

ISSN 2782-3806
ISSN 2782-3814 (Online)
УДК 004.8:616-006.328-089

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С РЕЦИДИВИРУЮЩИМИ ИНТРАКРАНИАЛЬНЫМИ МЕНИНГИОМАМИ

Куканов К. К.¹, Калининченко А. Н.², Агапова К. Е.², Болозя М. А.²,
Воинов Н. Е.¹, Гагиев А. З.¹, Скляр С. С.¹, Самочерных К. А.¹

¹ Российский научно-исследовательский нейрохирургический институт имени профессора А. Л. Поленова — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Куканов Константин Константинович,
РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиал
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»
Минздрава России,
ул. Маяковского, д. 12, Санкт-Петербург,
Россия, 191014.
E-mail: kukanov_kk@almazovcentre.ru

Статья поступила в редакцию 16.12.2024
и принята к печати 21.01.2025

РЕЗЮМЕ

Наиболее часто встречаемыми первичными опухолями центральной нервной системы у взрослого населения являются менингиомы. Выделяют группу пациентов с агрессивными менингиомами с рецидивирующим типом течения заболевания даже после радикального удаления опухоли и проведения радиотерапии. Продолженный рост и рецидив менингиом случается у каждого 4-го пациента. Повторное нейрохирургическое лечение данных больных сопряжено с высоким риском возникновения или усугубления неврологического дефицита, а радикальное удаление не всегда возможно. Общепринятые стандарты лечения пациентов с рецидивирующими менингиомами в настоящее время не установлены. Решение о выборе правильной лечебной тактики принимается примерно у половины пациентов с рецидивирующими менингиомами, сам процесс, ведущий к принятию такого решения, остается сложным и часто опирается на простые логические и эмпирические подходы врачей-специалистов на основании имеющихся данных, которые, как правило, имеют большой объем. Постоянный рост объема мультимодальных данных в нейроонкологии опережает возможности их анализа экспертами с помощью традиционных подходов. Спрогнозировать, как

себя поведет неопластический процесс в ЦНС, врачу-нейрохирургу достаточно сложно. Таким образом, врачам-нейрохирургам необходимо обращаться за помощью к современным технологиям искусственного интеллекта (ИИ).

Ключевые слова: биомедицинская информатика, глубокое обучение, искусственный интеллект, машинное обучение, менингиома, продолженный рост, рецидив

Для цитирования: Куканов К.К., Калиниченко А.Н., Агапова К.Е. и др. Технологии искусственного интеллекта в персонализированном лечении пациентов с рецидивирующими интракраниальными менингиомами. *Российский журнал персонализированной медицины.* 2025;5(1):79-86. DOI: 10.18705/2782-3806-2025-5-1-79-86. EDN:

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN THE PERSONALIZED TREATMENT OF PATIENTS WITH RECURRENT INTRACRANIAL MENINGIOMAS

Kukanov K. K.¹, Kalinichenko A. N.², Agapova K. E.², Bolozia M. A.²,
Voinov N. E.¹, Gagiev A. Z.², Sklyar S. S.¹, Samochernykh K. A.¹

¹ Polenov Russian Scientific Research Institute of Neurosurgery — branch of the Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Kukanov Konstantin K.,
Polenov Neurosurgical Institute,
Mayakovskaya str., 12, Saint Petersburg,
Russia, 191014.
E-mail: kukanov_kk@almazovcentre.ru

Received 16 December 2024; accepted 21
January 2025

ABSTRACT

The most common primary tumors of the central nervous system in the adult population are meningiomas. There is a group of patients with aggressive meningiomas with a recurrent type of disease, even after radical removal of the tumor and radiotherapy. Recurrence of meningiomas occur in every 4th patient. Repeated neurosurgical treatment of these patients is associated with a high risk of developing or exacerbating neurological deficits, and radical removal is not always possible. Currently, there are no generally accepted standards for the treatment of patients with recurrent meningiomas. The decision to choose the right treatment strategy is made in about half of patients with recurrent meningiomas, the process leading to such a decision remains complex and often relies on simple logical and empirical approaches of specialist doctors based on available data, which, as a rule, have a large volume. The constant growth of

the volume of multimodal data in neuro-oncology outstrips the possibilities of their analysis by experts using traditional approaches. It is quite difficult for a neurosurgeon to predict how the neoplastic process in the central nervous system will behave. Thus, neurosurgeons need to seek help from modern artificial intelligence (AI) technologies.

Key words: artificial intelligence, biomedical informatics, continued growth, deep learning, machine learning, meningioma, relapse

For citation: Kukanov KK, Kalinichenko AN, Agapova KE, et al. Artificial intelligence technologies in the personalized treatment of patients with recurrent intracranial meningiomas. Russian Journal for Personalized Medicine. 2025;5(1):79-86. (In Russ.) DOI: 10.18705/2782-3806-2025-5-1-79-86. EDN:

ВВЕДЕНИЕ

Менингиома является самой распространенной опухолью ЦНС, составляя 40 % среди всех образований такой локализации [1]. Основными методами терапии пациентов с данными новообразованиями длительное время остаются хирургическое удаление и в ряде случаев лучевая терапия и химиотерапия [1–4]. Специфическое противоопухолевое лечение применяют у пациентов с менингиомами grade 2 и grade 3 [2–4].

Существует группа пациентов с интракраниальными менингиомами с рецидивирующим типом течения заболевания, даже после радикального удаления опухоли и проведения радиотерапии. Изучение безрецидивной выживаемости у пациентов с менингиомами позволило установить, что менингиомы grade 1 рецидивируют в 7–23 % случаев, grade 2 — в 41–55 %, а grade 3 — в 72–78 % [5]. Для большей части пациентов с менингиомами grade 1–2 при радикальном удалении (Simpson I–II) опухоли радиотерапия и стереотаксическая радиохирургия не показаны, а при частичном удалении (Simpson III–IV) — радиотерапия или стереотаксическая радиохирургия являются весьма эффективными методами лечения [5–7]. Для пациентов с менингиомами grade 3 характерен высокий процент (72–78 %) рецидивов даже при радикальном их удалении и проведении послеоперационной лучевой терапии, что ведет к осложнениям, снижению качества жизни, неблагоприятному прогнозу [4, 7, 8–10].

Поиск альтернативных методов лечения для данной группы пациентов привел к активному

изучению морфологических и молекулярно-генетических особенностей менингиом [6, 8, 9]. Было установлено, что высокий уровень экспрессии различных клеточных факторов роста, их рецепторов, а также активация ряда внутриклеточных сигнальных путей в опухолевых клетках играют значительную роль в этих процессах [10]. Таким образом, постоянный рост объема мультимодальных данных (клиника, нейровизуализация и биологические характеристики опухоли) в нейроонкологии опережает возможности их анализа экспертами с помощью традиционных подходов.

В клиническую нейроонкологию продолжают внедряться новые методики индивидуализированной терапии пациентов с различными новообразованиями ЦНС [11–16]. Системы поддержки принятия решений, построенных с использованием данных Cochrane Library, позволят сделать лечение больных более персонализированным с увеличением его эффективности [13, 16, 17]. Наиболее известны в этой области продукты финской компании DUODECIM (<https://www.duodecim.fi/english/>) — EBMG и EBMeDS (<http://www.ebmeds.org>). В России их дистрибуция осуществляется компанией «Алгом» (<https://algom.ru/>). Однако в продукции указанных компаний рассматриваемые нами нозологии не представлены.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения задачи была использована база данных Exel, в которой содержались сведения о пациенте, полученные на основе изучения истории болезни, лучевых эпикризов, сведений из сторон-

них медицинских учреждений, и данные о катанезе «Регистр пациентов с рецидивом и продолженным ростом интракраниальных менингиом» (свидетельство о государственной регистрации № RU 2023621571/02.05.2023).

В нашем исследовании проанализированы отдельные клинические, нейрофизиологические, нейровизуализационные, патоморфологические и молекулярные характеристики менингиом с выделением симптомокомплексов, характеризующих течение заболевания в разные периоды при нарастании и регрессе клинической симптоматики с учетом фактора хирургического вмешательства и примененных методов адъювантного лечения.

При создании базы данных нами использовано более 160 признаков, сгруппированных в клинический, нейровизуализационный, патоморфологический и молекулярно-генетический разделы. Каждый раздел в свою очередь разбит на подразделы, а в подразделах признаки имеют градации.

С точки зрения методов обработки информации, данную задачу можно рассматривать как задачу бинарной классификации. Бинарный классификатор подразумевает получение ответов двух типов: «Рецидив» и «Не рецидив». В использованной базе данных содержатся записи, относящиеся к отдельным пациентам. Каждая из записей представляет собой набор признаков, а также сопровождается отметкой принадлежности к одному из двух названных выше классов. Таким образом, задача сводится к разработке алгоритма, который способен классифицировать произвольный объект из представленной выборки, основываясь на имеющихся признаках.

В качестве первого этапа данного исследования все признаки были проанализированы с точки зрения оценки их значимости для решения конечной задачи. Был выполнен статистический анализ для идентификации различных групп признаков, после чего осуществлен отбор наиболее значимых из них для дальнейшего использования в модели классификатора.

Было установлено, что отобранные прогностические признаки представлены различными типами данных: численными, бинарными и категориальными. Каждая из групп анализировалась по отдельности. Также было установлено, что исходные данные содержат пропущенные значения.

При первичном отборе признаков из исследования удалялись записи с высоким процентом пропущенных значений. Для проверки гипотезы о нормальности распределения численных признаков применялся критерий Шапиро-Уилка. При этом было установлено, что ни один из численных признаков не принадлежит нормальному распределению, поэтому все три категории признаков рассматривались с помощью непараметрических методов.

По результатам статистического анализа из исходного набора были удалены некоторые признаки, сильно коррелирующие друг с другом, признаки, которые не несут информации внутри одного или двух классов, а также признаки с неравномерным распределением данных внутри классов. Такой подход позволил, во-первых, выявить значимость каждого из входных признаков, а, во-вторых, сократить размерность параметров практически в три раза и тем самым увеличить скорость обработки данных, сохраняя при этом большую часть информации.

Принимая во внимание характер представленного набора признаков, наиболее адекватными моделями классификации являются следующие алгоритмы: алгоритмы дерева принятия решений (Decision Tree) и случайного леса (Random Forest). Выбранные алгоритмы позволяют корректно работать с большим количеством представленных признаков при небольшой выборке объектов, а также являются хорошо интерпретируемыми, позволяя в явном виде отображать внутренние взаимосвязи, присущие каждому из рассматриваемых классов.

После отбора информативных показателей были построены модели решающих деревьев и случайного леса. Данные модели обучались на 69 % тренировочных данных, а их эффективность оценивалась на 31 % тестовых данных. В качестве целевой переменной в представленном наборе данных использовался признак «рецидив». При этом значение «0» означало отсутствие рецидива, а значение «1» — его наличие. Оставшиеся признаки в наборе данных рассматривались как независимые переменные.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка эффективности моделей выполнялась с помощью метрик, принятых в задачах классификации, таких как точность и полнота:

• точность (*precision*) — доля объектов, названных классификатором положительными и при этом действительно являющихся положительными, вычисляется по формуле:

$$precision = \frac{TP}{TP + FP};$$

• полнота (*recall*) — показывает, какую долю объектов положительного класса из всех объектов положительного класса нашел алгоритм (этот показатель также называют чувствительностью), вычисляется по формуле:

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}.$$

Здесь:

- *TP* (True Positive) — истинный положительный результат;
- *TN* (True Negative) — истинный отрицательный результат;
- *FP* (False Positive) — ложный положительный результат (ошибка 1-го рода);
- *FN* (False Negative) — ложный отрицательный результат (ошибка 2-го рода).

В качестве единого интегрального показателя в задачах бинарной классификации принято также использовать *F-меру*, представляющую собой среднее гармоническое показателей *precision* и *recall*:

$$F_{\beta} = (1 + \beta^2) \frac{precision \times recall}{precision \times \beta^2 + recall}.$$

В этой формуле параметр β определяет вес точности в метрике, и при $\beta = 1$ это соответствует среднему гармоническому (с множителем 2, чтобы в случае, когда *precision* = 1 и *recall* = 1, получить *F* = 1). *F-мера* достигает максимума при значениях полноты и точности равных единице и близка к нулю, если один из этих показателей близок к нулю.

В результате были разработаны две модели классификаторов: алгоритм дерева решений и алгоритм случайного леса. Подбор параметров моделей выполнялся в два этапа: автоматический подбор параметров системой, а также использование специаль-

ного программного модуля GridSearchCV для поиска наилучших значений гиперпараметров моделей.

На основе этих шагов были построены и оценены четыре модели. Наилучшую точность классификации продемонстрировала базовая модель случайного леса, которая позволила корректно классифицировать приблизительно 90 % представленных объектов. В таблице 1 приведены результаты, полученные в ходе применения всех четырех моделей.

С помощью метода случайного леса также была выполнена оценка значимости каждого из исследуемых признаков. Наиболее информативными и прогностически значимыми признаками, которые удалось идентифицировать, оказались следующие: P2 — число койко-дней, K35 — шкала Рэнкин на момент сбора анамнеза, P3 — длительность анамнеза, P9 — объем отека до операции, P1 — возраст, B59 — мелкоклеточные компоненты, B58 — вихревые структуры, P11 — остаточный объем образований после операции, K1 — диагноз (степень анаплазии, Grade), B34 — включение в опухоль магистральных артерий.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема лечения больных рецидивирующими менингиомами остается актуальной и до конца не решенной. Менингиомы grade 2 в 30,3 % случаев рецидивируют в течение 3 лет после постановки диагноза, а анапластические менингиомы прогрессируют в 78 % случаев в течение первого года после операции [5, 6].

Разработанный нейросетевой алгоритм решает задачу прогноза дальнейшего развития неопластич-

Таблица 1. Значения метрик качества для разработанных моделей

Table 1. Quality metrics values for the developed models

Модель	Точность (<i>precision</i>), %		Полнота (<i>recall</i>), %		<i>F-мера</i> , %	
	Класс 0	Класс 1	Класс 0	Класс 1	Класс 0	Класс 1
Базовая модель решающего дерева	91	60	71	86	80	71
Оптимизированная модель решающего дерева	92	44	69	80	79	57
Базовая модель случайного леса	94	67	94	67	94	67
Оптимизированная модель случайного леса	81	66	100	70	89	61

ческого процесса при рецидивирующих интракраниальных менингиомах. Алгоритм продемонстрировал точность прогноза порядка 90 % на тестовом наборе данных. На основе алгоритма был разработан программный комплекс на языке программирования Python, что дает возможность использовать предложенный метод на практике в качестве дополнительного источника информации при принятии врачебных решений. В то же время дальнейшее совершенствование алгоритма предполагает расширение используемого для обучения моделей набора экспериментальных данных, что должно повысить статистическую достоверность получаемых алгоритмом ответов. Подобный нетрадиционный подход позволяет под другим углом пересмотреть общеизвестные характеристики и обосновать индивидуальную клиническую и прогностическую значимость отдельных признаков как клинического, так и нейровизуализационного, а также патоморфологического характера и в новой последовательности сгруппировать данные совокупности признаков таким образом, чтобы в итоге был сформирован универсальный диагностический и прогностический алгоритм для пациентов с рецидивирующими менингиомами. Данный результат имеет не только прикладное значение для диагностики и формирования стратегии лечения, но и теоретическое, относящееся к выявлению общих закономерностей нейроонкогенеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование технологий ИИ становится трендом в клинической практике, в том числе в нейрохирургии и нейроонкологии. Нейросетевые алгоритмы в известной степени преодолевают ограничения классической статистики при обработке многомерных и неструктурированных данных. Изображения и структурированные клинические данные (базы данных) на сегодняшний день являются основными источниками машинного обучения. Разработчики технологий ИИ и врачи-исследователи ожидают, что его внедрение в практику улучшит научную и лечебную деятельность в медицине.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики / Compliance with patient rights and principles of bioethics

Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Исследо-

вание выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.). / All patients gave written informed consent to participate in the study. The study was carried out in accordance with the requirements of the World Medical Association Declaration of Helsinki (updated in 2013).

Благодарности / Acknowledgement

Работа выполнена в рамках государственного задания № 123021000128-4 «Разработка новой технологии лечения больных вторичными новообразованиями головного мозга и рецидивирующими менингиомами». / The work was carried out as part of the state assignment No. 123021000128-4 "Development of a new technology for treating patients with secondary brain tumors and recurrent meningiomas".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ostrom QT, Patil N, Cioffi G, et al. CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Other Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2013–2017. *Neuro-Oncology*. 2020;22(1):1–96. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noaa200>
2. Goldbrunner R, Stavrinou P, Jenkinson MD, et al. EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas. *Neurooncol*. 2021;23(11):1821–1834. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab150>
3. Mair MJ, Berghoff AS, Brastianos PK, Preusser M. Emerging systemic treatment options in meningioma. *J Neuro-oncol*. 2023;161(2):245–258. <http://doi.org/10.1007/s11060-022-04148-8>
4. Kukanov KK, Sklyar SS, Sitovskaya DA, et al. Chemotherapy in the structure of complex treatment of patients with recurrent intracranial meningiomas. *Russian Neurosurgical Journal named after Professor A. L. Polenov*. 2024;16(2):57–68. In Russian [Куканов К.К., Скляр С.С., Ситовская Д.А. и др. Химиотерапия в структуре комплексного лечения пациентов с рецидивирующими интракраниальными менингиомами. *Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова*. 2024;16(2):57–68]. https://doi.org/10.56618/2071-2693_2024_16_2_57
5. Kukanov KK, Vorobyova OM, Zabrodskaya YuM, et al. Intracranial meningiomas: clinical, intrascopic and pathomorphological causes of recurrence (literature review). *Siberian journal of oncology*. 2022; 21(4):110–123. In Russian [Куканов К.К., Воробьева О.М., Забродская Ю.М. и др. Интракраниальные менингиомы: клиничко-интраскопические и патоморфологические причины рецидивирования с учетом современных методов лечения (обзор литературы). *Сибирский он-*

кологический журнал. 2022;21(4):110–123]. <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2022-21-4-110-123>

6. Kukanov KK, Ushanov VV, Zabrodskaya YuM, et al. Ways to personalize the treatment of patients with relapse and continued growth of intracranial meningiomas. Russian Journal for Personalized Medicine. 2023;3(3):48–63. In Russian [Куканов К.К., Ушанов В.В., Забродская Ю.М. и др. Пути персонификации лечения пациентов с рецидивом и продолженным ростом интракраниальных менингиом. Российский журнал персонализированной медицины. 2023;3(3):48–63]. <https://doi.org/10.18705/2782-38062023-3-3-48-63>

7. Violaris K, Katsarides V, Sakellariou P. The Recurrence Rate in Meningiomas: Analysis of Tumor Location, Histological Grading, and Extent of Resection. Open J Modern Neurosurg. 2012;2:6–10. <https://doi.org/10.4236/ojmn.2012.21002>

8. Huntoon K, Toland AMS, Dahiya S. Meningioma: a review of clinicopathological and molecular aspects. Front Oncol. 2020;10(10):1–14. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.579599>

9. Commins D, Atkinson R, Burnett M. Review of meningioma histopathology. Neurosurg Focus. 2007;23(4):1–9. <https://doi.org/10.3171/FOC-07/10/E3>

10. Cao X, Hao S, Wu Z, et al. Treatment Response and Prognosis After Recurrence of Atypical Meningiomas. World Neurosurg. 2015;84(4):1014–1019. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.05.032>

11. Brastianos P, Galanis E, Butowski N, et al. Advances in multidisciplinary therapy for meningiomas. Neuro Oncol. 2019;21(1):118–131. <http://doi.org/10.1093/neuonc/noy136>

12. Kukanov KK, Nechaeva AS, Sitovskaya DA, et al. The first experience of intraoperative photodynamic therapy in the structure of complex treatment of patients suffering from recurrence and continued growth of intracranial meningiomas. Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2024 June 10; 26(2):243–258. In Russian [Куканов К.К., Нечаева А.С., Ситовская Д.А. и др. Первый опыт интраоперационной фотодинамической терапии в структуре комплексного лечения пациентов, страдающих рецидивом и продолженным ростом интракраниальных менингиом. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2024 Июнь 10; 26(2):243–258]. <https://doi.org/10.17816/brmma624272>

13. Danilov GV, Ishankulov TA, Kotik KV, et al. Artificial intelligence technologies in clinical neurooncology. Zhurnal voprosy neirokhirurgii imeni N. N. Burdenko=Burdenko's Journal of Neurosurgery. 2022;86(6):127–133. In Russian [Данилов Г.В., Ишанкулов Т.А., Котик К.В. и др. Технологии искусственного интеллекта в клинической нейроонкологии. Вопросы нейрохирургии имени Н. Н. Бурденко. 2022;86(6):127–133]. <https://doi.org/10.17116/neiro202286061127>

14. Kukanov KK, Ushanov VV, Suxoparov PD, et al. The basic principles and features of surgical treatment for recurrence and continued growth of intracranial meningiomas. Russian Neurosurgical Journal named after Professor A. L. Polenov. 2024;16(1):54–68. In Russian [Куканов К.К., Ушанов В.В., Сухопаров П.Д. и др. Основные принципы и особенности хирургического лечения при рецидиве и продолженном росте интракраниальных менингиом. Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова. 2024;16(1):54–68]. https://doi.org/10.56618/2071-2693_2024_16_1_54

15. Olyushin VE, Kukanov KK, Nechaeva AS, et al. Photodynamic therapy in neurooncology. Biomedical Photonics. 2023;12(3):25–35. <https://doi.org/10.24931/2413-9432-2023-12-3-25-35>

16. Gadzhiev Ya, Shalbuzzova KI. Application of machine learning methods in cancer prediction and early detection. Sciences of Europe. 2022;108:48.

17. Breiman L. Random Forests. Machine Learning. 2001;45:5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

Информация об авторах:

Куканов Константин Константинович, к.м.н., врач-нейрохирург высшей квалификационной категории нейрохирургического отделения № 4, старший научный сотрудник группы стереотаксической и функциональной нейрохирургии НИЛ нейроонкологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиала ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Калининченко Александр Николаевич, д.т.н., старший научный сотрудник, профессор кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина);

Агапова Ксения Евгеньевна, магистрант кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина);

Болозя Мария Александровна, магистрант кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина);

Воинов Никита Евгеньевич, врач-нейрохирург РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиала ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, специалист по научно-аналитической работе НЦМУ «Центр персонализированной медицины» ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Галиев Александр Зурабович, клинический ординатор кафедры нейрохирургии Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, РНХИ им. проф. А. Л. Поленова —

филиал ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Скляр Софья Сергеевна, к.м.н., врач-нейрохирург, онколог нейрохирургического отделения № 4, старший научный сотрудник НИЛ нейроонкологии РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиала ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Самочерных Константин Александрович: д.м.н., профессор РАН, директор РНХИ им. проф. А. Л. Поленова — филиала ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России, врач-нейрохирург высшей квалификационной категории отделения нейрохирургии для детей № 7 РНХИ им. проф. А. Л. Поленова.

Authors Information:

Kukanov Konstantin K., MD, PhD, Neurosurgeon, Senior Researcher at the Institute of Neuro-Oncology Polenov Neurosurgical Institute — branch of the Almazov National Medical Research Centre;

Kalinichenko Aleksandr N., Doctor of Science, Professor of the Department of Bioengineering Systems of the Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”;

Agapova Kseniya E., undergraduate student of the Department of Bioengineering Systems of the Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”;

Bolozya Mariya A., undergraduate student of the Department of Bioengineering Systems of the Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”;

Voinov Nikita E., neurosurgeon at the Polenov Neurosurgical Institute — branch of the Almazov National Medical Research Centre, specialist in scientific and analytical work of the World-Class Research Centre for Personalized Medicine;

Gagiev Alexander Z., The resident of the Department of Neurosurgery, Polenov Neurosurgical Institute — branch of the Almazov National Medical Research Centre;

Sklyar Sofia S., MD, PhD, Neurosurgeon, oncologist, Senior Researcher at the Institute of Neuro-Oncology Polenov Neurosurgical Institute — branch of the Almazov National Medical Research Centre;

Samochernykh Konstantin A., Doctor of Medical Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, neurosurgeon of the highest category, the Director of the Polenov Neurosurgical Institute — branch of the Almazov National Medical Research Centre, is a neurosurgeon of the Department of Neurosurgery for Children No. 7.