УДК:616-089.5-032:611.2]:616089.5-031.8+616-089.16
DOI: 10.55359/2782-3296.2026.57.99.002

ИНГАЛЯЦИОННАЯ АНЕСТЕЗИЯ В СРАВНЕНИИ С НЕИНГАЛЯЦИОННОЙ АНЕСТЕЗИЕЙ ПРИ НЕКАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР КЛИНИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Зеленецкая М. А., Балыкина К. А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный медицинский университет имени М. Горького» Министерства Здравоохранения Российской Федерации, г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Российская Федерация
ГБУ ДНР «ЦГКБ №16 г. Донецка»

Резюме. Выбор анестезиологической техники при некардиохирургических операциях остаётся предметом активной дискуссии. Ингаляционные анестетики, являющиеся традиционной основой общей анестезии, обладают надёжной фармакокинетикой, простотой администрирования и кардиопульмональными преимуществами. Неингаляционная анестезия с использованием пропофола и ремифентанила, поддерживаемая системами целевой инфузии и мониторами глубины анестезии, зарекомендовала себя как широко применяемая альтернатива. Целью обзора является систематизация современных данных о клинических исходах при использовании ингаляционной и неингаляционной анестезии у пациентов, переносящих некардиохирургические вмешательства. Показано, что ингаляционные анестетики демонстрируют преимущества в кардиопротекции и управлении дыханием, тогда как неингаляционная анестезия ассоциирована со снижением частоты послеоперационной тошноты и рвоты, а также потенциальными преимуществами в онкологической хирургии. Ни одна из техник не продемонстрировала последовательного превосходства во всех клинических контекстах. Выбор метода анестезии должен быть персонализирован на основе хирургического риска, сопутствующих заболеваний пациента, опыта врача.

Ключевые слова: *ингаляционная анестезия, тотальная внутривенная анестезия, пропофол, севофлуран, некардиохирургические операции, периоперационные исходы*

INHALATIONAL VERSUS TOTAL INTRAVENOUS ANESTHESIA IN NONCARDIAC SURGERY: A COMPARATIVE REVIEW OF CLINICAL OUTCOMES

Zelenetskaya M. A., Balykina K. A.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donetsk State Medical University named after M. Gorky" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Donetsk, Donetsk People's Republic, Russian Federation
SBI DPR "Central City Clinical Hospital No. 16 in Donetsk"

Resume. The choice of anesthetic technique in noncardiac surgery remains a subject of active debate. Inhalational anesthetics, which are the traditional cornerstone of general anesthesia, offer reliable pharmacokinetics, ease of administration, and cardiopulmonary benefits. Total intravenous anesthesia (TIVA) using propofol and remifentanil, supported by target-controlled infusion systems and depth-of-anesthesia monitors, has become a widely adopted alternative. The purpose of this review is to systematize current evidence on clinical outcomes associated with inhalational and total intravenous anesthesia in

patients undergoing noncardiac surgery. An analysis of 52 studies, including randomized controlled trials, meta-analyses, and observational studies, was conducted. Inhalational anesthetics demonstrated advantages in cardioprotection and airway management, whereas TIVA was associated with improved recovery profiles, reduced incidence of postoperative nausea and vomiting, and potential benefits in oncological surgery. Neither technique demonstrated consistent superiority across all clinical contexts. The choice of anesthetic technique should be personalized based on surgical risk, patient comorbidities, institutional capabilities, and clinician expertise.

Key words: *inhalational anesthesia, total intravenous anesthesia, propofol, sevoflurane, noncardiac surgery, perioperative outcomes*

АКТУАЛЬНОСТЬ

Выбор между ингаляционной и неингаляционной анестезией при некардиохирургических операциях остаётся одной из наиболее обсуждаемых проблем современной анестезиологии. Ингаляционные анестетики, такие как севофлуран, десфлуран и изофлуран, на протяжении десятилетий являлись золотым стандартом общей анестезии благодаря предсказуемой фармакокинетике, простоте применения и благоприятному профилю безопасности [1]. Однако развитие фармакологии привело к широкому внедрению неингаляционной анестезии, основанной на использовании короткодействующих препаратов — пропофола и ремифентанила — в сочетании с системами, автоматически регулирующими скорость введения препарата и мониторами глубины анестезии [3].

Сторонники неингаляционной анестезии указывают на такие преимущества, как более гладкое пробуждение, снижение частоты послеоперационной тошноты и рвоты (ПОТР), улучшение когнитивного восстановления и возможное применение у пациентов с онкологическими заболеваниями вследствие меньшей иммуносупрессии и нейровоспаления по сравнению с ингаляционными анестетиками [4]. В то же время, часть специалистов отмечают отсутствие убедительных доказательств превосходства неингаляционной анестезии во всех категориях пациентов, а также сохраняющиеся риски недостаточной или избыточной дозировки при отсутствии мониторинга выдыхаемых газов [5].

Особую значимость вопросу придаёт растущее число исследований, свидетельствующих о потенциальном влиянии анестезиологической техники на долгосрочные исходы, включая выживаемость при онкологических заболеваниях, частоту послеоперационных когнитивных нарушений и развитие органной дисфункции [22, 23, 31]. Таким образом, проблема выбора оптимальной анестезиологического пособия при некардиохирургических операциях требует всестороннего анализа клинических и экономических аспектов для разработки персонализированных и доказательных подходов.

ЦЕЛЬ

Целью данного обзора является систематизация современных данных о клинических исходах при использовании ингаляционной и неингаляционной анестезии у пациентов, переносящих некардиохирургические вмешательства, на основе изучения и анализа рандомизированных контролируемых исследований, метаанализов и крупных наблюдательных исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён анализ 52 исследований, включая рандомизированные контролируемые испытания (РКИ), метаанализы и наблюдательные исследования, опубликованных на сайтах: PubMed, Cochrane Library и Scopus за период 2000–2025 гг. Критериями отбора являлись исследования с участием взрослых пациентов (≥ 18 лет),

переносящих некардиохирургические операции, с оценкой периоперационных исходов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ингаляционные анестетики реализуют свой эффект преимущественно через модуляцию нейрональных ионных каналов, в частности ГАМК-рецепторов, калиевых каналов и NMDA-рецепторов [8]. Севофлуран, десфлуран и изофлуран обладают низкими коэффициентами распределения кровь/газ, что обеспечивает быструю индукцию и пробуждение, а также возможность точной титрации глубины анестезии. Ключевым теоретическим преимуществом ингаляционных анестетиков является их органо-протективный эффект, особенно кардиопротекция. Экспериментальные и клинические исследования демонстрируют, что летучие агенты индуцируют ишемическое прекондиционирование через активацию митохондриальных АТФ-зависимых калиевых каналов, ингибирование кальциевой перегрузки и уменьшение продукции активных форм кислорода [10, 11]. Эти механизмы могут снижать повреждение миокарда в условиях хирургического стресса, особенно при сосудистых и торакальных вмешательствах [12].

Неингаляционная анестезия на основе пропофола, в свою очередь, характеризуется быстрым перераспределением и метаболизмом, что обеспечивает точный контроль глубины анестезии и гладкое пробуждение[16]. Пропофол модулирует ГАМК-рецепторы и не только, например: HCN1-каналы, никотиновые рецепторы,TASK-каналы и другие мишени и обладает противовоспалительными, антиоксидантными и нейропротективными свойствами, что может быть особенно ценно при нейрохирургических вмешательствах и у пациентов с риском когнитивных нарушений [18].

Оценка влияния анестезиологического пособия на летальность представляет значительные методологические сложности. Крупное корейское общенациональное исследование с участием пациентов, переносящих некардиохирургические операции, выявило статистически значимое снижение годовой летальности в группе неингаляционной анестезии по сравнению с группой ингаляционной анестезии [22]. Предполагаемый механизм связан с противовоспалительными и иммуномодулирующими эффектами пропофола, способными ослаблять системный ответ и снижать риск отсроченной органной недостаточности.Однако другие крупные исследования не подтвердили этих различий. В общенациональном корейском когортном исследовании пациентов с онкологическими заболеваниями не было выявлено значимых различий летальности в зависимости от анестезиологического пособия[23].Таким образом, преимущество неингаляционной анестезии в отношении летальности не имеет убедительных доказательств высокого уровня и должно интерпретироваться с осторожностью с учётом возможного влияния систематических ошибок.

В экспериментальных исследованиях и при кардиохирургических вмешательствах ингаляционные анестетики, особенно севофлуран и изофлуран, продемонстрировали выраженный кардиопротективный эффект через механизмы ишемического прекондиционирования [25]. Эти эффекты включают активацию митохондриальных К-АТФ-каналов, модуляцию сигнального пути PI3K-Akt и уменьшение кальциевой перегрузки при ишемии-реперфузии.Однако перенос этих эффектов на некардиохирургическую практику остаётся спорным. Наблюдательные исследования у пациентов высокого риска не показали последовательного снижения частоты послеоперационного повреждения миокарда, выброса тропонина при

использовании ингаляционной анестезии по сравнению с неингаляционной анестезией[26, 27]. В целом, несмотря на обнадёживающие экспериментальные данные, клинические исследования в некардиохирургии не установили чёткого превосходства одной из анестезиологических пособий в отношении сердечно-сосудистых исходов. Выбор метода должен основываться индивидуально для каждого пациента, хирургическом вмешательстве и возможностях интраоперационного мониторинга.

Лёгочные осложнения, включая гипоксемию, ателектазы, бронхоспазм и пневмонию, значительно влияют на послеоперационную заболеваемость, особенно при торакальных, верхне-абдоминальных длительных вмешательствах [28]. Ингаляционные анестетики обладают прямым бронходилатирующим эффектом за счёт релаксации гладкой мускулатуры, что может быть полезно у пациентов с реактивными заболеваниями дыхательных путей [29].Неингаляционная анестезия, в свою очередь, связана с меньшим раздражением дыхательных путей, что особенно важно при операциях на дыхательных путях или нейрохирургических вмешательствах, требующих минимального кашлевого рефлексп[30]. В рандомизированном исследовании Chang et al. [31] неингаляционная анестезия с испльзованием пропофола значительно снизила частоту послеоперационных лёгочных осложнений у пациентов, переносящих микроваскулярную реконструкцию при раке головы и шеи.

Острое почечное повреждение (ОПП) является значимым фактором длительной госпитализации, долгосрочной почечной дисфункции и летальности у хирургических пациентов [32]. Ранние опасения относительно нефротоксичности севофлурана, связанной с образованием фторидов, не нашли подтверждения в клинических исследованиях при стандартных дозировках [34]. В ретроспективном исследовании пациентов после нефрэктомии с использованием неингаляционной анестезии на основе пропофола была ассоциирована с более низкой частотой ОПП по критериям KDIGO по сравнению с севофлураном или десфлураном [37]. В рандомизированном контролируемом исследовании Franzén et al. [38] севофлуран был связан со снижением диуреза, экскреции натрия и повышением уровня ренина, что ставит вопросы о его влиянии на интраоперационный водно-электролитный баланс. Однако ни одна из техник не продемонстрировала явного превосходства в профилактике ОПП и тщательное управление водным балансом и гемодинамикой остаётся наиболее важными модифицируемыми факторами [39].

Наиболее активно обсуждаемой областью является влияние анестезиологического пособия на рецидивы при онкологических операциях. Доклинические исследования показывают, что ингаляционные анестетики могут нарушать иммунный ответ и способствовать прогрессии опухоли, тогда как пропофол может поддерживать противоопухолевый иммунитет [15]. Пропофол сохраняет активность естественных киллеров и подавляет экспрессию циклооксигеназы-2, снижая продукцию простагландина E2 [40]. Ингаляционные анестетики, напротив, могут усиливать активность фактора, индуцируемого гипоксией (HIF-1α), и способствовать ангиогенезу опухоли [41]. Ретроспективные исследования и метаанализы дают противоречивые результаты. Исследование с использованием общенациональных данных показало лучшие результаты при неингаляционной анестезии по сравнению с ингаляционной анестезией при колоректальном раке, раке молочной железы, раке желудка и поджелудочной железы [22]. Метаанализ Yap et al. [44] выявил благоприятный эффект

неингаляционной анестезии при множестве онкологических заболеваниях, включая рак лёгкого и пищевода. Однако другие крупные исследования не обнаружили значимых различий [46, 47]. Эти противоречивые результаты подчёркивают, что выводы носят преимущественно гипотетический характер. До появления высококачественных рандомизированных данных выбор анестезии при онкологических операциях не должен основываться исключительно на предполагаемых преимуществах ингаляционной или неингаляционной анестезии. Ингаляционные анестетики имеют относительно низкую стоимость, однако их общие расходы увеличиваются за счёт непрерывного потребления и потерь при низкопоточной или высококонцентрационной подаче. Неингаляционная анестезия требует более дорогих препаратов, но может быть экономически эффективной при использовании сочетании с системами, автоматически регулирующими скорость введения препарата и мониторов глубины анестезии за счёт сокращения времени пробуждения[48, 49]. Ниже предстаылена краткая характеристика ингаляционной и неингаляционной анестезии (Таблица1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика ингаляционной анестезии и неингаляционной анестезии при некардиохирургических операциях

Критерий	Ингаляционная анестезия	Неингаляционная анестезия
Основные препараты	Севофлуран, десфлуран, изофлуран	Пропофол, ремифентанил
Механизм действия	Модуляция ГАМК-рецепторов, К+-каналов, NMDA-рецепторов	Потенцирование ГАМК-рецепторов
Преимущества	Кардиопротекция, бронходилатация, быстрая титрация	Гладкое пробуждение, низкая ПОТР, нейропротекция, иммуномодуляция
Недостатки	ПОТР, когнитивные нарушения, парниковый эффект	Риск недостаточной/избыточной дозировки, сложность титрации
Послеоперационная тошнота и рвота	Выше	Ниже
Кардиопротекция	Доказана (экспериментально)	Ограниченные данные
Лёгочные эффекты	Бронходилатация	Меньшее раздражение дыхательных путей
Почечная функция	Возможное снижение диуреза	Потенциально лучшее сохранение функции
Онкологические исходы	Возможная иммуносупрессия	Потенциальное улучшение выживаемости
Стоимость	Низкая цена препаратов, высокие операционные расходы	Высокая цена препаратов, низкие операционные расходы

Анализ данных в ЦГКБ №16 г. Донецк

Результаты ретроспективного анализа работы Центральной городской клинической больницы № 16 за 2025 год демонстрируют, что из 640 случаев общей анестезии с искусственной вентиляцией лёгких лишь в 219 (34,2 %) применялся севофлуран. Такое распределение обусловлено не столько клиническими предпочтениями анестезиологов, сколько технико-экономическими факторами: наличием исправных испарителей и аппаратуры в целом, системой утилизации отработанных газов, регулярностью поставок дорогостоящего ингаляционного анестетика и логистикой расходных материалов. В условиях реальной клинической практики доступность метода нередко становится определяющим фактором выбора, что необходимо учитывать при интерпретации сравнительной эффективности ингаляционной и неингаляционной анестезии. Таким образом, для объективной оценки клинических исходов требуется стратификация пациентов не только по анестезиологическому пособию, но и по уровню оснащённости стационара, что согласуется с концепцией персонализированной и ресурсо-ориентированной анестезиологии.

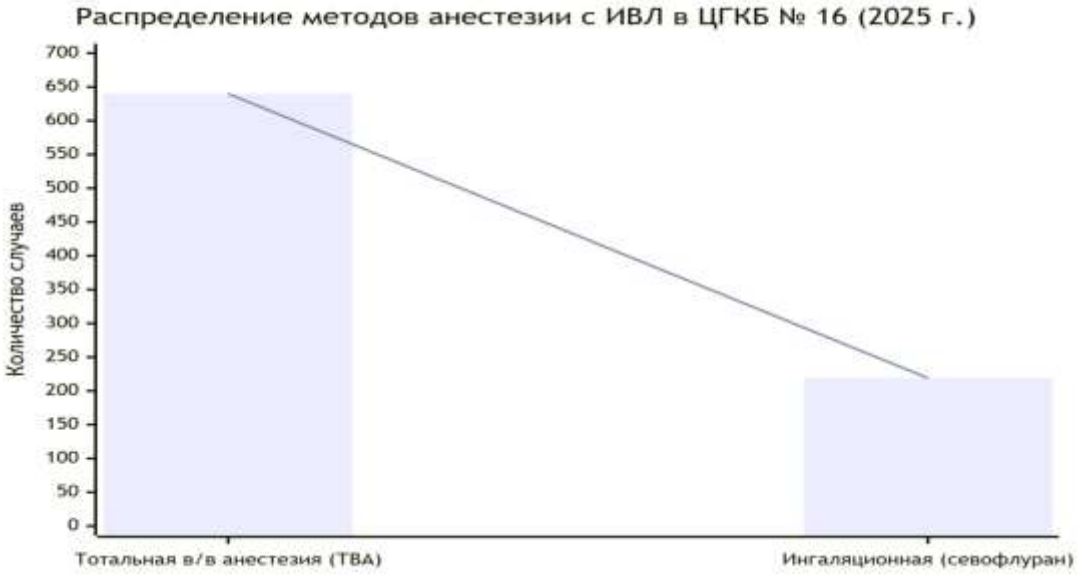

Рисунок 1 – Распределение методов анестезии с ИВЛ у пациентов в ЦГКБ №16 г. Донецка за 2025 год

ВЫВОДЫ

1. Ингаляционная анестезия с использованием севофлурана и десфлурана остаётся традиционным методом с доказанными преимуществами в кардиопротекции и бронходилатации, что делает её предпочтительной у пациентов с сердечно-сосудистой патологией и реактивными заболеваниями дыхательных путей.

2. Неингаляционная анестезия на основе пропофола демонстрирует клинические преимущества в виде более гладкого пробуждения, значительного снижения частоты послеоперационной тошноты и рвоты, а также потенциальных нейропротективных и иммуномодулирующих эффектов.

3. Данные о влиянии анестезиологического пособия на летальность при некардиохирургических операциях противоречивы. Ни один из методов не показал последовательного превосходства.

4. В онкологической хирургии имеются обнадёживающие ретроспективные

данные о потенциальных преимуществах неингаляционной анестезии в отношении рецидива заболеваний и выживаемости, однако эти результаты требуют подтверждения в крупных рандомизированных исследованиях.

5. Выбор анестезиологического пособия должен быть персонализированным и основываться на балансе клинических преимуществ, профиля безопасности, экономической эффективности, с учётом индивидуальных особенностей пациента и характера хирургического вмешательства.

6. Дальнейшие исследования должны быть направлены на проведение крупных многоцентровых рандомизированных испытаний, оценивающих не только краткосрочные, но и долгосрочные исходы, включая качество жизни, когнитивные функции, а также на разработку клинических рекомендаций по персонализированному выбору анестезиологического пособия.

Список литературы доступен по QR-коду:

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Зеленецкая Мария Александровна
– ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького», Минздрава России, Донецк
– ординатор первого года по специальности «Анестезиология-реаниматология» кафедры Анестезиологии, реаниматологии и неонатологии.
– Телефон: +7(949)–468–74–28
– E–mail: mashutkaa2014@yandex.ru

Балыкина Ксения Александровна
– ФГБОУ ВО «Донецкий государственный медицинский университет им. М. Горького», Минздрава России, Донецк
– врач-ординатор первого года по специальности «Анестезиология-реаниматология» кафедры Анестезиологии, реаниматологии и неонатологии ФГБОУ ВО ДонГМУ им. М. Горького
– Телефон: +7(949)417-66-02
– E-mail: balykinakseniia@yandex.com

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brioni J. D., Varughese S., Ahmed R., Bein B. A clinical review of inhalation anesthesia with sevoflurane: from early research to emerging topics. J Anesth. 2017;31:764–78.

2. Wissing H., Kuhn I., Rietbrock S., Fuhr U. Pharmacokinetics of inhaled anaesthetics in a clinical setting: comparison of desflurane, isoflurane and sevoflurane. Br J Anaesth. 2000;84:443–9.

3. Кварацхелия Л. Г., Колесников А. Н. Механизмы нарушения проницаемости гематоэнцефалического барьера при различных патологических состояниях и подбор на их основе препаратов для общей анестезии. В: Жизнеобеспечение при критических состояниях: материалы Всероссийской конференции с международным участием; науч. ред. Ю. В. Заржецкий, О. А. Гребенчиков. 2018:55–56.

4. Кварацхелия Л. Г., Колесников А. Н. Влияние препаратов для общей анестезии на проницаемость гематоэнцефалического барьера. В: Медико-биологические, клинические и социальные вопросы здоровья и патологии человека: материалы IV Всероссийской научной конференции студентов и молодых учёных с международным участием XIV областного фестиваля «Молодые учёные — развитию Ивановской области». 2018:247–249.

5. Колесников А. Н., Алексеенко А. А. Основные аспекты анестезиологического пособия для клиник хирургической стоматологии и имплантологии. В: Форум анестезиологов и реаниматологов России (ФАРР-2019): XVIII съезд Федерации анестезиологов и реаниматологов. 2019:135.

6. Анестезиология. Персонализированный подход: руководство для врачей / под ред. А. Н. Колесникова, В. Д. Слепушкина. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2024.

7. Колесников А. Н., Слепушкин В. Д. Наркоз: стресс, дистресс или адаптация: руководство для врачей. 2022. (in Russian)

8. Irwin M. G., Chung C. K., Ip K. Y., Wiles M. D. Influence of propofol-based total intravenous anaesthesia on peri-operative outcome measures: a narrative review. Anaesthesia. 2020;75(Suppl 1):e90–100.

9. Shui M., Xue Z., Miao X., Wei C., Wu A. Intravenous versus inhalational maintenance of anesthesia for quality of recovery in adult patients undergoing non-cardiac surgery: a systematic review with meta-analysis and trial sequential analysis. PLoS One. 2021;16:e0254271.

10. Bajwa S. J., Vinayagam S., Shinde S., Dalal S., Vennel J., Nanda S. Recent advancements in total intravenous anaesthesia and anaesthetic pharmacology. Indian J Anaesth. 2023;67:56–62.

11. Schraag S. TIVA for cardiac surgery. In: Total Intravenous Anesthesia and Target Controlled Infusions: A Comprehensive Global Anthology; Absalom A. R., Mason K. P., editors. Cham: Springer Nature; 2017:579–588.

12. Lin S., Neelankavil J., Wang Y. Cardioprotective effect of anesthetics: translating science to practice. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2021;35:730–740.

13. Cukras J., Sadlej J. Towards quantum-chemical modeling of the activity of anesthetic compounds. Int J Mol Sci. 2021;22:9272.

14. Uhlig C., Labus J. Volatile versus intravenous anesthetics in cardiac anesthesia: a narrative review. Curr Anesthesiol Rep. 2021;11:275–283.

15. Obal D., Dettwiler S., Favoccia C., Scharbatke H., Preckel B., Schlack W. The influence of mitochondrial KATP-channels in the cardioprotection of preconditioning and postconditioning by sevoflurane in the rat in vivo. Anesth Analg. 2005;101:1252–1260.

16. De Hert S. G., Van der Linden P. J., Cromheecke S., Meeus R., Nelis A., Van Reeth V., et al. Cardioprotective properties of sevoflurane in patients undergoing coronary surgery with cardiopulmonary bypass are related to the modalities of its administration. Anesthesiology. 2004;101:299–310.

17. Bignami E., Biondi-Zoccai G., Landoni G., Fochi O., Testa V., Sheiban I., et al. Volatile anesthetics reduce mortality in cardiac surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2009;23:594–599.

18. Groeben H. Strategies in the patient with compromised respiratory function. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. 2004;18:579–594.

19. Slupe A. M., Kirsch J. R. Effects of anesthesia on cerebral blood flow, metabolism, and neuroprotection. J Cereb Blood Flow Metab. 2018;38:2192–2208.

20. Stollings L. M., Jia L. J., Tang P., Dou H., Lu B., Xu Y. Immune modulation by volatile anesthetics. Anesthesiology. 2016;125:399–411.

21. Sahinovic M. M., Struys M. M., Absalom A. R. Clinical pharmacokinetics and pharmacodynamics of propofol. Clin Pharmacokinet. 2018;57:1539–1558.

22. Sneyd J. R., Carr A., Byrom W. D., Bilski A. J. A meta-analysis of nausea and vomiting following maintenance of anaesthesia with propofol or inhalational agents. Eur J Anaesthesiol. 1998;15:433–445.

23. Wang T., Huang X., Sun S., Wang Y., Han L., Zhang T., et al. Recent advances in the mechanisms of postoperative neurocognitive dysfunction: a narrative review. Biomedicines. 2025;13:115.

24. Xu Y., Pan S., Jiang W., Xue F., Zhu X. Effects of propofol on the development of cancer in humans. Cell Prolif. 2020;53:e12867.

25. Perry N. J., Wigmore T. Propofol (TIVA) versus volatile-based anesthetics: is there any oncological benefit? Curr Anesthesiol Rep. 2018;8:399–410.

26. Kumar G., Stendall C., Mistry R., Gurusamy K., Walker D. A comparison of total intravenous anaesthesia using propofol with sevoflurane or desflurane in ambulatory surgery: systematic review and meta-analysis. Anaesthesia. 2014;69:1138–1150.

27. Oh T. K., Jo H., Song I. A. Propofol-based intravenous anesthesia is associated with improved survival outcomes after major cancer surgery: a nationwide cohort study in South Korea. Korean J Anesthesiol. 2023;76:461–470.

28. Yoon S., Jung S. Y., Kim M. S., Yoon D., Cho Y., Jeon Y. Impact of propofol-based total intravenous anesthesia versus inhalation anesthesia on long-term survival after cancer surgery in a nationwide cohort. Ann Surg. 2023;278:1024–1031.

29. Oh A. R., Park J., Lee J. H., Ahn J., Lee D., Yoo S. Y. Effects of inhalation versus total intravenous anaesthesia on long-term mortality in older patients after noncardiac surgery: a retrospective observational study. Br J Anaesth. 2024;133:776–784.

30. Van Allen N. R., Krafft P. R., Leitzke A. S., Applegate R. L. 2nd, Tang J., Zhang J. H. The role of volatile anesthetics in cardioprotection: a systematic review. Med Gas Res. 2012;2:22.

31. Landoni G., Fochi O., Bignami E., Calabrò M. G., D'Arpa M. C., Moizo E., et al. Cardiac protection by volatile anesthetics in non-cardiac surgery? A meta-analysis of randomized controlled studies on clinically relevant endpoints. HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth. 2009;1:34–43.

32. Kwon J. H., Park J., Lee S. H., Oh Ar, Lee J. H., Min J. J. Effects of volatile versus total intravenous anesthesia on occurrence of myocardial injury after non-cardiac surgery. J Clin Med. 2019;8:1999.

33. Miskovic A., Lumb A. B. Postoperative pulmonary complications. Br J Anaesth. 2017;118:317–334.

34. Woods B. D., Sladen R. N. Perioperative considerations for the patient with asthma and bronchospasm. Br J Anaesth. 2009;103(Suppl 1):i57–i65.

35. Hohlrieder M., Tiefenthaler W., Klaus H., Gabl M., Kavakebi P., Keller C., et al. Effect of total intravenous anaesthesia and balanced anaesthesia on the frequency of coughing during emergence from the anaesthesia. Br J Anaesth. 2007;99:587–591.

36. Chang Y. T., Lai C. S., Lu C. T., Wu C. Y., Shen C. H. Effect of total intravenous anesthesia on postoperative pulmonary complications in patients undergoing microvascular reconstruction for head and neck cancer: a randomized clinical

trial. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg. 2022;148:1013–1021.

37. Grams M. E., Sang Y., Coresh J., Ballew S., Matsushita K., Molnar M. Z., et al. Acute kidney injury after major surgery: a retrospective analysis of veterans health administration data. Am J Kidney Dis. 2016;67:872–880.

38. Gentz B. A., Malan T. P. Jr. Renal toxicity with sevoflurane: a storm in a teacup? Drugs. 2001;61:2155–2162.

39. Sondekoppam R. V., Narsingani K. H., Schimmel T. A., McConnell B. M., Buro K., Özelsel T. J. The impact of sevoflurane anesthesia on postoperative renal function: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. Can J Anaesth. 2020;67:1595–1623.

40. Fukazawa K., Lee H. T. Volatile anesthetics and AKI: risks, mechanisms, and a potential therapeutic window. J Am Soc Nephrol. 2014;25:884–892.

41. Iguchi N., Kosaka J., Iguchi Y., Evans R. G., Bellomo R., May C. N., et al. Systemic haemodynamic, renal perfusion and renal oxygenation responses to changes in inspired oxygen fraction during total intravenous or volatile anaesthesia. Br J Anaesth. 2020;125:192–200.

42. Lee H. J., Bae J., Kwon Y., Jang H. S., Yoo S., Jeong C. W., et al. General anesthetic agents and renal function after nephrectomy. J Clin Med. 2019;8:1530.

43. Franzén S., Semenas E., Taavo M., Mårtensson J., Larsson A., Frithiof R. Renal function during sevoflurane or total intravenous propofol anaesthesia: a single-centre parallel randomised controlled study. Br J Anaesth. 2022;128:838–848.

44. McKinlay J., Tyson E., Forni L. G. Renal complications of anaesthesia. Anaesthesia. 2018;73(Suppl 1):85–94.

45. Inada T., Kubo K., Kambara T., Shingu K. Propofol inhibits cyclo-oxygenase activity in human monocytic THP-1 cells. Can J Anaesth. 2009;56:222–229.

46. Tavare A. N., Perry N. J., Benzonana L. L., Takata M., Ma D. Cancer recurrence after surgery: direct and indirect effects of anesthetic agents. Int J Cancer. 2012;130:1237–1250.

47. Wigmore T. J., Mohammed K., Jhanji S. Long-term survival for patients undergoing volatile versus IV anesthesia for cancer surgery: a retrospective analysis. Surv Anesthesiol. 2016;60:240.

48. Zheng X., Wang Y., Dong L., Zhao S., Wang L., Chen H., et al. Effects of propofol-based total intravenous anesthesia on gastric cancer: a retrospective study. Onco Targets Ther. 2018;11:1141–1148.

49. Yap A., Lopez-Olivo M. A., Dubowitz J., Hiller J., Riedel B. Anesthetic technique and cancer outcomes: a meta-analysis of total intravenous versus volatile anesthesia. Can J Anaesth. 2019;66:546–561.

50. Seo K. H., Hong J. H., Moon M. H., Hwang W., Lee S. W., Chon J. Y., et al. Effect of total intravenous versus inhalation anesthesia on long-term oncological outcomes in patients undergoing curative resection for early-stage non-small cell lung cancer: a retrospective cohort study. Korean J Anesthesiol. 2023;76:336–347.

51. Makito K., Matsui H., Fushimi K., Yasunaga H. Volatile versus total intravenous anesthesia for cancer prognosis in patients having digestive cancer surgery. Anesthesiology. 2020;133:764–773.

52. Yoo S., Lee H. B., Han W., Noh D. Y., Park S. K., Kim W. H., et al. Total intravenous anesthesia versus inhalation anesthesia for breast cancer surgery: a retrospective cohort study. Anesthesiology. 2019;130:31–40.

53. Myles P. S., Leslie K., McNeil J., Forbes A., Chan M. T. Bispectral index monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial. Lancet. 2004;363:1757–1763.

54. Alnemri A., Sussman S., Estephan L., Hamilton C., Stewart M., Zhan T., et al. Cost of total intravenous anesthesia versus inhalation anesthesia in obstructive sleep apnea surgery. Laryngoscope. 2022;132:1487–1494.

55. Cappellini I., Schirru E. Bridging anesthesia and sustainability: a special article for a path towards eco-conscious practice. Anesth Res. 2024;1:168–179.

56. Macario A., Weinger M., Carney S., Kim A. Which clinical anesthesia outcomes are important to avoid? The perspective of patients. Anesth Analg. 1999;89:652–658.

57. Nair S., Wolf A. Emergence delirium after paediatric anaesthesia: new strategies in avoidance and treatment. BJA Educ.

REFERENCES

1. Brioni J. D., Varughese S., Ahmed R., Bein B. A clinical review of inhalation anesthesia with sevoflurane: from early research to emerging topics. J Anesth. 2017;31:764–78.

2. Wissing H., Kuhn I., Rietbrock S., Fuhr U. Pharmacokinetics of inhaled anaesthetics in a clinical setting: comparison of desflurane, isoflurane and sevoflurane. Br J Anaesth. 2000;84:443–9.

3. Kvarackheliia L. G., Kolesnikov A. N. Mekhanizmy narusheniia pronicaemosti gematoentcefalicheskogo bar'era pri razlichnykh patologicheskikh sostoianiiakh i podbor na ikh osnove preparatov dlia obshchei anestezii [Mechanisms of blood-brain barrier permeability impairment in various pathological conditions and selection of general anesthesia drugs based on them]. V: Zhizneobespechenie pri kriticheskikh sostoianiiakh: materialy Vserossiiskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem; nauch. red. Iu. V. Zarzheckii, O. A. Grebencikov. 2018:55–56. (in Russian)

4. Kvarackheliia L. G., Kolesnikov A. N. Vliianie preparatov dlia obshchei anestezii na pronicaemost' gematoentcefalicheskogo bar'era [Effect of general anesthesia drugs on blood-brain barrier permeability]. V: Mediko-biologicheskie, klinicheskie i social'nye voprosy zdorov'ia i patologii cheloveka: materialy IV Vserossiiskoi nauchnoi konferencii studentov i molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem XIV oblastnogo festivalia «Molodye uchenye — razvitiiu Ivanovskoi oblasti». 2018:247–249. (in Russian)

5. Kolesnikov A. N., Alekseenko A. A. Osnovnye aspekty anesteziologicheskogo posobiia dlia klinik khirurgicheskoi stomatologii i implantologii [Main aspects of anesthetic management for surgical dentistry and implantology clinics]. V: Forum anesteziologov i reanimatologov Rossii (FARR-2019): XVIII s'ezd Federacii anesteziologov i reanimatologov. 2019:135. (in Russian)

6. Anesteziologiia. Personalizirovannyi podhod: rukovodstvo dlia vrachei [Anesthesiology. Personalized approach: a guide for physicians] / pod red. A. N. Kolesnikova, V. D. Slepushkina. Moskva: GEOTAR-Media; 2024. (in Russian)

7. Kolesnikov A. N., Slepushkin V. D. Narkoz: stress, distress ili adaptaciia [Anesthesia: stress, distress or adaptation]: rukovodstvo dlia vrachei. 2022. (in Russian)

8. Irwin M. G., Chung C. K., Ip K. Y., Wiles M. D. Influence of propofol-based total intravenous anaesthesia on peri-operative outcome measures: a narrative review. Anaesthesia. 2020;75(Suppl 1):e90–100.

9. Shui M., Xue Z., Miao X., Wei C., Wu A. Intravenous versus inhalational maintenance of anesthesia for quality of recovery in adult patients undergoing non-cardiac surgery: a systematic review with meta-analysis and trial sequential analysis. PLoS One. 2021;16:e0254271.

10. Bajwa S. J., Vinayagam S., Shinde S., Dalal S., Vennel J., Nanda S. Recent advancements in total intravenous anaesthesia and anaesthetic pharmacology. Indian J Anaesth. 2023;67:56–62.

11. Schraag S. TIVA for cardiac surgery. In: Total Intravenous Anesthesia and Target Controlled Infusions: A Comprehensive Global Anthology; Absalom A. R., Mason K. P., editors. Cham: Springer Nature; 2017:579–588.

12. Lin S., Neelankavil J., Wang Y. Cardioprotective effect of anesthetics: translating science to practice. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2021;35:730–740.

13. Cukras J., Sadlej J. Towards quantum-chemical modeling of the activity of anesthetic compounds. Int J Mol Sci. 2021;22:9272.

14. Uhlig C., Labus J. Volatile versus intravenous anesthetics in cardiac anesthesia: a

narrative review. Curr Anesthesiol Rep. 2021;11:275–283.

15. Obal D., Dettwiler S., Favoccia C., Scharbatke H., Preckel B., Schlack W. The influence of mitochondrial KATP-channels in the cardioprotection of preconditioning and postconditioning by sevoflurane in the rat in vivo. Anesth Analg. 2005;101:1252–1260.

16. De Hert S. G., Van der Linden P. J., Cromheecke S., Meeus R., Nelis A., Van Reeth V., et al. Cardioprotective properties of sevoflurane in patients undergoing coronary surgery with cardiopulmonary bypass are related to the modalities of its administration. Anesthesiology. 2004;101:299–310.

17. Bignami E., Biondi-Zoccai G., Landoni G., Fochi O., Testa V., Sheiban I., et al. Volatile anesthetics reduce mortality in cardiac surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2009;23:594–599.

18. Groeben H. Strategies in the patient with compromised respiratory function. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. 2004;18:579–594.

19. Slupe A. M., Kirsch J. R. Effects of anesthesia on cerebral blood flow, metabolism, and neuroprotection. J Cereb Blood Flow Metab. 2018;38:2192–2208.

20. Stollings L. M., Jia L. J., Tang P., Dou H., Lu B., Xu Y. Immune modulation by volatile anesthetics. Anesthesiology. 2016;125:399–411.

21. Sahinovic M. M., Struys M. M., Absalom A. R. Clinical pharmacokinetics and pharmacodynamics of propofol. Clin Pharmacokinet. 2018;57:1539–1558.

22. Sneyd J. R., Carr A., Byrom W. D., Bilski A. J. A meta-analysis of nausea and vomiting following maintenance of anaesthesia with propofol or inhalational agents. Eur J Anaesthesiol. 1998;15:433–445.

23. Wang T., Huang X., Sun S., Wang Y., Han L., Zhang T., et al. Recent advances in the mechanisms of postoperative neurocognitive dysfunction: a narrative review. Biomedicines. 2025;13:115.

24. Xu Y., Pan S., Jiang W., Xue F., Zhu X. Effects of propofol on the development of cancer in humans. Cell Prolif. 2020;53:e12867.

25. Perry N. J., Wigmore T. Propofol (TIVA) versus volatile-based anesthetics: is there any oncological benefit? Curr Anesthesiol Rep. 2018;8:399–410.

26. Kumar G., Stendall C., Mistry R., Gurusamy K., Walker D. A comparison of total intravenous anaesthesia using propofol with sevoflurane or desflurane in ambulatory surgery: systematic review and meta-analysis. Anaesthesia. 2014;69:1138–1150.

27. Oh T. K., Jo H., Song I. A. Propofol-based intravenous anesthesia is associated with improved survival outcomes after major cancer surgery: a nationwide cohort study in South Korea. Korean J Anesthesiol. 2023;76:461–470.

28. Yoon S., Jung S. Y., Kim M. S., Yoon D., Cho Y., Jeon Y. Impact of propofol-based total intravenous anesthesia versus inhalation anesthesia on long-term survival after cancer surgery in a nationwide cohort. Ann Surg. 2023;278:1024–1031.

29. Oh A. R., Park J., Lee J. H., Ahn J., Lee D., Yoo S. Y. Effects of inhalation versus total intravenous anaesthesia on long-term mortality in older patients after noncardiac surgery: a retrospective observational study. Br J Anaesth. 2024;133:776–784.

30. Van Allen N. R., Krafft P. R., Leitzke A. S., Applegate R. L. 2nd, Tang J., Zhang J. H. The role of volatile anesthetics in cardioprotection: a systematic review. Med Gas Res. 2012;2:22.

31. Landoni G., Fochi O., Bignami E., Calabrò M. G., D'Arpa M. C., Moizo E., et al. Cardiac protection by volatile anesthetics in non-cardiac surgery? A meta-analysis of randomized controlled studies on clinically relevant endpoints. HSR Proc Intensive Care Cardiovasc Anesth. 2009;1:34–43.

32. Kwon J. H., Park J., Lee S. H., Oh Ar, Lee J. H., Min J. J. Effects of volatile versus total intravenous anesthesia on occurrence of myocardial injury after non-cardiac surgery. J Clin Med. 2019;8:1999.

33. Miskovic A., Lumb A. B. Postoperative pulmonary complications. Br J Anaesth. 2017;118:317–334.

34. Woods B. D., Sladen R. N. Perioperative considerations for the patient

with asthma and bronchospasm. Br J Anaesth. 2009;103(Suppl 1):i57–i65.

35. Hohlrieder M., Tiefenthaler W., Klaus H., Gabl M., Kavakebi P., Keller C., et al. Effect of total intravenous anaesthesia and balanced anaesthesia on the frequency of coughing during emergence from the anaesthesia. Br J Anaesth. 2007;99:587–591.

36. Chang Y. T., Lai C. S., Lu C. T., Wu C. Y., Shen C. H. Effect of total intravenous anesthesia on postoperative pulmonary complications in patients undergoing microvascular reconstruction for head and neck cancer: a randomized clinical trial. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg. 2022;148:1013–1021.

37. Grams M. E., Sang Y., Coresh J., Ballew S., Matsushita K., Molnar M. Z., et al. Acute kidney injury after major surgery: a retrospective analysis of veterans health administration data. Am J Kidney Dis. 2016;67:872–880.

38. Gentz B. A., Malan T. P. Jr. Renal toxicity with sevoflurane: a storm in a teacup? Drugs. 2001;61:2155–2162.

39. Sondekoppam R. V., Narsingani K. H., Schimmel T. A., McConnell B. M., Buro K., Özelsel T. J. The impact of sevoflurane anesthesia on postoperative renal function: a systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. Can J Anaesth. 2020;67:1595–1623.

40. Fukazawa K., Lee H. T. Volatile anesthetics and AKI: risks, mechanisms, and a potential therapeutic window. J Am Soc Nephrol. 2014;25:884–892.

41. Iguchi N., Kosaka J., Iguchi Y., Evans R. G., Bellomo R., May C. N., et al. Systemic haemodynamic, renal perfusion and renal oxygenation responses to changes in inspired oxygen fraction during total intravenous or volatile anaesthesia. Br J Anaesth. 2020;125:192–200.

42. Lee H. J., Bae J., Kwon Y., Jang H. S., Yoo S., Jeong C. W., et al. General anesthetic agents and renal function after nephrectomy. J Clin Med. 2019;8:1530.

43. Franzén S., Semenas E., Taavo M., Mårtensson J., Larsson A., Frithiof R. Renal function during sevoflurane or total intravenous propofol anaesthesia: a single-centre parallel randomised controlled study. Br J Anaesth. 2022;128:838–848.

44. McKinlay J., Tyson E., Forni L. G. Renal complications of anaesthesia. Anaesthesia. 2018;73(Suppl 1):85–94.

45. Inada T., Kubo K., Kambara T., Shingu K. Propofol inhibits cyclo-oxygenase activity in human monocytic THP-1 cells. Can J Anaesth. 2009;56:222–229.

46. Tavare A. N., Perry N. J., Benzonana L. L., Takata M., Ma D. Cancer recurrence after surgery: direct and indirect effects of anesthetic agents. Int J Cancer. 2012;130:1237–1250.

47. Wigmore T. J., Mohammed K., Jhanji S. Long-term survival for patients undergoing volatile versus IV anesthesia for cancer surgery: a retrospective analysis. Surv Anesthesiol. 2016;60:240.

48. Zheng X., Wang Y., Dong L., Zhao S., Wang L., Chen H., et al. Effects of propofol-based total intravenous anesthesia on gastric cancer: a retrospective study. Onco Targets Ther. 2018;11:1141–1148.

49. Yap A., Lopez-Olivo M. A., Dubowitz J., Hiller J., Riedel B. Anesthetic technique and cancer outcomes: a meta-analysis of total intravenous versus volatile anesthesia. Can J Anaesth. 2019;66:546–561.

50. Seo K. H., Hong J. H., Moon M. H., Hwang W., Lee S. W., Chon J. Y., et al. Effect of total intravenous versus inhalation anesthesia on long-term oncological outcomes in patients undergoing curative resection for early-stage non-small cell lung cancer: a retrospective cohort study. Korean J Anesthesiol. 2023;76:336–347.

51. Makito K., Matsui H., Fushimi K., Yasunaga H. Volatile versus total intravenous anesthesia for cancer prognosis in patients having digestive cancer surgery. Anesthesiology. 2020;133:764–773.

52. Yoo S., Lee H. B., Han W., Noh D. Y., Park S. K., Kim W. H., et al. Total intravenous anesthesia versus inhalation anesthesia for breast cancer surgery: a retrospective cohort study. Anesthesiology. 2019;130:31–40.

53. Myles P. S., Leslie K., McNeil J., Forbes A., Chan M. T. Bispectral index

monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial. Lancet. 2004;363:1757–1763.

54. Alnemri A., Sussman S., Estephan L., Hamilton C., Stewart M., Zhan T., et al. Cost of total intravenous anesthesia versus inhalation anesthesia in obstructive sleep apnea surgery. Laryngoscope. 2022;132:1487–1494.

55. Cappellini I., Schirru E. Bridging anesthesia and sustainability: a special article for a path towards eco-conscious practice. Anesth Res. 2024;1:168–179.

56. Macario A., Weinger M., Carney S., Kim A. Which clinical anesthesia outcomes are important to avoid? The perspective of patients. Anesth Analg. 1999;89:652–658.

57. Nair S., Wolf A. Emergence delirium after paediatric anaesthesia: new strategies in avoidance and treatment. BJA Educ. 2018;18:30–33.