

НОВЫЙ НЕЙРОАНЕСТЕЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОТОКОЛ ОКАЗАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ПОМОЩИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА У ПАЦИЕНТОВ С ФАКТОРАМИ ВЫСОКОГО РИСКА: ПРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

DOI: 10.17691/stm2024.16.3.06

УДК 616.711.6–089.81–089.5

Поступила 19.08.2022 г.

© **А.А. Калинин**, к.м.н., доцент, докторант кафедры нейрохирургии и инновационной медицины¹;
врач-нейрохирург Центра нейрохирургии²;
В.Ю. Голобородько, аспирант кафедры нейрохирургии и инновационной медицины¹;
зав. отделением анестезиологии и реанимации №1²;
Ю.Я. Пестряков, к.м.н., докторант кафедры нейрохирургии и инновационной медицины¹;
Р.А. Кундубаев, ассистент кафедры нейрохирургии с курсом травматологии³;
М.Ю. Бирючков, д.м.н., профессор, зав. кафедрой нейрохирургии с курсом травматологии³;
А.В. Щеголев, д.м.н., профессор, начальник кафедры военной анестезиологии и реаниматологии⁴;
В.А. Бывальцев, д.м.н., профессор, зав. кафедрой нейрохирургии и инновационной медицины¹;
руководитель Центра нейрохирургии²; профессор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии⁵

¹Иркутский государственный медицинский университет, ул. Красного Восстания, 1, Иркутск, 664003;

²Клиническая больница «РЖД–Медицина», ул. Боткина, 10, Иркутск, 664005;

³Западно-Казахстанский медицинский университет им. Марата Оспанова, ул. Маресьева, 68, Актобе, Казахстан, 030019;

⁴Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, ул. Академика Лебедева, 6, Санкт-Петербург, 194044;

⁵Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования, мкр-н Юбилейный, 100, Иркутск, 664049

Цель исследования — оценка эффективности нового нейроанестезиологического протокола при лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов с факторами высокого риска.

Материалы и методы. Проспективно изучены две группы пациентов с высокими рисками анестезии и хирургии, определенными с помощью авторской системы поддержки принятия решений (СППР). В опытной группе (ОГ, n=25) использовали новый нейроанестезиологический протокол, в контрольной группе (КГ, n=25) применяли внутривенную анестезию на основе пропофола и фентанила. Во всех случаях проводили минимально инвазивный трансфораминальный поясничный спондилодез. Для сравнения оценивали изменение среднего артериального давления и частоты сердечных сокращений интраоперационно, выраженность локального болевого синдрома, количество использованных опиатов, наличие когнитивных расстройств, а также осложнения анестезии и хирургии.

Результаты. По половозрастным параметрам и антропометрическим данным, коморбидному фону, факту курения, предоперационным характеристикам поясничного отдела позвоночника, а также уровню когнитивных функций группы были репрезентативны ($p>0,05$). У пациентов ОГ не зарегистрировано статистически значимых изменений среднего артериального давления ($p=0,17$) по сравнению с КГ ($p=0,0008$). Уменьшение частоты сердечных сокращений у пациентов КГ во время операции не отмечено ($p=0,49$) по сравнению с ОГ ($p=0,03$). В послеоперационном периоде выявлены лучшие показатели когнитивных функций в ОГ по тесту FAB ($p=0,02$) и по MoCA ($p=0,03$). В ОГ отмечено также значительно меньшее периоперационное количество опиатов ($p=0,005$) при низком уровне локального болевого синдрома ($p=0,01$). Межгрупповой анализ показал меньшее число осложнений анестезии в ОГ по сравнению с КГ ($p=0,01$) при сопоставимом количестве послеоперационных хирургических осложнений ($p=0,42$).

Заключение. Новый нейроанестезиологический протокол оказания специализированной помощи пациентам с факторами высокого риска анестезии и хирургии, оцененными с использованием авторской СППР, обеспечил эффективную ликвидацию локального послеоперационного болевого синдрома, снижение периоперационного применения опиоидов и стабилизацию интраоперационных показателей сердечно-сосудистой деятельности. Кроме того, при использовании разработанного подхода не зарегистрировано послеоперационных когнитивных расстройств, побочных эффектов анестезии, а также неблагоприятных фармакологических по-

Для контактов: Бывальцев Вадим Анатольевич, e-mail: byval75vadim@yandex.ru

следствий комплексного использования нестероидных противовоспалительных препаратов, пролонгированных местных анестетиков, альфа-2-агониста и ненаркотических анальгетиков.

Ключевые слова: поясничный отдел позвоночника; дегенеративное заболевание; декомпрессионно-стабилизирующие вмешательства; минимально инвазивная хирургия позвоночника; ускоренное послеоперационное восстановление; системы поддержки принятия решения.

Как цитировать: Kalinin A.A., Goloborodko V.Yu., Pestryakov Yu.Ya., Kundubayev R.A., Biryuchkov M.Yu., Shchegolev A.V., Byvaltsev V.A. A new neuroanesthetic protocol of rendering specialized care in treating degenerative lumbar spine diseases in high-risk patients: prospective analysis of the results. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2024; 16(3): 51, <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.3.06>

English

A New Neuroanesthetic Protocol of Rendering Specialized Care in Treating Degenerative Lumbar Spine Diseases in High-Risk Patients: Prospective Analysis of the Results

A.A. Kalinin, MD, PhD, Associate Professor, Doctoral Candidate, Department of Neurosurgery and Innovative Medicine¹; Neurosurgeon, Center of Neurosurgery²;

V.Yu. Goloborodko, PhD Student, Department of Neurosurgery and Innovative Medicine¹; Head of the Department of Anesthesiology and Resuscitation No.1²;

Yu.Ya. Pestryakov, MD, PhD, Doctoral Candidate, Department of Neurosurgery and Innovative Medicine¹;

R.A. Kundubayev, Assistant, Department of Neurosurgery with the Course of Traumatology³;

M.Yu. Biryuchkov, MD, DSc, Professor, Head of the Department of Neurosurgery with the Course of Traumatology³;

A.V. Shchegolev, MD, DSc, Professor, Head of the Department of Military Anesthesiology and Resuscitation⁴;

V.A. Byvaltsev, MD, DSc, Professor, Head of the Department of Neurosurgery and Innovative Medicine¹; Chief of the Center of Neurosurgery²; Professor, Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery⁵

¹Irkutsk State Medical University, 1 Krasnogo Vosstaniya St., Irkutsk, 664003, Russia;

²Russian Railways–Medicine Clinical Hospital, 10 Botkin St., Irkutsk, 664005, Russia;

³West Kazakhstan Marat Ospanov Medical University, 68 Maresyev St., Aktobe, 030019, Kazakhstan;

⁴S.M. Kirov Military Medical Academy, 6 Academician Lebedev St., Saint Petersburg, 194044, Russia;

⁵Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education, 100 Yubileyny Microdistrict, Irkutsk, 664049, Russia

The aim of the study is to assess the effectiveness of a new neuroanesthetic protocol for treating degenerative lumbar spine diseases in high-risk patients.

Materials and Methods. Two groups of patients with a high risk of anesthesia and surgery determined by the authors' clinical decision support system (CDSS) have been prospectively studied. A new neuroanesthetic protocol was used in the experimental group (EG, n=25), while the control group (CG, n=25) underwent intravenous anesthesia based on propofol and fentanyl. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion was performed in all cases. Changes of the intraoperative mean arterial pressure and heart rate, intensity of the local pain syndrome, amount of the opiates used, presence of cognitive disorders, adverse effects of anesthesia, and surgical complications have been compared.

Results. The groups were representative ($p>0.05$) in terms of the age-gender parameters, anthropological data, comorbid background, involvement in smoking, preoperative characteristics of the lumbar spine, as well as the level of cognitive functions. No statistically significant changes of the mean arterial pressure ($p=0.17$) were registered in EG patients relative to the CG ($p=0.0008$). Intraoperative reduction of the heart rate in patients of the CG was not noted ($p=0.49$) in comparison with the EG ($p=0.03$). In the postoperative period, the best indicators of cognitive functions on the FAB test ($p=0.02$) and MoCA test ($p=0.03$) were revealed in EG. A significantly less amount of perioperative opiates ($p=0.005$) at a low level of the local pain syndrome was also noted ($p=0.01$). The intergroup analysis has shown fewer adverse effects of anesthesia in EG compared to CG ($p=0.01$) with a comparable number of postoperative surgical complications ($p=0.42$).

Conclusion. A new neuroanesthetic protocol of rendering a specialized care to patients with a high risk of anesthesia and surgery, assessed by the authors-developed CDSS, has resulted in effective elimination of the local postoperative pain syndrome, reduction of perioperative application of opioids, and stabilization of intraoperative indicators of cardiovascular activity. In addition, no postoperative cognitive disorders, anesthetic side-effects, adverse pharmacological consequences of the complex usage of non-steroidal anti-inflammatory drugs, prolonged local anesthetics, alpha-2-agonist, and non-narcotic analgesics have been registered.

Key words: lumbar spine; degenerative disease; decompressive-stabilizing interventions; minimally invasive spine surgery; enhanced postoperative recovery; clinical decision support system.

Введение

На сегодняшний день установлено, что повышение средней продолжительности жизни населения сопряжено с увеличением количества хирургических вмешательств при заболеваниях позвоночника [1]. В оперативной вертебрологии применяют различные пункционные, декомпрессивные и декомпрессивно-стабилизирующие методы [2]. Наиболее распространенным способом лечения пациентов со значимыми дегенеративными изменениями опорных элементов и с нарушением пространственных взаимоотношений позвоночных сегментов является ригидная фиксация позвоночника через передний, боковой или задний доступ [3]. Такие операции, направленные на декомпрессию невралгических структур, устранение патологической подвижности и восстановление сагиттального профиля позвоночника, сопровождаются локальным послеоперационным болевым синдромом различной степени интенсивности [4].

Для эффективного обезболивания после хирургического вмешательства, связанного с прямым повреждением мягких тканей, общепринятым считается использование наркотических анальгетиков [5]. Установлено, что неэффективное устранение боли после операции ассоциируется с более длительным периодом лечения и восстановления [6]. В то же время продолжительное применение опиатов может привести к наркотической зависимости, дисфункции кишечника и нарушению мочеиспускания [7].

Результаты спинальных вмешательств зависят от ряда факторов: характера операции и способа анестезиологического пособия [8, 9], конституциональных особенностей, физического статуса пациента и коморбидного фона [10, 11]. В связи с этим в настоящее время особое внимание уделяется улучшению послеоперационных исходов у пациентов, имеющих высокие нейроанестезиологические риски: пожилой возраст, ожирение, коморбидный фон или их комбинации [12, 13]. В такой когорте пациентов акцент делается на мультидисциплинарной тактике [14], которая включает индивидуальный выбор способов анестезиологического пособия и нейрохирургического вмешательства, а также профилактику возможных осложнений с превентивной коррекцией имеющихся общесоматических рисков [15].

Объективизация и обоснование выбора индивидуального нейроанестезиологического подхода основываются на клиническом опыте врача и системах поддержки принятия решений (СППР) [16].

Отсутствие данных о применении комплексной операционно-анестезиологической тактики при лечении пациентов, имеющих высокие риски развития послеоперационных осложнений, а также нейроанестезиологические риски, обусловило актуальность проведения данной работы.

Цель исследования — оценка эффективности нового нейроанестезиологического протокола при

лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов с факторами высокого риска.

Материалы и методы

Изучены результаты лечения пациентов, оперированных на поясничном отделе позвоночника с использованием минимально инвазивных декомпрессивно-стабилизирующих технологий на базе Клинической больницы «РЖД–Медицина» в Центре нейрохирургии (Иркутск) в период с февраля по август 2022 г. Согласно авторской СППР [17], все пациенты имели высокий риск анестезии и хирургии (более 8 баллов). Проспективное, пилотное обсервационное исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013) и одобрено этическим комитетом Иркутского государственного медицинского университета (протокол №1 от 24.02.2021 г.).

Критерии исключения: повторные операции на поясничном отделе позвоночника; конкурирующие заболевания на поясничном уровне (инфекционно-воспалительная патология, травматические повреждения, опухолевые поражения); наличие остеопороза; лекарственные аллергические реакции в анамнезе; наличие деменции до операции — менее 16 баллов по Montreal Cognitive Assessment (MoCA), менее 12 баллов по Frontal Assessment Battery (FAB); несогласие на участие в исследовании.

С учетом методики анестезии пациенты были разделены на две группы (n=25 в каждой): контрольную (КГ) и опытную (ОГ). Всем пациентам выполняли внутривенную анестезию с применением рокурония бромидом, пропофола и фентанила в общепринятых дозировках и проводили искусственную вентиляцию легких. В ОГ дополнительно использовали новый нейроанестезиологический протокол [18], включающий дооперационное внутримышечное введение кетопрофена (100 мг), инфильтрацию мягких тканей 0,75% ропивакакаином (10 мл) перед разрезом, интраоперационное внутривенное введение дексмететомидина (0,2–0,4 мкг/кг/ч), послеоперационное — парацетамола (1000 мг внутримышечно). Во время операции оценивали глубину наркоза и нервно-мышечную проводимость по общепринятой методике.

Во всех случаях использовали минимально инвазивные хирургические технологии (трансфораминальный межтеловой спондилодез через парамедианные интермускулярные доступы) и чрескожную транспедикулярную стабилизацию. Протоколы анестезии чередовались до набора в каждой группе 25 пациентов.

Для сравнения групп анализировали следующие показатели:

интраоперационные характеристики и особенности послеоперационного периода (длительность анестезии; количество использованных опиатов; параметры интраоперационной гемодинамики: частоту сердечных

сокращений; среднее артериальное давление; потребность в послеоперационном обезболивании, выраженную в OME (oral morphine equivalents); длительность пребывания в послеоперационной палате; продолжительность стационарного лечения);

интенсивность послеоперационного болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) в течение периода госпитализации;

когнитивные функции до хирургического вмешательства и на 5-е сутки после него по тестам MoCA и FAB;

количество осложнений, связанных с анестезией (по клиническим данным);

число хирургических осложнений.

Статистический анализ осуществляли с применением программного обеспечения Statistica для Windows 13.5 (StatSoft Inc., США). В связи с отсутствием нормального распределения по тестам Шапиро–Уилка, Колмогорова–Смирнова и Лиллиефорса использованы методы непараметрической статистики. Результаты представлены медианой, значениями 1-го и 3-го квартилей — Me [Q1; Q3]. Для сравнительного анализа полученных

значений использовали тест Манна–Уитни, критерий Вилкоксона и критерий χ^2 . При $p < 0,05$ различия считали статистически значимыми.

Результаты

Характеристика исследуемых групп представлена в табл. 1. Сравнительный межгрупповой анализ не выявил статистически значимых различий по полу, возрасту, конституциональным особенностям, степени физического статуса по шкале ASA (American Society of Anesthesiologists), наличию сопутствующих заболеваний, факту курения, характеру патологии и количеству оперированных сегментов, а также предоперационному уровню когнитивных функций.

Межгрупповое сравнение выявило сопоставимые параметры продолжительности анестезии и длительности госпитализации ($p=0,27$ и $p=0,06$ соответственно) (табл. 2). Продолжительность пребывания в палате послеоперационного наблюдения ($p=0,02$), интраоперационное количество опиоидных препаратов ($p=0,005$), а также потребность в послеопера-

Таблица 1

Общая характеристика пациентов исследуемых групп

| Признак | Опытная группа (n=25) | Контрольная группа (n=25) | p |
|--|-----------------------|---------------------------|------|
| Возраст, лет, Me [Q1; Q3] | 64 [60; 72] | 65 [59; 74] | 0,72 |
| Мужчины/женщины, n (%) | 17 (68)/8 (32) | 20 (80)/5 (20) | 0,36 |
| ИМТ, Me [Q1; Q3] | 27,5 [24,9; 29,1] | 26,9 [24,4; 28,8] | 0,54 |
| Риск по ASA, степень, n (%): | | | 0,47 |
| II | 4 (16) | 4 (16) | |
| III | 15 (60) | 16 (64) | |
| IV | 6 (24) | 5 (20) | |
| Сопутствующие заболевания, n (%): | | | 0,15 |
| сахарный диабет | 7 (28) | 5 (20) | |
| гипертоническая болезнь | 8 (32) | 9 (36) | |
| патология легких | 5 (20) | 2 (8) | |
| патология почек | 2 (8) | 5 (20) | |
| заболевание органов пищеварения | 3 (12) | 4 (16) | |
| Курение, n (%) | 6 (24) | 4 (16) | 0,23 |
| Патология, n (%): | | | 0,81 |
| грыжа межпозвоночного диска с сегментарной нестабильностью | 9 (36) | 6 (24) | |
| спинальный стеноз | 4 (16) | 2 (8) | |
| спондилолистез | 10 (40) | 13 (52) | |
| локальная кифотическая деформация | 2 (8) | 4 (16) | |
| Количество оперированных сегментов, n (%): | | | 0,08 |
| 1 | 4 (16) | 6 (24) | |
| 2 | 13 (52) | 12 (48) | |
| 3 | 8 (32) | 7 (28) | |
| Когнитивные функции до операции, баллы, Me [Q1; Q3]: | | | |
| MoCA | 27,5 [27,0; 29,0] | 28,0 [27,0; 30,0] | 0,12 |
| FAB | 17,5 [16,0; 18,0] | 17,0 [16,0; 18,0] | 0,94 |

Таблица 2

Интраоперационные характеристики и специфичность послеоперационного периода в исследуемых группах, Ме [Q1; Q3]

| Критерий | Опытная группа (n=25) | Контрольная группа (n=25) | p |
|--|-----------------------|---------------------------|-------|
| Длительность анестезии, мин | 165 [130; 185] | 160 [125; 190] | 0,27 |
| Количество использованных опиатов (0,005% фентанил), мл/пациент | 12,0 [10,5; 15,5] | 16,5 [12,0; 20,5] | 0,005 |
| ОМЕ в палате интенсивной терапии, в час | 1,8 [1,1; 2,9] | 3,1 [2,8; 5,2] | 0,01 |
| ОМЕ в стационаре, в день | 1,1 [0,4; 1,4] | 1,9 [1,1; 2,8] | 0,03 |
| Продолжительность пребывания в палате послеоперационного наблюдения, ч | 2 [1; 2] | 5 [3; 7] | 0,02 |
| Длительность госпитализации, койко-день | 7 [6; 9] | 8 [6; 9] | 0,06 |

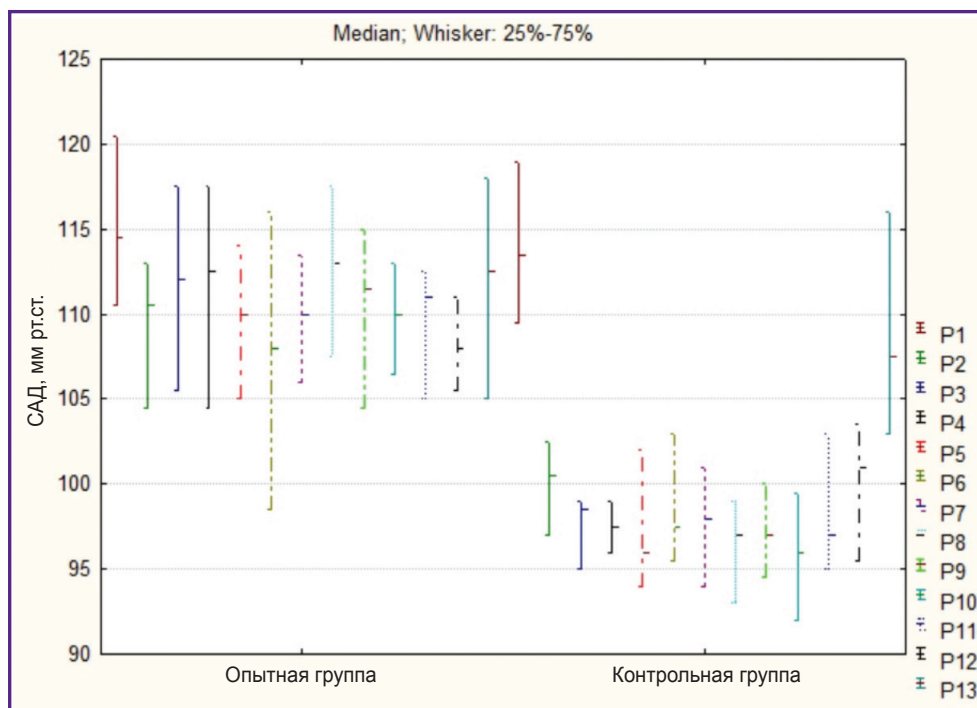


Рис. 1. Динамика интраоперационных показателей среднего артериального давления (САД)

Point (P) — показатель времени: перед индукцией наркоза (P1), во время разреза кожи (P2), в дальнейшем через 25-минутные интервалы (в среднем до 200 мин — P3–P10), при ушивании операционной раны (P11), после экстубации (P12) и через 15 мин после экстубации (P13)

ционном обезболивании ($p < 0,05$) были статистически значимо ниже в ОГ по сравнению с КГ.

После операции выявлены лучшие показатели по MoCA и FAB в ОГ по сравнению с КГ ($p = 0,03$ и $p = 0,02$ соответственно). Снижение памяти и концентрации внимания, а также повышенная утомляемость зарегистрированы в КГ у 5 (20%) пациентов, в ОГ этого не наблюдалось. Установлено, что менее 16 баллов по FAB имели 4 пациента (16%) из КГ и 1 пациент (4%) из ОГ ($p = 0,007$); менее 26 баллов по MoCA получили 3 пациента (12%) из КГ, в ОГ — не зарегистрировано.

При межгрупповом анализе выявлены легкая и средняя когнитивная дисфункция у 6 пациентов (24%) КГ и у 1 пациента (4%) ОГ ($p = 0,002$).

Анализ параметров интраоперационной гемодинамики показал значимое снижение среднего артериального давления в КГ по сравнению как с ОГ ($p = 0,008$), так и с предоперационным уровнем ($p = 0,0003$). В ОГ не зарегистрировано гемодинамически значимой интраоперационной артериальной гипотензии ($p = 0,17$) (рис. 1).

Изучение частоты сердечных сокращений во время

операции показало незначимую брадикардию в ОГ (в среднем не более 20%) по сравнению с исходным уровнем ($p=0,03$), при этом в КГ снижения частоты сердечных сокращений в течение операции не отмечено ($p=0,49$) (рис. 2).

Уровень послеоперационной боли был ниже в ОГ по сравнению с КГ в течение госпитализации ($p<0,05$) (рис. 3).

При межгрупповом сравнении зарегистрировано меньшее число побочных эффектов анестезии в ОГ

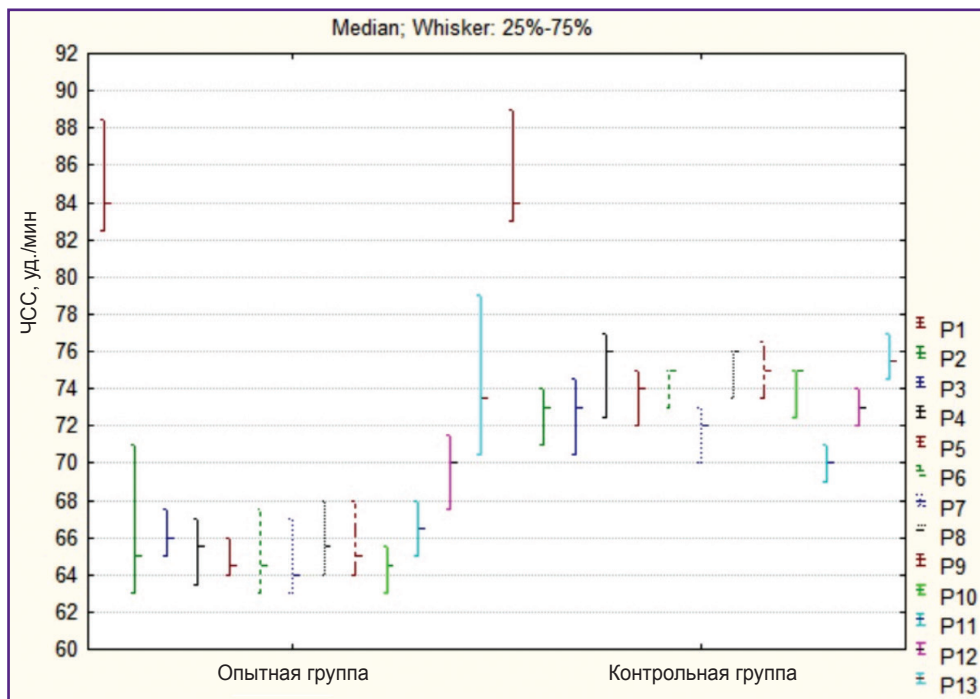


Рис. 2. Динамика интраоперационных показателей частоты сердечных сокращений (ЧСС)

Point (P) — показатель времени: перед индукцией наркоза (P1), во время разреза кожи (P2), в дальнейшем через 25-минутные интервалы (в среднем до 200 мин — P3–P10), при ушивании операционной раны (P11), после экстубации (P12) и через 15 мин после экстубации (P13)

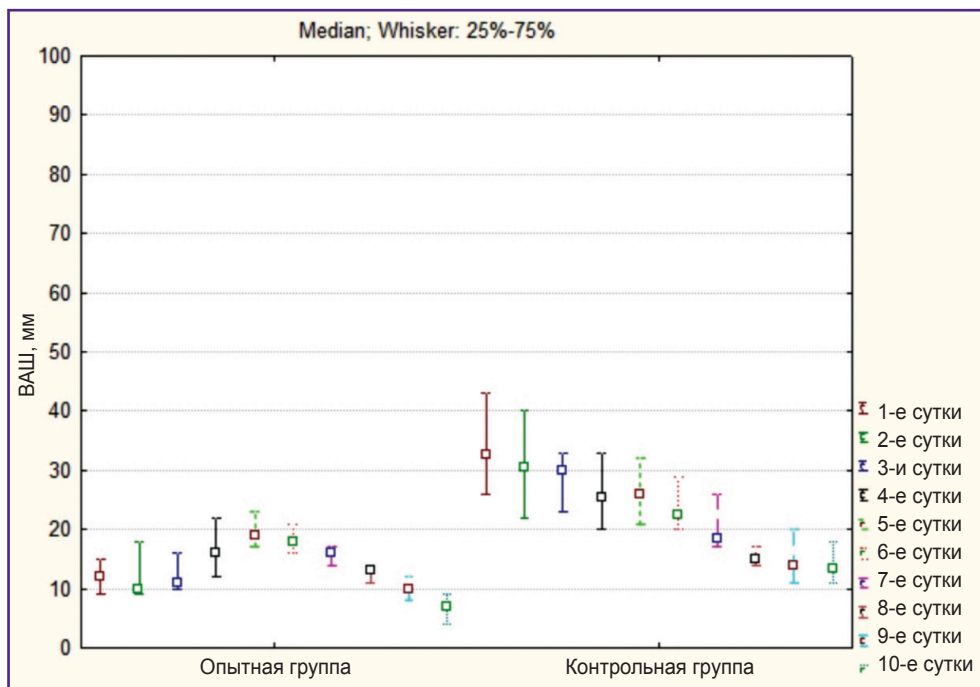


Рис. 3. Динамика выраженности послеоперационной боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ)

Таблица 3

Побочные эффекты анестезии и операции, послеоперационные осложнения в исследуемых группах

| Критерий | Опытная группа (n=25) | Контрольная группа (n=25) | p |
|---|-----------------------|---------------------------|------|
| Осложнения анестезии | | | |
| Послеоперационная тошнота и рвота | 2 | 4 | |
| Брадикардия | 2 | 1 | |
| Головокружение | 1 | 2 | |
| Неэффективное дыхание со снижением сатурации | — | 2 | |
| Ларингоспазм | — | 1 | |
| Недостаточная двигательная активность и выполнение команд | — | 3 | |
| Итого, n (%) | 5 (20) | 13 (52) | 0,01 |
| Осложнения операции | | | |
| Послеоперационная гематома | 1 | 1 | |
| Инфекция области хирургического вмешательства | 1 | 2 | |
| Венозные тромбозмобилические осложнения | 1 | 1 | |
| Итого, n (%) | 3 (12) | 4 (16) | 0,42 |

по сравнению с КГ ($p=0,01$) при сопоставимом количестве послеоперационных хирургических осложнений ($p=0,42$) (табл. 3).

Для суммарных осложнений анестезии и хирургии был рассчитан относительный риск, который составил 0,38 (95% доверительный интервал (ДИ): 0,16–0,92) и 0,75 (95% ДИ: 0,19–3,01) соответственно. Таким образом, указанные события в ОГ развивались реже, чем в контроле.

Обсуждение

На сегодняшний день отмечается повышенное внимание к пациентам с высоким нейроанестезиологическим риском при выполнении спинальных хирургических вмешательств [19]. Это связано прежде всего с большой вероятностью развития побочных эффектов анестезиологического пособия, послеоперационных осложнений и летальности, а также с увеличением сроков стационарного лечения и экономических затрат [20]. Основными факторами, повышающими операционно-анестезиологический риск, являются избыточная масса тела, пожилой возраст, наличие сопутствующих заболеваний или их сочетание [21, 22]. Для обеспечения возможности проведения нейрохирургического вмешательства у данной категории пациентов, сокращения вероятности развития осложнений и улучшения послеоперационных результатов применяют подходы, базирующиеся на технологиях fast-track («быстрый путь») и enhanced recovery after surgery (ERAS, «ускоренное восстановление после хирургических операций») [12, 23]. В большинстве случаев такие современные подходы являются неспецифическими и во многом не учитывают необходимость персонализированной тактики.

Ранее нами [24] выявлены причины неудовлетворительных результатов декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на поясничном уровне: женский пол, возраст 65 лет и более, индекс массы тела 25 и более, ASA III степени и более, факт курения, кровопотеря более 500 мл, сопутствующая патология, общая анестезия более 180 мин, хирургическая методика. На основании результатов построения модели логистической регрессии смешанных эффектов определены числовые значения (баллы) для каждого параметра и пороговые значения риска развития неудовлетворительного послеоперационного исхода: низкий риск — до 5 баллов, средний риск — от 6 до 8 баллов, высокий риск — более 8 баллов. С учетом предложенной градации разработана программа для ЭВМ [17], которая позволяет в кратчайшие сроки оценить риск развития неудовлетворительных клинических исходов при операциях на поясничном отделе позвоночника и определить возможную тактику: при низком риске пациентам рекомендовано выполнение традиционного анестезиологического пособия и хирургии; при среднем риске целесообразно использование отдельных элементов нового нейроанестезиологического протокола [18] на усмотрение анестезиолога и оперирующего хирурга; при высоком риске пациентам строго показано соблюдение нового нейроанестезиологического протокола [18]. Проспективному анализу результатов применения данного протокола у пациентов с факторами высокого риска анестезии и хирургии, оценке его безопасности и эффективности в сравнении с традиционным анестезиологическим пособием посвящено данное исследование.

В настоящее время в специализированной литературе сообщается о наличии комплексных подходов к оказанию анестезиологической помощи при

спинальных нейрохирургических вмешательствах. Основными целями их использования являются: 1) уменьшение травматичности оперативного вмешательства и частоты операционно-анестезиологических осложнений; 2) снижение количества использованных наркотических (опиоидных) препаратов, сокращение длительности наркоза и операции; 3) повышение безопасности течения анестезии и выполнения хирургии; 4) ранняя активизация и быстрое начало реабилитационных мероприятий; 5) сокращение общих финансовых затрат на послеоперационное лечение и реабилитацию; 6) восстановление трудоспособности в кратчайшие сроки [25–27]. Несмотря на потенциальные преимущества опубликованных нейроанестезиологических протоколов при спинальных вмешательствах, все они применяются без учета предоперационной стратификации операционно-анестезиологического риска.

Согласно данным различных исследовательских групп [28–30], высокой клинической эффективностью обладают комбинации мультимодальной анальгезии на разных этапах нейроанестезиологической помощи, включающие противоспазмолитические средства (габапентин), ненаркотические анальгетики (парацетамол, Ацетаминофен), нестероидные противовоспалительные препараты (кеторолак, кетопрофен), местные анестетики (лидокаин, бупивакаин, ропивакаин), глюкокортикоиды (дексаметазон, преднизолон), альфа-2 адреномиметики (клонидин, дексмедетомидин).

Для улучшения течения периоперационного периода у пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника предлагается использование следующих методик анестезиологического пособия: ингаляционной анестезии [31], комбинированной анестезии метадон и кетамин [32], сочетания кетамина и пропофола [33], спинальной анестезии бупивакаином [34]. Высокий опиоидсберегающий эффект и низкое число осложнений анестезии регистрируются при комбинации минимально инвазивных хирургических методик с мультимодальной анальгезией [35], внутривенной седацией [36] или локальной анестезией [37]. Согласно систематическому анализу 31 рандомизированного клинического исследования, достоверная эффективность периоперационного обезболивания достигается при использовании НПВС, ингибиторов ЦОГ-2, кетамина и эпидуральной анальгезии [38], в то время как применение габапентина и метадона связано с высоким риском развития нежелательных лекарственных последствий, а эффективность использования местных анестетиков, дексмедетомидина, глюкокортикоидов не подтверждена [38].

Существующие противоречия в результатах использования различных вариантов нейроанестезиологической тактики и отсутствие единых алгоритмов их применения обуславливают высокую актуальность и необходимость объективно обоснованного персонализированного лечения [27]. Решение поставленных

задач в медицинской практике реализуется путем оптимизации результатов лечения пациентов за счет обработки большого массива ретроспективно-проспективных данных [39]. На современном этапе развития выбор тактики оказания медицинской помощи с учетом доминирующей патологии и факторов риска, имеющихся у пациента, а также прогнозирование вероятности развития неблагоприятного клинического исхода возможны с помощью разработки СППР [40].

Имеющиеся СППР при лечении пациентов высокого риска анестезии и хирургии являются немногочисленными и в большинстве случаев обеспечивают исключительно интраоперационный скрининг витальных функций. Кроме того, они не позволяют в полной мере осуществить коррекцию возможных факторов неблагоприятного клинического исхода и выработать комплексную персонализированную тактику [41–45].

В настоящем исследовании осуществлено проспективное изучение эффективности и безопасности нового нейроанестезиологического протокола [18] по сравнению с традиционным анестезиологическим пособием у пациентов высокого риска анестезии и хирургии, оцененного с помощью разработанной СППР [17], которые были прооперированы минимально инвазивным дорсальным декомпрессивно-стабилизирующим способом. Это обеспечило: 1) снижение периоперационной потребности в опиоидах; 2) стабилизацию интраоперационных показателей сердечно-сосудистой деятельности; 3) уменьшение частоты послеоперационной когнитивной дисфункции; 4) сокращение уровня локального болевого синдрома; 5) уменьшение количества периоперационных осложнений анестезии.

Ограничениями проведенного исследования являются открытая схема и нерандомизированный дизайн; моноцентричный характер исследования; относительно небольшая выборка; отсутствие изучения влияния длительности симптомов и предоперационного использования опиатов на послеоперационный болевой синдром; применение для контроля конфаундинга только однофакторного подхода к межгрупповому сравнению с использованием критерия Манна–Уитни и без мультифакториального анализа; невключение в анализ когорты пациентов, имеющих менее 8 баллов по разработанной СППР. Было изучено несколько различных компонентов мультимодальной анальгезии, что не позволило оценить влияние отдельных препаратов на конечные результаты (однако это было заложено в дизайне исследования, поскольку нашей целью было определить наилучший возможный сценарий, чтобы минимизировать побочные эффекты в течение всего периоперационного периода). Мы не сравнивали разные комбинации различных составляющих мультимодальной анальгезии.

Закключение

Разработанный нейроанестезиологический протокол оказания специализированной медицинской

помощи пациентам с факторами высокого риска по авторской СППР, оперированным с использованием минимально инвазивных декомпрессивно-стабилизирующих методик, обеспечил эффективное послеоперационное обезболивание и снижение частоты развития лекарственных осложнений.

Применение кетопрофена до операции, ропивакаина перед разрезом, дексмететомидина интраоперационно, парацетамола при ушивании раны позволило достичь контролируемой глубины наркоза без гемодинамических нарушений, сокращения количества периоперационно введенных опиоидных препаратов, снижения частоты послеоперационных когнитивных расстройств и осложнений.

Перспективные рандомизированные исследования позволят детально изучить эффективность предложенного нового нейроанестезиологического протокола, в том числе у пациентов с различными вариантами предоперационного риска.

Финансирование исследования. Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Литература/References

1. Al Jammal O.M., Shahrestani S., Delavar A., Brown N.J., Gendreau J.L., Lien B.V., Sahyouni R., Diaz-Aguilar L.D., Shalakhti O.S., Pham M.H. Demographic predictors of treatments and surgical complications of lumbar degenerative diseases: an analysis of over 250,000 patients from the National Inpatient Sample. *Medicine (Baltimore)* 2022; 101(11): e29065, <https://doi.org/10.1097/md.00000000000029065>.
2. Ремов П.С. Актуальные вопросы хирургического лечения поясничных дорсопатий. *Новости хирургии* 2022; 30(2): 198–206.
Remov P.S. Topical issues of surgical treatment for lumbar dorsopathy. *Novosti khirurgii* 2022; 30(2): 198–206.
3. Wasinpongwanich K., Nopsopon T., Pongpirul K. Surgical treatments for lumbar spine diseases (TLIF vs. other surgical techniques): a systematic review and meta-analysis. *Front Surg* 2022; 9: 829469, <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.829469>.
4. Dunn L.K., Durieux M.E., Fernández L.G., Tsang S., Smith-Straesser E.E., Jhaveri H.F., Spanos S.P., Thames M.R., Spencer C.D., Lloyd A., Stuart R., Ye F., Bray J.P., Nemergut E.C., Naik B.I. Influence of catastrophizing, anxiety, and depression on in-hospital opioid consumption, pain, and quality of recovery after adult spine surgery. *J Neurosurg Spine* 2018; 28(1): 119–126, <https://doi.org/10.3171/2017.5.spine1734>.
5. Berardino K., Carroll A.H., Kaneb A., Civilette M.D., Sherman W.F., Kaye A.D. An update on postoperative opioid use and alternative pain control following spine surgery. *Orthop Rev (Pavia)* 2021; 13(2): 24978, <https://doi.org/10.52965/001c.24978>.
6. Сайфуллин А.П., Алейник А.Я., Боков А.Е., Израелян Ю.А., Млявых С.Г. Технология ускоренного восстановления ERAS в спинальной нейрохирургии: систематический обзор литературы. *Нейрохирургия* 2022; 24(1): 83–100, <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2021-24-1-83-100>.
7. Sayfullin A.P., Aleynik A.Ya., Bokov A.E., Israelyan Yu.A., Mlyavykh S.G. Enhanced recovery after surgery (ERAS) in spine surgery: a systematic review. *Russian Journal of Neurosurgery* 2022; 24(1): 83–100, <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2021-24-1-83-100>.
8. Cheatle M.D., Compton P.A., Dhingra L., Wasser T.E., O'Brien C.P. Development of the revised opioid risk tool to predict opioid use disorder in patients with chronic nonmalignant pain. *J Pain* 2019; 20(7): 842–851, <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.01.011>.
9. Курносоев И.А., Гуляев Д.А., Годанюк Д.С., Мануковский В.А. Предикторы исходов хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова* 2021; 13(2): 67–71.
Kurnosov I.A., Gulyaev D.A., Godanyuk D.S., Manukovsky V.A. Predictors of outcomes of surgical treatment of degenerative dystrophic diseases of the spine. *Rossijskij nejrohirurgiceskij zurnal im. professora A.L. Polenova* 2021; 13(2): 67–71.
10. Minetos P.D., Canseco J.A., Karamian B.A., Bowles D.R., Bhatt A.H., Semenza N.C., Murphy H., Kaye I.D., Woods B.I., Rihn J.A., Kurd M.F., Anderson D.G., Hilibrand A.S., Kepler C.K., Vaccaro A.R., Schroeder G.D. Discharge disposition and clinical outcomes after spine surgery. *Am J Med Qual* 2022; 37(2): 153–159, <https://doi.org/10.1097/01.jmq.0000753240.14141.87>.
11. Голобородько В.Ю., Калинин А.А., Бывальцев В.А. Эффективность программы оптимизации нейроанестезиологической помощи при хирургическом лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов с факторами высокого риска. *Анестезиология и реаниматология* 2021; 2: 74–89, <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202102174>.
12. Goloborodko V.Yu., Kalinin A.A., Byvaltsev V.A. Effectiveness of optimization program of neuroanesthesia in surgical treatment of degenerative lumbar spine diseases in patients with high risk factors. *Anesteziologiya i reanimatologiya* 2021; 2: 74, <https://doi.org/10.17116/anaesthesiology202102174>.
13. He X., Fei Q., Sun T. Metabolic syndrome increases risk for perioperative outcomes following posterior lumbar interbody fusion. *Medicine (Baltimore)* 2020; 99(38):e21786, <https://doi.org/10.1097/md.00000000000021786>.
14. Лубнин А.Ю. Современные тенденции развития нейроанестезиологии. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко* 2019; 83(5): 83–91, <https://doi.org/10.17116/neiro20198305183>.
15. Lubnin A.Yu. Current trends in the development of neuroanesthesiology. *Voprosy neurokhirurgii im. N.N. Burdenko* 2019; 83(5): 83–91, <https://doi.org/10.17116/neiro20198305183>.
16. Miller M.M., Allison A., Trost Z., De Ruddere L., Wheelis T., Goubert L., Hirsh A.T. Differential effect of patient weight on pain-related judgements about male and female chronic low back pain patients. *J Pain* 2018; 19(1): 57–66, <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2017.09.001>.
17. Яриков А.В., Шпагин М.В., Павлова Е.А., Перльмуттер О.А., Фраерман А.П. Принципы организации мультидисциплинарных клиник и центров лечения боли (анализ современной литературы и собственный опыт). *Вестник*

неврологии, психиатрии и нейрохирургии 2022; 4: 287–303, <https://doi.org/10.33920/med-01-2204-06>.

Yarikov A.V., Shpagin M.V., Pavlova E.A., Perlmutter O.A., Fraerman A.P. Principles of organizing multidisciplinary clinics and pain treatment centers (analysis of modern literature and personal experience). *Vestnik nevrologii, psikiatrii i nejrohirurgii* 2022; 4: 287–303, <https://doi.org/10.33920/med-01-2204-06>.

15. Khor S., Lavalley D., Cizik A.M., Bellabarba C., Chapman J.R., Howe C.R., Lu D., Mohit A.A., Oskouian R.J., Roh J.R., Shonnard N., Dagal A., Flum D.R. Development and validation of a prediction model for pain and functional outcomes after lumbar spine surgery. *JAMA Surg* 2018; 153(7): 634–642, <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2018.0072>.

16. Beskrovny A.S., Bessonov L.V., Golyadkina A.A., Dol A.V., Ivanov D.V., Kirillova I.V., Kossovich L.Yu., Sidorenko D.A. Development of a decision support system in traumatology and orthopedics. Biomechanics as a tool for preoperative planning. *Russian Journal of Biomechanics* 2021; 25(2): 99–112, <https://doi.org/10.15593/rjbiomech/2021.2.01>.

17. Бывальцев В.А., Голобородько В.Ю., Калинин А.А., Польшкин М.А., Пестряков Ю.Я. Система поддержки принятия решения выбора способа оказания нейроанестезиологической помощи в зависимости от предоперационного скрининга факторов риска развития неблагоприятного исхода у пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника: программа для ЭВМ №2022613463. *Бюллетень* №3. 14.03.2022.

Byvaltsev V.A., Goloborodko V.Yu., Kalinin A.A., Pol'kin M.A., Pestryakov Yu.Ya. Decision support system for selecting the method of neuroanesthesiological care based on preoperative screening of risk factors for adverse outcomes in patients with degenerative spine diseases: software program No.2022613463. *Bulletin No.3*. March 14, 2022.

18. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Голобородько В.Ю., Сороковиков В.А. Способ анестезиологической защиты при выполнении оперативных вмешательств на позвоночнике у взрослых пациентов. Патент RU2754837C1. 2021.

Byvaltsev V.A., Kalinin A.A., Goloborodko V.Yu., Sorokovikov V.A. Method for anesthetic protection when performing surgical interventions on spine in adult patients. Patent RU2754837C1. 2021.

19. Park C., Cook C.E., Garcia A.N., Gottfried O.N. Discharge destination influences risks of readmission and complications after lumbar spine surgery in severely disabled patients. *Clin Neurol Neurosurg* 2021; 207: 106801, <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.106801>.

20. Kushioka J., Takenaka S., Makino T., Sakai Y., Kashii M., Iwasaki M., Yoshikawa H., Kaito T. Risk factors for in-hospital mortality after spine surgery: a matched case-control study using a multicenter database. *Spine J* 2020; 20(3): 321–328, <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.10.008>.

21. Ranson W.A., Cheung Z.B., Di Capua J., Lee N.J., Ukogu C., Jacobs S., Vig K.S., Kim J.S., White S.J.W., Cho S.K. Risk factors for perioperative complications in morbidly obese patients undergoing elective posterior lumbar fusion. *Global Spine J* 2018; 8(8): 795–802, <https://doi.org/10.1177/2192568218771363>.

22. Son H.J., Jo Y.H., Ahn H.S., You J., Kang C.N. Outcomes of lumbar spinal fusion in super-elderly patients aged 80 years and over: comparison with patients aged 65 years and over, and under 80 years. *Medicine (Baltimore)* 2021; 100(31): e26812, <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026812>.

23. Debono B., Wainwright T.W., Wang M.Y., Sigmundsson F.G., Yang M.M.H., Smid-Nanninga H., Bonnal A., Le Huec J.C., Fawcett W.J., Ljungqvist O., Lonjon G., de Boer H.D. Consensus statement for perioperative care in lumbar spinal fusion: Enhanced Recovery After Surgery (ERAS®) Society recommendations. *Spine J* 2021; 21(5): 729–752, <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.01.001>.

24. Бывальцев В.А., Голобородько В.Ю., Калинин А.А. Анализ факторов риска развития неудовлетворительных отдаленных клинических исходов после выполнения многоуровневых декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств на поясничном отделе позвоночника. *Современные проблемы науки и образования* 2019; 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29304>.

Byvaltsev V.A., Goloborodko V.Y., Kalinin A.A. Analysis of risk factors for the development of unsatisfactory long-term clinical results of performance of multi-level decompressive-stabilizing interventions on the lumbar spine. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* 2019; 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29304>.

25. Bae S., Alboog A., Esquivel K.S., Abbasi A., Zhou J., Chui J. Efficacy of perioperative pharmacological and regional pain interventions in adult spine surgery: a network meta-analysis and systematic review of randomised controlled trials. *Br J Anaesth* 2022; 128(1): 98–117, <https://doi.org/10.1016/j.bja.2021.08.034>.

26. Naftalovich R., Singal A., Iskander A.J. Enhanced recovery after surgery (ERAS) protocols for spine surgery — review of literature. *Anaesthesiol Intensive Ther* 2022; 54(1): 71–79, <https://doi.org/10.5114/ait.2022.113961>.

27. Byvaltsev V.A., Goloborodko V.Y., Kalinin A.A., Shepelev V.V., Pestryakov Y.Y., Riew K.D. A standardized anesthetic/analgetic regimen compared to standard anesthetic/analgetic regimen for patients with high-risk factors undergoing open lumbar spine surgery: a prospective comparative single-center study. *Neurosurg Rev* 2023; 46(1): 95, <https://doi.org/10.1007/s10143-023-02005-4>.

28. Maheshwari K., Avitsian R., Sessler D.I., Makarova N., Tanios M., Raza S., Traul D., Rajan S., Manlapaz M., Machado S., Krishnaney A., Machado A., Rosenquist R., Kurz A. Multimodal analgesic regimen for spine surgery: a randomized placebo-controlled trial. *Anesthesiology* 2020; 132(5): 992–1002, <https://doi.org/10.1097/ALN.00000000000003143>.

29. Smith J., Probst S., Calandra C., Davis R., Sugimoto K., Nie L., Gan T.J., Bennett-Guerrero E. Enhanced recovery after surgery (ERAS) program for lumbar spine fusion. *Perioper Med (Lond)* 2019; 8: 4, <https://doi.org/10.1186/s13741-019-0114-2>.

30. Tucker E.M., Thompson J.A., Muckler V.C. implementation of a multimodal analgesia protocol among outpatient neurosurgical patients undergoing spine surgery to improve patient outcomes. *J Perianesth Nurs* 2021; 36(1): 8–13, <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2020.05.010>.

31. Meng W., Yang C., Wei X., Wang S., Kang F., Huang X., Li J. Type of anesthesia and quality of recovery in male patients undergoing lumbar surgery: a randomized trial comparing propofol-remifentanyl total i.v. anesthesia with sevoflurane anesthesia. *BMC Anesthesiol* 2021; 21(1): 300, <https://doi.org/10.1186/s12871-021-01519-y>.

32. Murphy G.S., Avram M.J., Greenberg S.B., Benson J., Bilimoria S., Maher C.E., Teister K., Szokol J.W. Perioperative methadone and ketamine for postoperative pain control in spinal surgical patients: a randomized, double-blind, placebo-

controlled trial. *Anesthesiology* 2021; 134(5): 697–708, <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000003743>.

33. Soffin E.M., Wetmore D.S., Beckman J.D., Sheha E.D., Vaishnav A.S., Albert T.J., Gang C.H., Qureshi S.A. Opioid-free anesthesia within an enhanced recovery after surgery pathway for minimally invasive lumbar spine surgery: a retrospective matched cohort study. *Neurosurg Focus* 2019; 46(4): E8, <https://doi.org/10.3171/2019.1.focus18645>.

34. Finsterwald M., Muster M., Farshad M., Saporito A., Brada M., Aguirre J.A. Spinal versus general anesthesia for lumbar spine surgery in high risk patients: perioperative hemodynamic stability, complications and costs. *J Clin Anesth* 2018; 46: 3–7, <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2018.01.004>.

35. Nabavighadi K., Batista C., Ghodoussi F., Kumar N., Aiello A., Reeves B., Krishnan S., Ellis T. 2nd. Oral multimodal preemptive analgesia improves postoperative pain control and decreases opioid utilization in spinal fusion patients. *J Clin Anesth* 2020; 61: 109679, <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2019.109679>.

36. Chang H.K., Huang M., Wu J.C., Huang W.C., Wang M.Y. Less opioid consumption with enhanced recovery after surgery transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): a comparison to standard minimally-invasive TLIF. *Neurospine* 2020; 17(1): 228–236, <https://doi.org/10.14245/ns.1938422.211>.

37. Wang M.Y., Grossman J. Endoscopic minimally invasive transforaminal interbody fusion without general anesthesia: initial clinical experience with 1-year follow-up. *Neurosurg Focus* 2016; 40(2): E13, <https://doi.org/10.3171/2015.11.focus15435>.

38. Waelkens P., Alsabbagh E., Sauter A., Joshi G.P., Beloeil H; PROSPECT Working Group of the European Society of Regional Anaesthesia and Pain therapy (ESRA). Pain management after complex spine surgery: a systematic review and procedure-specific postoperative pain management recommendations. *Eur J Anaesthesiol* 2021; 38(9): 985–994, <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001448>.

39. Wiljer D., Hakim Z. Developing an artificial intelligence-

enabled health care practice: rewiring health care professions for better care. *J Med Imaging Radiat Sci* 2019; 50(4 Suppl 2): S8–S14, <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.09.010>.

40. Kwan J.L., Lo L., Ferguson J., Goldberg H., Diaz-Martinez J.P., Tomlinson G., Grimshaw J.M., Shojania K.G. Computerised clinical decision support systems and absolute improvements in care: meta-analysis of controlled clinical trials. *BMJ* 2020; 370: m3216, <https://doi.org/10.1136/bmj.m3216>.

41. Kheterpal S., Shanks A., Tremper K.K. Impact of a novel multiparameter decision support system on intraoperative processes of care and postoperative outcomes. *Anesthesiology* 2018; 128(2): 272–282, <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000002023>.

42. Dewan M., Muthu N., Shelov E., Bonafide C.P., Brady P., Davis D., Kirkendall E.S., Niles D., Sutton R.M., Traynor D., Tegtmeyer K., Nadkarni V., Wolfe H. Performance of a clinical decision support tool to identify PICU patients at high risk for clinical deterioration. *Pediatr Crit Care Med* 2020; 21(2): 129–135, <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000002106>.

43. Zhang Y., Ma L., Wang T., Xiao W., Lu S., Kong C., Wang C., Li X., Li Y., Yin C., Yan S., Li Y., Yang K., Chan P.; APPLE-MDT Study Working Group. Protocol for evaluation of perioperative risk in patients aged over 75 years: aged Patient Perioperative Longitudinal Evaluation-Multidisciplinary Trial (APPLE-MDT study). *BMC Geriatr* 2021; 21(1): 14, <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01956-3>.

44. Xue B., Li D., Lu C., King C.R., Wildes T., Avidan M.S., Kannampallil T., Abraham J. Use of machine learning to develop and evaluate models using preoperative and intraoperative data to identify risks of postoperative complications. *JAMA Netw Open* 2021; 4(3): e212240, <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.2240>.

45. Colquhoun D.A., Davis R.P., Tremper T.T., Mace J.J., Gombert J.M., Sheldon W.D., Connolly J.J., Adams J.F., Tremper K.K. Design of a novel multifunction decision support/alerting system for in-patient acute care, ICU and floor (AlertWatch AC). *BMC Anesthesiol* 2021; 21(1): 196, <https://doi.org/10.1186/s12871-021-01411-9>.