

Сравнительный анализ влияния пропофоловой и севофлурановой анестезии на интраоперационный метаболический, электролитный и кислотно-щелочной гомеостаз у детей при краниотомиях по поводу опухолей ГОЛОВНОГО МОЗГА

Э.А. Сатвалдиева¹ · А.А. Абдукадиров¹ · Б.Ф. Ходжиев¹ · К.И. Хайдаров¹ · А.С. Абишназарова²

¹ Национальный детский медицинский центр, Ташкент, Узбекистан

² Ташкентский областной детский многопрофильный медицинский центр, Ташкентская область, Узбекистан

Поступила 18.01.2026

Доработана 19.01.2026

Принята 12.02.2026

Опубликована 30.03.2026

АННОТАЦИЯ

Актуальность: Выбор базовой анестезии при краниотомии у детей с опухолями головного мозга может влиять на метаболический, электролитный и кислотно-щелочной гомеостаз и раннее послеоперационное течение. **Цель:** сравнить динамику этих показателей при пропофоловой и севофлурановой анестезии и оценить связь с ранними осложнениями. **Материалы и методы:** Проведён ретроспективный сравнительный анализ 99 детей: пропофол — 51, севофлуран — 48. До анестезии, после интубации и в конце операции оценивали pH, pCO₂, pO₂, SBE, ABE, HCO₃⁻, Hb, Ht, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, глюкозу и лактат. **Результаты:** В группе севофлурана были выше Na⁺ после интубации и к концу операции, K⁺ после интубации и лактат к концу операции (1,04±0,34 против 0,86±0,21 ммоль/л; p=0,0005). Сонливость (16,7% против 2,0%; p=0,028) и тошнота (22,9% против 3,9%; p=0,013) встречались чаще. Различий по показателям кислотно-щелочного равновесия не выявлено. **Заключение:** Севофлурановая анестезия ассоциирована с более выраженными электролитными и лактатными сдвигами и большей частотой отдельных ранних послеоперационных осложнений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА дети; опухоли головного мозга; краниотомия; пропофол; севофлуран; электролитный баланс; лактат; кислотно-щелочное равновесие; анестезия; послеоперационные осложнения.

Comparative analysis of the effects of propofol and sevoflurane anesthesia on intraoperative metabolic, electrolyte, and acid–base homeostasis in children undergoing craniotomy for brain tumors

E.A. Satvaldieva¹ · A.A. Abdukadirov¹ · B.F. Khodzhiev¹ · K.I. Khaydarov¹ · A.S. Abipnazarova²

¹ National Children's Medical Center, Tashkent, Uzbekistan

² Tashkent Regional Children's Multidisciplinary Medical Center, Tashkent Region, Uzbekistan

ABSTRACT

Background: The primary anesthetic technique used for craniotomy in children with brain tumors may influence metabolic, electrolyte, and acid–base homeostasis and the early postoperative course. **Objective:** To compare these changes during propofol- and sevoflurane-based anesthesia and assess their relationship with early complications. **Materials and Methods:** A retrospective comparative analysis included 99 children: 51 received propofol and 48 sevoflurane. Before anesthesia, after intubation, and at the end of surgery, pH, pCO₂, pO₂, SBE, ABE, HCO₃⁻, hemoglobin, hematocrit, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Cl⁻, glucose, and lactate were assessed. **Results:** The sevoflurane group had higher Na⁺ after intubation and at the end of surgery, higher K⁺ after intubation, and higher end-of-surgery lactate (1.04±0.34 vs 0.86±0.21 mmol/L; p=0.0005). Drowsiness (16.7% vs 2.0%; p=0.028) and nausea (22.9% vs 3.9%; p=0.013) were more frequent. Acid–base parameters did not differ significantly between groups. **Conclusions:** Sevoflurane-based anesthesia was associated with more pronounced electrolyte and lactate shifts and a higher frequency of selected early postoperative complications.

KEYWORDS children; brain tumors; craniotomy; propofol; sevoflurane; electrolyte balance; lactate; acid-base balance; anesthesia;

1 ВВЕДЕНИЕ

Опухоли головного мозга остаются второй по частоте группой злокачественных новообразований детского возраста и наиболее распространённой солидной опухолью у детей до 15 лет, что определяет высокую клиническую значимость проблемы анестезиологического обеспечения нейрохирургических вмешательств у данной категории пациентов [1, 2]. Хирургическая резекция опухоли остаётся ключевым этапом комплексного лечения, а количество краниотомий, выполняемых по поводу опухолей головного мозга у детей, ежегодно возрастает по мере централизации и специализации нейрохирургической помощи [2, 3].

Анестезиологическое обеспечение краниотомии у детей сопряжено с рядом физиологических особенностей растущего организма: незрелостью механизмов ауторегуляции мозгового кровотока, повышенной чувствительностью к волемическим и метаболическим сдвигам, узким терапевтическим окном препаратов, применяемых для поддержания церебральной перфузии и оксигенации [4, 5]. В этих условиях выбор основного анестетика — тотальная внутривенная анестезия на основе пропофола либо ингаляционная анестезия севофлураном — остаётся предметом активной дискуссии в педиатрической нейроанестезиологии [6, 7].

Большинство сравнительных исследований пропофола и севофлурана у детей сосредоточено на показателях гемодинамической стабильности, скорости пробуждения, частоте эмерджентной ажитации и послеоперационной тошноты и рвоты [7–9]. Так, по данным мета-анализа рандомизированных исследований у пациентов, оперированных в объёме краниотомии, севофлуран в комбинации с ремифентанилом ассоциирован с более высокой частотой интраоперационной гипотензии и отёка мозга по сравнению с пропофол-ремифентаниловой анестезией, тогда как частота послеоперационной тошноты и рвоты также оказалась выше в группе севофлурана [7]. Вместе с тем существенно меньше внимания в литературе уделено сравнительному анализу влияния данных анестетиков на метаболический, электролитный и кислотно-щелочной гомеостаз — параметры, которые при продолжительных нейрохирургических вмешательствах могут существенно изменяться под влиянием как фармакодинамики самого анестетика, так и объёма интраоперационной инфузионной терапии, кровопотери и хирургической травмы [10, 11].

Отдельного внимания заслуживают данные о влиянии пропофола на липидный и энергетический обмен, описанные в рамках синдрома инфузии пропофола (Propofol-Related Infusion Syndrome, PRIS), для которого характерны метаболический ацидоз, гиперлактатемия, гиперкалиемия и нарушение митохондриального дыхательного окисления при продолжительной высокодозной инфузии препарата [12–14]. Хотя классический PRIS развивается преимущественно при использовании высоких доз пропофола в условиях длительной седации в отделениях

интенсивной терапии, отдельные метаболические сдвиги, свойственные данному синдрому, теоретически могут проявляться и при рутинной анестезиологической практике у детей, что делает целесообразным целенаправленный мониторинг метаболических параметров при пропофоловой анестезии [13, 14]. С другой стороны, севофлуран, обладая собственным профилем метаболических эффектов и известной ассоциацией с более высокой частотой послеоперационной тошноты, рвоты и эмерджентной ажитации у детей [8, 9], предполагает самостоятельный интерес в отношении его влияния на интраоперационный электролитный и лактатный гомеостаз.

Указанный пробел в существующей литературе, а также значительный объём проспективно собранных лабораторных данных, накопленных в рамках настоящего диссертационного исследования на трёх этапах операции у 99 детей, оперированных по поводу опухолей головного мозга, послужили основанием для проведения настоящего сравнительного анализа метаболического, электролитного и кислотно-щелочного гомеостаза в зависимости от вида базовой анестезии.

2 ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести сравнительный анализ динамики показателей метаболического, электролитного и кислотно-щелочного гомеостаза у детей, оперированных по поводу опухолей головного мозга, в зависимости от вида базовой анестезии (пропофол-анестезия vs севофлуран-анестезия), и оценить взаимосвязь выявленных изменений с частотой ранних послеоперационных осложнений.

3 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

3.1 Дизайн исследования и характеристика выборки

Проведено ретроспективное когортное сравнительное исследование на основе базы данных 99 детей, оперированных в объёме краниотомии по поводу опухолей головного мозга. Пациенты разделены на две группы в зависимости от вида базовой анестезии: группа 1 — пропофол-анестезия ($n=51$), группа 2 — севофлуран-анестезия ($n=48$).

Средний возраст пациентов в общей выборке составил $7,16 \pm 4,44$ года (медиана 6 лет; диапазон 1–17 лет), масса тела — $25,45 \pm 15,55$ кг, распределение по физическому статусу ASA — III класс у 77 (77,8%) и IV класс у 22 (22,2%) пациентов. Группы статистически значимо различались по возрасту ($6,1 \pm 4,1$ против $8,2 \pm 4,6$ года; $p=0,018$), массе тела ($22,0 \pm 15,0$ против $29,1 \pm 15,5$ кг; $p=0,004$), длительности операции ($257,5 \pm 82,6$ против $204,9 \pm 61,3$ мин; $p=0,002$) и длительности анестезии ($335,9 \pm 84,1$ против $289,7 \pm 68,1$ мин; $p=0,008$), что было учтено при интерпретации полученных результатов (см. табл. 1). Статистически значимых различий по ИМТ ($p=0,013$ — отмечена значимая разница, учтена как ковариата), классу ASA ($p=0,752$) и числу дней госпитализации ($p=0,387$) между

группами, помимо указанных выше, не выявлено.

3.2 Этапы интраоперационного мониторинга

Оценка исследуемых показателей проводилась на трёх последовательных этапах операции: Э1 — до индукции анестезии (базальный/исходный уровень); Э2 — после интубации трахеи и начала внутричерепного (краниотомического) этапа операции; Э3 — конец операции (завершение хирургического вмешательства).

3.3 Исследуемые показатели

На каждом из трёх этапов регистрировались показатели кислотно-щелочного состояния и газового состава крови (рН, рСО₂, рО₂, стандартный и актуальный избыток оснований — SBE и ABE, бикарбонат — HCO₃⁻), показатели красной крови (гемоглобин — Hb, гематокрит — Ht), электролиты плазмы (калий — K⁺, натрий — Na⁺, ионизированный кальций — Ca²⁺, хлор — Cl⁻), а также глюкоза плазмы и уровень лактата. Дополнительно для комплексной характеристики групп анализировались показатели центральной гемодинамики (ЧСС, среднее АД, ЦВД), волемического баланса (объём кристаллоидов, осмодиуретиков, диурез, инфузионно-трансфузионный баланс), время до экстубации и структура ранних послеоперационных осложнений (тошнота, рвота, боль, сонливость, субфебрильная температура, нарушения сознания).

3.4 Статистическая обработка

Количественные данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (M±SD), а также медианы и квартилей (Me [Q1; Q3]). Для сравнения групп по количественным признакам при нормальном распределении данных использовался t-критерий Стьюдента для

независимых выборок, при отклонении распределения от нормального — непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Для сравнения качественных (категориальных) признаков между группами применялся критерий χ² Пирсона. Величина эффекта для количественных сравнений оценивалась с помощью d Коэна. Статистически значимыми считались различия при p<0,05 (обозначено «*»), высокозначимыми — при p<0,01 («**») и p<0,001 («***»); отсутствие статистической значимости обозначено как «н.з.». Статистическая обработка выполнена с применением стандартных статистических программных пакетов.

3.5 Этические аспекты

Исследование проведено в рамках диссертационной работы с соблюдением принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации; использованы деидентифицированные данные, полученные при рутинном периоперационном мониторинге пациентов.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1 Общая характеристика групп

Итоговая выборка составила 99 детей: 51 (51,5%) пациент получал тотальную внутривенную анестезию на основе пропофола, 48 (48,5%) — ингаляционную анестезию севофлураном. Распределение по полу в общей выборке: 53 (53,5%) мальчика, 46 (46,5%) девочек. Как показано в таблице 1, группы статистически значимо различались по возрасту, массе тела, ИМТ, длительности операции и анестезии, что отражает особенности ретроспективного нерандомизированного дизайна и было учтено при интерпретации метаболических различий.

Таблица 1. Сравнительная характеристика групп пропофоловой и севофлурановой анестезии

Показатель	Пропофол (n=51) M±SD	Севофлуран (n=48) M±SD	p-value	Значимость
Возраст, лет	6,1±4,1	8,2±4,6	0,018	*
Масса тела, кг	22,0±15,0	29,1±15,5	0,004	**
ИМТ, кг/м ²	16,0±3,2	17,8±3,3	0,013	*
ASA класс (III/IV)	0,8±0,4	0,8±0,4	0,752	н.з.
Длительность операции, мин	257,5±82,6	204,9±61,3	0,002	**
Длительность анестезии, мин	335,9±84,1	289,7±68,1	0,008	**
Дни госпитализации	13,9±6,8	12,5±3,0	0,387	н.з.

4.2 Кислотно-щелочное состояние и газовый состав крови

Показатели рН в общей выборке оставались в пределах физиологической нормы на всех этапах операции (Э1 — 7,37±0,07; Э2 — 7,37±0,06; Э3 — 7,38±0,05). Сравнительный анализ показателей газового состава крови (рСО₂,

рО₂) и параметров кислотно-щелочного равновесия (SBE, ABE, HCO₃⁻) между группами пропофола и севофлурана не выявил статистически значимых межгрупповых различий ни на одном из трёх этапов операции (табл. 2). Полученные данные свидетельствуют о сопоставимой адекватности вентиляции и стабильности буферных систем крови при использовании обоих видов анестезии.

Таблица 2. Сравнение показателей газового состава крови и кислотно-щелочного равновесия по этапам операции

Показатель	Этап	Пропофол М±SD	Севофлуран М±SD	p	Знач.
pCO ₂ , мм рт.ст.	Э1	33,05±4,28	34,02±5,10	0,306	н.з.
pCO ₂ , мм рт.ст.	Э2	32,77±2,32	32,37±3,82	0,941	н.з.
pCO ₂ , мм рт.ст.	Э3	33,81±3,16	34,44±4,69	0,434	н.з.
pO ₂ , мм рт.ст.	Э1	187,15±31,77	186,02±38,05	0,873	н.з.
pO ₂ , мм рт.ст.	Э2	193,91±28,14	192,15±39,35	0,886	н.з.
pO ₂ , мм рт.ст.	Э3	186,81±32,21	176,63±37,33	0,068	н.з.
SBE, ммоль/л	Э1	-4,50±2,61	-5,40±2,95	0,123	н.з.
SBE, ммоль/л	Э2	-4,70±2,53	-4,84±2,65	0,796	н.з.
SBE, ммоль/л	Э3	-2,50±1,46	-2,85±1,66	0,352	н.з.
ABE, ммоль/л	Э1	-4,34±2,61	-5,15±2,93	0,147	н.з.
ABE, ммоль/л	Э2	-4,42±2,59	-4,57±2,59	0,853	н.з.
ABE, ммоль/л	Э3	-2,34±1,45	-2,73±1,62	0,205	н.з.
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Э1	19,68±2,38	19,05±2,76	0,227	н.з.
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Э2	19,25±2,20	19,20±2,58	0,916	н.з.
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Э3	20,99±1,20	21,64±1,85	0,117	н.з.

4.3 Электролитный баланс, гликемия и лактат

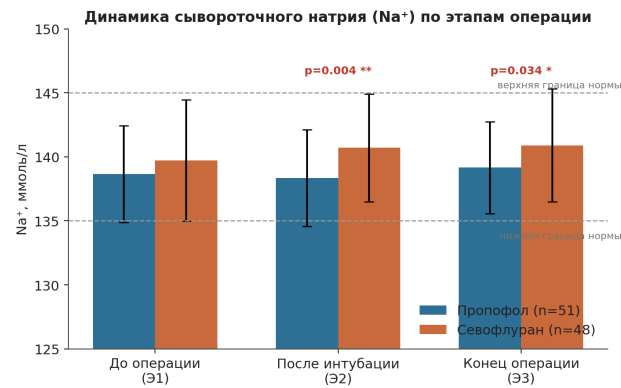
В отличие от параметров КЩС, анализ электролитного профиля выявил статистически значимые межгрупповые различия по натрию и калию (табл. 3, рис. 1–2). Уровень Na⁺ статистически значимо не различался между группами на исходном этапе (Э1; p=0,211), однако был значимо выше в группе севофлурана после интубации (Э2: 140,71±4,21 против 138,35±3,79 ммоль/л; p=0,004) и сохранял значимость к концу операции (Э3: 140,90±4,42 против 139,16±3,59 ммоль/л; p=0,034). Аналогичная закономерность отмечена для калия: статистически значимое повышение K⁺ в группе севофлурана зарегистрировано на этапе после интубации (3,55±0,34 против 3,36±0,30 ммоль/л; p=0,005), тогда как на исходном этапе и в конце операции различия не достигали статистической значи-

мости (p=0,073 и p=0,163 соответственно).

Наиболее выраженная и статистически наиболее значимая межгрупповая разница была зарегистрирована для уровня лактата плазмы к концу операции: в группе севофлурана лактат составил 1,04±0,34 ммоль/л против 0,86±0,21 ммоль/л в группе пропофола (p=0,0005) — рис. 3. При этом на исходном этапе и после интубации статистически значимых различий по лактату между группами не выявлено (p=0,320 и p=0,068 соответственно), что указывает на прогрессирующее, а не исходно заданное расхождение динамики лактата между группами по мере увеличения длительности вмешательства. Показатели ионизированного кальция, хлора и глюкозы плазмы статистически значимо между группами не различались ни на одном из этапов операции (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение показателей электролитного баланса, гликемии и лактата по этапам операции

Показатель	Этап	Пропофол М±SD	Севофлуран М±SD	p	Знач.
K ⁺ , ммоль/л	Э1	3,36±0,35	3,52±0,43	0,073	н.з.
K ⁺ , ммоль/л	Э2	3,36±0,30	3,55±0,34	0,005	**
K ⁺ , ммоль/л	Э3	3,35±0,34	3,45±0,35	0,163	н.з.
Na ⁺ , ммоль/л	Э1	138,65±3,78	139,73±4,74	0,211	н.з.
Na ⁺ , ммоль/л	Э2	138,35±3,79	140,71±4,21	0,004	**
Na ⁺ , ммоль/л	Э3	139,16±3,59	140,90±4,42	0,034	*
Ca ²⁺ , ммоль/л	Э1	0,99±0,14	0,96±0,15	0,451	н.з.
Ca ²⁺ , ммоль/л	Э2	1,00±0,14	0,98±0,15	0,612	н.з.
Ca ²⁺ , ммоль/л	Э3	1,06±0,40	0,98±0,18	0,299	н.з.
Cl ⁻ , ммоль/л	Э1	110,29±4,95	108,98±5,36	0,056	н.з.
Cl ⁻ , ммоль/л	Э2	110,31±5,22	110,10±4,55	0,832	н.з.
Cl ⁻ , ммоль/л	Э3	111,02±4,34	109,35±5,17	0,085	н.з.
Глюкоза, ммоль/л	Э1	5,15±0,69	5,08±0,82	0,674	н.з.
Глюкоза, ммоль/л	Э2	4,97±0,81	5,25±0,57	0,051	н.з.
Глюкоза, ммоль/л	Э3	4,91±0,66	4,94±0,65	0,821	н.з.
Лактат, ммоль/л	Э1	1,52±0,92	1,63±1,09	0,320	н.з.
Лактат, ммоль/л	Э2	1,15±0,54	1,38±0,68	0,068	н.з.
Лактат, ммоль/л	Э3	0,86±0,21	1,04±0,34	0,0005	***



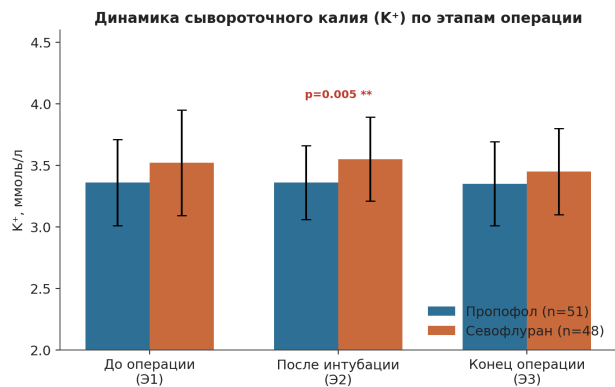


Рисунок 2. Динамика сывороточного калия (K⁺) по этапам операции в группах сравнения

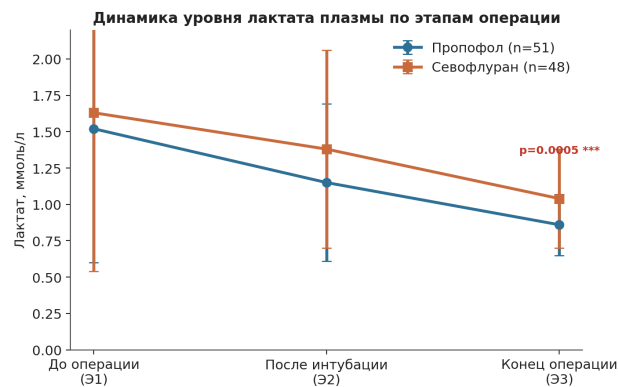


Рисунок 3. Динамика уровня лактата плазмы по этапам операции в группах сравнения

4.4 Показатели красной крови

Уровень гемоглобина и гематокрита закономерно снижался к этапу после интубации на фоне инфузионной гемодилуции с последующим частичным восстановлением к концу операции в обеих группах (табл. 4). Статистически значимых межгрупповых различий по Hb и Ht не выявлено ни на одном из этапов ($p > 0,05$), что свидетельствует о сопоставимом объёме кровопотери и волемического замещения в обеих группах анестезии.

Таблица 4. Сравнение показателей гемоглобина и гематокрита по этапам операции

Показатель	Этап	Пропофол M±SD	Севофлуран M±SD	p	Знач.
Hb, г/л	Э1	109,21±15,58	113,77±16,59	0,162	н.з.
Hb, г/л	Э2	102,28±16,59	107,77±17,44	0,174	н.з.
Hb, г/л	Э3	111,34±13,47	112,27±13,81	0,736	н.з.
Ht, %	Э1	33,67±4,67	35,01±5,00	0,170	н.з.
Ht, %	Э2	31,81±5,01	33,24±5,20	0,286	н.з.
Ht, %	Э3	34,40±4,28	34,68±4,09	0,739	н.з.

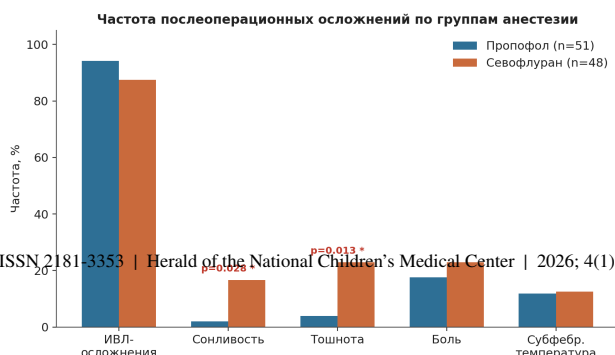
4.5 Ранние послеоперационные осложнения

Анализ структуры ранних послеоперационных осложнений выявил статистически значимо более высокую частоту послеоперационной сонливости (16,7% против 2,0%; $p = 0,028$) и тошноты (22,9% против 3,9%; $p = 0,013$)

в группе севофлурана по сравнению с группой пропофола (табл. 5, рис. 4). По остальным анализируемым осложнениям (ИВЛ-ассоциированные осложнения, кома, сопор, оглушение, рвота, боль, субфебрильная температура) статистически значимых межгрупповых различий не выявлено.

Таблица 5. Частота ранних послеоперационных осложнений в группах сравнения

Осложнение	Пропофол n (%)	Севофлуран n (%)	p (χ^2)	Значимость
ИВЛ-осложнения	48 (94,1)	42 (87,5)	0,427	н.з.
Кома	1 (2,0)	0 (0)	1,000	н.з.
Сопор	3 (5,9)	0 (0)	0,263	н.з.
Оглушение	1 (2,0)	3 (6,2)	0,567	н.з.
Сонливость	1 (2,0)	8 (16,7)	0,028	*
Тошнота	2 (3,9)	11 (22,9)	0,013	*
Рвота	1 (2,0)	1 (2,1)	1,000	н.з.
Боль	9 (17,6)	11 (22,9)	0,688	н.з.
Субфебрильная температура	6 (11,8)	6 (12,5)	1,000	н.з.



4.6 Сводный анализ значимых различий

Обобщённый анализ всех статистически значимых межгрупповых различий, зарегистрированных в исследовании, представлен в таблице 6 и на рисунке 5. Помимо описанных выше различий по электролитам, лактату и структуре осложнений, статистически значимые различия между группами были также зарегистрированы по

показателю диаметра оболочки зрительного нерва (ДОЗН) в условиях седации — как для правого (OD), так и для левого (OS) глаза ($p < 0,001$ в обоих случаях), что согласуется с ранее описанными различиями церебральной гемодинамики между пропофоловой и севофлурановой анестезией и требует отдельного целенаправленного анализа за рамками настоящей работы.

Таблица 6. Сводная таблица статистически значимых межгрупповых различий

Раздел	Параметр	Пропофол	Севофлуран	p	Знач.
Церебральная гемодинамика	ДОЗН OD (седация)	0,57	0,44	<0,001	***
Церебральная гемодинамика	ДОЗН OS (седация)	0,58	0,44	<0,001	***
Электролиты	Na ⁺ (Э2)	138,35	140,71	0,0042	**
Электролиты	Na ⁺ (Э3)	139,16	140,90	0,0335	*
Электролиты	K ⁺ (Э2)	3,36	3,55	0,0046	**
Метаболизм	Лактат (Э3)	0,86	1,04	0,0005	***
Осложнения	Сонливость	2,0%	16,7%	0,0282	*
Осложнения	Тошнота	3,9%	22,9%	0,0125	*

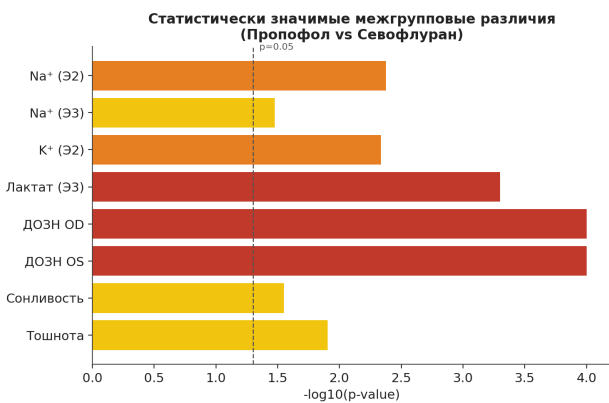


Рисунок 5. Значимость ($-\log_{10} p$) статистически значимых межгрупповых различий

5 ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование демонстрирует, что при сопоставимой стабильности кислотно-щелочного равновесия (pH , pCO_2 , SBE , ABE , HCO_3^-) вид базовой анестезии — пропофол или севофлуран — статистически значимо ассоциирован с различной динамикой электролитного профиля (Na^+ , K^+) и уровня лактата плазмы у детей, оперируемых по поводу опухолей головного мозга. Данный результат представляет самостоятельный интерес, поскольку в большинстве ранее опубликованных сравнительных исследований пропофола и севофлурана у детей основное внимание уделялось гемодинамическим и клиническим конечным точкам — времени пробуждения, частоте ажитации, послеоперационной тошноте и рвоте [7–9], тогда как электролитный и лактатный профиль оставался за рамками анализа.

Выявленное умеренное, но статистически значимое повышение уровня Na^+ и K^+ в группе севофлурана на этапе после интубации и к концу операции может быть объяснено несколькими взаимодополняющими механизмами. Во-первых, севофлуран, в отличие от пропофола, не оказывает выраженного вазодилатирующего и волюм-независимого гипотензивного действия, что в сочетании с различиями в протоколах интраоперационной инфу-

зионной терапии могло определять более концентрированный электролитный профиль плазмы. Во-вторых, известно, что ингаляционные анестетики способны модулировать стресс-индуцированный выброс катехоламинов и активность ренин-ангиотензин-альдостероновой системы в большей степени, чем пропофол, что потенциально отражается на почечной регуляции натрия и калия [10, 11]. Данные механизмы требуют дальнейшего целенаправленного изучения, в том числе с оценкой уровня кортизола и альдостерона в динамике операции.

Наиболее клинически значимым результатом настоящего исследования представляется статистически высокозначимое повышение уровня лактата плазмы к концу операции в группе севофлурана по сравнению с группой пропофола ($p = 0,0005$) при отсутствии межгрупповых различий на исходном этапе. Учитывая, что показатели гемоглобина, гематокрита и параметров кислотно-щелочного равновесия между группами не различались, наблюдаемое повышение лактата, вероятнее всего, не связано с большей кровопотерей или тканевой гипоксией, а отражает особенности метаболического ответа на ингаляционную анестезию при длительном хирургическом стрессе. Данное наблюдение согласуется с результатами более ранних работ, изучавших влияние пропофола и севофлурана на кислотно-щелочной статус и уровень лактата у детей в условиях катетеризации сердца, где также сообщалось о различиях метаболического профиля между анестетиками [15].

Отдельного обсуждения заслуживает вопрос синдрома инфузии пропофола (PRIS), для которого в литературе описаны гиперлактатемия, метаболический ацидоз и гиперкалиемия как характерные, хотя и редкие проявления при длительной высокодозной инфузии препарата [12–14, 16]. В настоящем исследовании, несмотря на сопоставимую или даже большую длительность анестезии в группе пропофола, признаков метаболического ацидоза или клинически значимой гиперлактатемии, свойственных PRIS, зарегистрировано не было — напротив, уровень лактата в группе пропофола к концу операции оказался статистически значимо ниже, чем в группе севофлурана.

Это может свидетельствовать о том, что используемые в рамках стандартного анестезиологического протокола дозировки пропофола не достигают порога, ассоциированного с развитием клинически значимых проявлений PRIS, что согласуется с современными представлениями о дозозависимом характере данного синдрома [13, 16].

Клинически важным представляется установленная в настоящем исследовании ассоциация между более выраженными электролитными и лактатными сдвигами в группе севофлурана и статистически значимо более высокой частотой ранних послеоперационных осложнений — сонливости и тошноты. Механизм послеоперационной тошноты и рвоты после ингаляционной анестезии традиционно связывают с прямым эметогенным действием летучих анестетиков на хеморецепторную триггерную зону [8, 9], однако полученные данные позволяют предположить, что дополнительным фактором может выступать сопутствующий метаболический сдвиг (умеренная гиперлактатемия, электролитный дисбаланс), потенцирующий выраженность данных симптомов. Это согласуется с данными мета-анализа, показавшего более высокую частоту послеоперационной тошноты и рвоты при севофлуран-ремифентаниловой анестезии по сравнению с пропофол-ремифентаниловой у пациентов, оперированных в объеме краниотомии [7].

Настоящее исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, ретроспективный нерандомизированный дизайн обусловил статистически значимые исходные различия между группами по возрасту, массе тела и длительности вмешательства, что могло частично повлиять на выявленные метаболические различия как ковариаты. Во-вторых, исследование выполнено на базе одного центра, что ограничивает генерализуемость результатов. В-третьих, не проводилась оценка гормонального профиля (кортизол, альдостерон, катехоламины), что не позволяет напрямую подтвердить предполагаемые нейроэндокринные механизмы выявленных электролитных различий. Дальнейшие проспективные рандомизированные исследования с включением гормонального и цитокинового профиля представляются перспективным направлением для подтверждения и углубления полученных данных.

6 ВЫВОДЫ

- Показатели кислотно-щелочного равновесия (рН, рСО₂, SBE, ABE, HCO₃⁻) статистически значимо не различаются между группами пропофоловой и севофлурановой анестезии на всех этапах краниотомии по поводу опухолей головного мозга у детей, что свидетельствует о сопоставимой адекватности вентиляции и стабильности буферных систем крови при обоих видах анестезии.
- Севофлурановая анестезия ассоциирована со статистически значимым повышением уровня натрия плазмы после интубации и к концу операции (p=0,004 и p=0,034 соответственно), а также калия плазмы после интубации (p=0,005) по сравнению с пропофоловой анестезией.
- К концу операции уровень лактата плазмы статистиче-

ски значимо выше в группе севофлурана по сравнению с группой пропофола (1,04±0,34 против 0,86±0,21 ммоль/л; p=0,0005), при этом межгрупповые различия по лактату отсутствуют на исходном этапе, что указывает на прогрессирующий, анестезиозависимый характер выявленного различия.

- Частота ранних послеоперационных осложнений — сонливости (16,7% против 2,0%; p=0,028) и тошноты (22,9% против 3,9%; p=0,013) — статистически значимо выше в группе севофлурана, что может быть частично связано с более выраженными метаболическими и электролитными сдвигами в данной группе.
- Показатели красной крови (Hb, Ht), ионизированного кальция, хлора и глюкозы плазмы не показали статистически значимых межгрупповых различий ни на одном из этапов операции, что свидетельствует о сопоставимом объеме кровопотери и волемического замещения при обоих видах анестезии.
- Полученные данные целесообразно учитывать при выборе анестезиологической тактики у детей, оперируемых по поводу опухолей головного мозга, с необходимостью более тщательного мониторинга электролитного и лактатного профиля при использовании севофлурановой анестезии, особенно при продолжительных вмешательствах.

ДЕКЛАРАЦИИ / DECLARATIONS

Вклад авторов. Э.А.С., А.А.А., Б.Ф.Х., К.И.Х. и А.С.А. совместно участвовали в разработке концепции и дизайна исследования, сборе, анализе и интерпретации клинических данных, подготовке рукописи и её критическом пересмотре. Все авторы прочитали и одобрили окончательную версию рукописи и несут ответственность за её научное содержание.

Author Contributions. E.A.S., A.A.A., B.F.Kh., K.I.Kh., and A.S.A. jointly contributed to the conception and design of the study, collection, analysis and interpretation of clinical data, preparation of the manuscript, and critical revision of the text. All authors read and approved the final version of the manuscript and accept responsibility for its scientific content.

Финансирование. Исследование выполнено без внешнего финансирования.

Funding. The study received no external funding.

Роль финансирующей организации / спонсора. Не применимо, поскольку исследование не получало внешнего финансирования.

Role of the Funder/Sponsor. Not applicable because the study received no external funding.

Одобрение этического комитета. Исследование выполнено в рамках диссертационной работы с соблюдением принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Для анализа использованы деидентифицированные данные, полученные при рутинном периперационном мониторинге пациентов.

Ethics Approval. The study was conducted as part of disser-

tation research in accordance with the principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki. De-identified data obtained during routine perioperative monitoring were used for the analysis.

Информированное согласие. Для настоящего ретроспективного анализа использованы деидентифицированные данные рутинного клинического наблюдения; идентифицируемая персональная информация участников в исследовательскую базу не включалась.

Informed Consent. This retrospective analysis used de-identified data obtained during routine clinical care; identifiable personal information was not included in the research dataset.

Согласие на публикацию. Согласие на публикацию отдельных идентифицируемых материалов не требуется, поскольку рукопись содержит только агрегированные и деидентифицированные данные и не включает идентифицируемые изображения или персональные сведения пациентов.

Consent for Publication. Consent for publication of individual identifiable material is not required because the manuscript contains only aggregate, de-identified data and includes no identifiable patient images or personal information.

Регистрация клинического исследования. Регистрация клинического исследования не применима: работа представляет собой ретроспективное наблюдательное когортное исследование и не является проспективным клиническим испытанием.

Clinical Trial Registration. Clinical trial registration is not applicable because this work is a retrospective observational cohort study and not a prospective clinical trial.

Доступность данных. Данные, подтверждающие результаты исследования, могут быть предоставлены авторами по обоснованному запросу с соблюдением требований конфиденциальности и внутренних правил учреждения.

Data Availability Statement. The data supporting the findings of this study may be made available by the authors upon reasonable request, subject to confidentiality requirements and institutional policies.

Благодарности. Авторы не заявляют дополнительных благодарностей.

Acknowledgements. The authors have no additional acknowledgements to declare.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

Раскрытие использования искусственного интеллекта. Генеративный искусственный интеллект не использовался для создания или существенного изменения научных данных, результатов или выводов исследования. Техническое языковое редактирование и форматирование рукописи не изменяли её научное содержание. Авторы несут полную ответственность за окончательную версию статьи.

Artificial Intelligence Disclosure. Generative artificial intelligence was not used to generate or materially modify the scientific data, results, or conclusions of the study. Technical language editing and manuscript formatting did not alter the scientific content. The authors accept full responsibility for the final version of the article.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yu J, Shi W, Zhao R, Gao X, Li H. Epidemiology of brain tumors in children aged two and under: a 10-year single-institute study. *Oncol Lett.* 2015. <https://doi.org/10.3892/ol.2015.2943>.
- [2] Smith ER, Butler WE, Barker FG 2nd. Craniotomy for resection of pediatric brain tumors in the United States, to 2000: effects of provider caseloads and progressive centralization and specialization of care. *Neurosurgery.* 2004;54(3):553–565. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000108421.69822.67>.
- [3] Pollack IF. Brain tumors in children. *N Engl J Med.* 1994;331(22):1500–1507. <https://doi.org/10.1056/NEJM199412013312207>.
- [4] Kalita N, Goswami A, Goswami P. Making pediatric neuroanesthesia safer. *J Pediatr Neurosci.* 2017;12(4):305–312. https://doi.org/10.4103/JPN.JPN_173_17.
- [5] Special anaesthetic considerations for brain tumour surgery in children. *J Clin Med / PMC9600674* [review].
- [6] Foster MT, Hennigan D, Grayston R, et al. Reporting morbidity associated with pediatric brain tumor surgery: are the available scoring systems sufficient? *J Neurosurg Pediatr.* 2021;27(5):556–565.
- [7] Efficacy and safety of sevoflurane vs propofol in combination with remifentanyl for anesthesia maintenance during craniotomy: a meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2021. PMC8702137.
- [8] Propofol suppresses hormone levels more obviously than sevoflurane in pediatric patients with craniopharyngioma: a prospective randomized controlled clinical trial. PMC10381029.
- [9] General anesthesia maintained with sevoflurane versus propofol in pediatric surgery shorter than 1 hour: a randomized single-blind study. PMC733513.
- [10] Berger M, Ponnusamy V, Greene N, Cooter M, Nadler JW, Friedman A, et al. The effect of propofol vs. isoflurane anesthesia on postoperative changes in cerebrospinal fluid cytokine levels: results from a randomized trial. *Front Immunol.* 2017;8:1528. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01528>.
- [11] Fudickar A, et al. Effect of propofol and sevoflurane on base excess, pH and lactate in pediatric heart catheterization (PRISCATHLAB). *ClinicalTrials.gov Identifier: NCT01293266*.
- [12] Krajčová A, Waldauf P, Anděl M, Duška F. Propofol infusion syndrome: a structured review of experimental studies and 153 published case reports. *Crit Care.* 2015;19:398. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1112-5>.
- [13] Mirrakhimov AE, Voore P, Halysky O, Khan M, Ali AM. Propofol infusion syndrome in adults: a clinical update. *Crit Care Res Pract.* 2015;2015:260385. <https://doi.org/10.1155/2015/260385>.
- [14] Propofol-related infusion syndrome: a clinical review. *Cureus.* 2022.
- [15] Cabral J, Sousa D, Antunes M, Moreira A. Awake craniotomy in pediatric neurosurgery: a case report on a 12-year-old with recurrent ganglioglioma. *Cureus.* 2026. <https://doi.org/10.7759/cureus.101278>.
- [16] Consensus definitions of complications for accurate recording and comparisons of surgical outcomes in pediatric neurosurgery. *J Neurosurg Pediatr.* 2023;33(2).

Отказ от ответственности / Примечание издателя

Утверждения, мнения и данные во всех публикациях принадлежат исключительно отдельным авторам и участникам и не обязательно отражают взгляды издателя, журнала или редакторов. Издатель, журнал и редакторы не несут ответственности за вред людям или ущерб имуществу, возникший вследствие использования идей, методов, инструкций или продуктов, упомянутых в тексте.

Disclaimer of Liability/Publisher's Note

The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and do not necessarily reflect the views of the

Publisher, the Journal, or the editors. The Publisher, the Journal, and the editors disclaim responsibility for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.