

doi : 10.52485/19986173_2026_2_13

УДК: 617.52-089:616-089.5:616-005.1

3.1.12 – Анестезиология и реаниматология (медицинские науки).

¹Гайдаров А.Е., ¹Кулигин А.В., ¹Семенова Е.С., ²Кобзарь И.Г., ¹Зеулина Е.Е.

ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ У ПАЦИЕНТОК С ОЖИРЕНИЕМ ПРИ ЛИПОСАКЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ СИСТЕМНОЙ АБСОРБЦИИ АДРЕНАЛИНА НА ФОНЕ ОБЩЕЙ АНЕСТЕЗИИ

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Министерства здравоохранения РФ, 410012, Россия, Саратовская область, г. Саратов, ул. Большая Казачья, 112;

²Общество с ограниченной ответственностью «Многопрофильный медицинский центр», 353460, Россия, Краснодарский край, г. Геленджик, ул. Мира, д. 23

Резюме.

Цель: определить характер изменений функциональных показателей сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции у пациенток с ожирением при липосакции под влиянием системной абсорбции адреналина на фоне общей анестезии.

Материалы и методы. Проведено проспективное рандомизированное исследование, включающее 60 пациенток с ожирением II–III степени, которым выполнялась липосакция объёмом более 4000 мл. Использованы 3 способа поддержания общей анестезии – с использованием севофлурана, десфлурана, и на основе пропофола. В интраоперационном периоде проводилась оценка системных реакций сердечно-сосудистой системы, включающая частоту сердечных сокращений (ЧСС) и среднее артериальное давление. Непрерывный мониторинг микроциркуляции осуществлялся методом лазерной доплеровской флоуметрии. Исследование выполнялось на 3-х этапах: до анестезии (Т1), после инфильтрации раствора (Т2) и во время липоаспирации (Т3). Интраоперационная кровопотеря определялась по концентрации гемоглобина в жидкой фракции липоаспирата.

Результаты. Системная абсорбция адреналина при липосакции сопровождается фазной реакцией микроциркуляции с усилением пульсационной составляющей кровотока. На этапе инфильтрации подкожно-жировой клетчатки тумесцентным раствором регистрировалось достоверное увеличение показателя микроциркуляции (М) и ЧСС, наиболее выраженное при ингаляционной анестезии. Рост М сочетался с увеличением влияния сердечного механизма регуляции и снижением эндотелиального компонента в формировании показателя. Выявлена прямая зависимость между ЧСС и объёмом интраоперационной кровопотери. При ЧСС ≥ 90 уд./мин. кровопотеря превышала 500 мл, при ЧСС ≥ 100 уд./мин. – 800 мл. Значения М более 25 усл. ед. ассоциировались с выраженной гиперперфузией и увеличением кровопотери на 30%. Ингаляционные анестетики потенцировали выявленные изменения, пропофол снижал выраженность этих проявлений.

Заключение. Системная абсорбция адреналина при тумесцентной инфильтрации сопровождается выраженными фазными изменениями микроциркуляции и функциональных показателей сердечно-сосудистой системы, проявляющимися тахикардией, усилением тканевой перфузии и доминированием сердечного механизма в регуляции микрокровотока. Степень этих реакций коррелирует с объёмом интраоперационной кровопотери и зависит от метода анестезии. Выявленные закономерности необходимо учитывать при выборе анестезиологической тактики, а контроль ЧСС использовать в качестве управляемого фактора профилактики кровопотери при липосакции.

Ключевые слова: липосакция, адреналин, микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия, тахикардия, кровопотеря

¹Gajdarov A.E., ¹Kuligin A.V., ¹Semenova E.S., ²Kobzar' I.G., ¹Zeulina E.E.

CHANGES IN FUNCTIONAL PARAMETERS OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM AND MICROCIRCULATION IN OBESE FEMALE PATIENTS UNDERGOING LIPOSUCTION UNDER THE INFLUENCE OF SYSTEMIC EPINEPHRINE ABSORPTION DURING GENERAL ANESTHESIA

¹*Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Ministry of Health of the Russian Federation, 112 Bolshaya Kazachya St., Saratov, Russia, 410012;*

²*LLC Multidisciplinary Medical Center, 23 Mira St, Gelendzhik, Krasnodar Territory, 353460*

Abstract.

The aim of the research: Was to determine the nature of changes in functional parameters of the cardiovascular system and microcirculation in obese female patients undergoing liposuction under the influence of systemic epinephrine absorption during general anesthesia.

Materials and methods. A prospective randomized study was conducted in 60 obese female patients with grade II–III obesity who underwent liposuction of more than 4000 mL. Three methods of maintaining general anesthesia were used: sevoflurane, desflurane, and propofol-based anesthesia. During the intraoperative period, systemic cardiovascular responses, including heart rate (HR) and mean arterial pressure, were assessed. Continuous microcirculation monitoring was performed using laser Doppler flowmetry. The study was carried out in three phases: before anesthesia (T1), after solution infiltration (T2), and during lipoaspiration (T3). Intraoperative blood loss was determined based on the hemoglobin concentration in the liquid fraction of the lipoaspirate.

Results. Systemic epinephrine absorption during liposuction is accompanied by a phased microcirculatory response with an increase in the pulsatile component of blood flow. At the stage of subcutaneous adipose tissue infiltration with tumescent solution, a significant increase in the microcirculation index (M) and heart rate (HR) was recorded, which was most pronounced during inhalational anesthesia. The increase in M was associated with an enhanced influence of the cardiac regulatory mechanism and a decrease in the endothelial component contributing to the index. A direct correlation was found between HR and the volume of intraoperative blood loss. When HR was ≥ 90 bpm, blood loss exceeded 500 mL; when HR was ≥ 100 bpm, blood loss exceeded 800 mL. M values exceeding 25 arbitrary units were associated with marked hyperperfusion and a 30% increase in blood loss. Inhalational anesthetics potentiated the observed changes, whereas propofol reduced the severity of these manifestations.

Conclusion. Systemic epinephrine absorption during tumescent infiltration is accompanied by pronounced phasic changes in microcirculation and functional parameters of the cardiovascular system, manifesting as tachycardia, increased tissue perfusion, and predominance of the cardiac mechanism in the regulation of microvascular blood flow. The degree of these reactions correlates with the volume of intraoperative blood loss and depends on the anesthesia method. The identified patterns should be taken into account when selecting anesthetic management, and heart rate monitoring should be used as a modifiable factor for the prevention of blood loss during liposuction.

Keywords: liposuction, epinephrine, microcirculation, laser Doppler flowmetry, tachycardia, blood loss

Актуальность. Липосакция остаётся одной из наиболее востребованных эстетических операций. В последние годы отмечается устойчивое увеличение числа вмешательств среднего и большого объёма у пациентов с избыточной массой тела [1–3]. Широкое внедрение инфильтрационного раствора, содержащего местный анестетик и адреналин, позволило существенно повысить безопасность вмешательства. Адреналин обеспечивает выраженный локальный вазоконстрикторный эффект, уменьшает интраоперационную кровопотерю и облегчает липоаспирацию [4, 5]. Однако адреналин, вводимый в значительных количествах в подкожно-жировую клетчатку, способен абсорбироваться в системный кровоток и вызывать гемодинамические и микроциркуляторные изменения, клиническую значимость которых необходимо учитывать у пациенток с ожирением [6, 7].

Особое внимание привлекает феномен двухфазного сосудистого ответа на адреналин. Первичная

α -адренергическая вазоконстрикция сменяется β_2 -опосредованной вазодилатацией, что сопровождается увеличением тканевой перфузии и тахикардией [8–10]. Такая последовательность реакций формирует фазовый характер гемодинамических изменений, однако их временная структура и физиологические последствия при липосакции большого объёма остаются недостаточно изученными. В доступной литературе преобладают сведения о локальном сосудосуживающем действии адреналина, тогда как его системный эффект у пациенток с ожирением исследовался недостаточно [7, 10].

В клинической практике принято, что на выраженность гемодинамических реакций можно воздействовать выбором вида обезболивания и применяемыми методиками анестезии. Ингаляционные анестетики, такие как севофлуран и десфлуран, обладают вазодилатирующим действием, а их использование нередко сопровождается увеличением частоты сердечных сокращений (ЧСС) [9, 11]. Тотальная внутривенная анестезия на основе пропофола характеризуется отрицательным хронотропным эффектом и большей стабильностью системной гемодинамики [9, 12]. Вопрос о выборе анестетика с положительным влиянием на фазные изменения микроциркуляции и системного кровотока на фоне действия адреналина остаётся открытым.

Клинические наблюдения указывают, что у пациентов с ожирением адреналин вызывает выраженную тахикардию и усиление микроциркуляции, что способствует повышенному капиллярному кровотоку во время липоаспирации. Количественные оценки таких связей практически отсутствуют [7, 13]. Определение пороговых уровней гемодинамических и микроциркуляторных показателей, ассоциированных с опасностью гиперперфузии и риском значимой кровопотери, имеет важное значение для обоснования выбора анестезиологического обеспечения липосакции [14, 15].

Комплексное исследование системных и микроциркуляторных реакций на введение адреналина при липосакции большого объёма, выполненное с использованием лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) [16–18], позволяет количественно оценить динамику перфузии тканей и характер изменений регуляторных механизмов микроциркуляции. Такой подход обеспечивает возможность выявить фазную структуру гемодинамического ответа, определить значимость отдельных компонентов регуляции микроциркуляции и установить связь с величиной интраоперационной кровопотери [16, 17].

Цель исследования: определить характер изменений функциональных показателей сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции у пациенток с ожирением при липосакции под влиянием системной абсорбции адреналина на фоне общей анестезии.

Материалы и методы. Проспективное рандомизированное исследование выполнено на базе «Многопрофильного медицинского центра» г. Геленджик в 2022–2025 гг. Протокол одобрен локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО СГМУ им. В.И. Разумовского (протокол № 2 от 16.09.2022). Все пациентки подписали информированное согласие. В исследование были включены 60 женщин в возрасте 18–45 лет с ожирением II–III степени (индекс массы тела (ИМТ) – 35–45 кг/м²), которым выполнялась липосакция большим объёмом. Критериями исключения являлись анемия, декомпенсированные сопутствующие заболевания, нарушения гемостаза и высокий риск тромбоэмболических осложнений. Сравнительный анализ исходных параметров, представленный в таблице 1, не выявил различий между группами.

Таблица 1.

Демографическая характеристика пациенток в исследуемых группах

Показатель	Этап	Севофлуран (n = 20)	Десфлуран (n = 20)	Пропофол (n = 20)	p-value
срАД, мм рт. ст.	T ₁	91 [85; 96]	88 [83; 92]	90 [84; 95]	0,41
	T ₂	83 [75; 90]	81 [72; 89]	85 [78; 91]	0,32
	T ₃	84 [76; 92]	78 [70; 85]	80 [74; 88]	0,27
ЧСС, уд/мин	T ₁	79 [74; 84]	78 [73; 82]	77 [72; 81]	0,57
	T ₂	110 [102; 118]	108 [101; 114]	102 [95; 110]	0,014
	T ₃	116 [105; 125]	96 [92; 100]	100 [95; 105]	0,021

М, усл. ед.	T ₁	19,5 [17,8; 22,1]	20,1 [18,2; 22,5]	19,1 [17,5; 21,0]	0,178
	T ₂	28,9 [26,7; 31,5]	25,9 [23,8; 28,1]	21,2 [19,6; 22,9]	<0,001
	T ₃	25,0 [23,8; 26,4]	24,6 [22,9; 26,3]	19,4 [17,9; 21,3]	0,009
Эндотелиальный компонент, %	T ₁	24–27%	24–27%	24–27%	0,63
	T ₂	12–14%	14–16%	18–20%	<0,001
	T ₃	8–10%	9–11%	14–16%	<0,001
Сердечный компонент, %	T ₁	42–45%	42–45%	42–45%	0,55
	T ₂	63–67%	63–66%	58–60%	<0,001
	T ₃	72–76%	70–73%	61–63%	<0,001

Примечание: данные представлены в виде Me [Q1; Q3]. p — межгрупповые различия (критерий Краскела–Уоллиса). При $p < 0,05$ выполняли попарные сравнения с использованием критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Эндотелиальный и сердечный компоненты указаны в процентах от общей мощности спектра.

Пациентки распределялись методом простой рандомизации на три группы в зависимости от метода поддержания общей анестезии – с использованием севофлурана, десфлурана и на основе пропофола. Анестезия проводилась по унифицированному протоколу, основанному на методических рекомендациях Федерации анестезиологов-реаниматологов: «Периоперационное ведение пациентов с сопутствующим морбидным ожирением» от 2020 г. Во время общего обезболивания использовали стандартную индукцию, контролируемую вентиляцию лёгких, мониторинг нейромышечной проводимости и биспектральный индекс. В качестве анальгетического компонента применяли фентанил. Интраоперационное ведение соответствовало принципам концепции ускоренного восстановления после хирургического вмешательства и включало целенаправленно ограниченную инфузионную терапию сбалансированными кристаллоидами, активное согревание и поддержание нормотермии.

Липосакция выполнялась в единой технике с применением инфльтрационного раствора, содержащего лидокаин (500 мг/л) и адреналин (1 мг/л). Объём инфльтрации и экспозиция раствора стандартизировались. В ходе операции регистрировали ЧСС, среднее артериальное давление (срАД) с помощью монитора пациента Drager Infinity Delta XL (Германия), показатели микроциркуляции определяли методом ЛДФ. Датчик фиксировали на палец верхней конечности. Исследования выполнялись на трёх этапах: до анестезии (T₁), после инфльтрации раствора (T₂) и во время липоаспирации (T₃). Анализировались показатель микроциркуляции (М) и спектральные компоненты регуляции (эндотелиальный, дыхательный, сердечный, миогенный, нейрогенный).

Интраоперационная кровопотеря определялась на основе анализа жидкой фракции липоаспирата методом Г. Сали с последующим перерасчётом по формуле К.В. Агапова [19]. Повторный анализ крови выполнялся на вторые сутки.

Статистическую обработку данных проводили с использованием непараметрических методов. Количественные данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха – Me [Q1; Q3]. Проверку межгрупповых различий проводили с использованием критерия Краскела–Уоллиса. При выявлении статистически значимых различий выполняли попарные сравнения с применением критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Для анализа внутригрупповой динамики использовали критерий Уилкоксона. Качественные признаки анализировали с использованием критерия χ^2 . Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Дополнительная проверка корректности и интерпретации результатов выполнена с использованием технологий машинного обучения.

Результаты. На предоперационном этапе (T₁) показатели срАД, ЧСС и М в исследуемых группах оставались в пределах физиологической нормы и статистически значимо не различались. Это подтверждало сопоставимость исходных характеристик пациентов, результаты измерений представлены в таблице 2.

Функциональные показатели сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции на этапах T₁–T₃

Показатель	Этап	Севوفлуран (n = 20)	Десфлуран (n = 20)	Пропофол (n = 20)	p-value
срАД, мм рт. ст.	T ₁	91 [85; 96]	88 [83; 92]	90 [84; 95]	0,41
	T ₂	83 [75; 90]	81 [72; 89]	85 [78; 91]	0,32
	T ₃	84 [76; 92]	78 [70; 85]	80 [74; 88]	0,27
ЧСС, уд/мин	T ₁	79 [74; 84]	78 [73; 82]	77 [72; 81]	0,57
	T ₂	110 [102; 118]	108 [101; 114]	102 [95; 110]	0,014
	T ₃	116 [105; 125]	96 [92; 100]	100 [95; 105]	0,021
М, усл. ед.	T ₁	19,5 [17,8; 22,1]	20,1 [18,2; 22,5]	19,1 [17,5; 21,0]	0,178
	T ₂	28,9 [26,7; 31,5]	25,9 [23,8; 28,1]	21,2 [19,6; 22,9]	<0,001
	T ₃	25,0 [23,8; 26,4]	24,6 [22,9; 26,3]	19,4 [17,9; 21,3]	0,009
Эндотелиальный компонент, %	T ₁	24–27%	24–27%	24–27%	0,63
	T ₂	12–14%	14–16%	18–20%	<0,001
	T ₃	8–10%	9–11%	14–16%	<0,001
Сердечный компонент, %	T ₁	42–45%	42–45%	42–45%	0,55
	T ₂	63–67%	63–66%	58–60%	<0,001
	T ₃	72–76%	70–73%	61–63%	<0,001

Примечание: данные представлены в виде Ме [Q1; Q3]. p — межгрупповые различия (критерий Краскела–Уоллиса). При p < 0,05 выполняли попарные сравнения с использованием критерия Манна–Уитни с поправкой Бонферрони. Эндотелиальный и сердечный компоненты указаны в процентах от общей мощности спектра.

После инфльтрации тумесцентного раствора (T₂) отмечалось достоверное усиление тканевой перфузии во всех группах (табл. 2). Наиболее выраженный прирост медианы М зарегистрирован при использовании севофлурана – до 28,9 [26,7; 31,5] усл. ед. (+48%) и десфлурана – до 25,9 усл. ед. [23,8; 28,1] (+29%). При применении пропофола повышение было менее выраженным – до 21,2 [19,6; 22,9] усл. ед. (+11%, p = 0,042). Межгрупповые различия на этапе T₂ были статистически значимыми (p < 0,001).

Во время липоаспирации (T₃) медиана показателя М несколько снижалась по сравнению с T₂ этапом, но оставалась выше исходных значений (25,0 [23,8; 26,4] усл. ед. при севофлуране, 24,6 [22,9; 26,3] усл. ед. при десфлуране, и 19,4 [17,9; 21,3] усл. ед. при пропофоле). Различия между группами сохраняли статистическую значимость (p < 0,01), свидетельствуя о повышении капиллярной перфузии в условиях ингаляционной анестезии. Динамика М на этапах T₁–T₃ в группах анестезии представлена на рисунке 1.

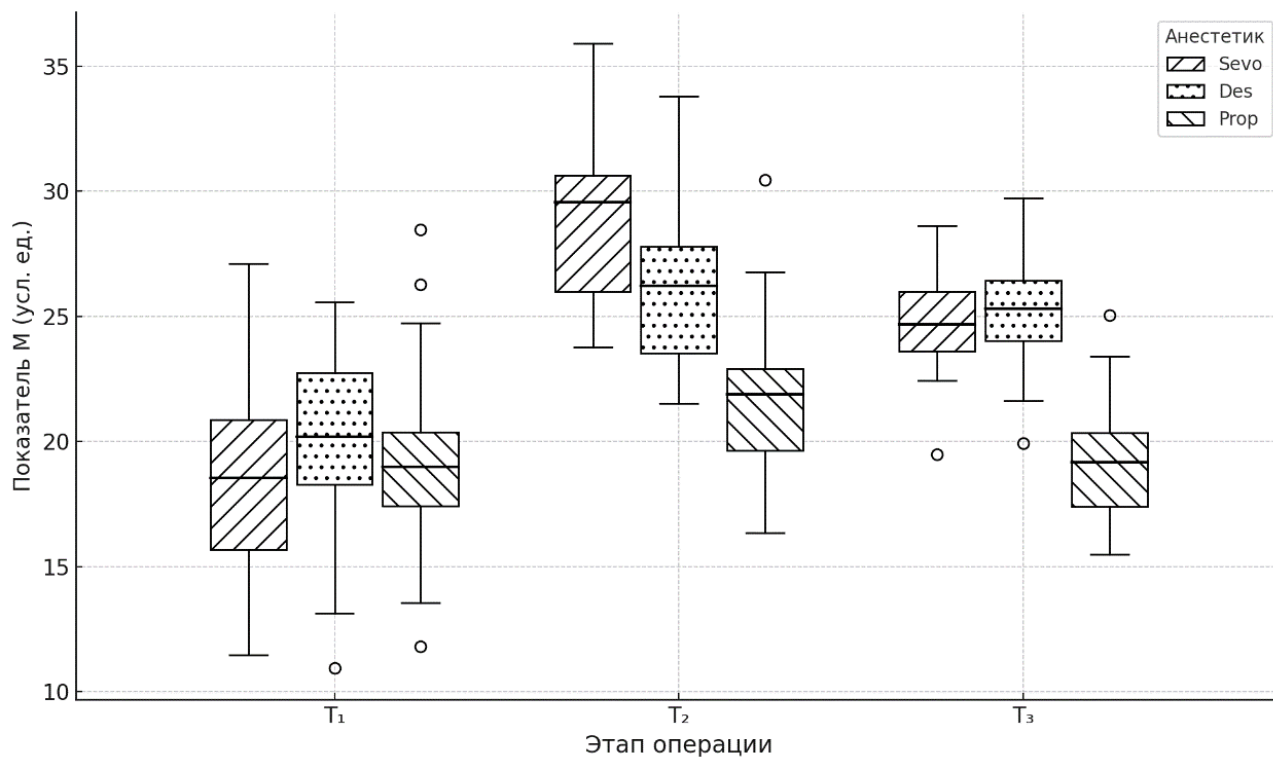


Рисунок 1. Динамика показателя М на этапах Т₁–Т₃ в группах анестезии

Синхронно с усилением микроциркуляции возрастала ЧСС. На этапе Т₂ медиана ЧСС достигала 110 [102; 118] уд/мин при использовании севофлурана, 108 [101; 114] уд/мин – десфлурана и 102 [95; 110] уд/мин при применении пропофола ($p < 0,014$). На этапе Т₃ медиана ЧСС составляла 116 [105; 125]; 96 [92; 100] и 100 [95; 105] уд/мин ($p = 0,021$) соответственно. При этом срАД на этапах Т₂ и Т₃ достоверных межгрупповых различий не демонстрировало ($p > 0,05$), что свидетельствовало о сохранении системной перфузии несмотря на выраженную тахикардию.

Спектральный анализ ЛДФ-сигнала подтвердил характер перестройки микроциркуляторной регуляции. На этапе Т₂ уровень эндотелиального механизма снижался с 24–27% до 12–14% при использовании севофлурана ($p < 0,001$) и до 14–16% – десфлурана ($p < 0,01$), сопровождаясь усилением сердечного компонента до 63–67% ($p < 0,001$). На этапе Т₃ вклад сердечного механизма достигал 72–76% при севофлуране и 70–73% при десфлуране ($p < 0,001$), тогда как эндотелиальный компонент снижался до минимальных значений (8–11%). При применении пропофола выраженности перестройки не наблюдалось. Эндотелиальный компонент сохранялся на уровне 14–16% ($p = 0,09$), а значимость сердечного механизма не превышала 61–63%. Вклад эндотелиального и сердечного компонентов в спектре ЛДФ на этапах Т₁–Т₃ в группах анестезии представлен на рисунке 2.

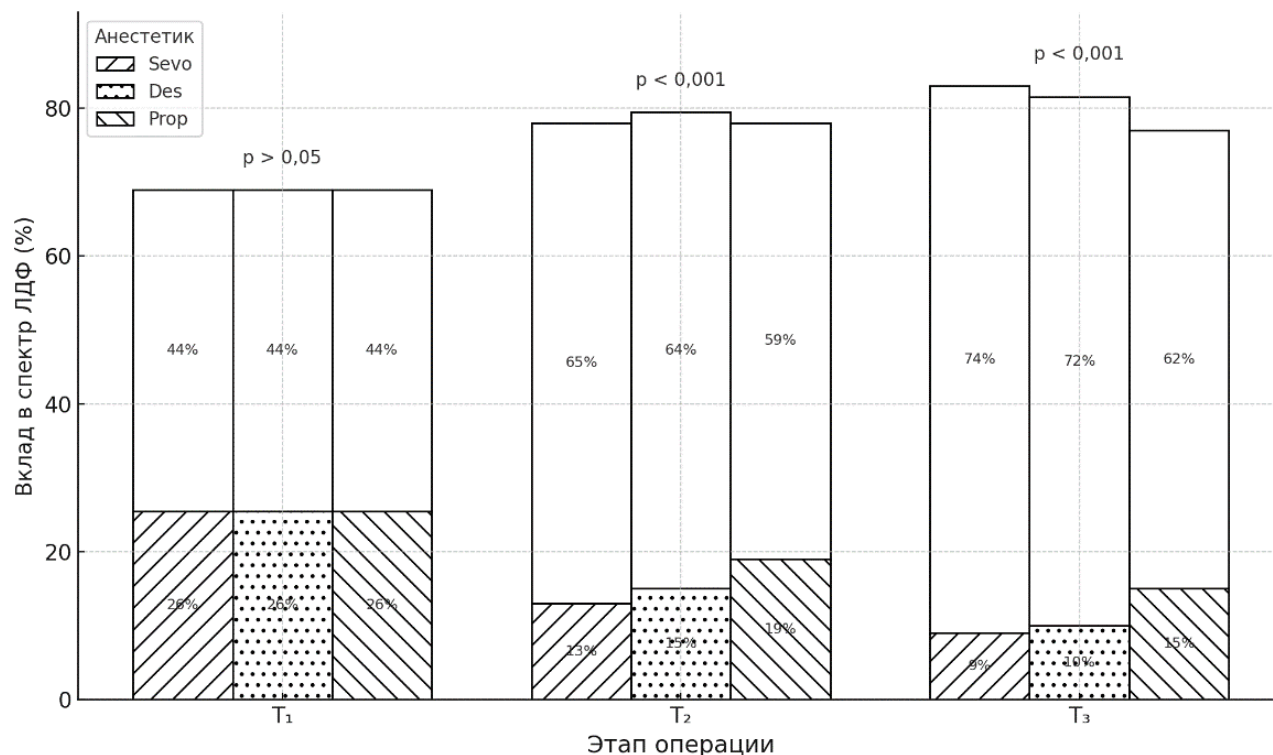


Рисунок 2. Вклад эндотелиального и сердечного компонентов в спектр ЛДФ на этапах T₁–T₃ в группах анестезии

Установлена взаимосвязь между ростом показателя М, тахикардией и величиной интраоперационной кровопотери. Значения М выше 25 усл. ед. ассоциировались с ЧСС более 100 уд/мин. в большинстве наблюдений ($p < 0,001$). При этом объём кровопотери превышал 500 мл при ЧСС ≥ 90 уд/мин. и более 800 мл при ЧСС ≥ 100 уд/мин. Корреляционный анализ выявил достоверную связь между М и уровнем кровопотери ($r = 0,52$; $p < 0,01$), а также между ЧСС и кровопотерей ($r = 0,61$; $p < 0,01$), подтверждая, что фазное усиление микроциркуляции и тахикардии является значимым фактором увеличения капиллярного кровотечения во время липоаспирации. Взаимосвязь кровопотери к показателю М и ЧСС представлены на рисунке 3 и 4.

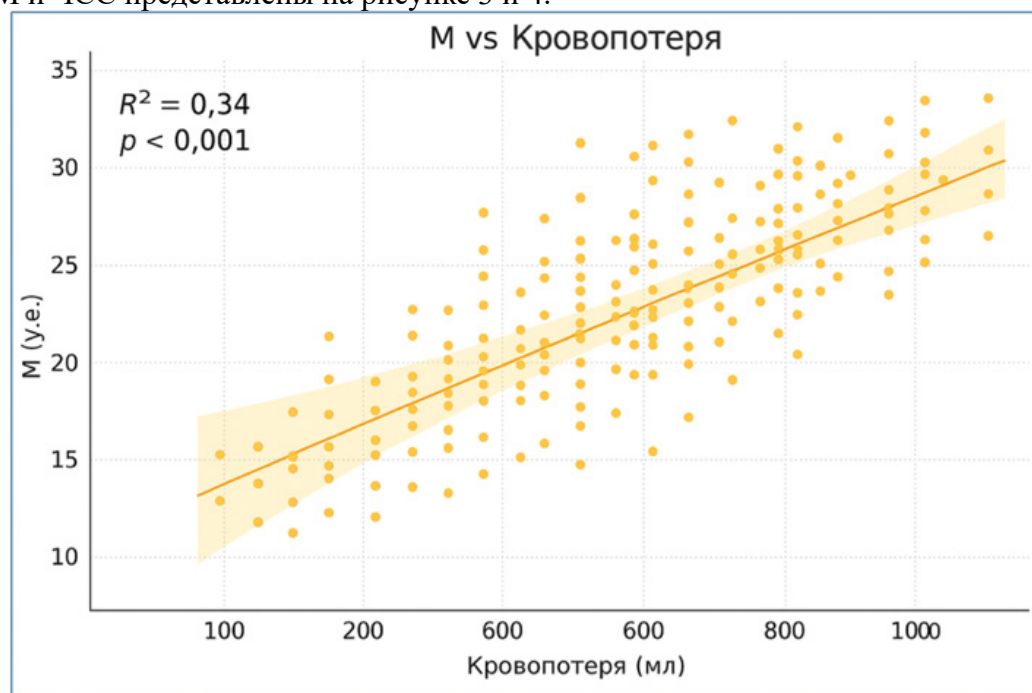


Рисунок 3. Взаимосвязь показателя микроциркуляции к объёму кровопотери

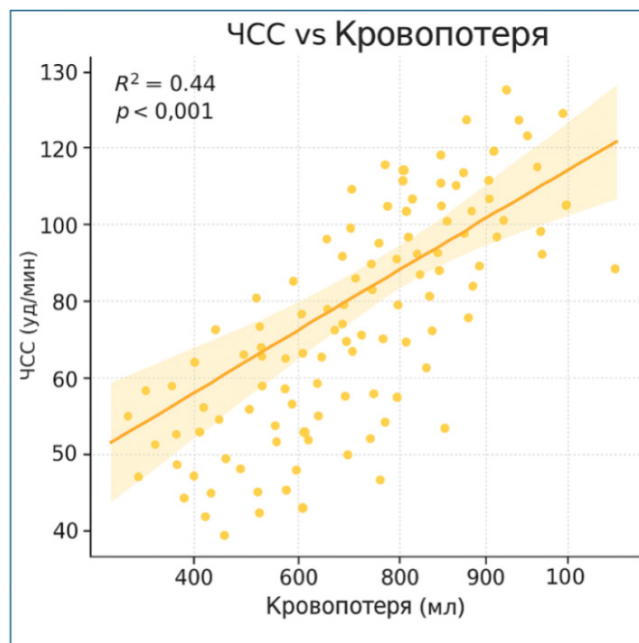


Рисунок 4. Взаимосвязь ЧСС к объёму кровопотери

Полученные данные демонстрируют, что системная абсорбция адреналина вызывает фазное усиление микроциркуляции, повышение ЧСС, степень увеличения которых определяет объем интраоперационной кровопотери. Наибольшая выраженность реакций функциональных показателей сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции отмечается при ингаляционной анестезии. Пропофол обеспечивает умеренный прирост показателя М, менее выраженную тахикардию, обеспечивая более низкий объем кровопотери.

Обсуждение.

Полученные результаты подтверждают, что адреналин, входящий в состав тумесцентного раствора, выступает ключевым фактором системных гемодинамических и микроциркуляторных реакций при липосакции. На этапе липосакции отмечалось достоверное увеличение ЧСС и показателя М, что согласуется с описанной в литературе двухфазной вазомоторной реакцией: кратковременная α -адренергическая вазоконстрикция сменяется β_2 -опосредованной вазодилатацией с усилением тканевой перфузии [8–10, 20]. В настоящем исследовании это проявлялось увеличением медианы показателя М с 19–20 до 28,9 усл. ед.

Анализ взаимосвязи между показателем М и объёмом интраоперационной кровопотери продемонстрировал, что выход значений М за пределы физиологического диапазона (22 усл. ед.) сопровождается непропорциональным увеличением кровопотери. При медианных значениях М в диапазоне 23–25 усл. ед. объём кровопотери достигал 600–650 мл, тогда как при увеличении М до 28–30 усл. ед. – 750–820 мл, при сохранении достоверной положительной взаимосвязи между указанными параметрами ($r = 0,52$; $p < 0,01$). В пределах физиологических значений микроциркуляции ($M \leq 22$ усл. ед.) клинически значимого увеличения кровопотери не наблюдалось, что указывает на пороговый характер данной зависимости. Таким образом, именно избыточная микроциркуляторная активация, а не инфильтрация раствора, выступает значимым фактором увеличения интраоперационной кровопотери. В литературе данный вопрос остаётся дискуссионным: усиление микроциркуляции рассматривается как компенсаторный механизм, однако одновременно подчёркивается его роль в формировании микрогиперперфузии и диффузного капиллярного кровотечения [7, 13, 21, 22].

Дополнительный анализ спектра ЛДФ выявил закономерную перестройку регуляторных механизмов микроциркуляции. На этапе Т₂ наблюдалось снижение роли эндотелиального компонента при одновременном увеличении влияния сердечного механизма, что отражало переход к пульсационно детерминированному типу кровотока. Указанные изменения сохранялись и на этапе Т₃, где

доминирование сердечного компонента сочеталось с максимальными значениями показателя М. Такая перестройка спектра свидетельствует о снижении активности локальной микрососудистой регуляции и усилении воздействий центральной гемодинамики на микроциркуляцию [16, 17].

В проведенном исследовании ЧСС с последующим объемом кровопотери отражали особенности системной реакции на адреналин. Увеличение медианы ЧСС до 110 уд/мин на этапе Т₂ и до 116 уд/мин. на этапе Т₃ сопровождалось нарастанием кровопотери, причём при ЧСС ≥ 90 уд/мин. её объём превышал 500 мл, а при ЧСС ≥ 100 уд/мин. – 800 мл ($r = 0,61$; $p < 0,01$).

В условиях тумесцентной техники липосакции тахикардия предшествует значимой кровопотере и обусловлена β -адренергической стимуляцией, в отличие от классической гемодинамической модели, где она является следствием гиповолемии. Это позволяет рассматривать ЧСС как потенциально управляемый параметр, влияющий на выраженность микроциркуляторной гиперперфузии.

Сравнительный анализ методов анестезии показал, что выбор анестетика определяет выраженность выявленных реакций. Ингаляционная анестезия сопровождалась более значительным увеличением показателя микроциркуляции: на этапе Т₂ медиана М достигала 25,9–28,9 усл. ед., а на этапе Т₃ сохранялась на уровне 24,6–25,0 усл. ед. При пропофоле значения медианы М на этапах Т₂ и Т₃ составляли соответственно 19,4 и 21,2 усл. ед. Отсутствие различия в срАД между группами на этапах исследования ($p > 0,05$) свидетельствовало о сохранении системной гемодинамической стабильности. Полученные данные согласуются с известным периферическим вазодилатирующим эффектом ингаляционных анестетиков и их способностью усиливать действие катехоламинов [9, 23], тогда как пропофол обеспечивает более контролируемое состояние микроциркуляции.

Выводы. Системная абсорбция адреналина из тумесцентного раствора при его подкожном введении у пациенток с ожирением во время липосакции вызывает фазное усиление микроциркуляции, сопровождается перестройкой регуляторных механизмов: подавлением эндотелиального компонента и доминированием сердечного фактора.

Наиболее выраженные изменения реакций функциональных показателей сердечно-сосудистой системы и микроциркуляции регистрировались при ингаляционной анестезии, особенно на фоне севофлурана, тогда как пропофол обеспечивал более стабильную микрососудистую реакцию.

Выбор вида обезболивания оказывает значимое влияние на выраженность гемодинамических и микроциркуляторных реакций у пациенток с ожирением при липосакции и должен учитываться при планировании анестезиологического обеспечения оперативных вмешательств в пластической хирургии.

Выявленная взаимосвязь между ЧСС, показателем микроциркуляции и объёмом интраоперационной кровопотери позволяет рассматривать ЧСС как управляемый анестезиологический параметр, коррекция которого позволит снизить кровопотерю при липосакции больших объемов у пациенток с ожирением.

Сведения о финансировании и конфликте интересов. Исследование проведено без привлечения дополнительного финансирования. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения о вкладе авторов.

Гайдаров А.Е. – 30% (анализ литературы по теме исследования, сбор данных, анализ и интерпретация данных, написание текста статьи, утверждение окончательного текста статьи).

Кулигин А.В. – 25% (разработка концепции и дизайна исследования, сбор данных, анализ и интерпретация данных, научное редактирование, утверждение окончательного текста статьи).

Семенова Е.С. – 10% (сбор данных, анализ литературы по теме исследования).

Кобзарь И.Г. – 10% (сбор данных, анализ и интерпретация данных).

Зеулина Е.Е. – 25% (разработка концепции и дизайна исследования, сбор данных, техническое редактирование, утверждение окончательного текста статьи).

Список литературы:

1. Мантурова Н.Е., Рахимов А.Я., Вербо Е.В. и соавт. Статистический анализ опроса РОПРЭХ по безопасности липосакции. Пластическая хирургия и эстетическая медицина. 2023. 4 (2). 12–23. <https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia202304212>.
2. Sang H., Park J., Kim S., et al. Predictive model for abdominal liposuction volume in patients with obesity using machine learning in a longitudinal multi-center study in Korea. Scientific Reports. 2024. 14 (1). 29791. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79654-y>. PMID: 39616163. PMCID: PMC11608244.
3. Stein M., Sasson D., Harrast J., et al. A 16-Year Review of Clinical Practice Patterns in Liposuction Based on Continuous Certification by the American Board of Plastic Surgery. Plastic and Reconstructive Surgery. 2023. 152. 523–531. <https://doi.org/10.1097/prs.00000000000010254>. PMID: 36735816.
4. Halk A., Habbema L., Genders R., et al. Safety studies in the field of liposuction. Dermatologic Surgery. 2019. 45. 171–182. <https://doi.org/10.1097/dss.0000000000001707>. PMID: 30702445
5. Farhadi M., Khorshidifar A., Ghalambor A., et al. Comparative evaluation about the efficacy of the use of variable concentrations of epinephrine in tumescent solution for control of bleeding in patients with abdominal liposuction. Journal of Clinical and Medical Sciences. 2020. 6 (6). 279–281. <https://doi.org/10.22317/jcms.v6i6.857>.
6. Toyoda M., Tokiwa H., Numata G., et al. Epinephrine and depletion of female sex hormone exacerbate the pathology of obesity-induced cardiac phenotype. International Heart Journal. 2025. 66 (5). 874–882. <https://doi.org/10.1536/ihj.25-305>. PMID: 41034032.
7. Abosakaya A., Kohaf N., Elmeligy M., et al. Effect of adrenaline concentration in tumescence solution on intraoperative hemodynamics of liposuction patients. Egyptian Journal of Anaesthesia. 2023. 40. 34–39. <https://doi.org/10.1080/11101849.2023.2298879>.
8. Gelman S. Using small doses of norepinephrine or phenylephrine during the peri-operative period. European Journal of Anaesthesiology. 2022. 39 (7). 571–573. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001697>. PMID: 35759290.
9. Лебединский К.М. Кровообращение и анестезия. Санкт-Петербург. Человек. 2015.
10. Prado E. Manejo hemodinámico y estrategias individualizadas de fluidoterapia en cirugía de contorno corporal. Critical Care and Emergency Medicine. 2023. <https://doi.org/10.58281/ccem25080102>.
11. Oh C., Lee S., Song B., et al. Comparative effects of desflurane and sevoflurane on intraoperative peripheral perfusion index. Scientific Reports. 2023. 13 (1). 2991. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27253-0>. PMID: 36878940. PMCID: PMC9988875.
12. Juhász M., Páll D., Fülesdi B., et al. The effect of propofol-sufentanil intravenous anesthesia on systemic and cerebral circulation. Brazilian Journal of Anesthesiology. 2021. 71. 558–564. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2021.04.002>. PMID: 33901551. PMCID: PMC9373201.
13. Jeon S., Lee H., Ri H., et al. Impaired capillary recruitment capacity in obesity. Medical Science Monitor. 2023. 3 (30). e943036. <https://doi.org/10.12659/msm.943036>. PMID: 38308426. PMCID: PMC10848865.
14. Abrard S., Jacquet-Lagrèze M., Guerci P., et al. Microcirculation in anaesthesia. Anaesthesia Critical Care and Pain Medicine. 2025. 45 (3). 101654. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2025.101654>. PMID: 41173410.
15. Pinsky M., Cecconi M., Chew M., et al. Effective hemodynamic monitoring. Critical Care. 2022. 26 (1). 294. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04173-z>. PMID: 36171594. PMCID: PMC9520790.
16. Kralj L., Lenasi H. Wavelet analysis of laser Doppler microcirculatory signals. Frontiers in Physiology. 2023. 70 (3). 1–15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1076445>.
17. Тихомирова И.А., Коршунова А.А., Лемехова В.А. Возможности портативных лазерных анализаторов в оценке состояния микроциркуляции и ее регуляторных механизмов. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024. 23 (4). 105–113. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-105-113>
18. Рыжкова Е.Г., Моргунова Т.Б., Рыжков И.А., Фадеев В.В. Пространственная гетерогенность перфузии кожи и воспроизводимость результатов лазерной доплеровской флоуметрии с температурными функциональными пробами у здоровых добровольцев. Регионарное

кровообращение и микроциркуляция. 2024. 23 (4). 30–38. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-30-38>

19. Агапов К.В. Оценка и способы коррекции кровопотери при липосакции: [диссертация ... канд. мед. наук]. М.: Институт повышения квалификации, Федеральное Управление «Медбиоэкстрем» при Минздраве России, 2004.
20. Khonsary S.A. Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics. New York City. Published by: Mc Graw Hill. 2023.
21. Майтесян Л.А. Осложнения после липосакции: современное состояние проблемы (обзор литературы). Медицинский алфавит. 2024. (9). 83–86. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-9-83-86>.
22. Ладожская-Гапеенко Е.Е. Дисфункция микроциркуляции при критических состояниях (обзор литературы). Вестник анестезиологии и реаниматологии. 2024. 21 (6). 116–121. <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2024-21-6-116-121>.
23. Jacob M., Chappell D., Becker B.F. Regulation of blood flow and volume exchange across the microcirculation. Critical Care. 2016. 20 (319). 1–3. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1485-0>. PMID: 27765054. PMCID: PMC5073467.

References:

1. Manturova N.E., Rakhimov A.Ya., Verbo E.V., et al. Statistical analysis of the RSPRAS survey on safety of liposuction. Plastic Surgery and Aesthetic Medicine. 2023. 4 (2). 12–23. <https://doi.org/10.17116/plast.hirurgia202304212>. in Russian.
2. Sang H., Park J., Kim S., et al. Predictive model for abdominal liposuction volume in patients with obesity using machine learning in a longitudinal multi-center study in Korea. Scientific Reports. 2024. 14 (1). 29791. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79654-y>. PMID: 39616163. PMCID: PMC11608244.
3. Stein M., Sasson D., Harrast J., et al. A 16-Year Review of Clinical Practice Patterns in Liposuction Based on Continuous Certification by the American Board of Plastic Surgery. Plastic and Reconstructive Surgery. 2023. 152. 523–531. <https://doi.org/10.1097/prs.00000000000010254>. PMID: 36735816.
4. Halk A., Habbema L., Genders R., et al. Safety studies in the field of liposuction. Dermatologic Surgery. 2019. 45. 171–182. <https://doi.org/10.1097/dss.0000000000001707>. PMID: 30702445
5. Farhadi M., Khorshidifar A., Ghalambor A., et al. Comparative evaluation about the efficacy of the use of variable concentrations of epinephrine in tumescent solution for control of bleeding in patients with abdominal liposuction. Journal of Clinical and Medical Sciences. 2020. 6 (6). 279–281. <https://doi.org/10.22317/jcms.v6i6.857>.
6. Toyoda M., Tokiwa H., Numata G., et al. Epinephrine and depletion of female sex hormone exacerbate the pathology of obesity-induced cardiac phenotype. International Heart Journal. 2025. 66 (5). 874–882. <https://doi.org/10.1536/ihj.25-305>. PMID: 41034032.
7. Abosakaya A., Kohaf N., Elmeligy M., et al. Effect of adrenaline concentration in tumescence solution on intraoperative hemodynamics of liposuction patients. Egyptian Journal of Anaesthesia. 2023. 40. 34–39. <https://doi.org/10.1080/11101849.2023.2298879>.
8. Gelman S. Using small doses of norepinephrine or phenylephrine during the peri-operative period. European Journal of Anaesthesiology. 2022. 39 (7). 571–573. <https://doi.org/10.1097/eja.0000000000001697>. PMID: 35759290.
9. Lebedinsky K.M. Circulation and Anesthesia. St. Petersburg. Man. 2015. in Russian.
10. Prado E. Manejo hemodinámico y estrategias individualizadas de fluidoterapia en cirugía de contorno corporal. Critical Care and Emergency Medicine. 2023. <https://doi.org/10.58281/ccem25080102>.
11. Oh C., Lee S., Song B., et al. Comparative effects of desflurane and sevoflurane on intraoperative peripheral perfusion index. Scientific Reports. 2023. 13 (1). 2991. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-27253-0>. PMID: 36878940. PMCID: PMC9988875.
12. Juhász M., Páll D., Fülesdi B., et al. The effect of propofol-sufentanil intravenous anesthesia on systemic and cerebral circulation. Brazilian Journal of Anesthesiology. 2021. 71. 558–564. <https://doi.org/10.1007/s00540-021-01000-0>.

org/10.1016/j.bjane.2021.04.002. PMID: 33901551. PMCID: PMC9373201.

13. Jeon S., Lee H., Ri H., et al. Impaired capillary recruitment capacity in obesity. *Medical Science Monitor*. 2023. 3 (30). e943036. <https://doi.org/10.12659/msm.943036>. PMID: 38308426. PMCID: PMC10848865.
14. Abrard S., Jacquet-Lagrèze M., Guerci P., et al. Microcirculation in anaesthesia. *Anaesthesia Critical Care and Pain Medicine*. 2025. 45 (3). 101654. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2025.101654>. PMID: 41173410.
15. Pinsky M., Cecconi M., Chew M., et al. Effective hemodynamic monitoring. *Critical Care*. 2022. 26 (1). 294. <https://doi.org/10.1186/s13054-022-04173-z>. PMID: 36171594. PMCID: PMC9520790.
16. Kralj L., Lenasi H. Wavelet analysis of laser Doppler microcirculatory signals. *Frontiers in Physiology*. 2023. 70(3). 1–15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1076445>.
17. Tikhomirova I.A., Korshunova A.A., Lemehova V.A. Capabilities of portable laser analyzers in assessing the state of microcirculation and its regulatory mechanisms. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2024. 23 (4). 105–113. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-105-113>. in Russian.
18. Ryzhkova E.G., Morgunova T.B., Ryzhkov I.A., Fadeyev V.V. Spatial heterogeneity of skin perfusion and reproducibility of Laser Doppler flowmetry results with thermal functional tests in healthy volunteers. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2024. 23 (4). 30–38. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2024-23-4-30-38>. in Russian.
19. Agapov K.V. Assessment and Methods of Blood Loss Correction during Liposuction: [Dissertation ... Candidate of Medical Sciences]. Moscow: Institute of Advanced Training, Federal Department of Medbioextrem under the Ministry of Health of the Russian Federation, 2004. in Russian.
20. Khonsary S.A. Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics. New York City. Published by: Mc Graw Hill. 2023.
21. Maiteyan L.A. Complications after liposuction: current state of the problem (literature review). *Medical alphabet*. 2024. 9. 83–86. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-9-83-86>. in Russian.
22. Ladozhskaya-Gapeenko E.E. Microcirculation dysfunction in critical conditions (literature review). *Messenger of anesthesiology and resuscitation*. 2024. 21 (6). 116–121. <https://doi.org/10.24884/2078-5658-2024-21-6-116-121>.
23. Jacob M., Chappell D., Becker B.F. Regulation of blood flow and volume exchange across the microcirculation. *Critical Care*. 2016. 20 (319). 1–3. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1485-0>. PMID: 27765054. PMCID: PMC5073467.

Сведения об авторах:

1. **Гайдаров Алексей Евгеньевич**, ассистент кафедры скорой неотложной анестезиолого-реанимационной помощи и симуляционных технологий в медицине, e-mail: aegaidarov@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-3561-8534, AuthorID РИНЦ: 1064414.
2. **Александр Валерьевич Кулигин**, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой скорой неотложной анестезиолого-реанимационной помощи и симуляционных технологий в медицине, e-mail: avkuligin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5705-215X, Researcher ID: AAD-9401-2021, Author ID РИНЦ: 360380, Author ID Scopus: 57190874563.
3. **Семенова Екатерина Сергеевна**, ассистент кафедры скорой неотложной анестезиолого-реанимационной помощи и симуляционных технологий в медицине, e-mail: katerin2101@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-2514-3946, Researcher ID: PTF-1666-2026.
4. **Кобзарь Игорь Геннадьевич**, генеральный директор Общества с ограниченной ответственностью «Многопрофильный медицинский центр», e-mail: kobzarig@lancetgel.ru, ORCID ID: 0000-0002-7307-1972.
5. **Зеулина Екатерина Евгеньевна**, к.м.н., доцент, доцент кафедры скорой неотложной анестезиолого-реанимационной помощи и симуляционных технологий в медицине, e-mail: zeulina@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-1297-5123, Researcher ID: AAD-3279-2021, Author ID РИНЦ: 734795, Author ID Scopus: 57216414375.

Author information:

1. **Gajdarov A.E.**, Assistant of the Department of Emergency Medicine Anesthesiology and Intensive Care and Simulation Technologies in Medicine, e-mail: aegaidarov@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-3561-8534, AuthorID RSCI: 1064414.
2. **Kuligin A.V.**, Doctor of Medical Sciences, Head of the Department of Emergency Medicine Anesthesiology and Intensive Care and Simulation Technologies in Medicine, e-mail: avkuligin@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5705-215X, Researcher ID: AAD-9401-2021, Author ID RSCI: 360380. Author ID Scopus: 57190874563.
3. **Semenova E.S.**, Assistant of the Department of Emergency Medicine Anesthesiology and Intensive Care and Simulation Technologies in Medicine, e-mail: katerin2101@mail.ru, ORCID ID: 0009-0000-2514-3946, Researcher ID: PTF-1666-2026.
4. **Kobzar` I.G.**, General Director of the Limited Liability Company «Multidisciplinary Medical Center», e-mail: kobzarig@lancetgel.ru, ORCID ID: 0000-0002-7307-1972.
5. **Zeulina E.E.**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Emergency Medicine Anesthesiology and Intensive Care and Simulation Technologies in Medicine, e-mail: zeulina@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-1297-5123, Researcher ID: AAD-3279-2021, Author ID RSCI: 734795, Author ID Scopus: 57216414375.

Информация

Дата опубликования – 30.06.2026