение артериального давления, пульсоксиметрия (SpO_2), измерение температуры тела per rectum. Скорость диуреза отслеживалась посредством катетеризации мочевого пузыря и контроля объема выделенной мочи. Капнография и капнометрия (уровень выдыхаемого CO_2), как и минимальная альвеолярная концентрация ингаляционных анестетиков во время анестезии, измерялись газоанализатором наркозно-дыхательного аппарата (Dräger Primus, Германия).

Помимо тренда изменений параметров жизненно важных функций организма во время оперативного вмешательства также регистрировались наличие или отсутствие интраоперационных КИ.

В исследовании интраоперационные КИ, в частности, гемодинамические, характеризовались гипотензией (снижением артериального давления ниже 50-го перцентиля согласно возрастной норме или более 20 % от исходного), гипертензией (повышением артериального давления выше 99-го перцентиля согласно возрастной норме или более 20 % от исходного), брадикардией (снижением частоты сердечных сокращений ниже 50-го перцентиля согласно возрастной норме или менее 50 уд./мин), тахикардией (повышением частоты сердечных сокращений выше 99-го перцентиля согласно возрастной норме или более 20 % от исходного), аритмиями [1, 11].

Респираторные КИ оценивались по уровню гипоксемии (SpO_2 менее 95 %), гипо- и гиперкапнии (менее 35 мм рт. ст. и более 45 мм рт. ст. выдыхаемого CO_2), гипопноэ (снижение частоты дыхания ниже 50-го перцентиля согласно возрастной норме или апноэ), по потребности в искусственной вентиляции легких [1,11].

Статистический анализ

Характер распределения данных в группах оценивался с применением критерия Колмогорова—Смирнова. Демографические и клинические данные представлены в виде средних значений (m) и стандартных отклонений (SD) для параметрических признаков и в виде медианных значений (M) межквартильного размаха (IQR) для непараметрических значений. Категориальные переменные сравнивали с использованием точного теста Фишера и критерия хи-квадрат (χ^2), количественные — с применением t-теста или теста Манна—Уитни. Статистическая значимость учитывалась при $p < 0{,}05$. Дискриминационная способность пробы произвольного апноэ определялась путем вычисления площади под ROC-кривой (AUC ROC). Порогом считалась точка отсечения по индексу Юдена. Для расчета минимального объема выборки использован метод определения числа респондентов, необходимого для получения статистически значимых результатов при уровне значимости 0,05, мощности 90 %, ожидаемой частоте КИ 20 % и допустимой ошибке 10 %. Согласно проведенным вычислениям, минимально необходимое количество респондентов составляет 168 человек, что обеспечивает достаточную точность и статистическую мощность исследования. С учетом риска потерь данных в исследование было включено 180 пациентов. После получения данных о длительности ППА пациентов наблюдали во время операции на предмет развития интраоперационных КИ. По факту наличия или отсутствия КИ выборку разделяли на группы с КИ и без КИ, а также анализировали отдельно гипотензию и брадикардию. Дополнительно после ROC-анализа была проведена ретроспективная стратификация на подгруппы с различными порогами ППА (30 сек и 25 сек).

Статистическая обработка проводилась с использованием MedCalc v22.020 (MedCalc Software Ltd., Бельгия).

Результаты

Исходные характеристики исследуемых пациентов представлены в таблице 1.

Интраоперационные КИ были выявлены у 39 (24,3 %) респондентов.

Выявленные гемодинамические КИ у детей характеризовались гипотензией (n = 26) и брадикардией (n = 31). Тахикардия, как и гипертензия, в обеих группах не наблюдались. Среди респираторных КИ чаще всего регистрировали гиперкапнию (n = 5), которая, однако, купировалась без применения принудительной вентиляционной поддержки. Гипокапния, гипоксемия и потребность в искусственной вентиляции легких у участников не обнаружены.

Гипотензия у участников обеих групп отмечалась после индукции анестезии, что потребовало проведения дополнительной инфузионной терапии сбалансированными кристаллоидными растворами. Скорость диуреза осталась в пределах физиологической нормы. Выполнение вазопрессорной и инотропной терапии респондентам не потребовалось.

Гиперкапния, как говорилось ранее, при возникновении разрешалась без применения дополнительной респираторной поддержки. В послеоперационный период ожидаемо сопровождалась развитием тошноты и рвоты (около 77 % случаев интраоперационной гиперкапнии).

Таблица 1. Характеристика клинических и демографических данных респондентов

Table 1. Characteristics of clinical and demographic data of respondents

Параметр	Результат
Количество респондентов, *n* (Ж)	160 (50)
Возраст, лет (M ± SD)	6 ± 1,5485
Рост, см (M ± SD)	121 ± 9,1885
Вес, кг (M ± SD)	22 ± 7,3360
Физический статус по ASA, класс	1–2
Шкала операционно-анестезиологического риска МНОАР, баллы (M [IQR])	4 (1)

Частота дыхания колебалась в пределах допустимых значений, увеличиваясь во время индукции и уменьшаясь во время поддержания анестезии. Гипоксемия не наблюдалась, пульсоксиметрия в течение анестезиологического обеспечения варьировала в границах физиологической нормы.

При сравнительной оценке длительности ППА обнаружено статистически значимое снижение значений в группах с наличием клинического исхода (Исход = 1) по сравнению с группами без исхода (Исход = 0). Это может свидетельствовать о прогностической значимости показателя ППА для предсказания гипотензии, брадикардии и КИ (рис. 2).

В представленных ROC-кривых было подтверждено, что **низкие** значения ППА связаны с **повышенным** риском таких событий, как гипотензия, брадикардия и КИ (рис. 3). Каждую кривую сопровождает AUC (площадь под кривой), позволяющая оценить точность модели в прогнозировании исхода. Полученные высокие значения AUC свидетельствуют о хорошей дискриминационной способности. Кривая для гипотензии демонстрирует высокую чувствительность при умеренной специфичности, что указывает на минимизацию количества ложных отрицательных результатов. AUC на уровне 0,862 свидетельствует о хорошем качестве модели, превосходящей случайную классификацию. Для брадикардии модель показывает схожие результаты с гипотензией, AUC = 0,871 также отражает надежность и точность прогнозирования. AUC = 0,883 для КИ указывает на снижение как ложных положительных, так и ложных отрицательных результатов. Таким образом, все графики демонстрируют хорошую дискриминационную способность, AUC в пределах от 0,862 до 0,883 подтверждают высокую точность предложенных моделей в предсказании гипотензии, брадикардии и КИ.

Наилучший порог ППА (точка отсечения по индексу Юдена), при котором достигается оптимальный баланс между чувствительностью и специфичностью, составил **28** сек для КИ, для гипотензии — 30 сек, а для брадикардии — 25 сек (табл. 2). При этом точность классификации (Accuracy) для всех трех исходов превышала **0,8**; а значения чувствительности и специфичности также были высокими (особенно специфичность), что говорит о стабильной диагностической ценности показателя ППА при выбранных порогах.

Таким образом, показатели ROC-анализа подтверждают наличие обратной зависимости между уровнем ППА и риском развития исходов: **чем ниже ППА, тем выше вероятность** проявления гипотензии, брадикардии или КИ.

Ретроспективное разделение исследуемой группы на подгруппы по выявленному критерию показало статистически значимое увеличение количества КИ в целом в подгруппе детей с длительностью ППА менее 28 сек ($p < 0{,}0001$). Что касается отдельных инцидентов, то в подгруппе с ППА менее 30 сек частота артериальной гипотензии была почти в 15 раз выше, в группе детей с ППА менее 25 сек частота брадикардии более чем в 9 раз выше, чем в подгруппе детей с ППА 25 и более секунд (рис. 4A и 4B). Частота гиперкапнии в подгруппах не различалась.

Обсуждение

Интраоперационные КИ, такие как гипотензия и брадикардия, являются частыми осложнениями в анестезиологической практике, длительность ППА является полезным предиктором их развития.

Наиболее часто встречающимся видом КИ в нашем исследовании являлась артериальная гипотензия. В литературе, посвященной изучению КИ в педиатрической анестезиологической практике, данные о встречаемости этого вида КИ разнятся и зависят от многих факто-

Таблица 2. Показатели прогностической ценности произвольного порогового апноэ при оценке риска регистрируемых исходов

Table 2. Indicators of the prognostic value of breath-holding test after a deep inspiration in assessing the risk of recorded outcomes

Показатель	Гипотензия	Брадикардия	КИ
AUC	0,862	0,871	0,883
Порог (ППА ≤), сек	30,000	25,000	28,000
Чувствительность	0,885	0,742	0,769
Специфичность	0,799	0,930	0,917
Точность	0,812	0,894	0,881
Положительная прогностическая ценность	0,460	0,719	0,750
Отрицательная прогностическая ценность	0,973	0,938	0,925
F1-score	0,605	0,730	0,759

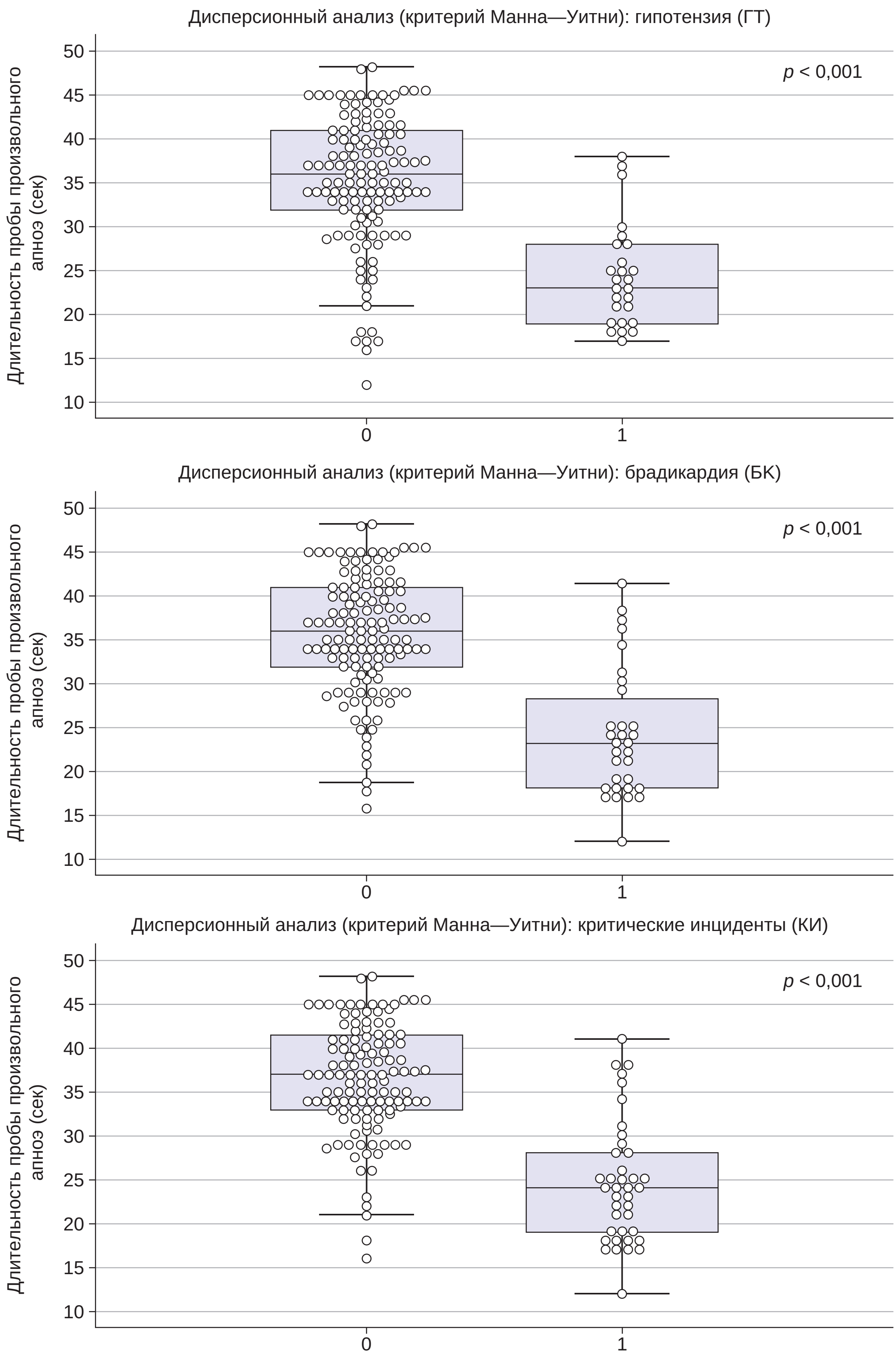

Рис. 2. Длительность произвольного порогового апноэ в группах с критическими инцидентами и без них

Fig. 2. Duration of breath-holding test after a deep inspiration in groups with and without critical incidents

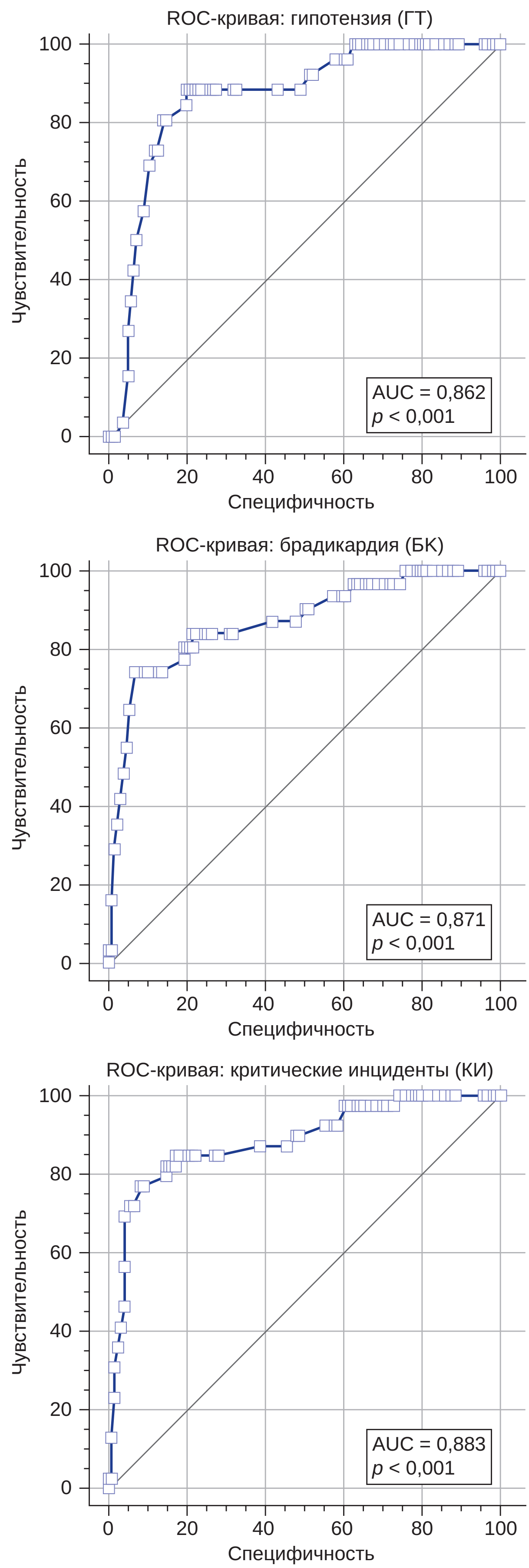

Рис. 3. Прогностическая значимость длительности произвольного порогового апноэ после глубокого вдоха в оценке риска интраоперационных критических инцидентов

Fig. 3. Prognostic significance of the duration of breath-holding test after a deep inspiration in assessing the risk of intraoperative critical incidents

ров: вида оперативных вмешательств, типа анестезии, года и страны изучения, а также от дефиниций гипотензии. Исследование R. Dias et al. (2016) проводилось в Индии и включало 1206 детей в возрасте до 15 лет, проходивших операции в течение года в крупной университетской больнице. Операции включали абдоминальные, нейрохирургические, урологические и другие вмешательства, за исключением кардиохирургических и ЛОР-операций. Анестезия проводилась с использованием общей и регионарной техник. Частота КИ составила 8,9 % (108 случаев), а гипотензия, определенная как систолическое давление ниже 5-го процентиля для возраста, встречалась в 11,1 % случаев и была связана с кровопотерей или ошибками в ведении пациента [12]. Исследование, проведенное J.E. Cho et al. (2022) в Южной Корее включало 53 541 случай анестезии, выполненный в течение пяти лет. В него входили кардиохирургические (3471 случай) и некардиохирургические операции, включая абдоминальные и ортопедические вмешательства. Использовалась общая анестезия с интубацией и регионарные техники. Частота КИ составила 0,55 % (295 случаев). Гипотензия наблюдалась в 3,1 % случаев при кровопотере и в 1,7 % случаев при гиповолемии [13]. Исследование T. Engelhardt et al. (2018), проведенное в рамках проекта APRICOT, охватило 31 127 анестезий в 261 больнице Европы. Операции включали кардиохирургические, нейрохирургические, абдоминальные и ортопедические вмешательства. Использовались общая, регионарная анестезия и их комбинации. Частота КИ составила 5,2 %. Гипотензия наблюдалась у 5,9 % пациентов и определялась как снижение артериального давления с клиническими признаками гипоперфузии [14]. Исследование C.L. Tay et al. (2001), проведенное в Сингапуре, включало 10 000 случаев анестезии у детей. Операции варьировались от амбулаторных процедур до сложных вмешательств, включая кардиохирургические операции. Использовались общая и регионарная анестезия. Частота КИ составила 2,97 %. Гипотензия регистрировалась в 2,7 % случаев, вызванных кровопотерей, сепсисом или массивными инфузиями [15]. Исследование J.C. De Graaff et al. (2015) анализировало 35 190 случаев анестезии, выполненных в Нидерландах за шесть лет. Операции включали кардиохирургические, ортопедические и абдоминальные вмешательства. Использовались общая и регионарная анестезии. Гипотензия наблюдалась в 6,7 % случаев, чаще всего у младенцев и пациентов с высоким ASA-статусом [16]. В исследовании J.H. Lee et al. (2016) были проанализированы данные

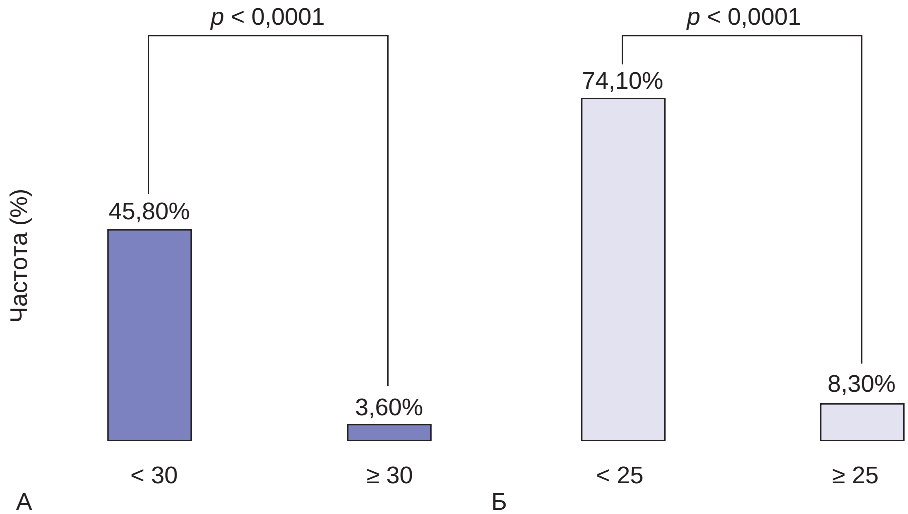

Рис. 4. Частота гипотензии (А) и брадикардии (В) по пороговым значениям произвольного порогового апноэ (< 30 сек и ≥ 30 сек для гипотензии, < 25 сек и ≥ 25 сек для брадикардии)

Fig. 4. Frequency of hypotension (A) and bradycardia (B) according to BHT values (< 30 sec и ≥ 30 sec for hypotension, < 25 sec и ≥ 25 sec for bradycardia)

о 49 373 анестезиях, выполненных в Южной Корее. Операции включали кардиохирургические, абдоминальные, ортопедические и урологические вмешательства. Использовалась общая анестезия и регионарные техники. Частота КИ составила 0,5 %. Гипотензия была зарегистрирована в 9,6 % случаев, чаще всего вызвана кровопотерей и гиповолемией [17]. Эти данные подчеркивают значимость контроля артериальной гипотензии в детской анестезиологии. Частота гипотензии варьировала от 1,7 % до 11,1 % в зависимости от условий и контекста исследований. В нашем исследовании частота артериальной гипотензии составила 31 %, что выше, чем в литературе, и связано, вероятно, с более строгим проспективным контролем и строгими дефинициями, что принципиально важно для сохранения артериального давления в безопасном диапазоне.

Брадикардия также встречается в литературе как один из наиболее часто встречающихся КИ. Исследование L. Huang et al. (2019) изучало частоту брадикардии у 9984 детей, получавших седацию с помощью интраназального дексмедетомидина для неинвазивных процедур в Китае [18]. Брадикардия определялась как частота сердечных сокращений ниже 80 уд./мин для детей младше 3 лет и ниже 60 уд./мин для детей старше 3 лет. Общая частота брадикардии составила 2,3 %. У детей, получавших дополнительную дозу дексмедетомидина, частота брадикардии составила 9,2 %, тогда как у детей без дополнительной дозы — 16,7 %. Брадикардия чаще встречалась у мальчиков и детей в возрасте 2–3 лет.

Исследование T.I. Tajera et al. (2023) включало 205 детей младше 6 лет, у которых были операции под общей анестезией. Брадикардия определялась как снижение частоты сердечных сокращений на 20 % или более от базового уровня после индукции общей анестезии. Общая частота брадикардии составила 19,5 %. Брадикардия чаще встречалась при использовании ингаляционного введения анестезии (40 %), особенно с использованием галотана, а также при сложной интубации (79,4 %) и значительных кровопотерях (22,2 %) [19]. Исследование J.A. Lens et al. (2012) из Нидерландов изучало частоту брадикардии у детей во время аденотонзиллэктомии под общей анестезией. Брадикардия определялась как частота сердечных сокращений ниже 60 уд./мин. Частота брадикардии составила 9,5 %, что связывалось с вагусным рефлексом, вызванным манипуляцией в области глотки и использованием ретракторов. Все эпизоды брадикардии были обратимы без осложнений [20]. Эти данные показывают, что частота брадикардии варьируется в зависимости от типа анестезии, возраста пациента и особенностей хирургического вмешательства, достигая 19,5 % в некоторых контекстах. В нашем исследовании частота брадикардии составила 21 %, что соотносится с данными литературы. При этом во время оперативного вмешательства снижение частоты сердечных сокращений в обеих группах риска в основном наблюдалась в период поддержания анестезии. Проводимая коррекция раствором атропина 0,1 % купировала имеющийся критический инцидент во всех случаях. Тахикардия не обнаруживалась, увеличение частоты сердечных сокращений во время индукции в анестезию не выходило за пределы допустимых значений.

В нашем исследовании длительность ППА была определена как предиктор критических интраоперационных инцидентов.

Дискриминационная способность между длительностью ППА после глубокого вдоха и возникновением КИ в операционной подтверждена проведенным анализом ROC-кривой (AUC = 0,872), точка отсечения продолжительности пробы выражена в связанном критерии на основе ROC-анализа (< 28 сек).

Проведенные ранее исследования показали, что снижение ППА в предоперационный период является предиктором нестабильности гемодинамики в виде развития вазоплегии, которая недостаточно компенсируется увеличением ударного и сердечного индекса [21, 22]. Прогностическая ценность длительности ППА в комплексе предоперационной оценки была оценена в некоторых исследованиях, показавших, что частота КИ, в том числе гемодинамических, с различными типами метаболизма зависит от продолжительности максимальной задержки дыхания после глубокого вдоха [23, 24].

Выявленные точки отсечения были ниже таковых, определенных для взрослых пациентов и составляющих 34–38 сек [21–24]. Пациенты педиатрической практики продемонстрировали точку отсечения для ППА в 28 сек для КИ в целом для артериальной гипотензии и 25 сек для брадикардии. Подобные различия связаны с особенностями физиологии респираторной системы у детей, что выражается в снижении в среднем длительности функциональных проб Штанге и Генча [25], при этом снижение длительности более выражено при наличии сопутствующих респираторных заболеваний [26]. Средняя длительность ППА прямо коррелирует с возрастом и к совершеннолетию сравнивается со средними показателями взрослых людей [27].

Данные, полученные в настоящем исследовании, свидетельствуют о том, что педиатрические пациенты с менее продолжительным ППА чаще сталкиваются с интраоперационными критическими инцидентами, вызванными анестезиологическим обеспечением. Выявленные в основном гемодинамические КИ у детей характеризовались гипотензией и брадикардией. В сравнении с работами других авторов подавляющее большинство всех развившихся КИ наблюдались со стороны гемодинамики в период поддержания анестезии, в то время как при ингаляционной индукции выявлен более высокий риск респираторных нежелательных явлений [28, 29].

Следует отметить, что частота гипотензии и брадикардии у пациентов с более высоким ППА соотносится с частотой этих КИ, зарегистрированной в большинстве исследований, в то время как у пациентов с низким ППА эта частота значительно выше.

Что касается респираторных КИ, то чаще всего регистрировали гиперкапнию, которая, однако, купировалась без применения принудительной вентиляционной поддержки. Гипокапния, гипоксемия и потребность в искусственной вентиляции легких у участников не обнаружены.

Рекомендуемыми инструментами определения операционного риска в отечественной педиатрической анестезиологии являются физический статус по ASA и шкала операционно-анестезиологического риска МНОАР. Тем не менее ни одна, ни вторая в настоящее время не отражают потребностей анестезиологов в точной и объективной шкале риска, поэтому в настоящее время продолжены дискуссии о необходимости создания неонатальной и педиатрической шкалы оценки анестезиологического риска [30, 31]. Полученные данные свидетельствуют о потенциальной пользе включения длительности ППА после глубокого вдоха в модель оценки периоперационного риска.

Ограничением научного исследования является отсутствие ретроспективной базы исследуемых. Также не учтены КИ со стороны анестезиологической бригады, такие как ошибочный выбор препарата или путь его введения, неправильно подобранная доза лекарственного средства [32]. Данные результаты обусловливают необходимость продолжения исследований и дополнительной обработки полученных данных на более значимой популяции респондентов с разными видами анестезиологического обеспечения.

Выводы

Педиатрические пациенты ASA 1–2-го классов при плановых абдоминальных операциях демонстрируют сравнительно высокую частоту интраоперационных нежелательных событий (в нашем исследовании 24,3 %), преимущественно гемодинамических (гипотензия, брадикардия). Вероятность развития КИ (гипотензии и брадикардии) значимо повышается при снижении ППА после глубокого вдоха меньше 28 сек; для гипотензии более специфичен порог 30 сек, для брадикардии — 25 сек.

Таким образом, длительность ППА может рассматриваться как перспективный скрининговый инструмент в моделях предоперационной оценки риска у детей.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The author declare no competing interests.

Вклад авторов. Автор участвовал в разработке концепции статьи, получении и анализе фактических данных, написании и редактировании текста статьи, проверке текста статьи.

Author contribution. Author according to the ICMJE criteria participated in the development of the concept of the article, obtaining and analyzing factual data, writing and editing the text of the article, checking the text of the article.

Этическое утверждение. Проведение исследования было одобрено локальным этическим комитетом

(№ 112 от 12.10.2022 г.) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» МЗ РФ.

Ethics approval. This study was approved by the local Ethical Committee of Kuban State Medical University (reference 112-12.10.2022).

Информация о финансировании. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Декларация о наличии данных. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить у корреспондирующего автора по обоснованному запросу.

Data Availability Statement. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID автора:

Трембач И.А. — 0000-0001-7879-4793

Литература/References

[1] *Habre W., Disma N., Virag K. et al.* Incidence of severe critical events in paediatric anaesthesia (APRICOT): a prospective multicentre observational study in 261 hospitals in Europe. Lancet Respir Med. 2017; 5(5): 412–25. DOI: 10.1016/S2213-2600(17)30116-9

[2] *Westerkamp A.C., de Geus A.F., Molenbuur B. et al.* Comparing peri-operative complications of paediatric and adult anaesthesia: A retrospective cohort study of 81267 cases. Eur J Anaesthesiol. 2018; 35(4): 280–8. DOI: 10.1097/EJA.0000000000000769

[3] *Kara T., Narkiewicz K., Somers V.K.* Chemoreflexes--physiology and clinical implications. Acta Physiol Scand. 2003; 177(3): 377–84. DOI: 10.1046/j.1365-201X.2003.01083.x

[4] *Schleelein L.E., Vincent A.M., Jawad A.F. et al.* Pediatric perioperative adverse events requiring rapid response: a retrospective case-control study. Paediatr Anaesth. 2016; 26(7): 734–41. DOI: 10.1111/pan.12922

[5] *de Graaff J.C., Sarfo M.C., van Wolfswinkel L. et al.* Anesthesia-related critical incidents in the perioperative period in children; a proposal for an anesthesia-related reporting system for critical incidents in children. Paediatr Anaesth. 2015; 25(6): 621–29. DOI: 10.1111/pan.12623

[6] *Trembach N., Zabolotskikh I.* Breath-holding test in evaluation of peripheral chemoreflex sensitivity in healthy subjects. Respir Physiol Neurobiol. 2017; 235: 79–82. DOI: 10.1016/j.resp.2016.10.005

[7] *Шадрин Р.В., Трембач Н.В., Григорьев С.В., Заболотских И.Б.* Особенности рефлекторной регуляции кардиореспираторной системы при беременности: систематический обзор литературы. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2023; 2: 66–76. [*Shadrin R.V., Trembach N.V., Grigoryev S.V., Zabolotskikh I.B.* Reflex regulation and the functional assessment possibility of the cardiorespiratory system in pregnancy: a systematic review. Annals of Critical Care. 2023; 2: 66–76. (In Russ.)] DOI: 10.21320/1818-474X-2023-2-66-76

[8] *Schöffl I., Ehrlich B., Stanger S. et al.* Exercise Field Testing in Children: A New Approach for Age-Appropriate Evaluation of Cardiopulmonary Function. Pediatr Cardiol. 2020; 41(6): 1099–1106. DOI: 10.1007/s00246-020-02359-2

[9] *Huang J., Huang W., Zhang J. et al.* Application of laryngeal mask airway anesthesia with preserved spontaneous breathing in children undergoing video-assisted thoracic surgery. Front Pediatr. 2023; 11: 933158. DOI: 10.3389/fped.2023.933158

[10] *Templeton T.W., Hoke L.K., Templeton L.B. et al.* A comparison of 3 ventilation strategies in children younger than 1 year using a Proseal laryngeal mask airway: a randomized controlled trial. J Clin Anesth. 2016; 35: 502–8. DOI: 10.1016/j.jclinane.2016.07.042

[11] *Clebone A., Burian B.K., Watkins S.C. et al.* The Development and Implementation of Cognitive Aids for Critical Events in Pediatric Anesthesia: The Society for Pediatric Anesthesia Critical Events Checklists. Anesth Analg. 2017; 124(3): 900–7. DOI: 10.1213/ANE.0000000000001746

[12] *Dias R., Dave N., Chiluveru S. et al.* Critical incidents in paediatric anaesthesia: A prospective analysis over a 1 year period. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2016; 60(11): 801–6. DOI: 10.4103/0019-5049.193658

[13] *Cho J.E., Kim W.O., Park B. et al.* Pediatric critical incidents during anesthesia in a tertiary care hospital in South Korea. *Journal of Pediatric Anesthesia Research*. 2022. DOI: Not explicitly mentioned.

[14] *Engelhardt T., Weiss M., Jöhr M. et al.* APRICOT study: Epidemiology and incidence of critical events in pediatric anesthesia in Europe. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2018; 5(5): 412–25. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61193-2

[15] *Tay C.L., Tan G.M., Ng S.B.* Critical incidents in paediatric anaesthesia: An audit of 10,000 anaesthetics in Singapore. *Paediatric Anaesthesia*. 2001; 11(6): 711–18. DOI: 10.1046/j.1460-9592.2001.00754.x

[16] *De Graaff J.C., Schouten A.N., van Doorn R. et al.* Adverse events in children undergoing anesthesia: A 6-year analysis from the Netherlands. *European Journal of Anaesthesiology*. 2015; 32(4): 215–20. DOI: 10.1097/EJA.0000000000000185

[17] *Lee J.H., Kim E.K., Song I.K. et al.* Critical incidents, including cardiac arrest, associated with pediatric anesthesia at a tertiary teaching children's hospital. .*Paediatric Anaesthesia*. 2016; 26(4): 409–17. DOI: 10.1111/pan.12862

[18] *Huang L., Zhao L., Wang Y. et al.* Incidence of bradycardia in children undergoing non-invasive procedures with intranasal dexmedetomidine sedation. *Journal of Pediatric Anesthesia*. 2019; 29(4): 423–28. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2019.04320.x

[19] *Tajera T.I., Gudeta T.A., Minda A.S. et al.* Prevalence of bradycardia after induction of general anesthesia and associated factors among surgical pediatric patients. *Pediatric Health, Medicine and Therapeutics*. 2023; 14: 419–34. DOI: 10.2147/PHMT.S429321

[20] *Lens J.A., Hermanides J., Houweling P.L. et al.* Bradycardia in children during general anaesthesia. *Cardiac Arrhythmias — New Considerations*. IntechOpen; 2012: 344–54. DOI: 10.5772/47825

[21] *Головатая М.В.* Прогнозирование критических инцидентов при проведении эпидуральной анестезии у гинекологических пациенток. Регионарная анестезия и лечение острой боли. 2017; 11(2): 98–105. [*Golovataya M.V.* Prediction of critical incidents during epidural anesthesia in gynecological patients. Regional Anesthesia and Acute Pain Management, Russian journal. 2017; 11(2): 98–105. (In Russ.)] DOI: 10.18821/1993-6508-2017-11-2-98-105

[22] *Головатая М.В., Трембач Н.В., Согомонян К.А. и др.* Выбор метода анестезиологического обеспечения гинекологических операций у пациенток с различной чувствительностью периферического хеморефлекса. Регионарная анестезия и лечение острой боли. 2020; 14(3): 141–8. [*Golovataya M.V., Trembach N.V., Soghomonyan K.A. et al.* The choice of the method of anesthetic management of gynecological operations in patients with different sensitivity of peripheral chemoreflex. Regional Anesthesia and Acute Pain Management, Russian journal. 2020; 14(3): 141–8. (In Russ.)] DOI: 10.17816/1993-6508-2020-14-3-141-148

[23] *Trembach N., Zabolotskikh I.* The pathophysiology of complications after laparoscopic colorectal surgery: Role of baroreflex and chemoreflex impairment. Pathophysiology. 2019; 26(2): 115–120. DOI: 10.1016/j.pathophys.2019.05.004

[24] *Трембач Н.В., Федунец Д.Э., Дряев С.А. и др.* Влияние длительности произвольного порогового апноэ на течение анестезии при обширных абдоминальных операциях у пациентов с различным типом метаболизма: пилотное исследование. Современные проблемы науки и образования. 2023; 6: 101–14. [*Trembach N.V., Fedunets D.E., Dryaev S.A. et al.* The influence of the duration of arbitrary threshold apnea on the course of anesthesia during major abdominal surgery in patients with different types of metabolism: a pilot study. Modern problems of science and education, Russian journal. 2023; 6: 101–14. (In Russ.)] DOI: 10.17513/spno.33083

[25] *Абрамова М.А., Черноземов В.Г., Попова О.Н. и др.* Особенности внешнего дыхания у детей младшего и среднего школьного возраста со сколиозом — жителей Европейского Севера. Экология человека. 2015; 6: 15–19. [*Abramova M.A., Chernozemov V.G., Popova O.N. et al.* External Respiration Features In Preteen Schoolchildren With Scoliosis — Residents Of European North. Human Ecology, Russian journal. 2015; 6: 15–19. (In Russ.)]

[26] *Давыдова С.С., Назирова А.А., Давыдова Ю.А.* Физическая реабилитация детей 4–7 лет с заболеваниями органов дыхания. Международный научно-исследовательский журнал. 2021; 11(113): 54-59 [*Davydova S.S., Nazirova A.A., Davydova Yu.A.* Physical rehabilitation of 4–7 year old children with respiratory diseases. International Research Journal, Russian journal. 2021; 11(113): 54-59 (In Russ.)] DOI: 10.23670/IRJ.2021.113.11.045

[27] *Крукович Е.В.* Физическое развитие подростков Приморского края. Тихоокеанский медицинский журнал. 2006; 3: 35–9. [*Krukovich E.V.* Physical development of adolescents in Primorsky Krai. Pacific Medical Journal, Russian journal. 2006; 3: 35–9. (In Russ.)]

[28] *Porter L.L., Blaauwendraad S.M., Pieters B.M.* Respiratory and hemodynamic perioperative adverse events in intravenous versus inhalational induction in pediatric anesthesia: A systematic review and meta-analysis. Paediatr Anaesth. 2020; 30(8): 859–66. DOI: 10.1111/pan.13904

[29] *Трембач Н.В., Малышев Ю.П., Голубцов В.В. и др.* Динамика барорефлекса в условиях сочетанной анестезии севофлураном или пропофолом: рандомизированное исследование. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2022; 4: 44–54. [*Trembach N.V., Malyshev Yu.P., Golubtsov V.V. et al.* Dynamics of the baroreflex sensitivity during combined anesthesia with sevoflurane or propofol: a randomized trial. Annals of Critical Care. 2022; 4: 44–54. (In Russ.)] DOI: 10.21320/1818-474X-2022-4-44-54

[30] *Aplin S., Baines D., DE Lima J.* Use of the ASA Physical Status Grading System in pediatric practice. Paediatr Anaesth. 2007; 17(3): 216–22. DOI: 10.1111/j.1460-9592.2006.02094.x

[31] *Александрович Ю.С., Пшениснов К.В.* Предоперационная подготовка к анестезии у детей. Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2020; 17(3): 79–94. [*Aleksandrovich Yu.S., Pshenisnov K.V.* Preoperative preparation for anesthesia in children. Messenger of Anesthesiology and Resuscitation. 2020; 17(3): 79–94. (In Russ.)] DOI: 10.21292/2078-5658-2020-17-3-79-94

[32] *Dhawan I., Tewari A., Sehgal S. et al.* Medication errors in anesthesia: unacceptable or unavoidable? Braz J Anesthesiol. 2017; 67(2): 184–92. DOI: 10.1016/j.bjane.2015.09.006