

УДК 616-009.614+615.211+616-089.5+615.216.2+57.089.27+612.014.469+616-053.2
DOI: 10.56871/RBR.2022.66.55.002

ВЛИЯНИЕ ИНГАЛЯЦИОННЫХ АНЕСТЕТИКОВ НА МИКРОЦИРКУЛЯЦИЮ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ АНЕСТЕЗИИ У ДЕТЕЙ

© Владимир Геннадьевич Багаев^{1, 2}, Валерий Генрихович Амчеславский¹, Валерий Афанасьевич Митиш¹,
Татьяна Федоровна Иванова¹, Айтен Юнис кызы Джанмирзоева¹, Юрий Вадимович Бисиркин¹,
Валерий Иванович Лукьянов¹, Иван Федорович Острейков², Михаил Викторович Быков³

¹ Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии. 119180, Москва, ул. Большая Полянка, д. 22

² Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования. 123242, Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, с. 1

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова. 117049, Москва, Ленинский пр., 117, корп. 7

Контактная информация: Владимир Геннадьевич Багаев — д.м.н., главный научный сотрудник отделения анестезиологии и реанимации.
E-mail: багаев61@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3773-5185>

Поступила: 15.07.2022

Одобрена: 23.09.2022

Принята к печати: 18.11.2022

Резюме. Введение. Ингаляционные анестетики оказывают влияние на микроциркуляцию в ходе операции, что сказывается на результате реконструктивно-пластических вмешательств. **Цель исследования.** Провести сравнительный анализ влияния ингаляционных анестетиков севофлурана с закисью азота и ксенона в комбинированной анестезии на микроциркуляцию кожи при реконструктивно-пластических операциях у детей. **Материалы и методы.** В исследование вошли 67 детей в возрасте $10,8 \pm 4,9$ года, получивших общую комбинированную эндотрахеальную анестезию при плановых реконструктивно-пластических операциях. Выделены две группы, сравнимые по возрасту, полу, ASA, длительности и травматичности операций, но имевшие различие по поддержанию анестезии: 1-я группа — севофлуран $2,0 \text{ об\%} + \text{N}_2\text{O} + \text{O}_2$; 2-я группа — Xe в концентрации 55–65% с O_2 . Методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) оценивали показатель микроциркуляции (ПМ), нутритивный/транскапиллярный (М нутр.) и шунтовой (М шунт.) кровотоки в коже I пальца стопы до анестезии (1-й этап исследования) и во время поддержания анестезии (2-й этап исследования). **Результаты исследования.** Анализ динамики средних значений показателей гемодинамики (ЧСС, АД сист., АД диаст., АД ср.) в группах сравнения не выявил статистически достоверных различий. Средние величины ПМ в 1-й группе на 1-м и 2-м этапах исследования не имели статистически значимых различий ($16,5 \pm 10,5$ п.ед.; $13,1 \pm 7,4$ п.ед. соответственно). Средние величины М нутр. ($6,6 \pm 5,5$ п.ед.; $5,4 \pm 3,6$ п.ед. соответственно) и М шунт. ($9,9 \pm 5,9$ п.ед.; $7,6 \pm 4,8$ п.ед. соответственно) также статистически достоверно не отличались. Во 2-й группе было выявлено статистически достоверное ($p < 0,02$) снижение на 29% средних значений ПМ на 2-м этапе по сравнению с 1-м этапом ($18,7 \pm 8,8$ п.ед.; $13,3 \pm 7,6$ п.ед. соответственно). Также статистически достоверно ($p < 0,02$) снижались средние величины М шунт. ($9,8 \pm 4,7$ п.ед.; $6,8 \pm 4,1$ п.ед. соответственно), в то время как средние величины М нутр. на 1-м и 2-м этапах ($8,4 \pm 5,6$ п.ед. и $6,0 \pm 4,5$ п.ед. соответственно) не имели статистически достоверных различий. При межгрупповом сравнении средние значения ПМ не имели статистически значимой разницы. **Выводы.** 1) Снижение ПМ на 29% во 2-й группе свидетельствует об умеренных нарушениях микроциркуляции при поддержании анестезии Xe. 2) Сравнительный анализ средних значений ПМ в группах показал, что методики поддержания комбинированной эндотрахеальной анестезии $\text{Se} + \text{N}_2\text{O}$ и поддержания анестезии Xe сопоставимы по влиянию на микроциркуляцию и транскапиллярный обмен при реконструктивно-пластических операциях у детей.

Ключевые слова: анестетики и микроциркуляция; ЛДФ при анестезии; ксенон и перфузия.

EFFECTS OF INHALATION ANESTHETICS AT THE MICROCIRCULATION UNDER PRECOMBINED ANESTHESIA IN CHILDREN

© Vladimir G. Bagaev^{1,2}, Valery G. Amcheslavsky¹, Valery A. Mitish¹, Tatiana F. Ivanova¹, Ayten Younis kyzy Dzhanmirzoeva¹, Yuri V. Bisirkin¹, Valery I. Lukyanov¹, Ivan F. Ostreikov², Mikhail V. Bykov³

¹ Clinical and Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Trauma. 119180, Moscow, Russia, Bolshaya Polynka str., 20

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education. 123242, Moscow, Russia, Barrikadnaya str., 2/1

³ N.I. Pirogov Russian National Research Medical University. 117049, Moscow, Russia, Leninsky pr., 117, bldg. 7

Contact information: Vladimir G. Bagaev — MD, Prof., Chief Researcher, Department of Anesthesiology and Intensive Care.

E-mail: bagaev61@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3773-5185>

Received: 15.07.2022

Revised: 23.09.2022

Accepted: 18.11.2022

Abstract. Introduction. Inhalation anesthetics affect microcirculation during surgery, which, in its turn, affects outcomes of reconstructive plastic interventions. **Purpose.** To make a comparative analysis of the effects of inhalation anesthetics Sevoflurane with Nitrous Oxide and Xenon in combined anesthesia at the skin microcirculation during reconstructive plastic surgeries in children. **Material and methods.** 67 children, aged 10.8 ± 4.9 , who had general combined endotracheal anesthesia for elective reconstructive plastic surgery, were taken in the study. All patients were divided into two groups comparable in age, gender, ASA, length of surgery and traumatism level, but had different forms of maintaining anesthesia: Group 1 — Sevoflurane 2.0 vol% + N_2O + O_2 ; Group 2 — Xe at concentration 55–65% with O_2 . Laser Doppler flowmetry (LDF) was used to assess the microcirculation index (MI), nutritional/transcapillary (M nutr.) and shunt (M shunt.) blood flow in the skin of the first toe before anesthesia (Stage 1) and during anesthesia support (Stage 2). **Results.** Assessment of the dynamics of hemodynamic average values (HR, BP syst., BP diast., BP mean) in the comparison groups did not reveal statistically significant differences. Average MI values in Group 1 at stages 1 and 2 were not statistically different (16.5 ± 10.5 PU; 13.1 ± 7.4 PU, respectively). Average (M nutr.) values (6.6 ± 5.5 PU; 5.4 ± 3.6 PU, respectively) and M shunt. values (9.9 ± 5.9 PU; 7.6 ± 4.8 PU, respectively) were not statistically different either. In Group 2, a statistically significant ($p < 0.02$) decrease by 29% in average MI values at Stage 2 compared to Stage 1 was revealed (18.7 ± 8.8 PU; 13.3 ± 7.6 PU, respectively). A statistically significant ($p < 0.02$) decrease in average M shunt. values (8.4 ± 5.6 PU and 6.0 ± 4.5 PU, respectively) was registered as well; while average M nutr. values at Stages 1 and 2 (8.4 ± 5.6 PU and 6.0 ± 4.5 PU, respectively) had no any statistically significant difference. On comparing findings in both groups, the researchers did not reveal any statistically significant difference in MI parameters. **Conclusion.** 1) MI decrease by 29% in Group 2 indicates moderate microcirculation disorders under maintained Xe anesthesia. 2) A comparative analysis of average MI values in the studied groups showed that both applied techniques — combined endotracheal anesthesia Ce + N_2O and anesthesia with Xe — are comparable in terms of effects at the microcirculation and transcapillary exchange during reconstructive plastic surgeries in children.

Key words: anesthetics and microcirculation; LDF in anesthesia; Xenon and perfusion.

ВВЕДЕНИЕ

Термин «микроциркуляция» (МЦ), появившийся в 1954 г., не теряет актуальности и сегодня, так как представляет важную фундаментальную проблему теоретической и практической медицины, подразумевая процессы, происходящие в мельчайших кровеносных и лимфатических сосудах, где реализуется транкапиллярный обмен и необходимый для жизни тканевый гомеостаз [7]. В 1992 году European Laser Doppler User Group (ELDUG) был принят единый термин «Laser Doppler Perfusion» (перфузия), определяемый как произведение линейной скорости эритроцитов на их концентрацию.

Методы изучения МЦ позволяют оценить проницаемость сосудистой стенки, плотность и архитектуру микроциркуляторного русла (МЦР), а также диаметр микрососудов, изменения скорости кровотока и нарушения реологических свойств крови [4, 11, 12]. Широкому распространению мониторинга МЦ в клинике препятствует недостаток безопасных методов исследования, а также сложность интерпретации получаемых данных [9]. Известный метод капилляроскопии позволяет визуализировать в ногтевом ложе только капиллярные петли, тогда как другие важные звенья МЦ остаются неизученными. К недостаткам метода также следует отнести чувствительность к температуре окружающей среды [3]. Метод биоми-

микроскопии бульбарной конъюнктивы по визуализации сосудов конъюнктивы и кровотоку позволяет получать представление о состоянии МЦ при различных заболеваниях [5]. В начале 1990-х годов компанией Cytometrics (США) был разработан метод поляризационно-спектральной микроскопии с использованием источника поляризованного света с длиной волны 550 нм [13]. На основе спектра поглощения света гемоглобином формируется картина микрососудистого русла в виде высококонтрастного изображения. Наиболее совершенным и информативным методом изучения МЦ является темнопольная биомикроскопия (MicroVision, Нидерланды), использующая пульсирующий свет от светодиодов. Оптические линзы располагаются внутри кольца светодиодов, поэтому отраженный свет от глубоких слоев ткани исключает появление бликов [19]. Последние два метода находят применение для оценки капиллярного кровотока центрального звена МЦР в анестезиологии и реаниматологии, сердечно-сосудистой хирургии, нейрохирургии и трансплантологии [14].

Для оценки вазомоторной функции микрососудов кожи наиболее широкое распространение получил метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с амплитудно-частотным анализом колебаний тканевой перфузии [6]. Метод основан на оптическом неинвазивном зондировании тканей на глубину 1,0–1,2 мм лазерным излучением (длина волн от 630 до 800 нм) и анализе рассеянного и отраженного от движущихся в тканях эритроцитов излучения [22]. Спонтанные колебания кровотока во многом обусловлены вазомоторными (диапазон частот от 0,0095 до 1,6 Гц) — ритмическими изменениями диаметра прекапиллярных резистивных сосудов, которые вызывают ритмические колебания скорости движения эритроцитов в микроциркуляторном русле [7]. Наиболее значимыми в диагностическом плане являются медленные волны:

- эндотелиальные и нейрогенные, связанные с адренергическими (в основном терморегуляторными) влияниями на гладкую мускулатуру артериол, артериолярных участков и артериоло-венулярных анастомозов;
- миогенные, отражающие состояние мышечного тонуса прекапилляров, регулирующих приток крови в нутритивное звено микроциркуляторного русла.

Интерес к изучению влияния анестетиков на микроциркуляцию продиктован оптимизацией анестезии у пациентов в кардиохирургии, абдоминальной и реконструктивно-пластической хирургии (эстетической, закрытие кожных и мягкотканых дефектов и т.д.) [8, 20, 24]. Ранее проведенные исследования показали, что нарушения МЦ ведут к развитию послеоперационных осложнений [2, 16, 24]. Известно, что галогеносодержащие анестетики (ГСА) в концентрации 1 МАК дозозависимо вызывают гипотензию в результате снижения периферического сопротивления сосудов, улучшая тем самым микроциркуляцию [1, 15, 18]. Доказано, что ГСА, влияя на микроциркуляцию кишечника, показывают лучшую перфузию при анестезии десфлураном по сравнению с анестезией изофлураном [21]. В исследованиях, проведенных у взрослых пациентов при кардиохирургических операциях, было проде-

монстрировано, что ингаляционные анестетики севофлуран (Се) и десфлуран не имеют преимуществ по показателям перфузии миокарда [8, 10]. Необходимость изучения органной перфузии при анестезии продиктована еще и тем, что ее улучшение реализует важный механизм защиты органов — органопротекцию от возможного ишемического повреждения [23].

Данное исследование продиктовано оптимизацией анестезии с целью снижения рисков нарушения перфузии легочной при выполнении операций по закрытию обширных посттравматических дефектов у детей с травмой.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести сравнительный анализ влияния ингаляционных анестетиков севофлурана с закисью азота и ксенона на микроциркуляцию кожи при реконструктивно-пластических операциях у детей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование вошли 67 пациентов в возрасте $10,8 \pm 4,9$ года, получивших общую комбинированную эндотрахеальную анестезию по поводу плановых реконструктивно-пластических операций у детей. Вводная анестезия включала внутривенную индукцию: пропופол 3,5 мг/кг, фентанил 2,5–3,0 мкг/кг и рокурониум 0,6 мг/кг. По ингаляционным анестетикам в ходе поддержания анестезии пациенты были разделены на две группы: 1-я группа (37 пациентов) с поддержанием анестезии — Се 2,0 об% + N₂O: O₂ = 60–65 об% : 30 об% с фентанилом 2,5–3,0 мкг/кг в час; 2-я группа (30 больных) — с поддержанием анестезии Хе : O₂ = 60–65 об% : 30 об% (closed system anesthesia) с фентанилом 3,0–3,5 мкг/кг в час. Сравнительная характеристика исследуемых групп по различным показателям представлена в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что пациенты исследуемых групп не имели статистически значимых различий по возрасту,

Таблица 1

Общая характеристика исследуемых групп

Показатель	1-я группа (n=37)	2-я группа (n=30)
Возраст	10,7±5,0	11,0±4,9
Пол (мальчики/девочки)	29/8	19/11
Оценка по шкале ASA I/II класс	20/17	20/10
Длительность анестезии, мин	92±15	85±23
Инфузионная терапия, мл/кг в час	8,8±1,7	7,3±2,0
Температура тела до исследования, °C	36,6±0,4	36,8±0,7

Примечание: температура воздуха в операционной во время исследования 24 °C.

полу, физическому статусу, оцениваемому по ASA, ввиду оперативных вмешательств, длительности анестезии, составу и количеству инфузионных растворов, переливаемых интраоперационно, а также по температуре тела. Больные в группах также не различались по травматичности оперативных вмешательств. Для поддержания водно-электролитного баланса детям проводилась инфузия 0,9% физиологическим раствором (1-я группа — $8,8 \pm 1,7$ мл/кг в час; 2-я группа — $7,3 \pm 2,0$ мл/кг в час — различия статистически достоверными не были). Проводимые операции не сопровождались кровопотерей, требующей замещения компонентами крови и кровезаменителями. Известно, что на микроциркуляцию кожи влияет не только температура тела, но и температура окружающей среды, поэтому в операционной поддерживалась средняя температура 24°C , а температура тела пациентов до исследования не имела статистически значимых различий при сравнении между группами (1-я группа — $36,6 \pm 0,4^\circ\text{C}$; 2-я группа — $36,8 \pm 0,7^\circ\text{C}$).

Для изучения влияния анестетиков на микроциркуляцию в исследовании использовали метод ЛДФ аппаратом «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПП «Лазма», Россия, регистр. удостоверение № РЗН 2018/7853 от 26.11.2018 г.). Для проведения ЛДФ использовался гелий-неоновый лазер, длиной волны от 630 до 800 нм. Метод ЛДФ позволял определять средние показатели: микроциркуляции (ПМ), нутритивный кровоток (М нутр.) и шунтирующий кровоток (М шунт.), измеряемые в

перфузионных единицах (п.е.). Средняя величина ПМ была пропорциональна произведению числа эритроцитов на среднюю скорость их движения в области зондирования. Средние значения М нутр. отражают снижение или повышение перфузии в МЦ-звене, участвующем в транскапиллярном обмене. Среднее арифметическое значение М шунт. характеризует кровоток в МЦ-русле, не участвующем в транскапиллярном обмене. На рисунке 1 представлена схема работы беспроводного анализатора микроциркуляции крови «Лазма ПФ», оценивающего состояние микроциркуляции и температуру кожи в области подошвенной поверхности большого пальца стопы и передающего данные на компьютер с использованием технологии Bluetooth. Результаты исследования ПМ, М нутр. и М шунт. анализировались на двух этапах: 1-й этап — исходные значения (до проведения анестезии); 2-й этап — в ходе поддержания анестезии ингаляционными анестетиками.

Для анализа полученных результатов исследования использовалась шкала нарушений микроциркуляции по отклонениям ПМ от нормы: до 20% — нет нарушений; от 21 до 50% — умеренные нарушения; более 51% — выраженные нарушения. Оценку показателей гемодинамики (ЧСС, АД инв., индекс перфузии — ИП) проводили с помощью монитора MP 60 (Philips, США). Измерение ИП методом фотоплетизмографии сегодня интегрировано во все современные мониторы, метод чувствителен к ноцицептивным параметрам во время общей анестезии и способен информативно отражать периферический кровоток [14].

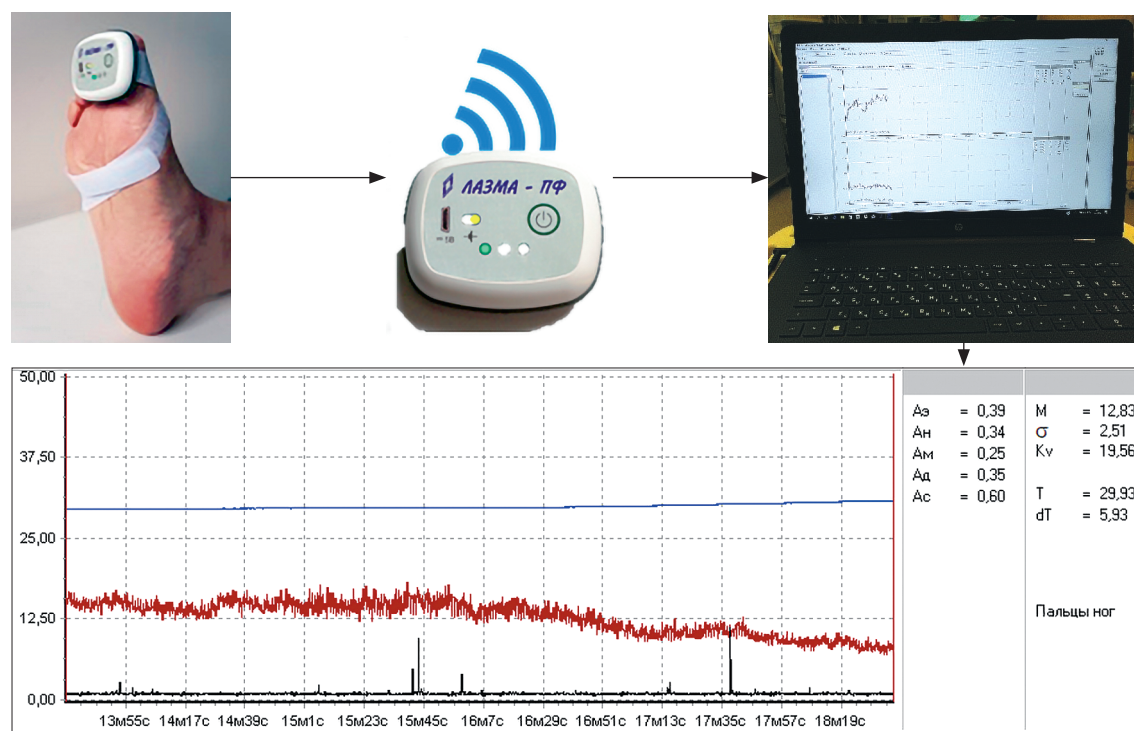


Рис. 1. Схема работы беспроводного анализатора микроциркуляции крови «Лазма ПФ» с беспроводной передачей данных о микроциркуляции в области подошвенной поверхности большого пальца стопы с анализатора на компьютер по системе Bluetooth. Согласно рекомендациям разработчиков метода ЛДФ, для объективного анализа получаемых результатов регистрация значений на этапах исследования проводилась не менее 5 минут

Статистическую обработку данных выполнили с помощью пакетов программ Excel, StatSoft Statistica v6.0 и Multilingual SPSS 11.0. Использовались также методы статистического анализа: критерий Колмогорова–Смирнова, критерий Вилкоксона. Коэффициент корреляции определяли по Спирмену. Критическое значение уровня статистической значимости принимали равным 5% ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На 1-м этапе исследования регистрацию значений ПМ проводили в предоперационной, продолжительностью 10 ± 2 минут, а на 2-м этапе для анализа брались данные значений, регистрируемые не ранее чем через 20 минут после вводной анестезии, так как индукционные препараты оказывают влияние на показатели центральной и периферической гемодинамики. Результаты исследования показателей гемодинамики представлены в таблице 2.

Согласно данным таблицы 2, средние показатели гемодинамики (ЧСС, АД сист., АД диаст., АД ср., ИП) на 1-м этапе исследования при межгрупповом сравнении не имели статистически значимой разницы. Учитывая отсутствие статистически значимых различий, показатели 1-го этапа являлись контрольными для сравнения со средними значениями 2-го этапа. Анализ динамики средних величин макрогемодинамики на этапах исследования в 1-й группе не выявил статистически значимой разницы в значениях за исключением ИП. Средние значения ИП в 1-й группе на 2-м этапе исследования были статистически достоверно выше ($p < 0,05$) в 5 раз по сравнению с 1-м этапом ($3,73 \pm 0,93$ ЕД; $0,69 \pm 0,3$ ЕД соответственно). Во 2-й группе, так же как и в 1-й группе, не было выявлено статистически достоверных различий в средних значениях показателей гемодинамики, но показатель ИП на 2-м этапе был также статистически значимо выше ($p < 0,05$) в 6 раз по сравнению

с 1-м этапом исследования ($0,68 \pm 0,5$ ЕД и $4,3 \pm 1,5$ ЕД соответственно). Статистически значимое увеличение ИП в обеих группах свидетельствует о том, что анестетики, используемые для поддержания анестезии (Се + N_2O и Хе), увеличивают объем периферического кровотока. Механизмы воздействия на периферический кровоток во время анестезии различны: тонус симпатической нервной системы, сердечный выброс, сосудистый тонус, объем сосудистой жидкости и т.д. [17]. Увеличение капиллярного кровотока при анестезии Се + N_2O обусловлено воздействием ГСА на общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), что подтверждают ранее проведенные исследования [12]. Сочетание ГСА с N_2O позволяет снижать МАК Се на 30%, что оказывает меньшее влияние на ОПСС и органную перфузию. Механизм стабильности гемодинамики и улучшения тканевой перфузии при анестезии Хе иной, он обеспечивается улучшением лузитропной функции миокарда, что проявляется увеличением фракции выброса левого желудочка, минутного объема сердца и ударного объема [1].

В отличие от ИП, определяемого с помощью фотоплетизмографии, метод ЛДФ позволяет по анализу тонуса артериол и прекапиллярных сфинктеров оценить не только ПМ в зондируемой области, но и М нутр., а также М шунт. кровотока в МЦР [5]. Результаты проведенного исследования по влиянию анестетиков на данные показатели микроциркуляции с помощью метода ЛДФ представлены в таблице 3.

Согласно представленным данным таблицы 3, у пациентов 1-й группы средние значения ПМ на 1-м и 2-м этапах исследования не имели статистически значимых различий ($16,5 \pm 10,5$ п.ед. и $13,1 \pm 7,4$ п.ед. соответственно). Отсутствие статистически значимых различий в средних значениях ПМ на этапах исследования свидетельствует о том, что поддержание анестезии Се в концентрации 2 об% с N_2O и дробным введением фентанила не оказывают влияния на микроциркуляцию кожи в ходе операции у детей. Анализ средних величин М нутр. и М шунт. в 1-й группе на 1-м и 2-м этапах исследования показал отсутствие статистически значимых различий в значениях (М нутр. — $6,6 \pm 5,5$ п.ед. и $5,4 \pm 3,6$ п.ед. соответственно; М шунт. —

Таблица 2

Сравнительная оценка показателей гемодинамики (М $\pm\sigma$) на этапах исследования

Показатели гемодинамики	1-я группа		2-я группа	
	1-й этап	2-й этап	1-й этап	2-й этап
ЧСС, уд./мин	$100,5 \pm 19,4$	$104,5 \pm 25,8$	$110,1 \pm 19,3$	$98,2 \pm 13,2$
АД сист., мм рт.ст.	$117,2 \pm 16,9$	$115,1 \pm 22,9$	$100,1 \pm 10,3$	$114,2 \pm 17,4$
АД диаст., мм рт.ст.	$68,4 \pm 17,5$	$63,1 \pm 11,6$	$51,4 \pm 9,9$	$63,3 \pm 12,6$
АД ср., мм рт.ст.	$78,8 \pm 16,7$	$72,8 \pm 11,0$	$62,2 \pm 8,4$	$74,9 \pm 11,6$
ИП, ЕД	$0,69 \pm 0,3^*$	$3,73 \pm 0,93^*$	$0,68 \pm 0,5^*$	$4,3 \pm 1,5^*$

Примечание: * — $p < 0,05$ различия статистически достоверны при сравнении показателей 1-го этапа исследования со 2-м этапом в группах.

Таблица 3

Сравнительная оценка показателя микроциркуляции (М $\pm\sigma$) и кровотока на этапах исследования

Показатели микроциркуляции	1-я группа (Се + N_2O)			2-я группа (Хе)		
	1-й этап	2-й этап	p	1-й этап	2-й этап	p
ПМ, п.ед.	$16,5 \pm 10,5$	$13,1 \pm 7,4$	0,10	$18,7 \pm 8,8^*$	$13,3 \pm 7,6^*$	0,02
М нутр., п.ед.	$6,6 \pm 5,5$	$5,4 \pm 3,6$	0,20	$8,4 \pm 5,6$	$6,0 \pm 4,5$	0,10
М шунт., п.ед.	$9,9 \pm 5,9$	$7,6 \pm 4,8$	0,07	$9,8 \pm 4,7^*$	$6,8 \pm 4,1^*$	0,02

Примечание: М нутр. — среднее значение нутритивного кровотока; М шунт. — среднее значение шунтового кровотока; ПМ — среднее арифметическое значение показателя микроциркуляции за время измерения; * — $p < 0,05$ различия статистически достоверны по сравнению с 1-м этапом исследования.

9,9±5,9 п.ед. и 7,6±4,8 п.ед. соответственно). Отсутствие статистически достоверной разницы в средних значениях М нутр. и М шунт. на этапах исследования в 1-й группе доказывает, что нутритивный кровоток, участвующий в транскапиллярном обмене, и шунтовой при поддержании анестезии Се с N₂O с внутривенным введением фентанила не изменяется.

Анализируя аналогичные показатели во 2-й группе (табл. 3), видим, что средние значения ПМ на 1-м этапе исследования статистически достоверно ($p < 0,02$) выше, чем на 2-м этапе (18,7±8,8 и 13,3±7,6 п.ед. соответственно). Статистически достоверное снижение ПМ на 29% во время 2-го этапа исследования по сравнению с 1-м этапом доказывает, что поддержание комбинированной анестезии Хе в концентрации 55–60% с внутривенным введением фентанила в дозе 2,5–3,0 мкг/кг в час вызывает «умеренные изменения» микроциркуляции, не влияющие на транскапиллярный обмен, так как средние величины М нутр. на 1-м и 2-м этапе исследования (8,4±5,6; 6,0±4,5 п.ед. соответственно) не имеют статистически значимой разницы. Анализируя средние значения М шунт. во 2-й группе, было выявлено статистически значимое ($p < 0,02$) снижение шунтирующего кровотока на 29% во время 2-го этапа по сравнению с 1-м этапом (9,8±4,7 п.ед.; 6,8±4,1 п.ед. соответственно). Исходя из полученных результатов, можно заключить, что снижение средних величин М шунт., свидетельствующее о повышении тонуса (спазм) артериол, обуславливает перераспределение крови в нутритивный кровоток, обеспечивая тем самым удовлетворительный транскапиллярный обмен при поддержании анестезии Хе. Как видно из таблицы 3, сравнительный анализ средних значений ПМ в исследуемых группах на 2-м этапе исследования не выявил статистически значимых различий (1-я группа — 13,09±7,41 п.ед.; 2-я группа — 13,33±7,69 п.ед.), что свидетельствует о том, что поддержание комбинированной анестезии Се 2 об% + N₂O + O₂ в 1-й группе и Хе 55 – 65% + O₂ во 2-й группе не имеют преимуществ друг перед другом по влиянию на микроциркуляцию при реконструктивно-пластических операциях у детей.

ВЫВОДЫ

1. Поддержание комбинированной анестезии севофлураном с закисью азота и фентанилом в сравнении с ксеноном и фентанилом не имеют преимуществ по влиянию на микроциркуляцию и транскапиллярный обмен при плановых операциях у детей.

2. Обе методики поддержания анестезии могут быть рекомендованы для проведения кожных реконструктивно-пластических операций у детей.

ЛИТЕРАТУРА

- Александрович Ю.С., Пшениснов К.В. Ингаляционная анестезия у детей. Пособие для врачей. СПб.: СПбГПМУ; 2020.
- Александрович Ю.С., Пшениснов К.В. Анестезия в педиатрии. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2013.
- Быков М.В., Багаев В.Г., Амчеславский В.Г. Гемодинамические эффекты при анестезии ксеноном у детей. Педиатрическая фармакология. 2014; 11(3): 42–7.
- Козлов В.И. Система микроциркуляции крови: клинко-морфологические аспекты изучения. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2006; 5(1): 84–101.
- Корнеева Н.В., Сиротин Б.З. Влияние прекращения курения на параметры микроциркуляторного русла при инфаркте миокарда. Дальневосточный медицинский журнал. 2018; 1: 13–7.
- Крупаткин А.И. Значение колебательных процессов в диагностике состояния микроциркуляторно-тканевых систем. Физиология человека. 2018; 44(5): 103–14. DOI: 10.1134/S0131164618050077.
- Крупаткин А.И., Сидоров В.В., ред. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей. М.: Медицина; 2005.
- Литвицкий П.Ф. Нарушения регионарного кровотока и микроциркуляции. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2020; 19(1): 82–92. DOI: 10.24884/1682-6655-2020-19-1-82-92.
- Поленов С.А. Основы микроциркуляции. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2008; 7(1): 5–19.
- Пшениснов К.В., Александрович Ю.С., Козубов М.Ю. Ингаляционная седация у детей в отделении интенсивной терапии. Анестезиология и реаниматология. Медиа Сфера. 2021; 3: 69–76.
- Федорович А.А. Функциональное состояние регуляторных механизмов микроциркуляторного кровотока в норме и при артериальной гипертензии по данным лазерной доплеровской флоуметрии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2010; 9(1): 49–60. DOI: 10.24884/1682-6655-2010-9-1-49-60.
- Braverman I.M. The cutaneous microcirculation: ultrastructure and microanatomical organization. Microcirculation. 1997; 4(3): 329–40. DOI: 10.3109/10739689709146797.
- Černý V., Turek Z., Pařízková R. Orthogonal Polarization Spectral Imaging. Physiol. Res. 2007; 56(2): 141–7. DOI: 10.33549/physi-olres.930922.
- Cytometrics Inc. Available at: <http://www.cytometrics.com> (accessed: 15 September 2019).
- Hager H., Reddy D., Kurz A. Perfusion index — a valuable tool to assess changes in peripheral perfusion caused by sevofluran. Anesthesiology. 2003; 99: A593.
- Jhanji S., Lee C., Watson D., Hinds C., Pearse R.M. Microvascular flow and tissue oxygenation after major abdominal surgery: association with post-operative complications. Intensive Care Med. 2009; 35(4): 671–7. DOI: 10.1007/s00134-008-1325-z.
- Li S.Q., Luo B.R., Wang B.G. Correlation of tip perfusion index with hemodynamics and catecholamines in patients undergoing general anesthesia. Zhonghua Yi Xue Za Zhi. 2008; 88(17): 1177–80.
- Malan T.P. Jr., DiNardo J.A., Isner R.J. et al. Cardiovascular effects of sevoflurane compared with those of isoflurane in volunteers. Anesthesiology. 1995; 83(5): 918–28. DOI: 10.1097/0000542-199511000-00004.
- Microvision Medical. Available at: <http://www.microvisionmedical.com> (accessed: 15 September 2019).
- Mizuno J., Morita Y., Kakinuma A., Sawamura S. General anaesthesia induction using general anaesthetic agents and opioid analge-

- sics increases Perfusion Index (PI) and decreases Pleth Variability Index (PVI): Observational clinical study. *Sri Lankan Journal of Anaesthesiology*. 2012; 20(1): 7–12. DOI: 10.4038/slja.v20i1.3664.
21. O'Riordan J., O'Beirne H.A., Yang Y., Bellamy M.C. Effects of desflurane and isoflurane on splanchnic microcirculation during major surgery. *Br J Anaesth*. 1997; 78(1): 95–6. DOI: 10.1093/bja/78.1.95.
 22. Tikhonova I.V., Tankanag A.V., Chemeris N.K. Time-amplitude analysis of skin blood flow oscillations during the post-occlusive reactive hyperemia in human. *Microvascular Research*. 2010; 80(1): 58–64. DOI: 10.1016/j.mvr.2010.03.010.
 23. Toller W.G., Gross E.R., Kersten J.R. et al. Sarcolemmal and mitochondrial adenosine triphosphate-dependent potassium channels: mechanisms of desflurane-induced cardioprotection. *Anesthesiology*. 2000; 92(6): 1731–9. DOI: 10.1097/00000542-200006000-00033.
 24. Turek Z., Sykora R., Matejovic M., Cerny V. Anesthesia and the Microcirculation. *Seminars in cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2009; 13(4): 249–58. DOI: 10.1177/1089253209353134.
 10. Pshenishov K.V., Aleksandrovich Yu.S., Kozubov M.Yu. Ingalyatsionnaya sedatsiya u detey v otdelenii intensivnoy terapii [Inhalation sedation in children in intensive care unit]. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*. 2021; (3): 69–76. <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202103169>. (in Russian).
 11. Fedorovich A.A. Funktsional'noye sostoyaniye regul'yatornykh mekhanizmov mikrotsirkulyatornogo krovotoka v norme i pri arterial'noy gipertenzii po dannym lazernoy dopplerovskoy floumetrii [The functional state of regulatory mechanisms of the microcirculatory blood flow in normal conditions and in arterial hypertension according to laser Doppler flowmetry]. *Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya*. 2010; 9(1): 49–60. DOI: 10.24884/1682-6655-2010-9-1-49-60. (in Russian).
 12. Braverman I.M. The cutaneous microcirculation: ultrastructure and microanatomical organization. *Microcirculation*. 1997; 4(3): 329–40. DOI: 10.3109/10739689709146797.
 13. Černý V., Turek Z., Pařízková R. Orthogonal Polarization Spectral Imaging. *Physiol. Res*. 2007; 56(2): 141–7. DOI: 10.33549/physiolres.930922.
 14. Cytometrics Inc. Available at: <http://www.cytometrics.com> (accessed: 15 September 2019).
 15. Hager H., Reddy D., Kurz A. Perfusion index — a valuable tool to assess changes in peripheral perfusion caused by sevofluran. *Anesthesiology*. 2003; 99: A593.
 16. Jhanji S., Lee C., Watson D., Hinds C., Pearse R.M. Microvascular flow and tissue oxygenation after major abdominal surgery: association with post-operative complications. *Intensive Care Med*. 2009; 35(4): 671–7. DOI: 10.1007/s00134-008-1325-z.
 17. Li S.Q., Luo B.R., Wang B.G. Correlation of tip perfusion index with hemodynamics and catecholamines in patients undergoing general anesthesia. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2008; 88(17): 1177–80.
 18. Malan T.P. Jr., DiNardo J.A., Isner R.J. et al. Cardiovascular effects of sevoflurane compared with those of isoflurane in volunteers. *Anesthesiology*. 1995; 83(5): 918–28. DOI: 10.1097/00000542-199511000-00004.
 19. Microvision Medical. Available at: <http://www.microvisionmedical.com> (accessed: 15 September 2019).
 20. Mizuno J., Morita Y., Kakinuma A., Sawamura S. General anaesthesia induction using general anaesthetic agents and opioid analgesics increases Perfusion Index (PI) and decreases Pleth Variability Index (PVI): Observational clinical study. *Sri Lankan Journal of Anaesthesiology*. 2012; 20(1): 7–12. DOI: 10.4038/slja.v20i1.3664.
 21. O'Riordan J., O'Beirne H.A., Yang Y., Bellamy M.C. Effects of desflurane and isoflurane on splanchnic microcirculation during major surgery. *Br J Anaesth*. 1997; 78(1): 95–6. DOI: 10.1093/bja/78.1.95.
 22. Tikhonova I.V., Tankanag A.V., Chemeris N.K. Time-amplitude analysis of skin blood flow oscillations during the post-occlusive reactive hyperemia in human. *Microvascular Research*. 2010; 80(1): 58–64. DOI: 10.1016/j.mvr.2010.03.010.
 23. Toller W.G., Gross E.R., Kersten J.R. et al. Sarcolemmal and mitochondrial adenosine triphosphate-dependent potassium channels: mechanisms of desflurane-induced cardioprotection. *Anesthesiology*. 2000; 92(6): 1731–9. DOI: 10.1097/00000542-200006000-00033.
 24. Turek Z., Sykora R., Matejovic M., Cerny V. Anesthesia and the Microcirculation. *Seminars in cardiothoracic and vascular anesthesia*. 2009; 13(4): 249–58. DOI: 10.1177/1089253209353134.

REFERENCES

1. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishov K.V. Ingalyatsionnaya anesteziya u detey [Inhalation anesthesia in children]. *Posobie dlja vrachej*. Sankt-Peterburg: SPbGPMU Publ.; 2020.
2. Aleksandrovich Yu.S., Pshenishov K.V. Anesteziya v pediatrii [Anesthesia in Pediatrics]. Sankt-Peterburg: ELBI-SPb Publ.; 2013.
3. Bykov M.V., Bagaev V.G., Amcheslavskiy V.G. Gemodinamicheskiye efekty pri anestezii ksenonom u detey [Hemodynamic effects of xenon anesthesia in children]. *Pediatricheskaya farmakologiya*. 2014; 11(3): 42–7. (in Russian).
4. Kozlov V.I. Sistema mikrotsirkulyatsii krovi: kliniko-morfologicheskiye aspekty izucheniya [The System of Microcirculation: Clinical-Morphological Aspects of Studying]. *Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya*. 2006; 5(1): 84–101. (in Russian).
5. Korneeva N.V., Sirotin B.Z. Vliyaniye prekrashcheniya kureniya na parametry mikrotsirkulyatornogo rusla pri infarkte miokarda [Effect of Smoking Cessation on the Parameters of the Microcirculatory Bed in Patients with Myocardial Infarction]. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 2018; 1: 13–7. (in Russian).
6. Krupatkin A.I. Znacheneye kolebatel'nykh protsessov v diagnostike sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem [Oscillatory processes in the diagnosis of the state of microvascular-tissue systems]. *Fiziologiya cheloveka*. 2018; 44(5): 103–14. DOI: 10.1134/S0131164618050077.
7. Krupatkin A.I., Sidorov V.V., eds. Lazernaya doplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsii krovi. [Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation]. *Rukovodstvo dlya vrachej*. Moscow: Medicina Publ.; 2005. (in Russian).
8. Litvickij P.F. Narusheniya regionarnogo krovotoka i mikrotsirkulyatsii [Regional blood flow and microcirculation disorders]. *Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya*. 2020; 19(1): 82–92. DOI: 10.24884/1682-6655-2020-19-1-82-92. (in Russian).
9. Polenov S.A. Osnovy mikrotsirkulyatsii [Basical aspects of microcirculation]. *Regionarnoye krovoobrashcheniye i mikrotsirkulyatsiya*. 2008; 7(1): 5–19. (in Russian).

