

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. Абибназарова²

¹ Национальный детский медицинский центр, Ташкент, Узбекистан

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

Поступила 11.01.2026

Доработана 16.01.2026

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; postoperative complications.

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

citeref1,ref2. 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 citeref2,ref3.

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 citeref4,ref5. В этих условиях выбор основного анестетика — тотальная внутривенная анестезия на основе пропофола либо ингаляционная анестезия севофлураном — остаётся предметом активной дискуссии в педиатрической нейроанестезиологии citeref6,ref7.

Большинство сравнительных исследований пропофола и севофлурана у детей сосредоточено на показателях гемодинамической стабильности, скорости пробуждения, частоте эмерджентной ажитации и послеоперационной тошноты и рвоты

citeref7,ref8,ref9. 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

citeref7. 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 citeref10,ref11.

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

citeref12,ref13,ref14. 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

citeref13,ref14. С другой стороны, севофлуран, обладая собственным профилем метаболических эффектов и известной ассоциацией с более высокой частотой послеоперационной тошноты, рвоты и эмерджентной ажитации у детей

citeref8,ref9, 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. reftab1). 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, pCO_2 , pO_2 , стандартный и актуальный избыток оснований — SBE и ABE, бикарбонат — HCO_3^-), показатели красной крови (гемоглобин — Hb, гематокрит — Ht), электролиты плазмы (калий — K^+ , натрий — Na^+ , ионизированный кальций — Ca^{2+} , 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 ($M \pm SD$), а также медианы и квартилей ($Me [Q1; Q3]$). Для сравнения групп по количественным признакам при нормальном распре-

лении 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 χ^2 Пирсона. Величина эффекта для количественных сравнений оценивалась с помощью d Коэна. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$ (обозначено «*»), высокосignимыми — 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 reftab1, 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) $M \pm SD$	Севофлуран (n=48) $M \pm SD$	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/м²	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 — $7,37 \pm 0,07$; Э2 — $7,37 \pm 0,06$; Э3 — $7,38 \pm 0,05$). Сравнительный анализ показателей газового состава крови (pCO_2 , pO_2) и параметров кислотно-щелочного равновесия (SBE,

ABE, HCO_3^-) между группами пропофола и севофлурана не выявил статистически значимых межгрупповых различий ни на одном из трёх этапов операции (табл. reftab2). 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	Знач.
pCO ₂ , мм рт.ст.	Э1	33,05±4,28	34,02±5,10	0,306
pCO ₂ , мм рт.ст.	Э2	32,77±2,32	32,37±3,82	0,941
pCO ₂ , мм рт.ст.	Э3	33,81±3,16	34,44±4,69	0,434
pO ₂ , мм рт.ст.	Э1	187,15±31,77	186,02±38,05	0,873
pO ₂ , мм рт.ст.	Э2	193,91±28,14	192,15±39,35	0,886
pO ₂ , мм рт.ст.	Э3	186,81±32,21	176,63±37,33	0,068
SBE, ммоль/л	Э1	-4,50±2,61	-5,40±2,95	0,123
SBE, ммоль/л	Э2	-4,70±2,53	-4,84±2,65	0,796
SBE, ммоль/л	Э3	-2,50±1,46	-2,85±1,66	0,352
ABE, ммоль/л	Э1	-4,34±2,61	-5,15±2,93	0,147
ABE, ммоль/л	Э2	-4,42±2,59	-4,57±2,59	0,853
ABE, ммоль/л	Э3	-2,34±1,45	-2,73±1,62	0,205
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Э1	19,68±2,38	19,05±2,76	0,227
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Э2	19,25±2,20	19,20±2,58	0,916
HCO ₃ ⁻ , ммоль/л	Э3	20,99±1,20	21,64±1,85	0,117

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. reftab3, рис.

reffig1–2). 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 значимости (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. reffig3. 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. reftab3).

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

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

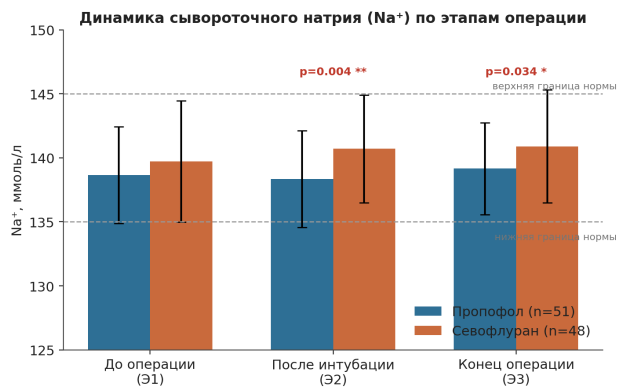


Рисунок 1. Динамика сывороточного натрия (Na⁺) по этапам операции в группах сравнения

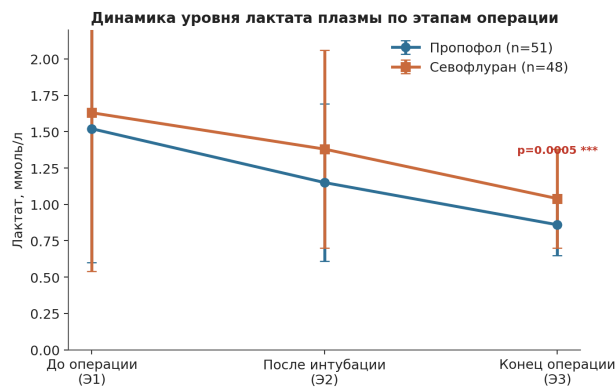


Рисунок 3. Динамика уровня лактата плазмы по этапам операции в группах сравнения

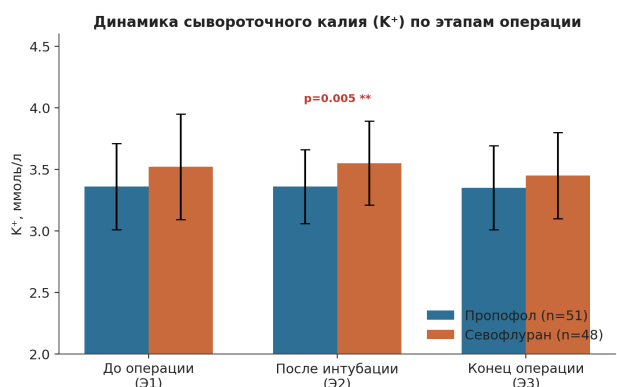


Рисунок 2. Динамика сывороточного калия (K⁺) по этапам операции в группах сравнения

4.4 Показатели красной крови

Уровень гемоглобина и гематокрита закономерно снижался к этапу после интубации на фоне инфузионной гемодилюции с последующим частичным восстановлением к концу операции в обеих группах (табл. reftab4). Статистически значимых межгрупповых различий по Hb и Ht не выявлено ни на одном из этапов ($p > 0,05$), что свидетельствует о сопоставимом объеме 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. reftab5, рис. reffig4). 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 (%)	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.

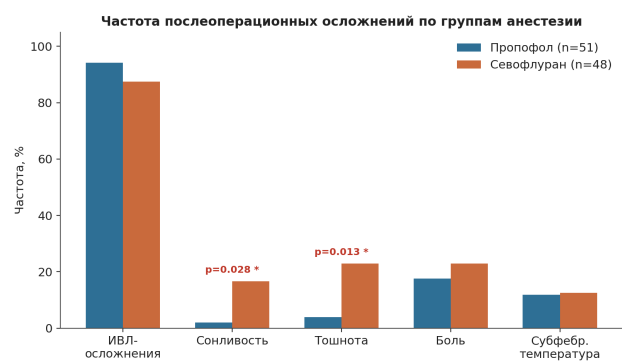


Рисунок 4. Частота послеоперационных осложнений по группам анестезии

4.6 Сводный анализ значимых различий

Обобщённый анализ всех статистически значимых межгрупповых различий, зарегистрированных в исследовании, представлен в таблице reftab6 и на рисунке reffig5. 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	χ^2	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	*

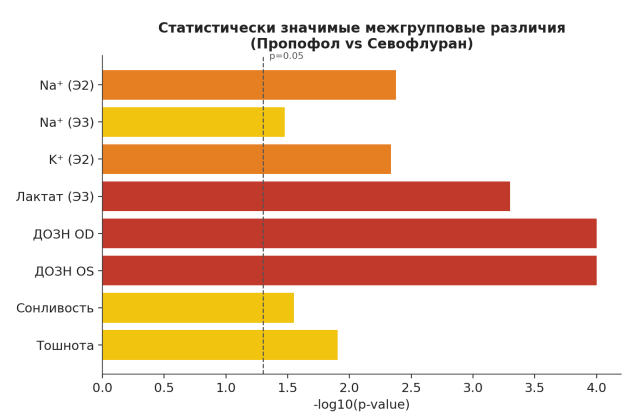


Рисунок 5. Значимость ($-\log_{10} p$) статистически значимых межгрупповых различий

5 ОБСУЖДЕНИЕ

Настоящее исследование демонстрирует, что при сопоставимой стабильности кислотно-щелочного равновесия (pH, $p\text{CO}_2$, 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 citeref7,ref8,ref9, 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 волонезависимого гипотензивного действия, что в сочетании с различиями в протоколах интраоперационной инфузионной 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 citeref10,ref11. 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 citeref15.

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 citeref12,ref13,ref14,ref16. 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

citeref13,ref16.

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 citeref8,ref9, 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 citeref7.

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 (pH , pCO_2 , SBE , ABE , HCO_3^-) 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 статистически значимо выше в группе севофлурана по сравнению с группой пропофола ($1,04 \pm 0,34$ против $0,86 \pm 0,21$ ммоль/л; $p=0,0005$), при этом межгрупповые разли-

чия 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 объёме 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. Индивидуальный вклад авторов по классификации CRediT в исходной рукописи не указан. Перед публикацией авторам необходимо подтвердить распределение ролей для Э.А.С., А.А.А., Б.Ф.Х., К.И.Х. и А.С.А. Все авторы несут ответственность за окончательную версию рукописи.

Author Contributions. Individual author contributions according to the CRediT taxonomy were not specified in the source manuscript. Before publication, the authors should confirm the distribution of roles for E.A.S., A.A.A., B.F.Kh., K.I.Kh., and A.S.A. All authors remain responsible for the final version of the manuscript.

Финансирование. Сведения о внешнем финансировании в исходной рукописи не представлены. Перед публикацией авторам необходимо подтвердить источник финансирования либо указать, что исследование не получало внешнего финансирования.

Funding. External funding information was not provided in the source manuscript. Before publication, the authors should confirm the funding source or state that the research received no external funding.

Роль финансирующей организации / спонсора. Роль финансирующей организации или спонсора в исходной рукописи не указана. При наличии внешнего финансирования авторам необходимо описать роль финансирующей стороны; при отсутствии внешнего финансирования данный пункт не применим.

Role of the Funder/Sponsor. The role of a funder or sponsor was not stated in the source manuscript. If external funding was received, the authors should describe the funder's role; if there was no external funding, this item is not applicable.

Одобрение этического комитета. Исследование прове-

дено в рамках диссертационной работы с соблюдением принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации; использованы деидентифицированные данные, полученные при рутинном периоперационном мониторинге пациентов. Наименование этического комитета и номер протокола в исходной рукописи не указаны и при необходимости должны быть подтверждены до публикации.

Ethics Approval. The study was conducted as part of dissertation research in accordance with the principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki and used de-identified data obtained during routine perioperative monitoring. The source manuscript does not provide the name of the ethics committee or protocol number; these details should be confirmed before publication where applicable.

Информированное согласие. Сведения о получении информированного согласия родителей или законных представителей участников в исходной рукописи не указаны; данный пункт необходимо подтвердить до публикации.

Informed Consent. The source manuscript does not state whether informed consent was obtained from participants' parents or legal guardians; this information should be confirmed before publication.

Согласие на публикацию. В рукописи представлены агрегированные и деидентифицированные данные без идентифицируемой индивидуальной информации. Отдельное заявление о согласии на публикацию в исходной рукописи не приведено.

Consent for Publication. The manuscript presents aggregate, de-identified data without identifiable individual information. A separate consent-for-publication statement was not provided in the source manuscript.

Регистрация клинического исследования. Регистрация исследования в исходной рукописи не указана. Если данный дизайн подлежит обязательной регистрации, авторам необходимо предоставить название реестра и регистрационный номер.

Clinical Trial Registration. Study registration was not reported in the source manuscript. If this study design is subject to mandatory registration, the authors should provide the registry name and registration number.

Доступность данных. Заявление о доступности исходных данных в рукописи не представлено. Перед публикацией авторам необходимо указать условия доступа к данным исследования либо обоснованные ограничения доступа.

Data Availability Statement. A data availability statement was not provided in the manuscript. Before publication, the authors should specify how the study data can be accessed or describe justified access restrictions.

Благодарности. Благодарности в исходной рукописи не заявлены.

Acknowledgements. No acknowledgements were reported in the source manuscript.

Конфликт интересов. Сведения о конфликте интересов в исходной рукописи не представлены. Перед публи-

кацией авторам необходимо подтвердить наличие или отсутствие конфликта интересов.

Conflicts of Interest. Conflict-of-interest information was not provided in the source manuscript. Before publication, the authors should confirm whether any conflicts of interest exist.

Раскрытие использования искусственного интеллекта. Сведения об использовании инструментов искусственного интеллекта при подготовке исходной рукописи не представлены. Перед публикацией авторам необходимо подтвердить данный пункт в соответствии с политикой журнала.

Artificial Intelligence Disclosure. Information on the use of artificial intelligence tools in preparing the source manuscript was not provided. Before publication, the authors should confirm this item in accordance with journal policy.

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. PMC7333513.

[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, Halytsky 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.