

сибнейро

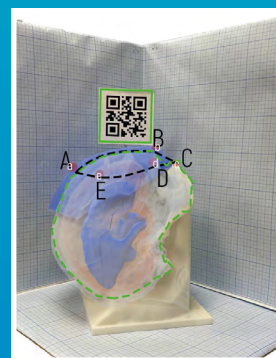
sibneuro

том
volume 1

номер
number 1

2025

стр. 26



ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В НЕЙРОХИРУРГИИ

Основной проблемой интеграции технологий дополненной реальности в хирургическую практику остается обеспечение точного совмещения виртуальных плановых данных с физической анатомией пациента. В данной статье представлены результаты исследования, целью которого являлась сравнительная оценка трёх методов регистрации 3D-моделей по отношению к голове пациента.

Коновалов А.Н. и соавт.
Совмещение голографической модели и реального объекта при нейронавигации методом дополненной реальности (AR): анализ точности трех методов.
Сибнейро. 2025; 1(1): 26–36

Сибнейро

Журнал издается с 2025 года.

том 1, номер 1, 2025

Sibneuro

issued since 2025

volume 1, number 1, 2025

Сибнейро

Периодичность

4 раза в год

Префикс DOI

10.64265

Учредитель и издатель

Бервицкий Анатолий Владимирович

Адрес редакции и издателя

630087, г. Новосибирск
ул. Немировича-Данченко, д. 132/1;
тел. +7 (383) 349-83-00 (доб. 401);
e-mail: info@sibneuro.org

Редактор-корректор

Арсентьева Мария Леонидовна

Верстка

Чорненький Сергей Иванович

Типография

ООО «Версо»,
660079, г. Красноярск,
ул. Александра Матросова, д. 30к

Тираж

100 экземпляров

Цена

Распространяется бесплатно

Выход в свет

15.10.2025

Условия распространения материалов

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution
4.0 License

Цели и область

Журнал посвящен изложению результатов современных научных исследований в области нейрохирургии, неврологии, лучевой диагностики и анестезиологии-реаниматологии. Издание ориентировано на практикующих врачей, научных сотрудников, преподавателей медицинских вузов и резидентов, стремящихся быть в курсе последних достижений в области клинических нейронаук.

Главный редактор

Рзаев Джамиль Афет оглы, д.м.н., профессор, главный врач ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России; заведующий кафедрой нейрохирургии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; профессор кафедры нейронаук ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет» (Новосибирск, Россия)

Заместитель главного редактора

Шнякин Павел Геннадьевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России (Красноярск, Россия)

Редактор

Мойсак Галина Ивановна, кандидат медицинских наук, врач-невролог ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России; доцент кафедры нейронаук ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет»; доцент кафедры нейрохирургии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Новосибирск, Россия)

Ответственный секретарь

Пашков Антон Алексеевич, медицинский психолог ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России; старший преподаватель кафедры нейрохирургии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; старший преподаватель кафедры систем сбора и обработки данных ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (Новосибирск, Россия)

Редакционная коллегия

Славин Константин Владимирович, профессор, заведующий кафедрой стереотаксической и функциональной нейрохирургии Иллинойского университета; бывший президент Американского общества стереотаксической и функциональной нейрохирургии; вице-президент Всемирного общества стереотаксической и функциональной нейрохирургии; президент Международного сообщества нейромодуляции (Чикаго, США)

Ткачев Вячеслав Валерьевич, д.м.н., доцент, профессор кафедры неврологии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России (Краснодар, Россия)

Шнякин Павел Геннадьевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; главный нейрохирург Красноярского края (Красноярск, Россия)

Кушель Юрий Вадимович, д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко»; член Европейской и Всемирной ассоциации нейрохирургов (Москва, Россия)

Попугаев Константин Александрович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой анестезиологии-реанимации и интенсивной терапии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России (Москва, Россия)

Дашьян Владимир Григорьевич, д.м.н., профессор кафедры нейрохирургии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России; ведущий научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы» (Москва, Россия)

Левченко Олег Валерьевич, д.м.н., профессор РАН, проректор, заведующий кафедрой нейрохирургии ФГБОУ ВО «Российский уни-

верситет медицины» Минздрава России (Москва, Россия)

Джиджихадзе Ревас Семенович, д.м.н., профессор кафедры нейрохирургии ФГБОУ ДПО «Российская государственная медицинская академия последипломного образования» Минздрава России; руководитель отделения нейрохирургии ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского»; главный внештатный специалист по нейрохирургии Министерства здравоохранения Московской области (Москва, Россия)

Ошоров Андрей Васильевич, д.м.н., врач анестезиолог-реаниматолог отдела анестезиологии-реанимации и интенсивной терапии ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» (Москва, Россия)

Семенов Александр Валерьевич, д.м.н., старший научный сотрудник научно-клинического отдела нейрохирургии ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»; доцент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии Иркутской государственной медицинской академии последипломного образования – филиала ФГБОУ ДПО «Российская государственная медицинская академия последипломного образования» Минздрава России (Иркутск, Россия)

Исаева Наталья Викторовна, д.м.н., профессор, врач-невролог, главный внештатный невролог Министерства здравоохранения Красноярского края; доцент кафедры нервных болезней с курсом медицинской реабилитации Института последипломного образования ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России (Красноярск, Россия)

Руденко Павел Геннадьевич, кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург нейрохирургического отделения № 1 КГБУЗ «Краевая клиническая больница» (Красноярск, Россия)

Мишинов Сергей Валерьевич, кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург, начальник научно-исследовательского отдела проектной и инновационной деятельности ФГБНУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Я.Л. Цивьяна» Минздрава России (Новосибирск, Россия)

Мойсак Галина Ивановна, кандидат медицинских наук, врач-невролог ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России; доцент кафедры нейронаук ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет»; доцент кафедры нейрохирургии ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Новосибирск, Россия)

Исагулян Эмиль Давидович, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, нейрохирург-алголог ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко»; основатель и президент Национального общества нейромодуляции в России – подразделения Международной ассоциации по нейромодуляции; вице-президент Ассоциации интервенционного лечения боли России; вице-президент Межрегиональной ассоциации специалистов по функциональной и стереотаксической нейрохирургии (Москва, Россия)

Филимонова Елена Андреевна, заведующая отделением лучевой диагностики ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России (Новосибирск, Россия)

Агаев Расим, врач-нейрохирург Appro Hospital (Баку, Азербайджан)

Редакционный совет

Шаллер Карл, MD, профессор, заведующий кафедрой нейрохирургии Медицинского центра Университета Женевы; президент Фонда Европейской ассоциации нейрохирургических сообществ; член редакционных и консультативных советов журналов Acta Neurochirurgica, Neurochirurgie, Neurosurgical Review, Neurosurgery, World Neurosurgery (Женева, Швейцария)

Гароззо Дебора, MD, врач-нейрохирург, член Итальянского общества нейрохирургии; член Комитета по хирургии периферических нервов Всемирной федерации нейрохирургических обществ; вице-президент Общества нейрохирургов Объединенных Арабских Эмиратов; член секции периферических нервов, член комитета по глобальной и гуманитарной нейрохирургии Европейской ассоциации нейрохирургических обществ; председатель комитета по хирургии периферических нервов Всемирной федерации нейрохирургических обществ (Палермо, Италия)

Синду Марк, MD, PhD, профессор, один из основателей Международной ассоциации по изучению боли; президент Всемирного общества стереотаксической и функциональной нейрохирургии (Лион, Франция)

Ходаи Моджган, MD, профессор хирургии, кодиректор радиохирургического центра Gamma Knife имени Джоуи и Тоби Таненбаум в госпитале Toronto Western; ассоциированный член Института медицинских наук Медицинского факультета Университета Торонто (Торонто, Канада)

Саде Бурак, MD, профессор нейрохирургии Медицинского центра Университета Докуз Эйлюль (Измир, Турция)

Расулич Лукас, MD, PhD, профессор Медицинского факультета Университета Белграда; руководитель отделения хирургии периферических нервов, функциональной нейрохирургии и хирургии лечения боли Клиники нейрохирургии Университетского клинического центра Сербии (Белград, Сербия)

Лазарев Валерий Александрович, д.м.н., профессор, профессор кафедры нейрохирургии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (Москва, Россия)

Зуев Андрей Александрович, д.м.н., заведующий Центром нейрохирургии, заведующий нейрохирургическим отделением, заведующий кафедрой нейрохирургии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России (Москва, Россия)

Кравец Леонид Яковлевич, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник группы микро-нейрохирургии Университетской клиники ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России; главный нейрохирург Приволжского федерального округа (Нижний Новгород, Россия)

Протопопов Алексей Владимирович, д.м.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России (Красноярск, Россия)

Прокопенко Семен Владимирович, д.м.н., профессор, врач-невролог, главный вне-

штатный специалист-реабилитолог Красноярского края; научный руководитель направления неврологии и нейрореабилитации, заведующий кафедрой нервных болезней ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; научный руководитель службы неврологии и нейрореабилитации ФГБУ «Федеральный Сибирский научно-клинический центр» ФМБА России (Красноярск, Россия)

Грицан Алексей Иванович, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой анестезиологии и реаниматологии Института последипломного образования ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; вице-президент Федерации анестезиологов и реаниматологов; главный внештатный анестезиолог-реаниматолог Красноярского края и Сибирского федерального округа; директор центров CEEA, OLA, EDAIC part I ESAIC (Красноярск, Россия)

Калиничев Алексей Геннадьевич, д.м.н., профессор кафедры неврологии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России (Омск, Россия)

Доровских Галина Николаевна, д.м.н., профессор кафедры неврологии и нейрохирур-

гии ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России (Омск, Россия)

Быков Юрий Николаевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой нервных болезней ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России (Иркутск, Россия)

Байтингер Владимир Францевич, д.м.н., профессор, Заслуженный врач РФ, президент АНО «Научно-исследовательский институт микрохирургии»; главный внештатный пластический хирург Департамента здравоохранения Томской области; главный редактор журнала «Вопросы реконструктивной и пластической хирургии» (Томск, Россия)

Жукова Наталья Григорьевна, д.м.н., профессор кафедры неврологии и нейрохирургии ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздрава России (Томск, Россия)

Захарова Наталья Евгеньевна, д.м.н., профессор РАН, ведущий научный сотрудник отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» (Москва, Россия)

Благодарим ООО «Спайнмедикс» и лично Михаила Николаевича Поллуксова за помощь в издании журнала.

Sibneuro

Publication frequency

4 times a year

The DOI prefix

10.64265

Founder and publisher

Anatoliy V. Bervitskiy

Address of editorial team and publisher

132/1 Nemirovich-Danchenko str.,
Novosibirsk, 630087;
tel. +7 (383) 349-83-00 (ext. 401);
e-mail: info@sibneuro.org

Proofreading editor

Maria L. Arsentieva

Layout

Sergey I. Chornenkiy

Printing house

Verso LLC,
30k Alexander Matrosov str.,
Krasnoyarsk, 660079

Circulation

100 copies

The price

The journal is distributed free
of charge

Published

15.10.2025

Distribution

Content is distributed under Creative
Commons Attribution 4.0 License

Goals and scope

The journal is dedicated to presenting the results of modern scientific research in the field of neurosurgery, neurology, radiation diagnostics and anesthesiology-intensive care. The publication is aimed at practicing physicians, researchers, teachers of medical universities and residents who seek to keep abreast of the latest developments in the field of clinical neuroscience.

Editor-in-Chief

Jamil A. Rzaev, MD, Professor, Chief Physician, Federal Neurosurgical Center; Head of the Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University; Professor of the Department of Neuroscience, Novosibirsk State University (Novosibirsk, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Pavel G. Shnyakin, MD, Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (Krasnoyarsk, Russia)

Editor

Galina I. Moisak, PhD, Neurologist, Federal Neurosurgical Center; Associate Professor of the Department of Neuroscience, Novosibirsk State University; Associate Professor of the Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University (Novosibirsk, Russia)

Executive Secretary

Anton A. Pashkov, Medical Psychologist, Federal Neurosurgical Center; Senior Lecturer at the Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University; Senior Lecturer at the Department of Data Collection and Processing Systems, Novosibirsk State Technical University (Novosibirsk, Russia)

Editorial Board

Konstantin V. Slavin, Professor, Head of the Department of Stereotactic and Functional Neurosurgery, University of Illinois; former President of the American Society of Stereotactic and Functional Neurosurgery; Vice President of the World Society of Stereotactic and Functional Neurosurgery; President of the International Neuromodulation Society (Chicago, USA)

Vyacheslav V. Tkachev, MD, Associate Professor, Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery, Kuban State Medical University (Krasnodar, Russia)

Pavel G. Shnyakin, MD, Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Chief Neurosurgeon, Krasnoyarsk Territory (Krasnoyarsk, Russia)

Yuri V. Kushel, MD, Professor, Leading Researcher, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery; Member of the European and World Associations of Neurosurgical Societies (Moscow, Russia)

Konstantin A. Popugaev, MD, Professor, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care at the Biomedical University of Innovation and Continuing Education, State Research Center of the Russian Federation – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (Moscow, Russia)

Vladimir G. Dashyan, MD, Professor of the Department of Neurosurgery, Russian University of Medicine; Leading Researcher of the Department of Emergency Neurosurgery, N.V. Sklifovskiy Research Institute for Emergency Medicine (Moscow, Russia)

Oleg V. Levchenko, MD, Professor of the Russian Academy of Sciences, Vice Rector, Head of the Department of Neurosurgery, Russian University of Medicine (Moscow, Russia)

Revaz S. Dzhindzhikhadze, MD, Professor of the Department of Neurosurgery, Russian State Medical Academy of Continuous Professional Education; Head of the Department of Neurosurgery, Moscow Regional Research and Clinical Institute; Chief Freelance Specialist in Neurosurgery, Ministry of Health of the Moscow Region (Moscow, Russia)

Andrey V. Oshorov, MD, Intensive Care Anesthesiologist at the Department of Anesthesiology and Intensive Care, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery (Moscow, Russia)

Alexander V. Semenov, MD, Senior Researcher of the Research and Clinical Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology; Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Irkutsk, Russia)

Natalia V. Isaeva, MD, Professor, Neurologist, Chief Freelance Neurologist, Ministry of Health of the Krasnoyarsk Territory; Associate Professor of the Department of Nervous Diseases with a course in Medical Rehabilitation at the Institute of Postgraduate Education, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (Krasnoyarsk, Russia)

Pavel G. Rudenko, PhD, Neurosurgeon of the Neurosurgical Department No. 1, Regional Clinical Hospital (Krasnoyarsk, Russia)

Sergey V. Mishinov, PhD, Neurosurgeon, Head of the Research Department of Design and Innovation, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics (Novosibirsk, Russia)

Galina I. Moisak, PhD, Neurologist, Federal Neurosurgical Center; Associate Professor of the Department of Neuroscience, Novosibirsk State University; Associate Professor of the Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University (Novosibirsk, Russia)

Emil D. Isagulyan, PhD, Senior Researcher, Neurosurgeon-Algologist, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery; Founder and President of the National Society of Neuromodulation in Russian Federation – Branch of the International Neuromodulation Society; Vice President of the Russian Association for Interventional Pain Management; Vice-President of the Interregional Association of Specialists in Functional and Stereotactic Neurosurgery (Moscow, Russia)

Elena A. Filimonova, Head of the Department of Radiation Diagnostics, Federal Neurosurgical Center (Novosibirsk, Russia)

Rasim Agaev, Neurosurgeon, Appro Hospital (Baku, Azerbaijan)

Editorial Council

Karl Schaller, MD, Professor, Head of the Department of Neurosurgery, University of Geneva Medical Center; President of the Foundation of the European Association of Neurosurgical Societies; Member of the Editorial and Advisory Boards of the journals *Acta Neurochirurgica*, *Neurochirurgie*, *Neurosurgical Review*, *Neurosurgery*, *World Neurosurgery* (Geneva, Switzerland)

Debora Garozzo, MD, Neurosurgeon, Member of the Italian Society of Neurosurgery; Member of the Peripheral Nerve Surgery Committee of the World Federation of Neurosurgical Societies; Vice-President of the Emirates Society of Neurological Surgeons; Member of the Section of Peripheral Nerve Neurosurgery; Member of the Global and Humanitarian Neurosurgery Committee of the European Association of Neurosurgical Societies; Chairman of the Peripheral Nerve Surgery Committee of the World Federation of Neurosurgical Societies (Palermo, Italy)

Marc Sindou, MD, PhD, Professor, one of the founders of the International Association for the Study of Pain; President of the World Society of Stereotactic and Functional Neurosurgery (Lyon, France)

Moqjan Hodai, MD, Professor of Surgery, Co-director of the Joey & Toby Tanenbaum Family Gamma Knife Centre, Toronto Western Hospital; Associate Member of the Institute of Medical Sciences, University of Toronto School of Medicine (Toronto, Canada)

Burak Sade, MD, Professor of Neurosurgery at the Medical Center, Dokuz Eylül University (Izmir, Turkey)

Lukas Rasulic, MD, PhD, Professor at the Medical Faculty, University of Belgrade; Head of the Department of Peripheral Nerve Surgery, Functional Neurosurgery and Pain Management Surgery at the Neurosurgery Clinic, University Clinical Center of Serbia (Belgrade, Serbia)

Valery A. Lazarev, MD, Professor, Professor of the Department of Neurosurgery, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Moscow, Russia)

Andrey A. Zuev, MD, Head of the Neurosurgery Center, Head of the Neurosurgical Unit, Head of the Department of Neurosurgery, Pirogov National Medical and Surgical Center (Moscow, Russia)

Leonid Ya. Kravets, MD, Professor, Chief Researcher of the Group of Microneurosurgery at the University Clinic, Privolzhsky Research Medical University; Chief Neurosurgeon of the Volga Federal District (Nizhny Novgorod, Russia)

Alexey V. Protopopov, MD, Professor, Rector, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University (Krasnoyarsk, Russia)

Semyon V. Prokopenko, MD, Professor, Neurologist, Chief Freelance Specialist in Rehabilitation of the Krasnoyarsk Territory; Scientific Director of the Neurology and Neurorehabilitation Department, Head of the Department of Nervous Diseases, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Scientific Director of the Neurology and Neurorehabilitation Service, Federal Siberian Research Clinical Center under FMBA of Russia (Krasnoyarsk, Russia)

Alexey I. Gritsan, MD, Professor, Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care at the Institute of Postgraduate Education, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Vice-President of the Federation of Anesthesiologists and Intensive Care Physicians; Chief Freelance Specialist in Anesthesiology of the Krasnoyarsk Territory and the Siberian Federal District; Director of the CEEA, OLA, EDAIC part I ESAIC centers (Krasnoyarsk, Russia)

Alexey G. Kalinichev, MD, Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery, Omsk State Medical University (Omsk, Russia)

Galina N. Dorovskikh, MD, Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery, Omsk State Medical University (Omsk, Russia)

Yuri N. Bykov, MD, Professor, Head of the Department of Nervous Diseases, Irkutsk State Medical University (Irkutsk, Russia)

Vladimir F. Baytinger, MD, Professor, Honored Physician of the Russian Federation, President, Scientific Research Institute of Microsurgery; Chief Freelance Specialist in Plastic Surgery of the Tomsk Region Department of Health;

Editor-in-Chief of the Journal “Issues of Reconstructive and Plastic Surgery” (Tomsk, Russia)

Natalia G. Zhukova, MD, Professor of the Department of Neurology and Neurosurgery, Siberian State Medical University (Tomsk, Russia)

Natalia E. Zakharova, MD, Professor of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher of the Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N.N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery (Moscow, Russia)

We would like to express our gratitude to SpineMedics LLC and personally to Mikhail Nikolaevich Polluxov for their support in the publication of this journal.

СОДЕРЖАНИЕ

Сибнейро. том 1, номер 1, 2025

От редакции	12
Лекция	
Применение метода радиочастотной деструкции в нейрохирургии.....	16
<i>Славин К.В.</i>	
Оригинальные исследования	
Совмещение голографической модели и реального объекта при нейронавигации методом дополненной реальности (AR): анализ точности трех методов.....	26
<i>Коновалов А.Н., Артемьев А.А., Окишев Д.Н., Элиава Ш.Ш., Иванов В.М., Смирнов А.Ю., Князев А.В., Стрелков С.В.</i>	
Непосредственные и отдаленные результаты микрохирургического лечения пациентов с аневризмами задней нижней мозжечковой артерии в острой стадии субарахноидального кровоизлияния.....	37
<i>Гвелесиани А.И., Джинджихадзе Р.С., Поляков А.В., Зайцев А.Д., Деркач М.И., Гаджиагаев В.С., Султанов Р.А., Абдуллаев А.Н., Касымов М.У.</i>	
Анатомическое повреждение лицевого нерва при удалении больших и гигантских вестибулярных шванном.....	47
<i>Руденко П.Г., Канашин А.В., Кобаненко В.О., Файзова М.Н.</i>	
Клинические случаи	
Применение страховочного экстра-интракраниального шунта при удалении менингиомы переднего наклоненного отростка(описание клинического случая и обзор литературы).....	57
<i>Федоренко А.Д., Забунян Г.А., Литвиненко Д.В., Ткачев В.В.</i>	
Псевдотуморозная реакция на гемостатический материал. Новый подход к лечению на примере клинических случаев.....	68
<i>Кушель Ю.В., Коновалова Е.И., Демин М.О.</i>	
Менингиома оболочек добавочного нерва: описание редкого клинического случая.....	78
<i>Алексеев И.М., Велентиенко В.С., Плотницкий А.В., Зуев А.А.</i>	
Лучевая диагностика	
Подходы к нейровизуализации тригеминальной невралгии.....	86
<i>Филимонова Е.А.</i>	
Молодой ученый	
Клинический пример ошибки в диагностике и лечении синингомиелии.....	91
<i>Семенов А.А., Копылов И.Б., Батороев Ю.К.</i>	
События	
Сибирско-турецкий нейрохирургический симпозиум – площадка профессионального и культурного диалога.....	99
Анонсы.....	102

Editorial	12
Lecture	
Use of radiofrequency lesioning in neurosurgery.....	16
<i>Konstantin V. Slavin</i>	
Original research	
Alignment of the holographic model and the real object in neuronavigation using augmented reality (AR): accuracy analysis of three methods.....	26
<i>Anton N. Konovalov, Anton A. Artemyev, Dmitry N. Okishev, Shalva Sh. Eliava, Vladimir M. Ivanov, Anton Yu. Smirnov, Alexander V. Knyazev, Sergey V. Strelkov</i>	
Immediate and long-term outcomes of microsurgical treatment for patients with aneurysms of the posterior inferior cerebellar artery in the acute stage of subarachnoid hemorrhage.....	37
<i>Aleksandr I. Gvelesiani, Revaz S. Dzhindzhikhadze, Andrey V. Polyakov, Andrey D. Zaytsev, Maria I. Derkach, Vadim S. Gadzhiaev, Ruslan A. Sultanov, Abdulla N. Abdullaev, Mirza-Ahmad U. Kasymov</i>	
Anatomical injury of the facial nerve during removal of large and giant vestibular schwannomas.....	47
<i>Pavel G. Rudenko, Alexander V. Kanashin, Vladislav O. Kobanenko, Madina N. Fayzova</i>	
Clinical cases	
The use of safety extra-intracranial anastomosis in the removal of meningioma of the anterior oblique process (description of the clinical case and literature review).....	57
<i>Arkady D. Fedorenko, Grant A. Zabunyan, Dmitry V. Litvinenko, Vyacheslav V. Tkachev</i>	
Pseudotumorous reaction to hemostatic material. A new treatment approach illustrated by clinical cases.....	68
<i>Yuri V. Kushel, Elizaveta I. Konovalova, Maksim O. Demin</i>	
Meningioma of the accessory nerve sheaths: description of a rare clinical case.....	78
<i>Ivan M. Alekseev, Vladimir S. Velentienko, Aleksey V. Plotnitsky, Andrey A. Zuev</i>	
Radiology	
Neuroimaging approaches to trigeminal neuralgia.....	86
<i>Elena A. Filimonova</i>	
Young scientist	
A clinical case of diagnostic and treatment error in syringomyelia.....	91
<i>Andrey A. Semenov, Ilya B. Kopylov, Yury K. Batoroev</i>	
Events	
The Siberian-Turkish neurosurgical symposium as a platform for professional and cultural dialogue.....	99
Announcements.....	102

Обращение главного редактора

Глубокоуважаемые коллеги! Дорогие читатели!



Вы держите в руках первый номер журнала «Сибнейро». Идея создания журнала Сибирской ассоциации нейрохирургов родилась не вчера, а примерно тогда же, когда было организовано само профессиональное сообщество, объединяющее сибирских нейрохирургов. Эти события происходили осенью 2014 года, но уже тогда было понятно, что проект создания нового нейрохирургического периодического издания настолько масштабен, ответственен и глубок, что для его реализации потребовалось около десяти лет. В течение этой декады Сибирская ассоциация нейрохирургов заняла достойное место в российской нейрохирургии. Сибнейро окрепла, стала узнаваемой на российских и международных нейрохирургических площадках. В общем сибирские нейрохирурги стали полноправными членами международной нейрохирургической семьи. Создавая новый нейрохирургический журнал, мы, члены редакции, сознаем, какая высокая ответственность лежит на наших плечах. Мы приложим все усилия, чтобы новое издание стало инте-

ресным для нейрохирургов, неврологов, лучевых диагностов и специалистов широкого профиля, интересующихся медицинскими нейронауками. Новый журнал, по нашему представлению, – это место, где обсуждаются идеи и открытия, возникают дискуссии по самым актуальным вопросам современной нейрохирургии.

Наша специальность сложна: это не просто область медицины – это большой пласт медицинских знаний на стыке высочайших технологий, глубокого понимания нейронаук и безграничного стремления помочь пациенту. Каждый из нас, посвятивших свою жизнь нейрохирургии, сталкивается с очень непростыми ситуациями в операционных, больничных палатах и лабораториях по всему миру. Наша цель – сделать достижения авторов журнала «Сибнейро» видимыми и доступными для коллег. Опыт каждого из авторов журнала может стать достоянием всего профессионального сообщества.

Мы будем стремиться публиковать работы высокого уровня – такого, которому должна соответствовать нейрохирургия в любой точке мира. Процесс рецензирования статей должен обеспечивать достижение этой высокой планки. Понимая ценность вашего времени, члены редакции постараются соблюдать разумный баланс между требованиями качества и скорости публикаций. Также будут предприняты усилия для расширения возможности открытого доступа к ключевым материалам, чтобы знания распространялись быстрее.

Дорогие авторы и читатели! Мы открыты для ваших исследований, клинических случаев, обзоров литературы и мнений. Активность авторов – это жизнь журнала. Приглашаем вас не только читать, но и делиться своим интересным опытом.

Желаю вам плодотворного чтения, сил, терпения, ясности ума, хладнокровия чувств, вдохновения для новых открытий и, как всегда, успехов в вашем нелегком, но таком важном труде на благо пациентов.

Alea iacta est. Electio facta est. Factum est consilium.

*С уважением и признательностью,
Джамиль Рзаев*

Приветственное слово К.В. Славина

Клиническая практика, исследовательская деятельность и – особенно – процесс профессионального обучения нуждаются в постоянной возможности делиться научной информацией. В недалеком прошлом такая информация была доступна через учебники, монографии и, конечно же, медицинские журналы. И хотя сейчас подавляющее большинство информации доставляется до читателей через интернет-носители и экраны мониторов, роль профессиональных журналов остается значительной и крайне важной.

Дело тут не только в возможности получить наиболее объективную научную информацию по теме опубликованной статьи, но и в сути редакционного процесса, который включает в себя и детальное рассмотрение представленных данных, и их интерпретацию.

Более 30 лет назад, в начале 1995 года, после нескольких лет работы помощником главного редактора в одном из крупнейших международных нейрохирургических журналов, я написал статью о мире публикаций и начал ее с упоминания малоизвестного факта, что советский нейрохирургический журнал («Вопросы нейрохирургии»), который начал издаваться в 1936 году, был, пожалуй, первым медицинским журналом, полностью посвященным нашей с вами довольно узкой специальности. Суть моей статьи, однако, была в том, что серьезная разница в качестве научных статей, поступавших к нам из разных частей света, никоим образом не отражала отсутствие разницы в профессиональном уровне создающих эти статьи нейрохирургов.

С тех пор, по счастью, многое изменилось. Широкий доступ к всемирной научной литературе, повышение информационной грамотности и знание иностранных языков несравненно повысили уровень публикаций из развитых и развивающихся стран, и одними из результатов такого прогресса стали неожиданный (и, на первый взгляд, чрезмерный) рост количества статей и, наряду с этим, постоянно растущий барьер к принятию этих статей в уважаемые журналы. На сегодняшний день самые известные медицинские журналы с гордостью рассказывают о 95%-м уровне отказов на рассмотрение присылаемых статей, а в большинстве традиционных журналов шансы на принятие статей остаются ниже 50 %.



Выходов тут несколько, и у каждого есть свои преимущества и недостатки. Одно из решений состоит в создании десятков низкокачественных, так называемых «хищнических», журналов, которые берут большие деньги за принятие статей и при этом пропускают посредственные – а порой и откровенно плохие – статьи в погоне за прибылью, тем самым понижая престиж публикаций и доверие к объективности редакционного процесса.

Другое, гораздо более привлекательное, но более трудоемкое и значительно менее прибыльное решение заключается в создании новых журналов, отвечающих на вполне определенные запросы и нужды. В эту категорию можно отнести новые журналы, посвященные высокоспецифичным профессиональным областям или фокусирующиеся на региональном направлении, так или иначе отражающие растущий интерес как среди авторов, так и среди аудитории читателей. Создающиеся при этом редакционный совет и редакционная коллегия ставят перед собой четкие цели по развитию информационного обмена в данных условиях и поддерживают

максимально возможные уровни объективности, внимания к деталям и – самое главное – качества принимаемых к публикации статей.

В этой связи создание журнала «Сибнейро» в какой-то степени эмблематично; эта инициатива правомерно отражает огромный прогресс в области объема и качества нейрохирургической практики, наблюдаемый в Сибири за последние 10–15 лет. Создаваемый журнал обещает стать флагманом инноваций и платформой для клинических и исследовательских работ не только для наших сибирских коллег, но и для всемирного нейрохирургического сообщества. Прямое участие Сибирской ассоциации нейрохирургов и ставших традиционными конференций и заседаний Сибнейро гарантируют широкий спектр обсуждаемых тем и высокий уровень публикуемых сообщений и обзоров.

Я уверен, что формирование нового профессионального нейрохирургического жур-

нала будет замечательным и долгожданным подарком для «создателей» и «потребителей» нейрохирургических публикаций. И, принимая во внимание географические просторы Сибири, которые будут отражены в новом журнале, я не сомневаюсь, что «Сибнейро» станет достойным и авторитетным источником знаний, и хочу пожелать большому кораблю – большое плавание!

Константин Славин,

*Профессор кафедры нейрохирургии
Иллинойского университета (Чикаго, США),
Почетный профессор ФГАУ «Национальный
медицинский исследовательский центр
нейрохирургии имени академика
Н.Н. Бурденко» Минздрава России
Президент Международного общества
нейромодуляции
Экс-Президент Всемирного общества
стереотаксической и функциональной
нейрохирургии*

Приветственное слово Лукаса Расулича

Уважаемые коллеги и друзья!

Для меня большая привилегия и честь обратиться к вам по случаю запуска журнала «Сибнейро». Это начинание является не только свидетельством академической силы вашего сообщества, но и отражением вашего видения будущего нейрохирургии.

От имени Сербского общества нейрохирургов мы направляем наши самые теплые пожелания и искренние поздравления с этим великолепным событием.

Пусть этот журнал превратится в надежный центр нейрохирургических знаний и ведущую площадку для обмена мнениями в области нейрохирургии в Сибири и за ее пределами.

*С неизменной признательностью
и теплыми профессиональными
пожеланиями,
профессор **Лукас Расулич**,
Президент Сербского общества
нейрохирургов*



Dear colleagues and friends!

It is my great privilege and honor to address you on the occasion of the launch of the Sibneuro. This endeavor is not only a testament to the academic strength of your community but also a reflection of your vision for the future of neurosurgery.

On behalf of the Serbian Neurosurgical Society, we send our warmest regards and sincere congratulations to this great effort.

May this journal evolve into a trusted hub of neurosurgical knowledge and a leading forum for sharing neurosurgical insight in Siberia and beyond.

*With lasting appreciation
and warm professional regards,*

*Prof. Dr **Lukas Rasulić**,
President
of the Serbian Neurosurgical Society (SNSS)*



Лекция / Lecture

Use of radiofrequency lesioning in neurosurgery

Konstantin V. Slavin✉

University of Illinois Chicago, West Harrison str., 1200, Chicago, Illinois, USA, 60607

Abstract

Radiofrequency (RF) lesioning is a precise and established destructive technique in functional neurosurgery for treating chronic pain, movement disorders, and other conditions. This paper reviews its history, technical evolution, and key applications such as trigeminal gangliolysis, cordotomy, and deep brain lesioning. Despite being irreversible and less commonly practiced today due to the rise of neuromodulation, RF lesioning offers significant advantages like predictability, minimal invasiveness, and cost-effectiveness, making it a valuable option for specific patients, particularly in oncology pain care.

Keywords: radiofrequency lesioning, functional neurosurgery, pain, epilepsy, tremor

For citation: Slavin K.V. Use of radiofrequency lesioning in neurosurgery. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 16–25. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-16-25>

Conflict of interest. Slavin K.V. has been a member of the editorial board of the *Sibneuro journal* since 2025 but was not involved in the decision-making process regarding the acceptance of this article for publication. The article underwent the journal's standard peer-review procedure. The author declares no other conflicts of interest.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. All data used in the writing of this article are available in international scientific publication databases and are accessible for research purposes.

Received: 03.06.2025

Accepted: 12.08.2025

Published: 15.10.2025

Применение метода радиочастотной деструкции в нейрохирургии

Славин К.В.✉

Университет Иллинойса, ул. Уэст-Харрисон, 1200, Чикаго, Иллинойс, США, 60607

Резюме

Радиочастотная (РЧ) деструкция – это точная и отработанная методика в функциональной нейрохирургии для лечения хронической боли, двигательных расстройств и других заболеваний. В статье рассматриваются ее история, техническое развитие и основные показания к применению, включая ганглиолиз тройничного нерва, кордотомию и деструкцию глубоких структур мозга. Несмотря на необратимость эффекта и снижение популярности с развитием нейромодуляции, РЧ-деструкция остается ценной опцией благодаря предсказуемости, малой инвазивности и экономичности, особенно для пациентов с онкологической болью.

Ключевые слова: радиочастотная деструкция, функциональная нейрохирургия, боль, эпилепсия, тремор

Для цитирования: Славин К.В. Применение метода радиочастотной деструкции в нейрохирургии.. *Сибнейро*. 2025;1(1):16–25. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-16-25>

Конфликт интересов: Славин К.В. является членом редакционной коллегии журнала «Сибнейро» с 2025 г., но не участвовал в процессе вынесения решения о принятии статьи к публикации. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов автор не сообщал.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Все данные, использованные при написании этой статьи, находятся в международных базах научных публикаций и доступны для изучения.

Поступила: 03.06.2025

Принята к печати: 12.08.2025

Опубликована: 15.10.2025

Introduction

In general, there are two ways to change the activity of neural tissue – destruction and modulation; the latter one changes activity of nervous system in a reversible way, as seen in cases of electrical stimulation and chemical modulation, and the former one eliminates pathological activity by irreversible damage of the neural structures, in effect removing, disconnecting or otherwise silencing abnormal neurons. Both of these general approaches are widely used in the field of functional neurosurgery, the subspecialty of neurosurgery that deals with treatment of so-called functional disorders, a broad category of neurological conditions that includes chronic pain, movement disorders, epilepsy and psychiatric disorders.

Although recently surgical neuromodulation has become a standard of care in multiple functional neurosurgical domains, destructive interventions remain widely used for many established indications. They range from mechanical disconnections (such as neurotomy/neurectomy, transections of nerve roots, spinal cord and brain) and chemical destructions (phenol, glycerol, alcohol, etc.) to thermal lesions (with extreme cold as in cryodestruction or heat as in thermocoagulation) and focused radiation (with photons as in radiosurgery and brachytherapy or with sonic waves as in focused ultrasound). Each of these approaches has its own unique advantages and disadvantages; some have long history and remain relatively popular, others were introduced relatively recently and remain experimental, whereas some others have been almost completely abandoned.

Among many destructive modalities, radiofrequency (RF) thermocoagulation stands out as a time-tested neurosurgical approach that is used whenever there is a need for precise and clearly defined area of destruction tissue within confines of the nervous system, be that a ganglion, the spinal cord or the brain. This white paper covers brief history of use of RF lesioning in neurosurgery, its main applications and technical aspects of relevant procedures.

History of radiofrequency lesioning in neurosurgery

The use of electrical lesioning in neurosurgical interventions was initially based on application of direct electrical current through metal electrodes with uninsulated tip that were

inserted into the desired part of the spinal cord or brain during open or stereotactic surgical intervention. In 1964 Sean Mullan and co-workers in Chicago suggested using unipolar anodal electrolytic lesion of the spinal cord for a purpose of pain relief instead of previously used radioactive strontium needle; the lesion was made with a 0.25 mm thick (10 mils) electrode made of iridium, iridium-platinum alloy or platinum-clad tungsten with 1 mm uninsulated tip [1]. Once this electrode is inserted into the spinothalamic tract at C₁–C₂ level through a needle under radiographic control and electrostimulation confirms proper electrode placement, a lesion is made with application of 1–2 mA anodic current for 2–10 minutes.

Although considered an improvement compared to previously used radioactive strontium needle, this approach, however, was hard to reproduce, mainly due to unpredictable tissue response to the electrical current, a significant variability in clinical effect, and wide range of recommended lesioning parameters. The direct current lesion has been associated with electrolysis, tissue polarization and gas formation, each of which phenomena are to be avoided in dealing with the nervous system. To mitigate this, Hugh Rosomoff from Pittsburgh in 1965 suggested using RF current to create thermal lesion in the spinal cord using a 0.5 mm (0.02 in) stainless steel electrode with 2 mm uninsulated tip [2]. This electrode was then connected to a commercially available RF generator allowing the surgeon to create a lesion of predictable size as the combination of the specific electrode and RF generator can be calibrated in animal tissue prior to the clinical use. In the original report, the electrode was expected to produce 5 mm ellipsoid after 30 seconds exposure. Before that, in 1960, a similar approach was suggested by Fritz Munding of Freiburg for stereotactic brain surgery, but the article describing it was published in German and did not receive proper attention [3].

The next two developments aimed at improved safety of the procedure brought neurosurgical RF lesioning to its current level. First was the introduction of impedance measurements suggested by Phil Gildenberg in early 1969 [4]; second – addition of thermocouple for the electrode tip temperature monitoring by Allan Levin and Eric Cosman in 1980 [5]. These innovations allowed surgeons to determine location of the electrode tip based on different tissue properties (impedance measurements allow one not only to differentiate cerebrospinal fluid, white matter and gray

matter, but also follow changes in the tissue conductivity during the lesioning procedure) and continuously measure the lesion temperature thereby increasing accuracy and safety.

Even more important is the ability to perform test stimulation through the lesioning electrode prior to RF thermocoagulation. Electrical stimulation at different frequencies produces different physiological effects (sensory and motor) indicating exact position of the electrode tip related to somatotopic organization of the nervous system. Evaluation of stimulation thresholds suggests proximity of important pathways that should be preserved in order to maintain patient functionality. Such physiological testing is considered standard for all RF lesioning applications, particularly those that are done with the patient awake where the feedback can be taken into consideration for electrode placement and repositioning.

Since the targets of neurosurgical lesioning happen to be of different size and in very different anatomical locations, each neurosurgical RF intervention uses dedicated electrodes that vary by diameter, shape, length of the electrode itself and its uninsulated tip, requiring diverse access tools specifically designed for each target. Many of these RF electrodes carry the names of either procedures themselves or those who introduced and/or popularized the specific procedures and technical nuances.

Common radiofrequency lesioning interventions

The most common neurosurgical RF applications are described below (Tables 1, 2). Some historical RF procedures, such as hypophysectomy and spinal ganglionectomy, have been abandoned over the years, while

Table 1. Common neurosurgical indications for RF lesioning. Source: created by the author

Таблица 1. Наиболее частые нейрохирургические показания для радиочастотной деструкции. Источник: составлено автором

Indication	Target	Procedure name
Trigeminal neuralgia	Gasserian ganglion	Trigeminal RF gangliolysis
Unilateral cancer pain	Lateral spinothalamic tract	Cordotomy
Bilateral cancer pain	Paleospinothalamic tract	Midline myelotomy
Brachial/lumbar plexus avulsion	DREZ of spinal cord	DREZ myelotomy
Trigeminal deafferentation pain	Trigeminal nucleus caudalis	Trigeminal tractotomy/caudalis DREZ
Essential tremor/parkinsonian tremor	Ventral intermedus nucleus of thalamus	VIM thalamotomy
Parkinson disease/dyskinesias/dystonia	Globus pallidus pars interna	GPI pallidotomy
Intractable epilepsy	Anterior nucleus of thalamus	Anterior thalamotomy
Obsessive compulsive disorder/medically refractory depression	Anterior limb of internal capsule	Capsulotomy
Obsessive compulsive disorder/medically refractory depression/diffuse cancer pain	Cingulum / cingulate gyrus	Cingulotomy

Note: DREZ – dorsal root entry zone; GPI – globus pallidus pars interna

Примечание: DREZ – задняя корешковая зона входа (dorsal root entry zone); GPI – внутренний сегмент бледного шара (globus pallidus pars interna)

Table 2. Common RF electrode configurations. Source: created by the author

Таблица 2. Распространенные конфигурации радиочастотных электродов. Источник: составлено автором

Procedure	Tip length (mm)	Tip diameter (mm)	Additional feature(s)
Gasserian gangliolysis	10	0.5	Straight and curved tip configurations (blunt)
Cordotomy	2	0.25	Straight and angled tips (sharp)
DREZ myelotomy	2	0.25	Insulated Teflon shoulder; sharp tip
Caudalis DREZ	1.2 and 2	0.25	Right angle bend; insulated Teflon shoulder; sharp tip
Thalamotomy/pallidotomy	1–3	1–1.8	Blunt tip
Cingulotomy	5–10	1–1.8	Blunt tip

others, such as spinal rhizotomy and sympathectomy, transitioned from neurosurgery practice to the field of interventional pain management that is manned by anesthesiologists and physiatrists. Of this list, the older generations of functional neurosurgeons are familiar with each listed procedure and indication, but recent graduates of neurosurgical residencies are likely to be well familiar only with trigeminal RF gangliolysis, whereas other RF procedures targeting structures of the spinal cord and brain would be taught during dedicated functional neurosurgery fellowships.

Radiofrequency trigeminal gangliolysis

Trigeminal ganglion is the target of neurosurgical interventions in treatment of trigeminal neuralgia. Although the preferred modality for otherwise healthy patients with typical trigeminal neuralgia is considered microvascular decompression (MVD), there are many destructive surgeries that are equally effective and widely used [6]. These include RF thermocoagulation, glycerol gangliolysis, balloon compression and stereotactic radiosurgery. In general, destructive procedures are reserved for pain recurrences after MVD, or as an initial intervention for those who are not medically fit to withstand open surgery or those who have so-called symptomatic trigeminal neuralgia (as in multiple sclerosis), when MVD is not expected to be effective.

Of all destructive trigeminal interventions, RF gangliolysis is by far most selective and allows the surgeon to focus lesioning on specific parts of the Gasserian ganglion that supply the affected part of the face. The surgery involves insertion of the cannula into the Meckel's cave through foramen ovale using Härtel technique. The anatomical landmarks are very reliable and the procedure is routinely done under fluoroscopic guidance. The patient is sedated during the cannula insertion and during the actual lesioning process but is kept awake for physiological testing prior to and after the lesioning to determine sufficiency of the intervention in terms of development of numbness and disappearance of trigger zones.

There are two RF electrodes that are used for trigeminal thermocoagulation: a straight (usually referred to as TIC electrode) [7] and a curved one (usually referred to as TEW electrode after its inventor, John Tew of Mayfield Clinic in Cincinnati) [8].

Straight (TIC) electrode is usually inserted through one of several dedicated cannu-

las that have different length of uninsulated tip (2, 5, 7 and 10 mm long). This uninsulated tip is positioned within the Gasserian ganglion and the exact position is checked with intraoperative X-ray and confirmed by electrical stimulation that elicits paresthesias in the corresponding part of the patient's face. Once the desired area of face (corresponding to first, second or third branch of the trigeminal nerve) is covered with paresthesias, the RF energy is delivered in order to heat up the ganglion. The tip temperature is raised gradually until the desired level (usually $> 70^{\circ}\text{C}$ and $< 90^{\circ}\text{C}$) is reached, and then the desired temperature is maintained for 60–120 seconds. The exact recommended settings vary based on surgeon's preference; in our practice we use 74°C for 90 seconds. The anatomical arrangement of the sensory fibers within Gasserian ganglion is such that the fibers of the third branch are reached first, the second – next, and the first – last, so the electrode may be advanced or withdrawn based on the patient's description of paresthesias. Once the lesioning is completed, the sensory testing is performed in order to determine disappearance of trigger zones and a loss of sharp/dull discrimination that tends to correlate with pain relief. Higher temperatures and longer duration of lesioning tend to result in higher incidence of permanent and complete facial numbness that is sometimes associated with severe pain, so called anesthesia dolorosa. Therefore, the conventional wisdom dictates a preference in keeping temperature and lesion duration lower.

An alternative curved electrode is the more commonly used (it is preferred electrode in our practice) – here the cannula is insulated completely and the flexible electrode tip is protruding from the cannula lumen into the ganglion itself. By aiming the curvature in different directions, it is possible to position the electrode tip in all three branches without moving the cannula. The same kit includes a straight electrode in addition to the curved one – with fully insulated cannula this straight electrode protrudes by 1 cm to create lesion in the Gasserian ganglion along the trajectory of insertion.

The proper position of the electrode is monitored with intraoperative fluoroscopy, impedance measurements and electrical stimulation; the sufficiency of the lesioning is determined by sensory examination after each lesion. Once the desired effects (pain relief and partial sensory loss) are achieved, the electrode and the cannula are withdrawn.

The clinical effect of trigeminal RF thermocoagulation is based on the difference in thermal

sensitivity of different nerve fibers – the pain transmitting fibers are smaller and more sensitive to heat with lower threshold for destruction compared to larger fibers that provide deep cutaneous sensation and supply motor innervation. This difference allows one to achieve pain relief without creating complete numbness thereby avoiding the risk of keratitis, loss of corneal reflex and *anesthesia dolorosa*. The partial sensory loss needed for lasting pain relief can be achieved without creating weakness in the muscles of mastication that are supplied by motor portion of the trigeminal nerve. In addition to this, the somatotopic organization of the fibers in the retrogasserian part of the ganglion permits selective destruction of only those pathways that correspond to the area of pain; this makes RF thermodestruction the most selective percutaneous procedure among all others (glycerol, balloon compression and radiosurgery).

Radiofrequency cordotomy

The concept of selective interruption of pain-transmitting pathways within the spinal cord was introduced more than 100 years ago after an observation of complete insensitivity to pain in an otherwise functional patient who had tuberculosis related granulomas in the spinal cord. Since the lateral spinothalamic tract that carries somatic pain signals from contralateral side of the body is located in the anterolateral quadrant of the spinal cord, the original approach to the cordotomy was to surgically transect the cord with surgical scalpel or the specially designed cutting instrument (the cordotome). Such intervention that requires surgical exposure of the spinal cord at cervical or upper thoracic level – the open cordotomy – is still rarely performed for specific indications, but the preferred option for the last 50 years has been percutaneous cordotomy, where the lesion of the spinothalamic tract is performed through a needle under radiographic guidance. The earlier techniques of cordotomy that involved radioactive needles and anodic currents have been completely abandoned in favor of RF thermocoagulation, and special cordotomy RF electrodes have been developed to create reproducible lesions the spinothalamic tract [5].

The cordotomy is indicated for treatment of medically refractory unilateral pain in patients with relatively short life expectancy. Most often, it is being considered as an option in patients with cancer pain when

the malignant process or anti-neoplastic therapy (such as radiation treatment) involve the lumbar or brachial plexus, or cause severe pain by direct invasion of the pelvis, leg, chest wall or arm. In patients with more than 6-month life expectancy surgical treatment of pain is usually focusing on intrathecal drug delivery, but for those with expected survival shorter than 3–6 months a destructive option such as cordotomy is a preferred approach due to its low invasiveness, predictable outcomes, acceptable risk of complications, low cost and no need in general anesthesia.

The procedure of percutaneous RF cordotomy is done with the patient awake and in supine position. The lesioning is usually done at the upper cervical level and the special 17 Ga needle is inserted in horizontal plane 2 cm inferior to the tip of mastoid process. It is recommended to administer intrathecal contrast dye within an hour prior to the procedure, usually through a lumbar or contralateral cervical puncture, in order to outline the contours of the spinal cord on radiographic images. Once the needle for cordotomy reaches the spinal canal, it is advanced toward the spinal cord anterior to the dentate ligament aiming at the anterolateral quadrant of the cord few millimeters anterior to the cord's equator. Before the surface of the cord is reached, the patient may experience sharp pain in the neck due to penetration of the dura and irritation of the cervical nerve roots; contact with the cord itself, just like the brain, is painless. The cordotomy electrode is very thin (0.25 mm in diameter) and has sharp uninsulated 2 mm tip; the kit usually includes electrodes with straight and slightly curved tips. The electrode is advanced through the needle and the impedance is monitored during the advancement process. Impedance increases significantly when the electrode tip penetrates the spinal cord and remains high when the electrode is advanced for another 3 mm so the part of its insulated shaft is located inside the cord and protects more superficial pathways located lateral to the spinothalamic tract.

The somatotopic organization of the spinothalamic tract allows one to pinpoint the fibers that correspond to sacral, lumbar, thoracic and cervical dermatomes. Here the electrical stimulation is used to elicit paresthesias in the body part that is affected by pain; due to early crossing of the sensory fibers in the spinal cord, the spinothalamic tract carries information from contralateral

part of the body. Once the patient describes sensation of pins and needles or a warm water flowing over the painful region, the electrode position is considered adequate for the RF cordotomy.

The RF lesion is done with tip temperature of 80 °C for 30 seconds; the lesion is usually painless as the white matter tracts do not have painful sensation receptors in them. Once the lesion is completed, the patient is asked to report the level of his/her pain – the pain improvement or disappearance indicates that the lesion is adequate. Neurological examination is performed to check for presence of sensory loss in the area of pain and the rest of contralateral body half as well as any other neurological symptoms including weakness in the ipsilateral extremities. The RF lesioning parameters vary across different centers, but the general approach remains the same.

In the past, RF cordotomy was performed under radiographic guidance using regular cervical radiographs or C-arm fluoroscopy. This was changed to primarily CT-guidance after the technique was introduced by Yucel Kanpolat in the early 1990s [9]; the specially designed “Kanpolat cordotomy” electrode was introduced in 1996 [10].

CT-guided RF cordotomy remains widely recognized pain-relieving intervention for unilateral cancer-related pain. It is not routinely used for patients with non-malignant nature of pain due to relatively high recurrence rate over time; short life expectancy of cancer pain patients makes them excellent candidates for this minimally-invasive intervention that does not require general anesthesia and results in immediate pain relief with associated improvement on quality of life. RF cordotomy is not recommended in patients with bilateral pain due to a concern about respiratory complications with bilateral procedures.

Radiofrequency dorsal root entry zone myelotomy

Dorsal root entry zone (DREZ) is the substrate for pain relieving interventions based on its role in pain generation: in patients with complete loss of the sensory input (deafferentation), nociceptive interneurons in the substantia gelatinosa and Lissauer's tract (both are located within DREZ) become hyperactive and are thought to be responsible for development of the severe and medically refractory neuropathic pain. The original description of so-called DREZotomy was published by Marc Sindou of Lyon

for treatment of spasticity and pain [11], but subsequent modification and popularization of the procedure by Blaine Nashold of Duke University [12] resulted in universal recognition of DREZ myelotomy (frequently referred to in US as Nashold procedure) as preferred approach to treatment of localized deafferentation pain.

Currently, DREZ myelotomy is used primarily for severe pain related to avulsion of the nervous plexus – in cervical region for brachial plexus avulsion and in thoraco-lumbar region for lumbar plexus avulsion. It also works for the end-zone pain related to spinal cord injury, but is considered ineffective for post-herpetic neuralgia and distal (post-ganglionic) nerve injuries. The myelotomy itself can be done with various instruments, including scalpel, bipolar coagulation, laser beam, focused ultrasound, but the most commonly used approach utilized RF thermocoagulation that is performed through an open surgery that involves laminectomy (or hemilaminectomy) and microsurgical exposure of the spinal cord.

RF lesioning in DREZ myelotomy requires a specially designed electrode that has sharpened tip (to penetrate spinal cord) with 0.25 mm diameter and 2 mm length, with an embedded thermocouple as well as shouldered insulation that prevents overpenetration of the tissue [13]. The procedure is done with a series of RF lesions with 75 °C tip temperature and 30 seconds duration performed 2 mm apart from each other along the line of DREZ as visualized under the surgical microscope.

Caudalis dorsal root entry zone radiofrequency lesioning/ radiofrequency trigeminal tractotomy-nucleotomy

A variation of DREZ myelotomy was suggested for targeting the trigeminal nucleus caudalis that is located in the uppermost segment of the spinal cord, just below the brainstem, under the vertebral levels of C₁ and C₂. The concept of selective destruction of the nucleus caudalis was introduced in 1938 by Olof Sjöqvist of Stockholm for treatment of severe facial pain [14], but deep location of the nucleus and proximity of multiple important structures prevented wide acceptance of this intervention.

RF trigeminal tractotomy, frequently referred to as nucleus caudalis DREZ, has been advocated as less invasive and overall safer

intervention compared to open tractotomy of Sjöqvist and is used for most refractory forms of facial pain, especially caused by facial deafferentation, such as anesthesia dolorosa, and cancer in the head and face region.

Since the target for trigeminal tractotomy is located under the more superficial dorsal spinocerebellar tract, the RF electrode had to be modified specifically for this application with addition of 1 mm of insulation between 2 mm electrode tip (0.25 mm diameter) and the shouldered Teflon insulation (0.6 mm diameter) [15]. This was done primarily to reduce the incidence of post-procedural ataxia. For ergonomic reason, the subsequent modification of this electrode had a right-angle bend few millimeters away from the tip to permit holding the electrode handle perpendicular to the surgical plane. The electrode itself was made in two configurations, with 2 mm uninsulated tip for RF lesion between the obex of the fourth ventricle and the C₁ level, and with 1.2 mm uninsulated tip for the narrower part of the nucleus caudalis between C₁ and C₂ vertebral levels [16]. The RF lesions with these electrodes are recommended to be performed at 1 mm intervals with 75 °C tip temperature and 15 seconds duration.

As an alternative to the caudalis DREZ procedure, Kanpolat suggested using CT-guidance to perform percutaneous trigeminal tractotomy [17]. For this, a needle is inserted into occiput-C₁ interspace from posterior direction with the patient positioned prone in the CT scanner. The electrode is inserted into the trigeminal nucleus and intraoperative electrical stimulation is used to confirm proper electrode position. Similar to percutaneous RF cordotomy, the procedure is performed with the patient awake and a myelographic contrast dye is injected into intrathecal space prior to the procedure in order to define the contours of the spinal cord below the craniocervical junction. The guiding cannula is inserted via parasagittal approach about 1 cm away from midline; the RF electrode is advanced into the spinal cord while observing continuous impedance reading. Impedance values increase from about 400 Ohm in the cerebrospinal fluid to about 1000 Ohm when the cord is entered. Following electrical stimulation with low (2–5 Hz) and high (50–100 Hz) frequencies to determine sensory and motor responses and CT confirmation of the electrode location in the posterolateral segment of the cord, an RF lesion is created with 70–80 °C for 60 seconds. A single lesion is usually sufficient to achieve desired clinical effect. In case of pain recurrence, the procedure may be repeated.

Radiofrequency thalamotomy/ pallidotomy/capsulotomy/ cingulotomy

Stereotactic lesioning of different cerebral structures has been used for treatment of chronic functional neurological disorders since 1940s. Techniques of lesioning evolved over time from mechanical excision (topectomy) to chemical destruction to focused radiation with implanted radioactive seeds and, eventually, to RF thermocoagulation. Prior to the introduction of deep brain stimulation (DBS), RF lesioning was considered standard and accepted treatment of essential tremor (RF thalamotomy), Parkinson disease and dystonia (RF pallidotomy); it was also used for treatment of severe depression and obsessive-compulsive disorder (RF capsulotomy and cingulotomy). As the matter of fact, the entire premise of DBS was born out of clinical use of electrical stimulation delivered through RF electrodes prior to the lesioning as correct location of the electrodes was usually conformed by temporary suppression of symptoms [18].

RF electrodes used for intracranial lesioning have standard length so they can be fit into a stereotactic frame that is aimed at the lesioning target. These electrodes are rigid, cylindrical in shape and have blunt tip to minimize brain injury and risk of hemorrhage. The length varies between 19 and 30 cm (25 cm is the most common length), diameter – between 1 and 1.8 mm (21 to 16 Ga), and the uninsulated tip length of 1 to 10 mm. The reason so many different sizes exist is that different neurosurgeons were trained in different places and in different decades and therefore have different preferences. Most practices would have several electrodes of the same configuration except for the length of uninsulated tip as this may be needed to create proper size lesion in selected intracranial target.

The size of the tip of RF electrode determines the size of the lesion as much as the temperature and duration of lesioning [19]. For thalamic and pallidal targets the desired lesion is 3 mm in diameter or less with the height of 5–6 mm along the chosen trajectory; therefore, a 1–3 mm electrode tip is preferred for RF thalamotomy and pallidotomy. Capsular and cingulate targets, on the other hand, are larger; for RF capsulotomy and cingulotomy one would use 5 mm or 10 mm electrode tips.

RF lesioning targets are chosen based on individual clinical presentation. The list of targets is long and includes different thalamic nuclei,

pallidum, subthalamic area, the fields of Forel, anterior limb of the internal capsule, amygdala, cingulum and cingulate gyrus, etc. In general, the targets for lesioning coincide with targets for DBS, but there are some important nuances – mainly the risk of complications – that either prevent lesioning or make DBS not feasible.

In case of essential tremor or tremor-dominant Parkinson disease, the target of choice is the ventral intermediate nucleus of the thalamus (VIM) [20]. For advanced Parkinson disease and especially for levodopa-induced dyskinesias, the ventroposterior segment of the globus pallidus pars interna (GPi) is the preferred lesioning target [21]. Same GPi location is used for treatment of dystonia [22]. Anterior limb of the internal capsule [23] and supracallosal cingulate [24, 25] targets have been used for treatment of severe depression and obsessive-compulsive disorder. The anterior nucleus of the thalamus has been a target for RF lesioning in intractable epilepsy [26].

The coordinates of the target are calculated based on widely known anatomical atlases and defined relative to standard stereotactic landmarks that were established even before three-dimensional imaging (such as computed tomography and magnetic resonance imaging) was invented. The original investigations and clinical series used cerebral ventriculography and stereotactic X-rays in orthogonal planes to evaluate the anatomy of deep cerebral structures; due to this the universal cartesian system of coordinates calculates target location in all three planes relative to the anterior and posterior commissures, the thalamic height and the width of the third ventricle. Currently, computer software is routinely used for stereotactic calculations, and the coordinates are derived not only from the atlases but also from direct visualization of target locations on frame-based or frameless imaging studies.

Once the coordinates are finalized and the stereotactic system of choice (frame-based or frameless) is locked and loaded, the physiological confirmation can be obtained through microelectrode recording and/or with intraoperative test stimulation. RF probes may be used for such stimulation; usually a low frequency stimulation is used for testing the proximity of motor and visual pathways whereas sensory testing is accomplished by a high frequency stimulation. Since the majority of surgeries for movement disorders (with the exception of generalized dystonia and pediatric patients) are done with the patient awake, the patients are asked to describe presence and location of paresthesias,

changes in the tone of extremities and fluidity of movements, as well as any visual phenomena in response to test stimulation in order to define best location for RF lesioning. Similarly, the duration of lesioning itself and the number of lesions are dictated by the degree of symptomatic improvement. This may be easily noticeable as in cases of tremor and somewhat less straightforward in cases of focal dystonia.

RF lesions are performed with 75–80 °C for 60 seconds in VIM thalamotomy and with 80–85 °C for 60–90 seconds for GPi pallidotomy. For RF anterior thalamotomy, two lesions are created on each side with 70 °C for 70 seconds. For RF cingulotomy, bilateral lesions are performed at 85–90 °C and 90 seconds with two or three lesions next to each other on each side. For RF anterior capsulotomy, lesions with 75 °C for 90 seconds are made on both sides. Usually, a control imaging is performed post-operatively to rule out hemorrhage and confirm location of RF lesions.

Radiofrequency lesioning equipment

Since RF lesioning was an integral part of functional neurosurgical practice, for many years there were many vendors of RF electrodes and generators. In the United States, the leader of the field was Radionics, Inc from Burlington, Massachusetts that was founded by Bernard Cosman in 1938 and released first commercial RF generator in 1952. For several decades it offered a comprehensive list of most electrode configurations, vast majority of which were reusable. Following acquisition of Radionics by Tyco in 2000 and subsequent transfer to Integra in 2005, the interest to RF equipment was lost and the technology was acquired by a newly formed company Cosman Medical that in essence inherited all Radionics customers and loyal followers. In 2016, Cosman Medical was acquired by Boston Scientific.

In Canada, the leader of RF equipment has been Diros Technology, Inc located in the Greater Toronto area. Diros line of RF products features OWL generators and variety of RF electrodes, both disposable and reusable ones. The first OWL RF generator came out in 1969; since that time OWL RF equipment has been used for most neurosurgical indications and was featured in many scientific publications.

In Europe, RF generators have been manufactured by Elekta (Sweden) and Leibinger-Fisher (Germany), both of which have also been making and selling stereotactic surgical equipment (Lek-

sell and Zamorano-Dujovny (ZD), respectively). It appears that Leksell Neuro Generator (Elekta) and Neuro N50 Lesion Generator (Stryker/Leibinger) are not currently sold in the US.

Neurotherm (acquired by St. Jude Medical and subsequently Abbott), Avanos Pain (former Baylis Medical, acquired by Kimberly-Clark/Halyard/Avanos Pain Management), Synergetics (acquired by Stryker) and Smith+Nephew also make RF generators, but Abbott/Neurotherm NT2000iX RF generator, Avanos/Halyard Pain Management RF generator and Stryker MultiGen 2 RF generator are designed exclusively for non-neurosurgical pain applications, and Smith+Nephew Electrothermal system has RF applications for arthroscopic use.

Conclusions

Radiofrequency thermocoagulation is an established neurosurgical modality that has many

time-tested applications in surgical treatment of chronic pain, movement disorders, epilepsy and psychiatric conditions. High selectivity, reproducible and predictable lesion size, relatively low invasiveness, as well as decades of clinical experience make RF lesioning an attractive option for a multitude of applications. Lack of implants, ability to perform majority of procedures without general anesthesia, lower procedural costs are important benefits of RF lesioning. Disadvantages of this approach include irreversibility of its effect, lack of adjustability and testability (as seen in case of electrical neuromodulation), as well as marked decline in the number of centers that are competent and comfortable offering RF lesioning to their patients. Recent renaissance of interest in targeted destructive interventions brought up a significant increase in educational offerings on this topic; all this may result in steady growth of amount of RF lesioning procedures all over the world.

References

1. Mullan S, Hekmatpanah J, Dobben G, Beckman F. Percutaneous, intramedullary cordotomy utilizing the unipolar anodal electrolytic lesion. *J Neurosurg.* 1965; 22: 548-553. <https://doi.org/10.3171/jns.1965.22.6.0548>
2. Rosomoff HL, Brown CJ, Sheptak P. Percutaneous radiofrequency cervical cordotomy: Technique. *J Neurosurg.* 1965; 23: 639-644. <https://doi.org/10.3171/jns.1965.23.6.0639>
3. Gildenberg PL, Zanes C, Flitter M, Lin PM, Lautsch EV, Truex RC. Impedance measuring device for detection of penetration of the spinal cord in anterior percutaneous cervical cordotomy. Technical note. *J Neurosurg.* 1969; 30: 87-92. <https://doi.org/10.3171/jns.1969.30.1.0087>
4. Munding F, Riechert T, Gabriel E. [Studies on the physical and technical bases of high-frequency coagulation with controlled dosage in stereotactic brain surgery]. *Zentralbl Chir.* 1960; 85: 1051-1063. (In German).
5. Levin AB, Cosman ER. Thermocouple-monitored cordotomy electrode. Technical note. *J Neurosurg.* 1980; 53: 266-268. <https://doi.org/10.3171/jns.1980.53.2.0266>
6. Slavin KV, Nersesyan H, Colpan ME, Munawar N. Current algorithm for the surgical treatment of facial pain. *Head Face Med.* 2007; 3: 30. <https://doi.org/10.1186/1746-160X-3-30>
7. Sweet WH, Wepsic JG. Controlled thermocoagulation of trigeminal ganglion and rootlets for differential destruction of pain fibers. 1. Trigeminal neuralgia. *J Neurosurg.* 1974; 40: 143-156. <https://doi.org/10.3171/jns.1974.40.2.0143>
8. Tobler WD, Tew JM Jr, Cosman E, Keller JT, Quallen B. Improved outcome in the treatment of trigeminal neuralgia by percutaneous stereotactic rhizotomy with a new, curved tip electrode. *Neurosurgery.* 1983; 12: 313-317. <https://doi.org/10.1227/00006123-198303000-00011>
9. Kanpolat Y, Deda H, Akyar S, Bilgiç S. CT-guided percutaneous cordotomy. *Acta Neurochir Suppl (Wien).* 1989; 46: 67-68. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-9029-6_16
10. Kanpolat Y, Cosman ER. Special radiofrequency electrode system for computed tomography-guided pain-relieving procedures. *Neurosurgery.* 1996; 38: 600-603. <https://doi.org/10.1097/00006123-199603000-00040>
11. Sindou M, Quoex C, Baleyrier C. Fiber organization at the posterior spinal cord-rootlet junction in man. *J Comp Neurol.* 1974; 153: 15-26. <https://doi.org/10.1002/cne.901530103>
12. Nashold BS Jr, Ost Dahl RH. Dorsal root entry zone lesions for pain relief. *J Neurosurg.* 1979; 51: 59-69. <https://doi.org/10.1002/cne.901530103>
13. Cosman ER, Nashold BS, Ovelman-Levitt J. Theoretical aspects of radiofrequency lesions in the dorsal root entry zone. *Neurosurgery.* 1984; 15: 945-950.
14. Sjöqvist O. Studies on pain conduction in the trigeminal nerve: A contribution of the surgical treatment of facial pain. *Acta Psychiatr Scand [Suppl].* 1938; 17: 1-139.
15. Young JN, Nashold BS Jr, Cosman ER. A new insulated caudalis nucleus DREZ electrode. Technical note. *J Neurosurg.* 1989; 70: 283-284. <https://doi.org/10.3171/jns.1989.70.2.0283>
16. Nashold BS Jr, el-Naggar AO, Ovelman-Levitt J, Abdul-Hak M. A new design of radiofrequency lesion electrodes for use in the caudalis nucleus DREZ operation. Technical note. *J Neurosurg.* 1994; 80(6): 1116-1120. <https://doi.org/10.3171/jns.1994.80.6.1116>
17. Kanpolat Y, Deda H, Akyar S, Çağlar S, Bilgiç S. CT-guided trigeminal tractotomy. *Acta Neurochir (Wien).* 1989; 100: 112-114. <https://doi.org/10.1007/BF01403596>
18. Gardner J. A history of deep brain stimulation: Technological innovation and the role of clinical assessment tools. *Soc Stud Sci.* 2013; 43: 707-728. <https://doi.org/10.1177/0306312713483678>

19. Hirabayashi H, Hariz MI, Wårdell K, Blomstedt P. Impact of parameters of radiofrequency coagulation on volume of stereotactic lesion in pallidotomy and thalamotomy. *Stereotact Funct Neurosurg.* 2012; 90: 307-315. <https://doi.org/10.1159/000338249>
20. Tomlinson FH, Jack CR Jr, Kelly PJ. Sequential magnetic resonance imaging following stereotactic radiofrequency ventralis lateralis thalamotomy. *J Neurosurg.* 1991; 74: 579-584. <https://doi.org/10.3171/jns.1991.74.4.0579>
21. Mandybur G, Morenski J, Kuniyoshi S, Iacono RP. Comparison of MRI and ventriculographic target acquisition for posteroventral pallidotomy. *Stereotact Funct Neurosurg.* 1995; 65: 54-59. <https://doi.org/10.1159/000098897>
22. Lozano AM, Kumar R, Gross RE, Giladi N, Hutchison WD, Dostrovsky JO, et al. Globus pallidus internus pallidotomy for generalized dystonia. *Mov Disord.* 1997; 12: 865-870. <https://doi.org/10.1002/mds.870120606>
23. Christmas D, Eljamel MS, Butler S, Hazari H, MacVicar R, Steele JD, et al. Long term outcome of thermal anterior capsulotomy for chronic, treatment refractory depression. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2011; 82: 594-600. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2010.217901>
24. Richter EO, Davis KD, Hamani C, Hutchison WD, Dostrovsky JO, Lozano AM. Cingulotomy for psychiatric disease: Microelectrode guidance, a callosal reference system for documenting lesion location, and clinical results. *Neurosurgery.* 2004; 54: 622-630. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000108644.42992.95>
25. Spangler WJ, Cosgrove GR, Ballantine HT Jr, Cassem EH, Rauch SL, Nierenberg A, et al. Magnetic resonance image-guided stereotactic cingulotomy for intractable psychiatric disease. *Neurosurgery.* 1996; 38: 1071-1078.
26. Sitnikov AR, Grigoryan YA, Mishnyakova LP. [Bilateral radiofrequency anterior thalamotomy in intractable epilepsy patients]. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2016; 80(3): 25-34. <https://doi.org/10.17116/neiro201680325-34>

Information about the author / Сведения об авторе

Konstantin V. Slavin – Professor, Head of the Department of Stereotactic and Functional Neurosurgery, University of Illinois; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7946-8639>; e-mail: kslavin@uic.edu

Славин Константин Владимирович – профессор, заведующий кафедрой стереотаксической и функциональной нейрохирургии Иллинойского университета; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7946-8639>; e-mail: kslavin@uic.edu

✉ Corresponding author / Автор, ответственный за переписку



Оригинальные исследования / Original research

Совмещение голографической модели и реального объекта при нейронавигации методом дополненной реальности (AR): анализ точности трех методов

Коновалов А.Н.^{1,2✉}, Артемьев А.А.¹, Окишев Д.Н.¹, Элиава Ш.Ш.¹, Иванов В.М.³, Смирнов А.Ю.³,
Князев А.В.⁴, Стрелков С.В.⁵

¹ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России, 4-я Тверская-Ямская ул., д. 16, Москва, Российская Федерация, 125047

²ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, Москва, Российская Федерация, 119991

³ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195251

⁴ООО «Нацстандарт-дистрибуция», ул. Вереysкая, д. 29, стр. 33, этаж 3, ком. 5, Москва, Российская Федерация, 121357

⁵ООО «Меджитал», ул. Лисичанская, 6, лит. А, пом. 14-н, ком. 2, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 197342

Резюме

Введение. Технологии дополненной реальности (AR, augmented reality), позволяют хирургу накладывать трехмерные виртуальные модели на реальные объекты, улучшая визуализацию и облегчая выполнение сложных операций. Основной задачей использования AR в хирургии является точное совмещение виртуальной модели с реальной анатомией пациента, что позволяет хирургу видеть ключевые анатомические структуры в виде проекции на теле или внутри него.

Материалы и методы. При выполнении исследования были использованы HMD (head-mounted display) очки Microsoft HoloLens 2 и программное обеспечение «Меджитал» для AR-навигации. В статье представлены результаты технического сравнения трех методов совмещения AR 3D-моделей с головой пациента: совмещение по краниометрическим точкам, использование QR-кода и 3D-печатной рамки, а также применение заранее запрограммированных точек с 3D-указкой. Проведена оценка точности регистрации опорных точек через показатели FRE (fiducial registration error) и времени выполнения для каждого метода, что позволило определить их преимущества и ограничения.

Результаты. Среднее значение FRE при совмещении по краниометрическим точкам – $1,1 \pm 0,3$ см, при использовании QR-кода и 3D-напечатанной рамки – $0,4 \pm 0,3$ см, при применении заранее запрограммированных точек и 3D-указки – $0,7 \pm 0,6$ см. Время проведения совмещения в среднем составило 180, 5 и 100 с соответственно. Выявлено, что метод с использованием QR-кода и 3D-рамки обладает наибольшей точностью, что делает его предпочтительным для большинства клинических ситуаций.

Заключение. Каждый метод имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор зависит от клинической ситуации, доступного оборудования и требуемой точности. Интеграция AR-технологий с хирургическими методами повышает безопасность и точность оперативных вмешательств.

Ключевые слова: дополненная реальность (AR), нейрохирургия, методы совмещения, краниометрические точки, QR-код, 3D-печать, HoloLens 2, интраоперационная навигация, нейронавигация, точность совмещения

Для цитирования: Коновалов А.Н., Артемьев А.А., Окишев Д.Н., Элиава Ш.Ш., Иванов В.М., Смирнов А.Ю., Князев А.В., Стрелков С.В. Совмещение голографической модели и реального объекта при нейронавигации методом дополненной реальности (AR): анализ точности трех методов. *Сибнейро*. 2025; 1(1): 26–36. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-26-36>

Вклад авторов

Коновалов А.Н. – разработка концепции, написание черновика рукописи, рецензирование и редактирование.

Артемьев А.А. – курирование данных, валидация результатов.

Окишев Д.Н. – формальный анализ.

Элиава Ш.Ш. – административное руководство проектом, научное руководство.

Иванов В.М. – получение финансирования.

Смирнов А.Ю. – проведение исследования, разработка программного обеспечения.

Князев А.В. – разработка методологии.

Стрелков С.В. – предоставление ресурсов, визуализация.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения плана НИР по гранту РНФ «Внедрение технологий виртуальной и дополненной реальности в нейрохирургическую практику (номер проекта 23-75-01019).

Использование ИИ. При проведении исследования технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Данные доступны по запросу к автору статьи, ответственному за переписку.

Поступила: 29.03.2025

Принята к печати: 27.07.2025

Опубликована: 15.10.2025

Alignment of the holographic model and the real object in neuronavigation using augmented reality (AR): accuracy analysis of three methods

Anton N. Konovalov^{1,2,✉}, Anton A. Artemyev¹, Dmitry N. Okishev¹, Shalva Sh. Eliava¹, Vladimir M. Ivanov³, Anton Yu. Smirnov³, Alexander V. Knyazev⁴, Sergey V. Strelkov⁵

¹N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery, 4-ya Tverskaya-Yamskaya str., 16, Moscow, Russian Federation, 125047

²I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Trubetskaya str., 8, building 2, Moscow, Russian Federation, 119991

³Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Polytechnicheskaya str., 29, Saint Petersburg, Russian Federation, 195251

⁴Natsstandart-distributsia LLC, Vereyskaya str., 29, building 33, 3rd floor, room 5, Moscow, Russian Federation, 121357

⁵Medzhital LLC, Lisichanskaya str., 6A, facility 14-n, room 2, Saint Petersburg, Russian Federation, 197342

Abstract

Introduction. Augmented reality (AR) technologies allow a surgeon to overlay three-dimensional virtual models onto real objects, enhancing visualization and facilitating the performance of complex surgeries. The primary objective of using AR in surgery is the precise alignment of the virtual model with the patient's real anatomy, enabling the surgeon to see key anatomical structures as a projection onto or inside the body.

Materials and methods. The study utilized Microsoft HoloLens 2 HMD (head-mounted display) glasses and the "Medgital" software for AR navigation. This article presents the results of a technical comparison of three methods for aligning AR 3D models with a patient's head: alignment using craniometric points, the use of a QR code and a 3D printed frame and the application of pre-programmed points with a 3D pointer. The accuracy of fiducial point registration was assessed using the fiducial registration error (FRE) metric, and the execution time was measured for each method, allowing for the determination of their advantages and limitations.

Results. The mean FRE for alignment using craniometric points was 1.1 ± 0.3 cm, for the method using a QR code and a 3D printed frame it was 0.4 ± 0.3 cm, and for the method using pre-programmed points and a 3D pointer it was 0.7 ± 0.6 cm. The average alignment time was 180, 5, and 100 seconds, respectively. It was found that the method using the QR code and the 3D frame offered the highest accuracy, making it preferable for most clinical situations.

Conclusion. Each method has its own strengths and weaknesses; the choice depends on the clinical situation, available equipment, and required accuracy. The integration of AR technologies with surgical techniques improves the safety and precision of operative interventions.

Keywords: augmented reality (AR), neurosurgery, alignment methods, craniometric points, QR code, 3D printing, HoloLens 2, intraoperative navigation, neuronavigation, alignment accuracy

For citation: Konovalov A.N., Artemyev A.A., Okishev D.N., Eliava Sh.Sh., Ivanov V.M., Smirnov A.Yu., Knyazev A.V., Strelkov S.V. Alignment of the holographic model and the real object in neuronavigation using augmented reality (AR): accuracy analysis of three methods. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 26–36. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-26-36>

Author contributions

Konovalov A.N. – conceptualization, writing – original draft, review and editing.

Artemyev A.A. – data curation, validation.

Okishev D.N. – formal analysis.

Eliava Sh.Sh. – project administration, supervision.

Ivanov V.M. – funding acquisition.

Smirnov A.Yu. – investigation, software development.

Knyazev A.V. – methodology.

Strelkov S.V. – resources, visualization.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. This work was supported by the Russian Science Foundation, "Implementation of Virtual and Augmented Reality Technologies in Neurosurgical Practice", Grant number 23-75-01019.

Use of AI. No AI technologies were used in the research.

Data availability. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Received: 29.03.2025

Accepted: 27.07.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Дополненная (AR, augmented reality) и смешанная (MR, mixed reality) реальность становятся все более востребованными технологиями в хирургии, обеспечивая высокую точность и информативность в процессе проведения хирургических вмешательств [1, 2]. Эти технологии позволяют хирургу накладывать трехмерные виртуальные модели на реальные объекты, улучшая визуализацию и облегчая понимание и выполнение сложных операций. В нейрохирургии, где требуется высокая точность манипуляций, использование AR становится особенно важным, поскольку даже небольшие отклонения могут привести к серьезным последствиям [3].

Основной задачей при использовании AR в хирургии является точное совмещение виртуальной модели с реальной анатомией пациента. Это позволяет хирургу видеть ключевые анатомические структуры, такие как кровеносные сосуды, нервы или опухоли, в виде проекции на теле или внутри него [4, 5]. Совмещение моделей с реальными объектами не только улучшает визуализацию, но и способствует более безопасным манипуляциям за счет облегчения понимания пространственного расположения структур [6].

Одним из методов, активно исследуемых для достижения точного совмещения, является использование краниометрических точек – анатомических ориентиров на поверхности головы пациента, таких как брегма, назион, стефанион и другие. Этот метод обеспечивает высокую точность, поскольку эти точки легко доступны и могут быть точно измерены. Преимущество метода заключается в его прямом использовании анатомических ориентиров пациента, что позволяет точно соотнести виртуальную модель с реальными данными. Однако его недостатком является то, что процесс наложения зависит от точного определения точек вручную, что может увеличить время подготовки и допустить возможность человеческой ошибки [7].

Альтернативный метод совмещения основан на использовании QR-кодов и 3D-печатных рамок. Этот метод привлек внимание благодаря достижениям в области 3D-печати и компьютерной томографии (КТ). Рамка с QR-кодом фиксируется на голове пациента и включается в данные КТ. Это позволяет точно совместить 3D-модель с анатомическими

данными пациента и отслеживать положение головы в реальном времени. Преимущество этого метода заключается в автоматизации процесса совмещения и возможности отслеживания даже при изменении положения головы пациента, что особенно полезно в динамических условиях операции. Тем не менее, метод требует использования дополнительного выполнения КТ головы пациенту и возникает необходимость использования самой 3D-печатной рамки, что может усложнить процесс подготовки [8].

Третий метод, который также заслуживает внимания, основан на использовании заранее запрограммированных точек и 3D-указки. Этот подход позволяет хирургу интерактивно расставлять метки в пространстве с помощью AR-устройства, такого как шлем виртуальной реальности (HMD, head-mounted display) Microsoft HoloLens 2 (Microsoft Corp., США). После установки точек 3D-модель автоматически привязывается к ним, что обеспечивает высокую точность совмещения. Этот метод отличается тем, что он не требует заранее подготовленных ориентиров, таких как краниометрические точки или QR-коды, и может быть настроен хирургом непосредственно во время операции. Основное преимущество данного метода заключается в его гибкости и интерактивности, однако он требует более сложной настройки и дополнительного оборудования в виде ноутбука, точки доступа Wi-Fi (роутера) и синхронизированного подключения очков и компьютера к одному Wi-Fi соединению [9].

В то время как каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, существует общая потребность в разработке более быстрых и точных методов совмещения виртуальных моделей с анатомией пациента. Исследования показывают, что AR-технологии могут значительно повысить точность хирургических вмешательств и улучшить клинические результаты. Например, использование AR позволило сократить время операций и снизить риск повреждения критических анатомических структур [10].

Таким образом, целью данной статьи является сравнение трех методов совмещения 3D-моделей, выполненных с использованием методов дополненной реальности, с головой пациента с использованием HMD AR-навигации и оценка применения в контексте ней-

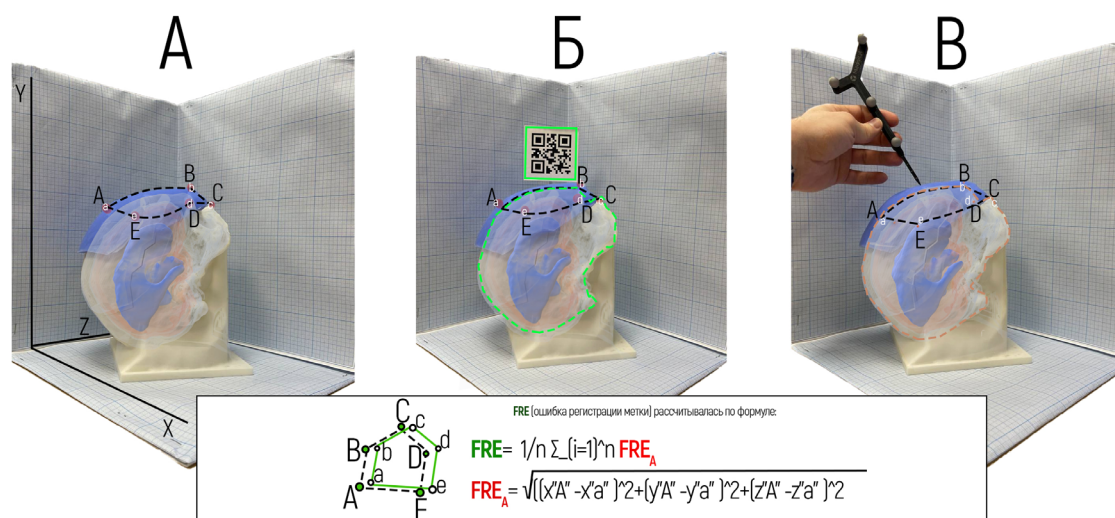


Рисунок 1. Исследование точности совмещения модели AR-методом расчета ошибки регистрации опорных точек (FRE, fiducial registration error) на фантоме, имитирующем голову пациента: А – метод наложения модели по краниометрическим точкам; Б – метод наложения модели с использованием QR-кода; В – совмещение по точкам с использованием 3D-указки и AR-станции. Источник: составлено авторами

Figure 1. Study of AR model alignment accuracy using the FRE (Fiducial Registration Error) calculation method on a phantom simulating a patient's head: А – model overlay method using craniometric points; Б – model overlay method using a QR code; В – point-based registration using a 3D pointer and an AR station.. Source: created by the authors

рохиургических операций. Это исследование поможет определить оптимальный метод для различных клинических сценариев.

Материалы и методы

Для исследования точности совмещения AR 3D-моделей с головой пациента мы использовали три различных метода (Рисунок 1): 1) совмещение по краниометрическим точкам; 2) совмещение с помощью QR-кода и 3D-напечатанной рамки; 3) совмещение по заранее запрограммированным точкам с использованием 3D-указки. Каждый из этих методов был протестирован с использованием специально разработанного фантома головы пациента, напечатанного на 3D-принтере, который позволял точно моделировать реальную анатомию и условия хирургического вмешательства.

Фантом головы пациента был изготовлен с использованием технологии 3D-печати методом послойного наложения (FDM, fused deposition modeling) на основе данных компьютерной томографии (КТ) реального пациента. Для создания фантома использовался медицинский 3D-принтер, который позволил точно воспроизвести анатомические структуры головы, включая кости черепа, мягкие ткани, а также ключевые анатомические ориентиры, такие как краниометрические точки (брегма, назион, стефанион, наружный слуховой проход). Материалом для печати

был выбран пластик, имитирующий плотность и физические свойства человеческой кости. Важной особенностью было наличие возможности крепления меток и рамки QR-кода на поверхность головы, что делало его пригодным для тестирования всех трех методов совмещения. Кроме того, благодаря сегментации данных КТ на фантоме были нанесены точные метки для последующего использования их в качестве контрольных точек в процессе совмещения виртуальных моделей с реальной поверхностью.

Метод 1: наложение модели по краниометрическим точкам

Первый метод, используемый для тестирования, основывался на совмещении виртуальной модели с поверхностью головы пациента через краниометрические точки (Рисунок 2). На фантоме головы пациента были выделены следующие ключевые анатомические ориентиры: брегма (точка на пересечении коронарного и сагиттального швов черепа), назион (точка пересечения носовых костей с лобной костью), стефанион (точка пересечения коронарного шва с височной линией), таргус (наружный слуховой проход), а также несколько других точек, известных как основные краниометрические ориентиры для хирургических процедур.

Перед началом процесса совмещения на фантоме вручную были отмечены эти точ-

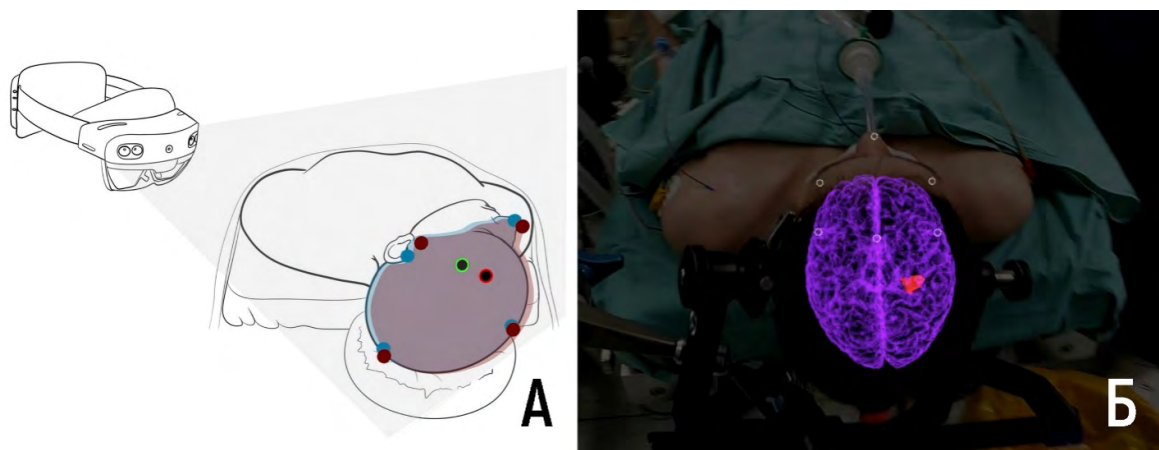


Рисунок 2. Совмещение 3D-модели с головой пациента по краниометрическим точкам: А – схематическое изображение; Б – клинический пример пациента с фокальной кортикальной дисплазией теменной доли (красный цвет), белые полупрозрачные сферы соответствуют расставленным краниометрическим точкам, визуализирована поверхность полушарий головного мозга (фиолетовый цвет). Источник: составлено автором

Figure 2. Alignment of a 3D model with the patient's head using craniometric points: A – schematic representation; B – clinical example of a patient with focal cortical dysplasia of the parietal lobe (shown in red). White translucent spheres correspond to the placed craniometric points. The surface of the cerebral hemispheres is visualized (purple). Source: created by the authors

ки с помощью цифрового измерительного инструмента и миллиметровой бумаги в трех плоскостях (x, y, z). Затем AR-очки, используемые в эксперименте, отображали виртуальную 3D-модель головы, которая содержала заранее сегментированные структуры черепа, мягких тканей и основных анатомических ориентиров. Совмещение модели с поверхностью головы фантома проводилось вручную, путём наложения виртуальных краниометрических точек на реальные ориентиры, отмеченные на фантоме.

В процессе совмещения оценивалась точность позиционирования через показатели ошибки регистрации опорных точек (FRE, fiducial registration error). FRE измерялась как среднее отклонение координат краниометрических точек на виртуальной модели от их реальных аналогов на поверхности фантома – всего 5 точек (Рисунок 1). Для каждого измерения выполнялось три повторных совмещения, после чего данные анализировались для оценки средней ошибки.

Метод 2: QR-код и 3D-напечатанная рамка

Во втором методе использовалась специальная 3D-напечатанная рамка с QR-кодом, которая крепилась на голову фантома для отслеживания положения и совмещения виртуальной модели с реальной поверхностью. Рамка была разработана таким образом, чтобы фиксироваться на голове за наружные слуховые проходы и назион, что обеспечивало ее стабильное положение относительно ос-

новных анатомических структур головы. QR-код, нанесенный на рамку, служил маркером для AR-очков, что позволяло точно отслеживать ее положение в пространстве (Рисунок 3).

Процесс совмещения начинался с КТ-сканирования головы фантома с установленной на нее рамкой. Полученные данные КТ использовались для построения сегментированной 3D-модели головы, включающей кости черепа, мягкие ткани и интракраниальные структуры. Затем серия DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) КТ с рамкой совмещается в программе с положением QR-кода в пространстве. После этого AR-очки, используя QR-код на рамке, автоматически совмещали виртуальную модель с реальной поверхностью фантома. Благодаря этому методу можно было отслеживать положение головы в реальном времени, что особенно полезно в ситуациях, когда пациент может изменять свое положение во время операции.

Метод 3: точки с использованием 3D-указки и AR-станции

Третий метод совмещения основывался на использовании заранее запрограммированных ключевых точек, которые устанавливались с помощью 3D-указки. AR-очки, используемые в эксперименте, отслеживали положение указки в реальном времени и позволяли хирургу или оператору интерактивно расставлять точки на поверхности фантома. Эти точки затем использовались для автоматического «притягивания» вир-

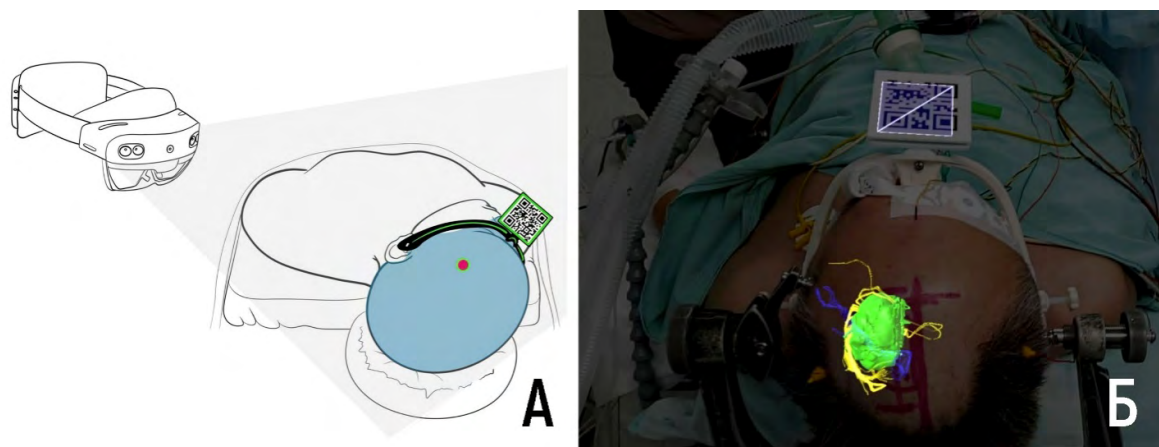


Рисунок 3. Совмещение 3D-модели с использованием QR-кода и 3D-напечатанной рамки: А – схематическое изображение; Б – клинический пример пациента с опухолью головного мозга, видна проекция объемной модели опухоли (зеленый цвет), пирамидного тракта (желтый цвет) и конвексимальной вены, впадающей в верхний сагиттальный синус (синий цвет). Источник: составлено автором

Figure 3. Alignment of a 3D model using a QR code and a 3D-printed frame: A – schematic representation; B – clinical example of a patient with a brain tumor. The projection of the volumetric model of the tumor (green), the pyramidal tract (yellow) and a convexital vein draining into the superior sagittal sinus (blue) are visible. Source: created by the authors

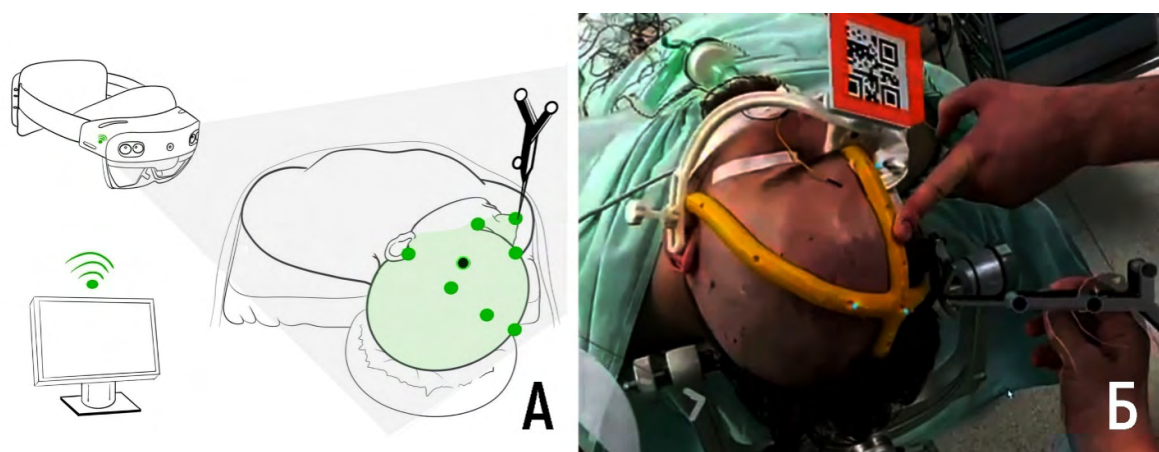


Рисунок 4. Совмещение 3D-модели по заранее запрограммированным точкам, расставленным с помощью 3D-указки: А – схематическое изображение; Б – клинический пример, этап расставления точек при помощи 3D-указки. Источник: составлено автором

Figure 4. Alignment of a 3D model using pre-programmed points placed with a 3D pointer: A – schematic representation; B – clinical example. The stage of placing points using a 3D pointer. Source: created by the authors

туальной 3D-модели головы к реальной поверхности (Рисунок 4).

Перед началом эксперимента в приложении были запрограммированы ключевые точки, соответствующие основным анатомическим ориентирам головы. С помощью 3D-указки оператор вручную расставлял эти точки на фантоме, при этом AR-очки отслеживали положение указки и накладывали виртуальные метки на реальную поверхность. После установки всех точек 3D-модель автоматически совмещалась с фантомом, что обеспечивало высокую точность совмещения. Точность совмещения оценивалась через показатели FRE аналогично другим методам.

Этот метод отличался высокой гибкостью, так как не требовал заранее подготовленных физических ориентиров, таких как краниометрические точки или QR-коды. Оператор мог самостоятельно выбирать и расставлять точки в зависимости от клинической ситуации или потребностей эксперимента. Однако метод требовал более сложной настройки и дополнительного оборудования, что могло увеличивать время подготовки.

Для точного определения пространственного положения (x, y, z) каждой краниометрической точки на фантоме использовалась следующая методика.

Фантом жестко фиксировался в стандартном анатомическом положении (франк-

фуртская горизонталь) относительно трех взаимно перпендикулярных плоскостей. Листы миллиметровой бумаги размещались вдоль каждой из трех основных плоскостей (сагиттальной, коронарной и аксиальной/горизонтальной), образующих систему координат. Бумага надежно крепилась к неподвижным подставкам или стенкам короба, в котором фиксировался фантом. С помощью анализа видео- и фотоизображений наложенных виртуальных моделей на реальный объект оператор рассчитывал положение каждой краниометрической точки на эти три плоскости: Координата X (верхне-нижняя, краниокаудальная) определялась по проекции точки на горизонтальную плоскость (горизонтальная миллиметровка). Координата Y (передне-задняя) определялась по проекции точки на сагиттальную плоскость (вертикальная миллиметровка). Координата Z (медиолатеральная) определялась по проекции точки на коронарную плоскость (вертикальная миллиметровка). Положение проекции точки на каждой плоскости фиксировалось по сетке миллиметровой бумаги с точностью до 1 мм. Значения x, y, z для каждой точки записывались вручную. Координаты (x''a'', y''a'', z''a''), полученные с помощью системы миллиметровой бумаги и цифрового измерительного инструмента, считались «реальными» или «истинными» координатами краниометрических точек на поверхности фантома. Этот набор данных служил эталоном для последующей оценки FRE. Оператор с помощью AR-очков совмещал виртуальную 3D-модель головы (содержащую свои виртуальные краниометрические точки с координатами x''A'', y''A'', z''A'') с фантомом, накладывая виртуальные точки на реальные одним из трех методов (Рисунок 1). Для оценки точности каждого из трех методов совмещения мы использовали показатели FRE. FRE определялась как среднее отклонение виртуальных координат опорных точек (краниометрических ориентиров, QR-кода или заранее расставленных точек) от реальных данных, измеренных на фантоме.

После совмещения для каждой из *n* (5 точек) краниометрических точек вычислялась FRE по формуле:

$$FRE_A = \sqrt{((x''A'' - x''a'')^2 + (y''A'' - y''a'')^2 + (z''A'' - z''a'')^2)},$$

где: x''A'', y''A'', z''A'' – координаты виртуальной точки в системе AR после совмещения;

x''a'', y''a'', z''a'' – «реальные» координаты соответствующей точки на фантоме, по-

лученные с помощью миллиметровой бумаги (эталон).

Затем рассчитывалось среднее значение FRE для всех точек:

$$FRE = 1/n \times \sum_{i=1}^n FRE_A.$$

Каждый метод был протестирован на одном и том же фантоме головы пациента. Для каждого метода проводились три повторных измерения, после чего вычислялось среднее значение ошибки и отклонений. Также в ходе эксперимента учитывалось время, затраченное на подготовку и выполнение совмещения, и оценивалось удобство использования каждого метода в условиях, имитирующих реальную операционную среду. Таким образом, данные эксперименты позволили оценить не только точность каждого из методов, но и время совмещения модели с реальным объектом.

Результаты

Показателем оценки точности была FRE. Кроме того, учитывалось время, необходимое для выполнения каждого из методов совмещения. Все полученные результаты приведены в таблице 1 и графически – на рисунке 5.

При использовании метода совмещения по краниометрическим точкам среднее значение FRE составило 1,1 см с отклонением 0,3 см, что свидетельствует о достаточно высоком уровне точности. Время, затраченное на проведение совмещения, было самым большим среди трех методов и составило в среднем 180 с. Это объясняется необходимостью ручного поиска и наложения точек на фантоме, что увеличивало общее время процедуры.

Данный метод показал относительно высокую точность при использовании краниометрических ориентиров, однако самую низкую среди трех методов. Также для этого метода максимально выражена ошибка параллакса ввиду того, что совмещение происходит за счет пользователя HMD-гарнитуры. Это приводит к тому, что визуально AR-модель накладывается на краниометрические точки с одного угла обзора и в двух плоскостях (например, x и y), что часто приводит к смещению положения в третьей плоскости (например, z). Главным преимуществом данного метода является его простота и то, что он может быть использован в экстренных ситуациях или в обстоятельствах ограниченных технических возможностей. Он обладает достаточной точностью для выполнения

Таблица 1. Сравнение точности и времени совмещения методов. Источник: составлено автором

Table 1. Comparison of the accuracy and registration time of the methods. Source: created by the authors

Методы	Требования	FRE (среднее отклонение, см)	Время совмещения (с)
Наложение модели по краниометрическим точкам	HMD-гарнитура	$1,1 \pm 0,3$	180 ± 15
QR-код и 3D-напечатанная рамка	HMD-гарнитура + 3D-рамка с QR-кодом + КТ головы с рамкой до операции	$0,4 \pm 0,3$	5 ± 10 (+ время на выполнение КТ головы с QR-рамкой)
3D-указка и программированные точки	HMD-гарнитура + AR-станция (ноутбук) + Wi-Fi точка (роутер) + QR-код (опционально)	$0,7 \pm 0,6$	100 ± 12

разметки перед операцией при большинстве нейрохирургических вмешательств, что делает данный метод универсальным и резервным.

Метод с использованием QR-кода и 3D-напечатанной рамки показал наилучшие результаты по точности совмещения. Среднее значение FRE составило 0,4 см с отклонением 0,3 см. Это говорит о высокой точности и надежности метода.

Время, затраченное на совмещение, было также достаточно коротким – 5 с, но было необходимо выполнение КТ-исследования пациента с QR-рамкой, что занимает в среднем 30 мин и требует определенной логистики выполнения исследования. Автоматизация процесса наложения и возможность отслеживания положения головы в реальном времени значительно снизили вероятность ошибок и упростили процесс совмещения. Метод оказался особенно полезным в ситуациях, когда положение головы может меняться во время операции. Мы рекомендуем этот метод для плановых нейрохирургических вмешательств. Метод может быть использован и в экстренных ситуациях при условии

доступа к КТ для выполнения исследования с QR-рамкой.

Третий метод, основанный на использовании заранее запрограммированных точек и 3D-указки, показал среднюю точность среди трех методов. FRE составила 0,7 см с отклонением 0,6 см. Время совмещения оказалось промежуточным – 100 с.

Этот метод представил достаточно высокую точность и гибкость в выборе точек для совмещения, что делает его полезным в условиях, когда нет возможности заранее определить анатомические ориентиры или использовать серию DICOM КТ для совмещения модели с QR-кодом. Такие ситуации могут возникать при операциях в положении лежа на животе у пациентов с краниальной патологией или у пациентов со спинальной патологией любой локализации. Однако требуется настройка оборудования для работы с 3D-указкой, что может затруднять его использование в экстренных случаях. Этот метод является компромиссным, имеющим достаточную точность, время совмещения, и обладает большим преимуществом ввиду наличия особых функций,

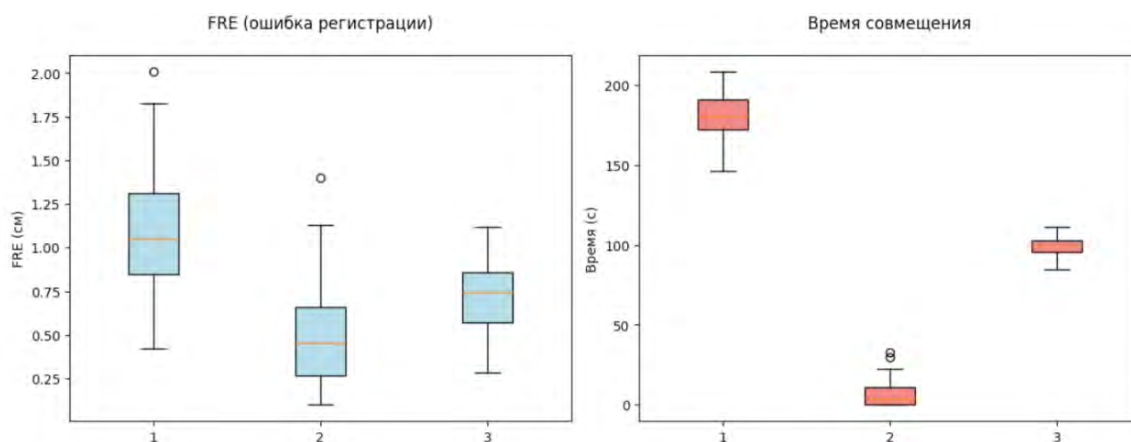


Рисунок 5. Сравнение методов совмещения по показателям FRE и времени совмещения. Примечание: 1 – краниометрические точки; 2 – QR-код и 3D-напечатанная рамка; 3 – 3D-указка и программированные точки. Источник: составлено авторами

Figure 5. Comparison of registration methods by FRE and registration time. 1 – craniometric points; 2 – QR code and 3D-printed frame; 3 – 3D pointer and pre-programmed points. Source: created by the authors

таких как отслеживание AR-инструментов со светооптическими маркерами, совмещение нескольких серий DICOM-изображений одновременно, высокая производительность за счет обработки 3D-изображений на AR-станции (компьютере с программным обеспечением для настройки и трансляции в HMD-гарнитуру). Это также открывает ряд перспектив для дальнейшего расширения функционала AR-навигации.

Обсуждение

Использование технологий дополненной реальности в нейрохирургии открыло новые горизонты для повышения точности операций и улучшения клинических исходов. В рамках нашего исследования мы рассмотрели три различных метода совмещения AR 3D-моделей с головой пациента, каждый из которых обладает своими преимуществами и ограничениями. Эти методы – совмещение по краниометрическим точкам, использование QR-кода и 3D-напечатанной рамки, использование заранее запрограммированных точек с использованием 3D-указки – продемонстрировали разные уровни точности и удобства применения, что важно учитывать при выборе подхода в зависимости от конкретной клинической ситуации.

Метод совмещения по краниометрическим точкам, включающий такие ориентиры, как брегма, назион и стефанион, продемонстрировал высокую точность в плане регистрации опорных точек (FRE). Однако ручной характер процесса и его зависимость от человеческого фактора оказывают значительное влияние на общее время выполнения и могут привести к непреднамеренным ошибкам. Этот метод требует времени для точного определения и установки краниометрических ориентиров, что может усложнять его применение в условиях, требующих быстрой настройки.

Согласно исследованию J.W. Yoon и соавт., использование краниометрических точек в нейрохирургии доказало свою эффективность при проведении навигации и совмещения анатомических структур, однако их точность может варьировать в зависимости от точности их идентификации на поверхности пациента [11]. Тем не менее, использование краниометрических точек продолжает оставаться актуальным, особенно в тех случаях, когда невозможно применить другие методы, такие как использование QR-кодов или заранее запрограммированных точек. Например, в операциях,

где доступ к другим структурам ограничен, данный метод может обеспечить достаточно высокую точность при условии тщательного выполнения. Важно отметить, что для повышения точности данного метода необходимы более автоматизированные подходы к идентификации и наложению краниометрических точек, что может сократить время подготовки и минимизировать риск ошибок.

Метод совмещения с использованием QR-кода и 3D-напечатанной рамки показал лучшие результаты по точности и времени выполнения. Среднее значение FRE составило 0,4 см, что значительно ниже по сравнению с другими методами. Это подтверждается исследованиями Н. Wang и соавт., которые показали, что использование внешних меток, таких как QR-коды, позволяет достичь высокой точности в реальном времени при выполнении сложных хирургических вмешательств [7]. В дополнение к этому автоматизация процесса совмещения позволяет минимизировать человеческий фактор, что особенно важно при работе с подвижными структурами, такими как голова пациента.

В нашем исследовании время на совмещение по этому методу составило всего 5 с, что делает его наиболее эффективным среди рассмотренных методов, если модель заранее подготовлена. Это особенно полезно в условиях, где время является критическим фактором, например, при экстренных хирургических вмешательствах. Возможность отслеживания положения головы пациента в реальном времени также обеспечивает дополнительную гибкость, так как даже при изменении положения головы совмещение остается точным.

Исследования, проведенные N. Mahmoud и соавт., также подтверждают, что использование AR с метками на основе QR-кодов является эффективным средством для визуальной навигации и контроля положения анатомических структур в пространстве [3]. Кроме того, данный метод может применяться не только в нейрохирургии, но и в других хирургических областях, таких как ортопедия и пластическая хирургия, где точное совмещение является ключевым фактором для успешного исхода операции.

Несмотря на высокую точность и эффективность метода с использованием QR-кодов, существуют некоторые ограничения, которые следует учитывать. Во-первых, необходимость использования дополнительных устройств, таких как 3D напечатанная рамка, может усложнять подготовку к операции, особенно в условиях, где доступ к 3D-печати

ограничен. Во-вторых, возможны ситуации, когда рамка может смещаться или деформироваться, что потребует повторной калибровки. Однако, учитывая общий результат, данный метод остается предпочтительным для большинства клинических ситуаций, где требуется высокоточное совмещение.

Третий метод совмещения, основанный на использовании заранее запрограммированных точек и 3D-указки, показал результаты, сопоставимые с методом QR-кодов, но с некоторыми важными отличиями. Среднее значение FRE составило 0,7 см, что находится на среднем уровне по сравнению с другими методами. Однако время выполнения совмещения оказалось несколько выше – в среднем 100 с. Это объясняется тем, что процесс требует предварительной настройки и расстановки точек с помощью 3D-указки, что увеличивает общее время процедуры.

Основное преимущество данного метода заключается в его гибкости. Оператор может самостоятельно выбирать и программировать точки для совмещения, что позволяет адаптировать метод под конкретную клиническую ситуацию. Например, в случаях, когда невозможно использовать QR-коды или краниометрические точки, метод с 3D-указкой может предоставить высокую точность без необходимости в дополнительных физических ориентирах. Исследования I. Kuhlemann и соавт. показали, что использование подобных указок в сочетании с AR-технологиями позволяет достичь высокой точности при операциях и не мешает ходу вмешательства [12].

Однако данный метод также имеет свои ограничения. Во-первых, сложность настройки и необходимость использования дополнительных устройств могут затруднить его внедрение в рутинную клиническую

практику. Во-вторых, требование к точности расстановки точек вручную оставляет место для человеческой ошибки. Тем не менее, в условиях, где другие методы не могут быть применены, использование заранее запрограммированных точек с 3D-указкой остается эффективным решением.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что метод с использованием QR-кодов и 3D-напечатанной рамки является наиболее точным и быстрым среди рассмотренных методов, что делает его предпочтительным для большинства клинических ситуаций. Однако выбор метода всегда должен основываться на конкретных условиях операции. В ситуациях, где важна гибкость и нет возможности использования QR-кодов или краниометрических точек, метод с 3D-указкой может предоставить необходимую точность и адаптивность. Совмещение по краниометрическим точкам, хотя и требует большего времени и является менее точным, может оставаться важным инструментом для операций, где доступ к другим методам ограничен.

Заключение

Каждый из методов имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор подхода должен зависеть от клинического контекста, доступного оборудования и необходимой точности. Развитие AR-технологий и их интеграция с хирургическими методами предоставляют новые возможности для повышения точности операций, улучшения безопасности и сокращения времени вмешательства. Дальнейшие исследования и усовершенствование существующих методов совмещения могут сделать эти технологии более доступными и эффективными в нейрохирургической практике.

Литература / References

1. Kim Y, Kim H, Kim YO. Virtual reality and augmented reality in plastic surgery: A review. *Arch Plast Surg*. 2017; 44(3): 179-187. <https://doi.org/10.5999/aps.2017.44.3.179>
2. Azuma RT. *A survey of augmented reality*. Vol. 6. *Presence: Teleoperators and virtual environments*. 1997. doi.org: 10.1162/pres.1997.6.4.355
3. Mahmoud N, Grasa ÓG, Nicolau SA, Doignon C, Soler L, Marescaux J, et al. On-patient see-through augmented reality based on visual SLAM. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2017; 12(1): 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11548-016-1444-x>
4. Mitsuno D, Ueda K, Hirota Y, Ogino M. Effective application of mixed reality device HoloLens: Simple manual alignment of surgical field and holograms. *Plast Reconstr Surg*. 2019; 143(2): 647-651. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000005215>. Erratum in: *Plast Reconstr Surg*. 2019; 143(4): 1283. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000005770>
5. Lia H, Paulin G, Yi N, Haq H, Emmanuel S, Ludig K, et al. HoloLens in suturing training. *Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling*. 2018: 69. <https://doi.org/10.1117/12.2293934>
6. Kilgus T, Heim E, Haase S, Prüfer S, Müller M, Seitel A, Fangerau M, et al. Mobile markerless augmented reality and its application in forensic medicine. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2015; 10(5): 573-586. <https://doi.org/10.1007/s11548-014-1106-9>
7. Wang H, Wang F, Leong AP, Xu L, Chen X, Wang Q. Precision insertion of percutaneous sacroiliac screws using a novel augmented reality-based navigation system: A pilot study. *Int Orthop*. 2016; 40(9): 1941-1947. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-3028-8>

8. Van Krevelen DWF, Poelman R. A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *Int J Virtual Real.* 2010; 9(2): 1–20. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2010.9.2.2767>
9. Badiali G, Ferrari V, Cutolo F, Freschi C, Caramella D, Bianchi A, et al. Augmented reality as an aid in maxillofacial surgery: Validation of a wearable system allowing maxillary repositioning. *J Cranio-maxillofac Surg.* 2014; 42(8): 1970–1976. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2014.09.001>
10. Tepper OM, Rudy HL, Lefkowitz A, Weimer KA, Marks SM, Stern CS, et al. Mixed reality with HoloLens: Where virtual reality meets augmented reality in the operating room. *Plast Reconstr Surg.* 2017; 140(5): 1066–1070. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000003802>
11. Yoon JW, Chen RE, Kim EJ, Akinduro OO, Kerezoudis P, Han PK, et al. Augmented reality for the surgeon: Systematic review. *Int J Med Robot.* 2018; 14(4): e1914. <https://doi.org/10.1002/rcs.1914>
12. Kuhlemann I, Kleemann M, Jauer P, Schweikard A, Ernst F. Towards X-ray free endovascular interventions – Using HoloLens for on-line holographic visualisation. *Healthcare Technology Letters. Institution of Engineering and Technology.* 2017: 184–187.

Сведения об авторах / Information about the authors

Коновалов Антон Николаевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник, врач-нейрохирург 3-го нейрохирургического отделения (сосудистая нейрохирургия), ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России, старший научный сотрудник Дизайн-центра гибкой биоэлектроники, ФГАУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0932-4752>; e-mail: ANKonovalev@nsi.ru.

Артемьев Антон Алексеевич – клинический ординатор, ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3537-7997>; e-mail: Antonartemev13@yandex.ru

Окишев Дмитрий Николаевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник, врач-нейрохирург 3-го нейрохирургического отделения (сосудистая нейрохирургия), ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0815-5624>; e-mail: dokishev@nsi.ru

Элиава Шалва Шалвович – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник, врач-нейрохирург, заведующий 3-м нейрохирургическим отделением (сосудистая нейрохирургия), ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6103-9329>; e-mail: eliava@nsi.ru

Иванов Владимир Михайлович – доктор физико-математических наук, кандидат технических наук, профессор Высшей школы теоретической механики и математической физики, ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8194-2718>; e-mail: voliva@rambler.ru

Смирнов Антон Юрьевич – специалист Высшей школы теоретической механики и математической физики, ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2440-2499>; e-mail: ant.syur@gmail.com

Князев Александр Викторович – руководитель направления «Лучевая диагностика», ООО «Нацстандарт-дистрибуция»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5901-0866>; e-mail: alexander.knyazev@mail.ru

Стрелков Сергей Васильевич – технический директор ООО «Меджитал»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5901-0866>; e-mail: sergin3d2d@gmail.com

Anton N. Konovalev – Cand. Sci. (Med.), Researcher, Neurosurgeon of the 3rd Neurosurgical Department (Vascular Neurosurgery), N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; Senior Researcher of the Design Center for Flexible Bioelectronics, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0932-4752>; e-mail: ANKonovalev@nsi.ru.

Anton A. Artemyev – Clinical Resident, N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3537-7997>; e-mail: Antonartemev13@yandex.ru

Dmitry N. Okishev – Cand. Sci. (Med.), Researcher, Neurosurgeon of the 3rd Neurosurgical Department (Vascular Neurosurgery), N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0815-5624>; e-mail: dokishev@nsi.ru

Shalva Sh. Eliava – Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Leading Researcher, Neurosurgeon, Head of the 3rd Neurosurgical Department (Vascular Neurosurgery), N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6103-9329>; e-mail: eliava@nsi.ru

Vladimir M. Ivanov – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Cand. Sci. (Tech.), Professor of the Higher School of Theoretical Mechanics and Mathematical Physics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8194-2718>; e-mail: voliva@rambler.ru

Anton Yu. Smirnov – Specialist of the Higher School of Theoretical Mechanics and Mathematical Physics, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2440-2499>; e-mail: ant.syur@gmail.com

Alexander V. Knyazev – Head of the «Radiation Diagnostics» Department, Natsstandart-distributsia LLC; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5901-0866>; e-mail: alexander.knyazev@mail.ru

Sergey V. Strelkov – Technical Director, the Medgital LLC; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5901-0866>; e-mail: sergin3d2d@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Оригинальные исследования / Original research

Непосредственные и отдаленные результаты микрохирургического лечения пациентов с аневризмами задней нижней мозжечковой артерии в острой стадии субарахноидального кровоизлияния

Гвелесиани А.И.^{1,✉}, Джинджихадзе Р.С.^{1,2}, Поляков А.В.¹, Зайцев А.Д.¹, Деркач М.И.¹, Гаджиагаев В.С.¹, Султанов Р.А.¹, Абдуллаев А.Н.¹, Касымов М.У.¹

¹ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», ул. Щепкина, д. 61/2, г. Москва, Российская Федерация, 129110

²ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, ул. Баррикадная, д.2/1, стр.1, г. Москва, Российская Федерация, 125993

Резюме

Введение. Аневризмы задней нижней мозжечковой артерии (ЗНМА) составляют около 0,36–4,5 % от всех интраникальных аневризм. Частота разрыва достигает 77–88 %, риск повторного разрыва – 71–78 %. В настоящее время микрохирургические и эндоваскулярные методы лечения являются конкурирующими. Однако несмотря на свои преимущества, для эндоваскулярных вмешательств при разорвавшихся аневризмах характерен ряд недостатков. Согласно современным протоколам, методом выбора выключения аневризм ЗНМА из кровотока в остром периоде субарахноидального кровоизлияния (САК) является микрохирургическое клипирование.

Цель исследования. Оценить непосредственные и отдаленные результаты, а также качество жизни и возврат к труду после микрохирургического лечения аневризм задней нижней мозжечковой артерии в остром периоде субарахноидального кровоизлияния.

Материалы и методы. В ретроспективное исследование включено 32 пациента, оперированных в остром периоде САК в ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского» с июня 2019 г. по декабрь 2024 г.

Результаты. У пациентов, поступивших в стационар в компенсированном состоянии (13–15 баллов по шкале комы Глазго (ШКГ), степени 1 и 2 по шкале Ханта – Хесса), после проведенного лечения отмечали благоприятные клинические исходы (средний балл по шкале исходов Глазго (ШИГ) – 7,4). Среди декомпенсированных пациентов (9–12 баллов по ШКГ, степени 3 и 4 по шкале Ханта – Хесса) также отмечали благоприятные клинические исходы (средний балл по ШИГ – 6,9). Летальность составила 6,2 % ($n = 2$).

Распределение пациентов по результатам оценки профиля здоровья по опроснику EQ-5D-3L (EuroQoL 5 Dimensions 3 Levels): полное восстановление – 15 (55,7 %), хорошее восстановление – 7 (25,9 %), прочие пациенты – 5 (18,5 %). По результатам субъективной оценки состояния здоровья пациентами среднее значение составило $79,8 \pm 12,9$ балла. Вернулись к трудовой деятельности 20 (74,1 %) пациентов.

Заключение. Микрохирургическое лечение аневризм ЗНМА является безопасным и эффективным методом с благоприятными непосредственными и отдаленными результатами. Хорошее качество жизни и возврат к труду отмечены более чем у 74 % пациентов.

Ключевые слова: аневризма головного мозга, микрохирургия, задняя нижняя мозжечковая артерия, субарахноидальное кровоизлияние

Для цитирования: Гвелесиани А.И., Джинджихадзе Р.С., Поляков А.В., Зайцев А.Д., Деркач М.И., Гаджиагаев В.С., Султанов Р.А., Абдуллаев А.Н., Касымов М.У. Непосредственные и отдаленные результаты микрохирургического лечения пациентов с аневризмами задней нижней мозжечковой артерии в острой стадии субарахноидального кровоизлияния. *Сибнейро*. 2025; 1(1): 37–46. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-37-46>

Вклад авторов

Гвелесиани А.И. – проведение исследования, написание черновика рукописи, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Джинджихадзе Р.С. – разработка концепции, научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Поляков А.В. – разработка концепции, проведение исследования.

Зайцев А.Д. – написание черновика рукописи, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Деркач М.И. – проведение исследования, визуализация.

Гаджиагаев В.С. – визуализация, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Султанов Р.А. – проведение исследования, визуализация.

Абдуллаев А.Н. – визуализация, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

Касымов М.У. – написание черновика рукописи.

Конфликт интересов. Джинджихадзе Р.С. является членом редакционной коллегии журнала «Сиб-нейро» с 2025 г., но не участвовал в процессе вынесения решения о принятии статьи к публикации. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо спонсорской поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Данные, подтверждающие результаты этого исследования, можно получить у автора, ответственного за переписку, по разумному запросу.

Публикационная этика. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Поступила: 05.04.2025

Принята к печати: 28.07.2025

Опубликована: 15.10.2025

Immediate and long-term outcomes of microsurgical treatment for patients with aneurysms of the posterior inferior cerebellar artery in the acute stage of subarachnoid hemorrhage

Aleksandr I. Gvelesiani¹✉, Revaz S. Dzhindzhikhadze^{1,2}, Andrey V. Polyakov¹, Andrey D. Zaytsev¹, Maria I. Derkach¹, Vadim S. Gadzhiagaev¹, Ruslan A. Sultanov¹, Abdulla N. Abdullaev¹, Mirza-Ahmad U. Kasymov¹

¹Moscow Regional Research and Clinical Institute, Shchepkina str., 61/2, Moscow, Russian Federation, 129110

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Barrikadnaya str., 2/1, Building 1, Moscow, Russian Federation, 125993

Abstract

Introduction. Aneurysms of the posterior inferior cerebellar artery (PICA) account for approximately 0.36–4.5 % of all intracranial aneurysms. The rupture rate reaches 77–88 %, and the risk of re-rupture is 71–78 %. Currently, microsurgical and endovascular treatment methods are competing. However, despite their advantages, endovascular interventions for ruptured aneurysms have a number of drawbacks. According to modern protocols, the treatment of choice for excluding PICA aneurysms from the circulation in the acute period of subarachnoid hemorrhage (SAH) is microsurgical clipping.

The aim of this study. To evaluate the immediate and long-term outcomes, as well as the quality of life and return to work after microsurgical treatment of PICA aneurysms in the acute stage of SAH.

Materials and methods. A retrospective study included 32 patients operated on in the acute stage of SAH at the Moscow Regional Research and Clinical Institute from June 2019 to December 2024.

Results. Patients admitted to the hospital in a compensated state (13–15 points on the Glasgow Coma Scale (GCS), Grade 1 and 2 on the Hunt – Hess scale) showed favorable clinical outcomes after treatment (mean Glasgow Outcome Scale (GOS) score – 7.4). Favorable clinical outcomes were also noted among decompensated patients (9–12 points on the GCS, Grade 3 and 4 on the Hunt – Hess scale) (mean GOS score – 6.9). Mortality was 6.2 % (n = 2). Distribution of patients according to the EQ-5D-3L health questionnaire: full recovery – 15 (55.7 %), good recovery – 7 (25.9 %), other patients – 5 (18.5 %). According to the patients' subjective assessment of their health status, the mean value was 79.8 ± 12.9 points. Twenty patients (74.1 %) returned to work.

Conclusion. Microsurgical treatment of PICA aneurysms is a safe and effective method with favorable immediate and long-term outcomes. Good quality of life and return to work were observed in more than 74% of patients.

Keywords: brain aneurysm, microsurgery, posterior inferior cerebellar artery, subarachnoid hemorrhage

For citation: Gvelesiani A.I., Dzhindzhikhadze R.S., Polyakov A.V., Zaytsev A.D., Derkach M.I., Gadzhiagaev V.S., Sultanov R.A., Abdullaev A.N., Kasymov M.U. Immediate and long-term outcomes of microsurgical treatment for patients with aneurysms of the posterior inferior cerebellar artery in the acute stage of subarachnoid hemorrhage. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 37–46. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-37-46>

Authors' contribution

Gvelesiani A.I. – investigation, writing original draft, writing – review & editing.

Dzhindzhikhadze R.S. – conceptualization, supervision, writing – review & editing.

Polyakov A.V. – conceptualization, investigation.

Zaytsev A.D. – writing original draft, writing – review & editing.

Derkach M.I. – investigation, visualization.

Gadzhiagaev V.S. – visualization, writing – review & editing.

Sultanov R.A. – investigation, visualization.

Abdullaev A.N. – visualization, writing – review & editing.

Kasymov M.U. – writing original draft.

Conflict of interest. Djindzhikhadze R.S. has been a member of the editorial board of the Sibneuro journal since 2025 but was not involved in the decision-making process regarding the acceptance of this article for publication. The article underwent the journal's standard peer-review process. The authors declare no other conflicts of interest.

Financial disclosure: The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the process of writing this manuscript.

Data availability. The data supporting the findings of this study are available from the corresponding author, A.I. Gvelesiani, upon reasonable request.

Publication ethics. All patients provided written informed consent to participate in the study.

Received: 05.04.2025

Accepted: 28.07.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Согласно литературным данным, распространенность аневризм задней нижней мозжечковой артерии (ЗНМА) среди всех интракраниальных аневризм составляет от 0,36 до 4,5 % [1–4]. Аневризмы данной локализации чаще встречаются у женщин в возрасте от 44 до 51 года – в 50–74 % случаев [5, 6]. Частота разрывов аневризм ЗНМА составляет от 77 до 88 % [4, 7–9]. Разрыв аневризм ЗНМА часто сопровождается вентрикулярным кровоизлиянием (в 70–100 % случаев), которое может привести к клинически значимой окклюзионной гидроцефалии [10–12]. Сложность лечения аневризм ЗНМА обусловлена глубоким и узким микрохирургическим коридором, близостью к стволу головного мозга и каудальной группе черепно-мозговых нервов (ЧМН).

Микрохирургическое лечение аневризм ЗНМА в остром периоде субарахноидального кровоизлияния (САК) является безопасным и эффективным, а также считается методом выбора, согласно национальным клиническим рекомендациям и данным зарубежной литературы [13–16]. Микрохирургическое клипирование позволяет полностью исключить аневризму из кровообращения и минимизировать риск повторного разрыва. С другой стороны, эндоваскулярные методы лечения менее инвазивны, однако их эффективность в остром периоде субарахноидального кровоизлияния ограничена, особенно в случаях, когда требуется санация базальных цистерн и сгустков крови из 4-го желудочка.

Цель исследования

Оценка непосредственных и отдаленных результатов, а также качества жизни и возврата к труду после микрохирургического лечения аневризм задней нижней мозжечковой артерии в остром периоде субарахноидального кровоизлияния.

Материалы и методы

Представлен ретроспективный анализ 32 пациентов, которые были оперированы в остром периоде САК вследствие разрыва аневризм ЗНМА в ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского» с июня 2019 г. по декабрь 2024 г. Средний возраст пациентов составил $52,2 \pm 16,4$ года, преобладали лица женского пола (71,9 % всех пациентов).

Выполняли клинико-неврологическую оценку состояния пациентов. Для объективного определения дооперационного статуса применяли шкалу комы Глазго (ШКГ) и шкалу Ханта – Хесса (Hunt – Hess).

Всем пациентам с интракраниальными аневризмами проводили компьютерную томографию (КТ) и КТ-ангиографию. С применением 3D-реконструкции разрабатывали оптимальный хирургический коридор, учитывая индивидуальные анатомические особенности пациента. Диагностика выполнялась на томографах Toshiba Aquilion PRIME (160 срезов; Toshiba, Япония) и Siemens Somatom Sensation (64 среза; Siemens, Германия). До- и послеоперационная оценка включала три аспекта анатомического анализа: нативные изображения, костную анатомию и характеристики сосудистой анатомии.

С целью прогнозов и анализа степени выраженности субарахноидального и вентрикулярного кровоизлияний использовали следующие шкалы: для оценки степени выраженности САК использовали шкалу Fisher, для оценки массивности САК – шкалу Hijdra, для оценки степени выраженности вентрикулярного кровоизлияния – шкалу Graeb.

Все пациенты были прооперированы микрохирургически в ультраранние и ранние сроки после САК (6–24 ч) (Рисунок 1).

Непосредственные результаты лечения оценивали на момент выписки пациентов. Отдаленные результаты оценивали через 6 месяцев после операции.

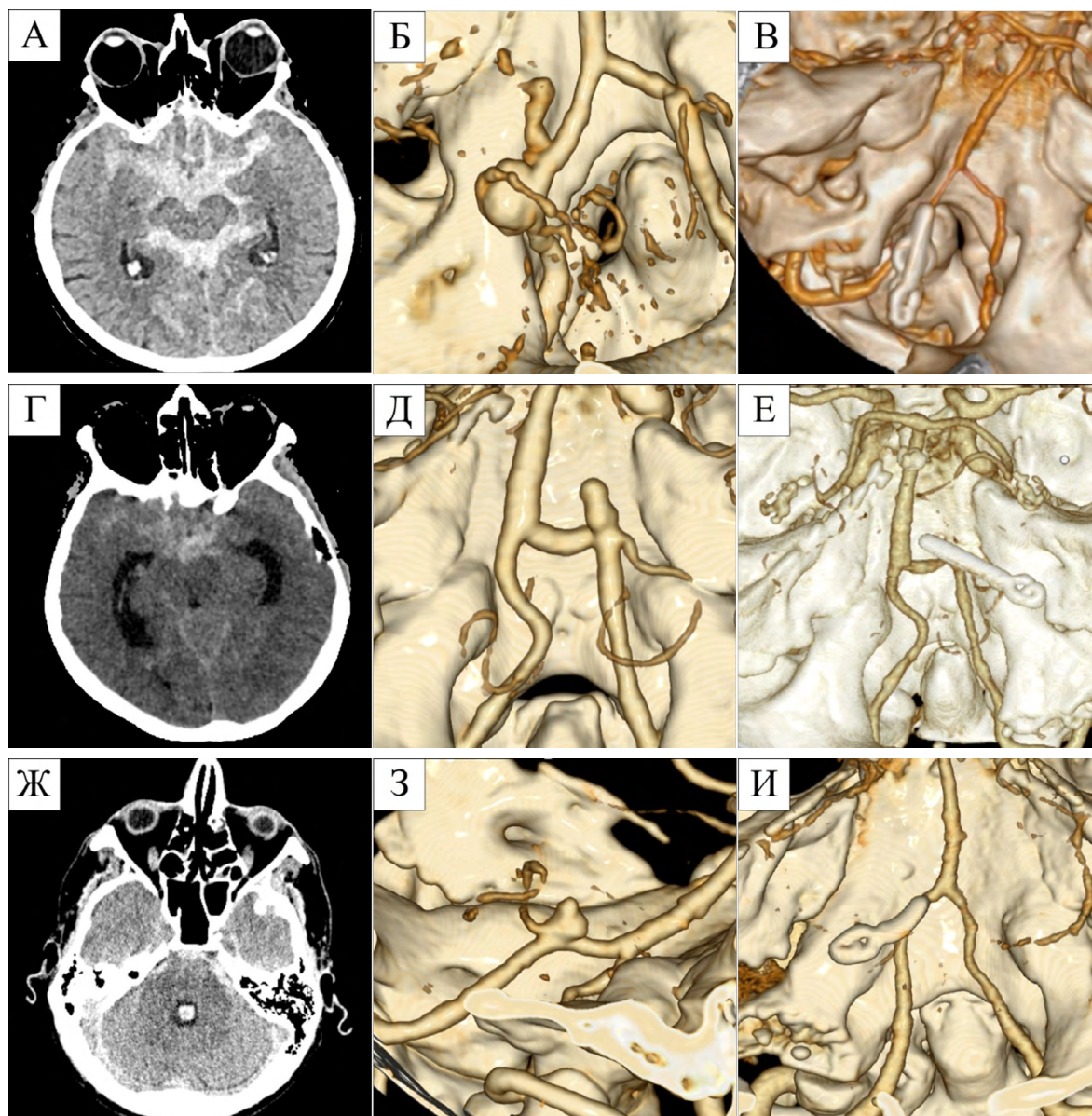


Рисунок 1. Компьютерная томография и КТ-ангиография: А, Б, В – женщина 73 лет, аневризма устья левой задней нижней мозжечковой артерии, массивное субарахноидальное кровоизлияние; Г, Д, Е – женщина 37 лет, аневризма устья правой задней нижней мозжечковой артерии, субарахноидальное кровоизлияние, гидроцефалия; Ж, З, И – мужчина 56 лет, аневризма устья левой задней нижней мозжечковой артерии, кровь в IV желудочке. Источник: составлено авторами

Figure 1. Computed tomography and Computed tomography angiography scans: A, B, C – A 73-year-old female with an aneurysm at the origin of the left posterior inferior cerebellar artery and massive subarachnoid hemorrhage; D, E, F – a 37-year-old female with an aneurysm at the origin of the right posterior inferior cerebellar artery. Subarachnoid hemorrhage, hydrocephalus; G, H, I – a 56-year-old male with an aneurysm at the origin of the left posterior inferior cerebellar artery and blood in the IV ventricle. Source: created by the authors

Для оценки клинических исходов у пациентов применялись две специализированные шкалы: расширенная шкала исходов Глазго (ШИГ) и модифицированная шкала Рэнкина (mRS, modified Rankin scale). Расширенная ШИГ позволяет оценить функциональное состояние пациентов по восьми категориям – от полного восстановления (ШИГ 8) до смерти (ШИГ 1). Модифицированная шкала Рэнкина ис-

пользуется для оценки способности пациента к самообслуживанию и выполнению повседневных задач. mRS включает в себя семь уровней – от 0 (полное отсутствие симптомов) до 6 (смерть).

К благоприятным клиническим исходам после проведенного лечения относили полное восстановление пациента, а также умеренную инвалидизацию (≥ 6 баллов по ШИГ, ≤ 3 баллов по mRS).

Для оценки качества жизни пациентов использовали опросник EQ-5D-3L (EuroQol 5 Dimensions 3 Levels), включающий две части: оценку профиля здоровья по пяти параметрам от 1 до 3 баллов и субъективную оценку состояния здоровья пациентом по визуально-аналоговой шкале от 0 до 100 баллов. Профиль здоровья пациентов оценивали по следующим параметрам: подвижность, уход за собой, повседневная деятельность, боль/дискомфорт, тревога/депрессия. Оценка проводилась в отдаленном периоде у 27 выживших пациентов через 6 месяцев от момента выписки.

По результатам оценки профиля здоровья пациентов разделили на три группы: полное восстановление (1 балл по каждому параметру); хорошее восстановление (отклонение только по 1 параметру, не более 1 балла), а также прочие пациенты (отклонение более чем по 1 параметру или более чем на 1 балл). Результаты субъективной оценки состояния здоровья пациентами представляли в виде среднего значения.

Результаты исследования

Пациенты были разделены по степени тяжести состояния с использованием ШКГ и шкалы Ханта – Хесса (Таблица 1).

По данным КТ-ангиографии, средний размер аневризм составил $5,5 \pm 2,5$ мм, при этом 87,5 % аневризм имели мешотчатую форму, а 12,5 % – фузиформную.

Распределение пациентов по степени тяжести кровоизлияния по шкале Fisher было следующим: I степень – у 6 (18,7 %) пациентов; IV степень – у 26 (81,3 %). Распределение пациентов по степени выраженности САК

по шкале Hijdra: 0–9 баллов – у 17 (53,1 %) пациентов; 10–19 баллов – у 10 (31,3 %); 20–30 баллов – у 5 (15,6 %) пациентов. Распределение пациентов по степени выраженности вентрикулярного кровоизлияния по шкале Graeb: 1–3 балла – у 7 (38,5 %) пациентов; 4–6 баллов – у 15 (46,9 %) пациентов; 7 баллов – у 4 (12,5 %) пациентов. У 17 (53,1 %) пациентов выявлена окклюзионная гидроцефалия.

Наружный вентрикулярный дренаж устанавливали 6 (18,7 %) пациентам по следующим показателям: наличие гидроцефалии по данным КТ головного мозга; 12 баллов и ниже по ШКГ на момент поступления; прогрессирующее ухудшение неврологического статуса.

Использовали следующие хирургические доступы: расширенный ретросигмовидный доступ для 26 (81,3 %) пациентов с проксимальными аневризмами; срединный субокципитальный доступ – для 6 (18,7 %) пациентов с дистальными аневризмами ЗНМА [16].

Выписку в среднем осуществляли на $11,6 \pm 4,9$ суток. Проанализировать катмнез удалось у 29 (90,6 %) пациентов.

У пациентов, поступивших в стационар в компенсированном состоянии (13–15 баллов по ШКГ, степени 1 и 2 по шкале Ханта – Хесса), после проведенного лечения отмечали благоприятные отдаленные клинические исходы (Таблица 2). Средний балл по ШИГ – $6,6 \pm 0,6$, по mRS – $2,3 \pm 0,6$.

Среди пациентов в декомпенсированном состоянии (9–12 баллов по ШКГ, степени 3 и 4 по шкале Ханта – Хесса) также отмечали благоприятные отдаленные клинические исходы (Таблица 2). Средний балл по ШИГ составил $5,4 \pm 0,7$; по mRS – $3,3 \pm 1,2$.

Таблица 1. Распределение пациентов по уровню сознания и по тяжести состояния на момент поступления. Источник: составлено авторами

Table 1. Distribution of patients by level of consciousness and severity of condition at admission. Source: created by the authors

Шкала комы Глазго	n	%	Шкала Ханта – Хесса	n	%
15	14	43,8 %	1	4	12,5 %
13–14	8	25 %	2	10	31,3 %
11–12	9	28,1 %	3	17	53,1 %
8–10	1	3,1 %	4	1	3,1 %

Таблица 2. Структура отдаленных исходов после проведенного лечения у пациентов, поступивших в стационар в компенсированном и декомпенсированном состоянии. Источник: составлено авторами

Table 2. Structure of long-term outcomes after treatment in patients admitted in compensated and decompensated states. Source: created by the authors

Пациенты с компенсированным состоянием				Пациенты с декомпенсированным состоянием			
Оценка по ШИГ	n	Оценка по mRS	n	Оценка по ШИГ	n	Оценка по mRS	n
≥ 6 баллов	13	≥ 3 баллов	13	≥ 6 баллов	11	≥ 3 баллов	11
≤ 5 баллов	1	≤ 4 баллов	1	≤ 5 баллов	4	≤ 4 баллов	4

Выделяли три группы послеоперационных осложнений: неврологические, соматические, хирургические. В структуре неврологических осложнений церебральный ангиоспазм наблюдали у 3 (9,3 %) пациентов, дисфункцию лицевого нерва – у 1 (3,1 %), дисфункцию каудальной группы ЧМН – у 8 (25 %), носящую транзиторный характер. В структуре соматических осложнений развитие пневмонии отмечали у 2 (6,2 %) пациентов, тромбозы вен нижних конечностей – у 2 (6,2 %), уроинфекцию – у 1 (3,1 %). Из числа хирургических осложнений у 1 пациента была зафиксирована назальная ликворея, которая регрессировала на фоне наружного люмбального дренирования.

Вентрикулоперитонеальный шунт имплантировали в разные сроки постгеморрагического периода в 3 (9,4 %) наблюдениях.

Отдаленные рентгенографические результаты оценивали через 6 месяцев после операции у 29 пациентов. Тотальность выключения аневризм оценивали по данным мультиспиральной компьютерной томографии с ангиографией. Радикальное выключение аневризмы выявлено у 28 (96,6 %) пациентов. В 1 (3,4 %) случае отмечалось субтотальное выключение с контрастированием части шейки. Случаев реканализации аневризм не наблюдали.

Оценка отдаленных результатов через 6 месяцев показала, что большинство (82,8 %) пациентов имели благоприятные отдаленные исходы по mRS и ШИГ. Однако 10,3 % пациентов остались с умеренным или выраженным неврологическим дефицитом, что потребовало дополнительной реабилитации. Летальность в отдаленном периоде составила 6,9 %.

На фоне реабилитационного лечения отмечали улучшение состояния у пациентов с благоприятными непосредственными исходами в виде полного восстановления. Число пациентов с неудовлетворительными непосредственными исходами в отдаленном периоде не увеличилось.

Распределение пациентов по результатам оценки профиля здоровья по опроснику EQ-5D-3L представлено следующим образом: полное восстановление – 15 (55,7 %) пациентов, хорошее восстановление – 7 (25,8 %), прочие пациенты – 5 (18,5 %). Среднее значение субъективной оценки состояния здоровья пациентами составило $79,8 \pm 12,9$ балла. Вернулись к трудовой деятельности 20 (74,1 %) пациентов.

Обсуждение

Микрохирургическое лечение аневризм ЗНМА в остром периоде САК остается методом выбора благодаря хорошим клиническим и рентгенологическим результатам. Эндоваскулярные методы обеспечивают полное выключение аневризмы в 51,1–88,9 % случаев с риском реканализации до 23,3 %, демонстрируя при этом высокую эффективность и минимальную инвазивность [9, 17]. При микрохирургическом лечении полное выключение аневризмы отмечают в 88,4–100 % случаев, показывая сопоставимые клинические результаты [18–20]. Оба метода имеют свои уникальные преимущества, позволяя подбирать оптимальный метод лечения в зависимости от клинической ситуации.

Отечественные исследования демонстрируют высокую эффективность микрохирургического лечения. В.В. Крылов и соавт. подчеркивают, что микрохирургия позволяет не только выключить аневризму из кровотока, но и провести санацию базальных цистерн и удалить сгустки из четвертого желудочка, снижая риск гидроцефалии и вазоспазма [22]. М.Х. Лепшонов в серии из 25 пациентов с аневризмами ЗНМА в остром периоде САК достиг 100%-й тотальной окклюзии, хотя осложнения наблюдались в 43,2 % случаев из-за тяжести исходного состояния пациентов [19]. В.Г. Дашьян и соавт. сообщили о благоприятных исходах у 81,8 % из 11 пациентов с дистальными аневризмами ЗНМА, подчеркивая эффективность микрохирургии [15]. Ш.Ш. Элиава и соавт. в серии из 67 пациентов достигли радикального выключения аневризмы в 95,5 % случаев без летальных исходов, подтверждая безопасность и эффективность метода [23].

Международные исследования также подтверждают преимущества микрохирургии (Таблица 3). N. Sanai и соавт. в серии из 47 пациентов с аневризмами ЗНМА достигли полной окклюзии в 98,1 % случаев, летальность составила 7,4 % [24]. J. Song и соавт. показали, что микрохирургическое лечение аневризм ЗНМА обеспечивает благоприятные клинические исходы: mRS = 0,33 [25]. R.W. Kirollos подчеркивает роль индивидуального выбора доступа в зависимости от анатомических особенностей пациента, что минимизирует осложнения и улучшает результаты [26].

Кроме того, важным аспектом является выбор хирургического доступа. В нашей практике наиболее часто применялись модифицированный ретросигмовидный и сре-

Таблица 3. Функциональные и рентгенологические результаты микрохирургического лечения. Источник: составлено авторами

Table 3. Functional and radiological outcomes of microsurgical treatment. Source: created by the authors

Автор, год	n	Доступы	Осложнения	Тотальность выключения аневризмы	Летальность
Лепшонов М.Х., 2019	30	ЛС, СС	Ишемия – 4 (13,3 %) БС – 4 (13,3 %) Дисфункция ЧМН – 4 (13,3 %) ПР – 1 (3,3 %) АТ – 1 (3,3 %) Сочетанные осложнения – 3 (10 %)	100 %	10 %
Дашьян В.Г. и др., 2019	11	ЛС, СС	БС – 2 (18 %)	н/д	18 %
Элиава Ш.Ш., 2019	67	СС, РС	БС – 11 (16,4 %) Дисфункция ЧМН – 3 (45 %) Ишемия – 6 (9 %)	95,5 %	0
Sanai N. et al., 2008	47	КЛ	БС – 1 (2,1 %)	98,1 %	0
Song J. et al., 2017	12	ЛС, СС	БС и ишемия – 2 (16,6 %)	100 %	8,3 %
Sharma R.K. et al., 2020	26	КЛ	Дисфункция ЧМН – 5 (19,3 %) БС – 1 (3,9 %)	96,2 %	0

Примечание: ЛС – латеральный субокципитальный доступ; СС – срединный субокципитальный доступ; БС – бульбарный синдром; ПР – психические расстройства; АТ – атаксия; РС – ретросигмовидный доступ; КЛ – крайний латеральный доступ; н/д – нет данных

Notes: ЛС – lateral suboccipital approach; СС – midline suboccipital approach; БС – bulbar syndrome; ПР – psychiatric disorders/mental disorders; АТ – ataxia; РС – retrosigmoid approach; КЛ – extreme lateral approach; н/д – no data

динный субокципитальный доступ. Техника модифицированного ретросигмовидного доступа включала стандартную ретросигмовидную краниотомию с резекцией полукольца большого затылочного отверстия и в ряде случаев – частичную резекцию мыщелка затылочной кости. Указанные манипуляции расширяли хирургический коридор, увеличивали углы хирургического воздействия, устраняли необходимость значимой тракции гемисферы мозжечка, а также обеспечивали возможность раннего проксимального контроля. Выбор доступа осуществляли на основании индивидуальной нейровизуализационной картины. Учитывались следующие критерии: размер, форма, локализация аневризмы, костная анатомия, место отхождения ЗНМА от позвоночной артерии, ход ЗНМА, клиническое состояние и возраст пациента, сопутствующая патология.

Частота осложнений при микрохирургическом лечении варьирует от 0 до 43,2 % и зависит от тяжести САК, локализации аневризмы и опыта хирурга. М.Х. Лепшов в своей работе отметил ишемические расстройства (13,3 %), бульбарный синдром (13,3 %) и дисфункцию черепных нервов (13,3 %), связывая их с тяжелым исходным состоянием пациентов [18]. Ш.Ш. Элиава и соавт. сообщили о преходящей дисфункции черепных нервов в 16,4 % случаев, подчеркивая ее обратимый характер [23]. N. Sanai и соавт. выявили необратимые неврологические дефициты в 7,8 % случаев, тогда как

J. Song и соавт. не сообщили об осложнениях [24, 25].

По сравнению с эндоваскулярным лечением, где осложнения возникают в 2,5–23,1 % случаев, микрохирургия демонстрирует более высокую частоту хирургических осложнений, но меньший риск рецидива [9, 17, 27].

Большинство авторов отмечают следующие преимущества микрохирургии:

1. Уровень тотальной окклюзии: микрохирургия обеспечивает тотальное выключение аневризмы в 75–100 % случаев [9, 17].

2. Контроль перфорантных сосудов: возможность сохранения перфорирующих артерий, как отметил R.W. Kirolos, критически важна для предотвращения ишемии ствола мозга [26].

3. Санация цистерн: удаление сгустков и профилактика гидроцефалии, как подчеркнули В.В. Крылов и соавт., снижают послеоперационные риски [22].

4. Индивидуализированный подход: выбор доступа и техники клипирования зависит от анатомии ЗНМА и локализации аневризмы, что подтверждают Ш.Ш. Элиава и соавт. и R.W. Kirolos [23, 26].

При оценке качества жизни у большинства (81,6 %) пациентов отмечали полное и хорошее восстановление (55,7 % и 25,9 % соответственно). Уровень субъективной оценки собственного здоровья пациентами составил $79,8 \pm 12,9$ балла, что говорит о высокой удовлетворенности лечением. К тру-

довой деятельности вернулось большинство пациентов – 74,1 %.

Мы не проводили сравнительного исследования микрохирургического и эндоваскулярного лечения. Однако при анализе результатов лечения аневризм ЗНМА после микрохирургического клипирования мы наблюдали хорошие непосредственные и отдаленные результаты. 82,8 % пациентов продемонстрировали хорошие результаты по ШИГ и mRs в отдаленном периоде, что подтверждает высокий уровень безопасности и эффективности метода.

Заключение

Микрохирургическое лечение аневризм ЗНМА является безопасным и эффективным методом с благоприятными непосредственными и отдаленными результатами. Хорошее качество жизни и возврат к труду отмечены более чем у 74 % пациентов.

Лечение данных пациентов предпочтительно в специализированных центрах с большим объемом оперативных вмешательств и наличием всех опций микрохирургии и эндоваскулярной хирургии.

Литература / References

1. Brown RD Jr, Broderick JP. Unruptured intracranial aneurysms: Epidemiology, natural history, management options, and familial screening. *Lancet Neurol.* 2014; 13(4): 393-404. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70015-8](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70015-8)
2. Cebal JR, Castro MA, Burgess JE, Pergolizzi RS, Sheridan MJ, Putman CM. Characterization of cerebral aneurysms for assessing risk of rupture by using patient-specific computational hemodynamics models. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2005; 26(10): 2550-2559.
3. Peluso JP, van Rooij WJ, Sluzewski M, Beute GN, Majoie CB. Posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Incidence, clinical presentation, and outcome of endovascular treatment. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2008; 29(1): 86-90. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A0758>
4. Tokimura H, Yamahata H, Kamezawa T, Tajitsu K, Nagayama T, Sugata S, et al. Clinical presentation and treatment of distal posterior inferior cerebellar artery aneurysms. *Neurosurg Rev.* 2011; 34(1): 57-67. <https://doi.org/10.1007/s10143-010-0296-z>
5. Lewis SB, Chang DJ, Peace DA, Lafrentz PJ, Day AL. Distal posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Clinical features and management. *J Neurosurg.* 2002; 97(4): 756-766. <https://doi.org/10.3171/jns.2002.97.4.0756>
6. Viswanathan GC, Menon G, Nair S, Abraham M. Posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Operative strategies based on a surgical series of 27 patients. *Turk Neurosurg.* 2014; 24(1): 30-37. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.7836-13.1>
7. Bohnstedt BN, Ziemba-Davis M, Edwards G, Brom J, Payner TD, Leipzig TJ, et al. Treatment and outcomes among 102 posterior inferior cerebellar artery aneurysms: A comparison of endovascular and microsurgical clip ligation. *World Neurosurg.* 2015; 83(5): 784-793. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.12.035>
8. Orakcioglu B, Schuknecht B, Otani N, Khan N, Imhof HG, Yonekawa Y. Distal posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Clinical characteristics and surgical management. *Acta Neurochir (Wien).* 2005; 147(11): 1131-1139; discussion 1139. <https://doi.org/10.1007/s00701-005-0599-y>
9. Xu F, Hong Y, Zheng Y, Xu Q, Leng B. Endovascular treatment of posterior inferior cerebellar artery aneurysms: A 7-year single-center experience. *J Neurointerv Surg.* 2017; 9(1): 45-51. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2016-012489>
10. Крылов ВВ, Завалишин ЕЕ. Хирургическое лечение больных с разрывами аневризм вертебробазилярного бассейна. *Нейрохирургия.* 2010; (2): 14-25. [Krylov VV, Zavalishin EE. Surgical treatment of patients with ruptured aneurysms of the vertebrobasilar basin. *Russian Journal of Neurosurgery.* 2010; (2): 14-25. (In Russ.)].
11. Lehto H, Niemelä M, Kivisaari R, Laakso A, Jahromi BR, Hijazy F, et al. Intracranial vertebral artery aneurysms: Clinical features and outcome of 190 patients. *World Neurosurg.* 2015; 84(2): 380-389. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.03.034>
12. Miao HL, Zhang DY, Wang T, Jiao XT, Jiao LQ. Clinical importance of the posterior inferior cerebellar artery: A review of the literature. *Int J Med Sci.* 2020; 17(18): 3005-3019. <https://doi.org/10.7150/ijms.49137>
13. Ассоциация нейрохирургов России. *Геморрагический инсульт: клинические рекомендации.* М.; 2022. [Association of Neurosurgeons of Russia. *Hemorrhagic stroke: Clinical guidelines.* Moscow; 2022. (In Russ.)].
14. Ткачев ВВ, Усачев АА, Лепшоков МХ, Музлаев ГГ. Ближайшие результаты хирургического лечения больных с интракраниальными мешотчатыми аневризмами позвоночной артерии. *Современные технологии в медицине.* 2012; (2): 74-79. [Tkachev VV, Usachev AA, Lepshokov MK, Muzlaev GG. Short-term results of surgical treatment of patients with intracranial saccular aneurysms of vertebral artery. *Modern Technologies in Medicine.* 2012; (2): 74-79. (In Russ.)].
15. Дашьян ВГ, Сенько ИВ. Микрохирургическое лечение дистальных аневризм задней нижней мозжечковой артерии. *Нейрохирургия.* 2019; 21(4): 12-23. [Dashyan VG, Senko IV. Microsurgical treatment of distal aneurysms of the posterior inferior cerebellar artery. *Russian Journal of Neurosurgery.* 2019; 21(4): 12-23. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17650/1683-3295-2019-21-4-12-23>
16. Джинджихадзе РС, Лазарев ВА, Камбиев РЛ, Поляков АВ, Богданович ИО, Древаль ОН, и др. Расширенный ретросигмовидный ретрокондилярный доступ в микрохирургии аневризм задней нижней мозжечковой артерии в остром периоде кровоизлияния (клинический случай). *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2022; 18(2): 197-201. [Dzhindzhikhadze RS, Laza-

- rev VA, Kambiev RL, Polyakov AV, Bogdanovich IO, Dreval ON, et al. Extended retrosigmoid retrocondylar access in microsurgery of posterior inferior cerebellar artery aneurysms in the acute period of hemorrhage (clinical case). *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2022; 18(2): 197-201. (In Russ.).
17. Pilipenko Y, Eliava S, Okishev D, Okisheva E, Spyrou A. Vertebral artery and posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Results of microsurgical treatment of eighty patients. *Surg Neurol Int*. 2019; 10: 227. https://doi.org/10.25259/SNI_326_2019
 18. Mukonoweshuro W, Laitt RD, Hughes DG. Endovascular treatment of PICA aneurysms. *Neuroradiology*. 2003; 45(3): 188-192. <https://doi.org/10.1007/s00234-002-0913-9>
 19. Лепшонов МХ. Хирургия аневризм позвоночной артерии. М.; 2019. [Lepshokov MKh. *Surgery of vertebral artery aneurysms*. Moscow; 2019. (In Russ.).]
 20. Ali AMS, Hannan CJ, Islim AI, Mascitelli JR, Javadpour M. Surgical and endovascular treatment of saccular posterior inferior cerebellar artery aneurysms: Systematic review and meta-analysis. *World Neurosurg*. 2022; 162: e168-e177. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.02.103>
 21. Xu F, Hong Y, Zheng Y, Xu Q, Leng B. Endovascular treatment of posterior inferior cerebellar artery aneurysms: A 7-year single-center experience. *J Neurointerv Surg*. 2017; 9(1): 45-51. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2016-012489>
 22. Крылов ВВ, Винокуров АГ, Дашьян ВГ, Лукьянчиков ВА, Полунина НА, Природов АВ. Микрохирургия аневризм сосудов головного мозга. М.; 2022. [Krylov VV, Vinokurov AG, Dashyan VG, Lukyanchikov VA, Polunina NA, Prirodov AV. *Microsurgery of cerebral aneurysms*. Moscow; 2022. (In Russ.).]
 23. Элиава ШШ, Пилипенко ЮВ, Шехтман ОД, Хейреддин АС, Окишев ДН, Коновалов АНН, и др. Микрохирургическое лечение аневризм позвоночных и задних нижних мозжечковых артерий: хирургические доступы, варианты выключения, результаты лечения. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2019; 83(4): 5-17. [Eliava ShSh, Pilipenko YuV, Shekhtman OD, Kheireddin AS, Okishev DN, Kononov ANN, et al. Microsurgical treatment of aneurysms of vertebral and posterior-lower cerebellar arteries: Surgical approaches, exclusion options, treatment results. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2019; 83(4): 5-17. (In Russ.).] <https://doi.org/10.17116/neiro2019830415>
 24. Sanai N, Tarapore P, Lee AC, Lawton MT. The current role of microsurgery for posterior circulation aneurysms: A selective approach in the endovascular era. *Neurosurgery*. 2008; 62(6): 1236-1249; discussion 1249-1253. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000333295.59738.de>
 25. Song J, Park JE, Chung J, Lim YC, Shin YS. Treatment strategies of ruptured posterior inferior cerebellar artery aneurysm according to its segment. *Surg Neurol Int*. 2017; 8: 155. https://doi.org/10.4103/sni.sni_132_16
 26. Шнякин ПГ, Усатова ИС, Трубкин АВ, Казадаева ИА. Субарахноидальное кровоизлияние вследствие разрыва милиарных аневризм передней циркуляции Виллизиева круга. *Инновационная медицина Кубани*. 2022; (1): 19-26. [Shnyakin PG, Usatova IS, Trubkin AV, Kazadaeva IA. Subarachnoid hemorrhage due to rupture of very small aneurysms of the anterior part of the circle of Willis. *Innovative Medicine of Kuban*. 2022; (1): 19-26. (In Russ.).] <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2022-25-1-19-26>
 27. Kirolos RW. Surgical trajectories for clipping of different PICA aneurysms. *Neuroanatomy Guidance to Successful Neurosurgical Interventions*. Springer Nature Switzerland; 2024: 167-185.
 28. Sharma RK, Kumar A, Yamada Y, Tanaka R, Sharma S, Miyatani K, et al. Institutional experience of microsurgical management in posterior circulation aneurysm. *Asian J Neurosurg*. 2020; 15(3): 484-493.

Сведения об авторах / Information about the authors

Гвелесиани Александр Ираклиевич – врач-нейрохирург, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0027-8582>; e-mail: alexgvel46@gmail.com

Aleksandr I. Gvelesiani – Neurosurgeon, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0027-8582>; e-mail: alexgvel46@gmail.com

Джиджихадзе Ревас Семенович – доктор медицинских наук, профессор кафедры нейрохирургии, ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; главный внештатный специалист по нейрохирургии Минздрава Московской области; руководитель отделения нейрохирургии, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3283-9524>; e-mail: brainsurg77@gmail.com

Revaz S. Dzhindzhikhadze – Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Neurosurgery, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; Chief Freelance Specialist in Neurosurgery, Ministry of Health of the Moscow Region; Head of the Neurosurgery Department, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3283-9524>; e-mail: brainsurg77@gmail.com

Поляков Андрей Викторович – кандидат медицинских наук, заведующий отделением нейрохирургии нейрохирургии ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимир-

Andrey V. Polyakov – Cand. Sci. (Med.), Head of the Neurosurgery Department, Moscow Regional Research and Clinical Institute;

ского»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7413-1968>;
e-mail: ap.neurosurg@mail.ru

Зайцев Андрей Дмитриевич – врач-нейрохирург, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0987-3436>;
e-mail: andrew.zay97@gmail.com

Деркач Мария Игоревна – врач-нейрохирург, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3618-1029>;
e-mail: maryderkach170594@gmail.com

Гадзиагаев Вадим Султанбекович – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7661-4402>;
e-mail: vgadzhiagaev@yandex.ru

Султанов Руслан Айратович – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2581-8648>;
e-mail: rus4455@yandex.ru

Абдуллаев Абдулла Набигулаевич – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8297-9640>;
e-mail: abdullaewns@gmail.com

Касымов Мирза-Ахмад Улугбекович – клинический ординатор кафедры нейрохирургии ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»; e-mail: hamatshuhrat@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7413-1968>;
e-mail: ap.neurosurg@mail.ru

Andrey D. Zaitsev – Neurosurgeon, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0987-3436>;
e-mail: andrew.zay97@gmail.com

Maria I. Derkach – Neurosurgeon, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3618-1029>;
e-mail: maryderkach170594@gmail.com

Vadim S. Gadzhiagaev – Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7661-4402>;
e-mail: vgadzhiagaev@yandex.ru

Ruslan A. Sultanov – Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2581-8648>;
e-mail: rus4455@yandex.ru

Abdulla N. Abdullaev – Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon, Moscow Regional Research and Clinical Institute; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8297-9640>;
e-mail: abdullaewns@gmail.com

Mirza-Akhmad U. Kasymov – Clinical Resident, Department of Neurosurgery, Moscow Regional Research and Clinical Institute; e-mail: hamatshuhrat@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Оригинальные исследования / Original research

Анатомическое повреждение лицевого нерва при удалении больших и гигантских вестибулярных шванном

Руденко П.Г.^{1,2}, Канашин А.В.², Кобаненко В.О.¹, Файзова М.Н.¹

¹ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России, ул. Партизана Железняка, д. 1, г. Красноярск, Российская Федерация, 660022

²КГБУЗ «Краевая клиническая больница», ул. Партизана Железняка, д. 3а, г. Красноярск, Российская Федерация, 660022

Резюме

Удаление больших и гигантских вестибулярных шванном остается одной из наиболее трудных задач в нейрохирургии. Вероятность анатомического повреждения лицевого нерва при удалении этих новообразований составляет 10,3–17 %.

Цель исследования. Проанализировать частоту и факторы риска анатомического повреждения лицевого нерва во время удаления больших и гигантских вестибулярных шванном.

Материал и методы. Обследовано 93 пациента с большими и гигантскими вестибулярными шванномами. Для определения факторов риска исследовались линейные и угловые параметры задней черепной ямки (ЗЧЯ), магнитно-резонансные характеристики опухоли, а также клинические и интраоперационные данные. Статистический анализ и обработку проводили с помощью программного пакета Statistica 10.0 for Windows (StatSoft Inc., США). Оценку статистической значимости проводили с использованием критериев Манна – Уитни, χ^2 -критерия Пирсона или точного критерия Фишера для категориальных данных.

Результаты. Анатомическое повреждение лицевого нерва во время удаления опухоли было зафиксировано у 8 (8,6 %) пациентов. Длина ЗЧЯ была статистически значимо меньше, чем в группе сравнения: 73,3 и 78,8 мм соответственно ($U = 491,0$; $p = 0,039$). По результатам магнитно-резонансной томографии у пациентов основной группы чаще визуализировались перитуморозный отек ($p = 0,345$), гидроцефалия и перивентрикулярный отек ($p = 0,204$), а также отсутствовала ликворная щель ($p = 0,426$). По данным перфузионной мультиспиральной компьютерной томографии отмечался более высокий показатель мозгового кровотока в ткани опухоли ($p = 0,800$). Статистической значимости выявленные отличия не имели. Из интраоперационных факторов риска следует отметить радикальность удаления опухоли. В основной группе все опухоли были удалены радикально, в то время как в группе сравнения процент радикально резецированных шванном составил лишь 62,3 % ($p = 0,047$).

Заключение. Кроме хорошо известных факторов, приводящих к увеличению риска интраоперационного повреждения нерва, нами выявлено и влияние анатомических особенностей строения задней черепной ямки. Данное осложнение чаще происходит у пациентов с узкой и короткой формой ямки. Вероятность анатомического повреждения лицевого нерва при радикальном удалении больших и гигантских вестибулярных шванном статистически значимо выше в сравнении с субтотальным.

Ключевые слова: вестибулярные шванномы, лицевой нерв, парез, анатомическое повреждение

Для цитирования: Руденко П.Г., Канашин А.В., Кобаненко В.О., Файзова М.Н. Анатомическое повреждение лицевого нерва при удалении больших и гигантских вестибулярных шванном. *Сибневро*. 2025; 1(1): 47–56. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-47-56>

Вклад авторов

Руденко П.Г. – концептуализация, идеология, создание черновика рукописи и ее редактирование, руководство исследованием, администрирование проекта.

Канашин А.В. – проведение исследования, администрирование данных, редактирование рукописи.

Кобаненко В.О. – проведение исследования, администрирование данных, редактирование рукописи.

Файзова М.Н. – проведение исследования, администрирование данных, редактирование рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Данные предоставляются по запросу в связи с ограничениями конфиденциальности/этическими нормами.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России. От всех пациентов, вошедших в исследование, было получено письменное информированное согласие.

Поступила: 26.03.2025

Принята к печати: 11.08.2025

Опубликована: 15.10.2025

Anatomical injury of the facial nerve during removal of large and giant vestibular schwannomas

Pavel G. Rudenko^{1,2✉}, Alexander V. Kanashin², Vladislav O. Kobanenko¹, Madina N. Fayzova¹

¹Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University, Partizana Zheleznyaka str., 1, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660022

²Krasnoyarsk Regional Clinical Hospital, Partizana Zheleznyaka str., 3A, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660022

Abstract

The removal of large and giant vestibular schwannomas remains one of the most challenging tasks in neurosurgery. The probability of anatomical injury to the facial nerve during the removal of these neoplasms is 10.3–17%. Objective of the article was to analyze the frequency and risk factors for anatomical injury of the facial nerve during the removal of large and giant vestibular schwannomas.

Materials and methods. A total of 93 patients were examined. To determine risk factors, linear and angular parameters of the posterior cranial fossa, magnetic resonance characteristics of the tumor, as well as clinical and intraoperative data were investigated. Statistical analysis was performed using the Statistica software package (version 10.0) for Windows (StatSoft, USA). Statistical significance was assessed using the Mann–Whitney U test, Pearson's χ^2 test, or Fisher's exact test for categorical data.

Results. Anatomical injury to the facial nerve during tumor removal was recorded in 8 patients, accounting for 8.6%. The length of the posterior cranial fossa was statistically significantly smaller than in the comparison group: 73.3 mm and 78.8 mm, respectively ($U = 491.0$, $p = 0.039$). The width of the posterior cranial fossa was also smaller but without statistical significance: 108.8 mm and 113.3 mm, respectively ($U = 433.0$, $p = 0.205$). According to MRI results, patients in the main group more frequently exhibited peritumoral edema ($p = 0.345$), hydrocephalus and periventricular edema ($p = 0.204$), and absence of a cerebrospinal fluid (CSF) cleft ($p = 0.426$). According to CT perfusion data, a higher CBF (cerebral blood flow) index was noted in the tumor tissue ($p = 0.800$). The identified differences were not statistically significant. Among intraoperative risk factors, the radicality of tumor removal should be noted. In the main group, all tumors were removed radically, while in the comparison group, the percentage of radically resected schwannomas was only 62.3% ($p = 0.047$).

Conclusion. In addition to well-known factors leading to an increased risk of intraoperative nerve injury, we also identified the influence of anatomical features of the posterior cranial fossa structure. This complication occurs more often in patients with a narrow and short fossa. The probability of anatomical injury to the facial nerve during radical removal of large and giant vestibular schwannomas is statistically significantly higher compared to subtotal removal.

Keywords: vestibular schwannomas, facial nerve, paresis, anatomical injury

For citation: Rudenko P.G., Kanashin A.V., Kobanenko V.O., Fayzova M.N. Anatomical injury of the facial nerve during removal of large and giant vestibular schwannomas. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 47–56. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-47-56>

Authors' contribution

Rudenko P.G. – conceptualization, ideology, drafting and editing the manuscript, supervision, project administration.

Kanashin A.V. – investigation, data curation, manuscript editing.

Kobanenko V.O. – investigation, data curation, manuscript editing.

Fayzova M.N. – investigation, data curation, manuscript editing.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. The data that support the findings of this study are available upon request from the corresponding author, subject to privacy/ethical restrictions.

Compliance with patient rights and bioethical principles. The study was approved by the Local Ethics Committee of the Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University. Written informed consent was obtained from all patients included in the study.

Received: 26.03.2025

Accepted: 11.08.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Удаление больших и гигантских вестибулярных шванном (ВШ) остается одной из наиболее трудных задач в нейрохирургии, а сохранение высокого функционального статуса этих пациентов невозможно в большинстве случаев. Связано это с тем, что данные опухоли имеют большую поверхность

соприкосновения со стволовыми структурами, мозжечком, черепными нервами и сосудами [1–7]. Одним из главных показателей успешности лечения ВШ является состояние лицевого нерва (ЛН) [8, 9]. Вероятность анатомического повреждения ЛН при удалении больших и гигантских ВШ составляет в среднем 10,3–17 % [2, 5, 7, 10, 11]. И хотя анато-

мическое сохранение ЛН во время операции абсолютно не коррелирует с косметическим результатом, оно оставляет надежду на последующее постепенное восстановление его функции [12]. В литературе отсутствуют работы, посвященные анализу причин интраоперационного анатомического повреждения лицевого нерва.

Цель исследования

Проанализировать частоту и факторы риска анатомического повреждения лицевого нерва во время удаления больших и гигантских вестибулярных шванном.

Материал и методы

В 2016 по 2025 г. в нейрохирургическом отделении № 1 КГБУЗ «Краевая клиническая больница» (Красноярск) оперированы 124 пациента с вестибулярными шванномами.

В данное исследование вошло 93 больных, ВШ у которых соответствовали понятиям большая (31–40 мм) или гигантская (более 40 мм). Диагноз устанавливался на основании клинично-анамнестических данных, данных магнитно-резонансной томографии (МРТ) и интраоперационных данных, а также результатов гистологической верификации.

Размер опухоли определяли по наибольшей величине экстрамеатальной части новообразования.

Нарушения функции лицевого нерва при поступлении отмечены у 12 (12,9 %) пациентов. В 11 случаях был зарегистрирован проявления прозопагеа II степени по шкале House – Brackmann и лишь в одном случае – VI степени.

Всем пациентам проведено микрохирургическое удаление ВШ из ретросигмовидного доступа: в 88 (94,6 %) случаях – в положении пациента сидя, в 5 (5,4 %) случаях – в положении лежа на спине с валиком под ипсилатеральным плечом и поворотом головы в противоположную сторону. Все операции выполнялись с применением микроскопа OPMI Pentero (Carl Zeiss AG, Германия), электрического краниотома, вакуумного и ультразвукового аспираторов и набора специализированных микроинструментов. Во время операций использовали нейрофизиологический мониторинг с контролем спонтанной и вызванной электромиографии с круговых мышц глаза и рта, спонтанной электромиографии с жевательных мышц и мышц корня языка, а также определение кортикобульбарных вызванных потенциалов.

Для определения факторов риска у пациентов исследовались линейные и угловые параметры задней черепной ямки (ЗЧЯ), диаметры артерий вертебробазилярного бассейна, магнитно-резонансные характеристики опухоли, результаты перфузионной мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ), а также клинические и интраоперационные данные. Краниометрические измерения проводились в программе RadiAnt DICOM Viewer 4.2.1 по общепринятой в краниологии методике В.П. Алексеева и соавт. (1964). Оценка функции лицевого нерва осуществлялась по общепринятой шкале House – Brackmann.

Основную группу составили пациенты с анатомическим повреждением лицевого нерва, группу сравнения – пациенты без такового.

Статистический анализ и обработка материала выполнены с помощью программы Statistica 10.0 for Windows (StatSoft Inc., США). Для проверки гипотезы о нормальности распределения использовался критерий Колмогорова – Смирнова. Учитывая тот факт, что большая часть данных была распределена ненормально, для их описания использовали медиану, 25-й и 75-й процентиля ($Me [P_{25}; P_{75}]$). Оценку статистической значимости различий при сравнении двух независимых групп проводили с использованием непараметрического критерия Манна – Уитни для данных количественного типа, а также с использованием χ^2 -критерия Пирсона для категориальных данных. Если данные были представлены качественным типом, а в таблице сопряженности хотя бы одна ячейка содержала менее 5 наблюдений, то для оценки различий использовался точный критерий Фишера. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05. В исследовании не было множественных сравнений, поэтому коррекция множественных сравнений не проводилась.

Результаты

Мужчин было 17 (18,3 %), женщин – 76 (81,7 %). Соотношение мужчин и женщин составило 1/4,5. Медиана возраста – 54,0 [39,0; 60,0] года.

Медиана наибольшего диаметра ВШ составила 37,0 [31,1; 45,0] мм. В 42 (45,2 %) случаях опухоль располагалась справа, в 51 (54,8 %) – слева. У 52 (55,9 %) пациентов диагностированы большие размеры новообразований (31–40 мм), а у 41 (44,1 %) – гигантские (более

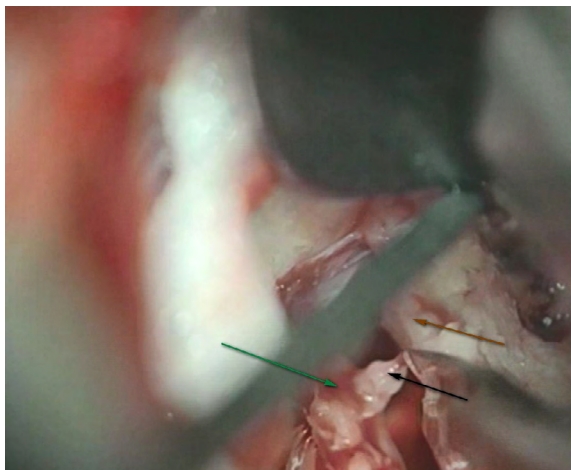


Рисунок 1. Интраоперационное фото удаления вестибулярной шванномы слева: определяются разволокненная поврежденная дистальная часть лицевого нерва (черная стрелка), область внутреннего слухового прохода (зеленая стрелка), капсула опухоли (коричневая стрелка). Источник: составлено авторами

Рисунок 1. Intraoperative picture of left vestibular schwannoma removal. The frayed, damaged distal portion of the facial nerve (black arrow), the area of the internal auditory canal (green arrow), and the tumor capsule (brown arrow) are identified. Source: created by the authors

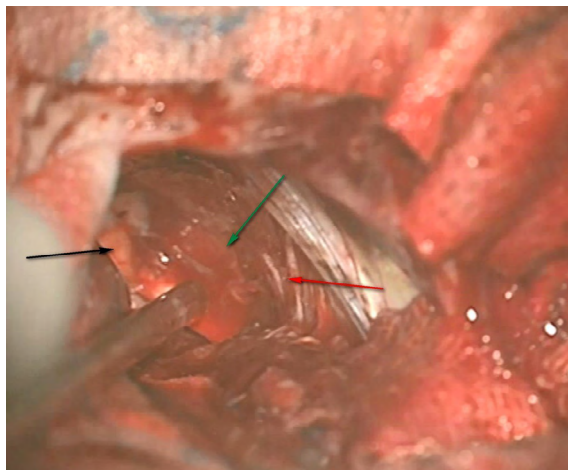


Рисунок 2. Интраоперационное фото ложа удаленной вестибулярной шванномы справа: визуализируются тройничный нерв (черная стрелка), область внутреннего слухового прохода (зеленая стрелка), каудальная группа нервов (красная стрелка); во время операции лицевой нерв визуализирован не был. Источник: составлено авторами

Рисунок 2. Intraoperative picture of the resection bed of a removed right vestibular schwannoma. The trigeminal nerve (black arrow), the area of the internal auditory canal (green arrow), and the caudal group of nerves (red arrow) are visualized. The facial nerve was not visualized during the surgery. Source: created by the authors

40 мм). В 90 (96,8 %) случаях опухоль была первичной, еще в 3 (3,2 %) – рецидивной.

Анатомическое повреждение лицевого нерва во время удаления опухоли было зафиксировано у 8 (8,6 %) пациентов. Из этих 8 случаев в 2 было зарегистрировано прямое повреждение нерва инструментами на этапе отделения от капсулы опухоли (Рисунок 1), в 3 – его разволокнение до отдельных волокон, еще в 3 наблюдениях лицевой нерв не был обнаружен во время операции (Рисунок 2).

Обращает на себя внимание тот факт, что и у двух пациентов с прямой травмой нерва и в 3 случаях его разволокнения до отдельных волокон пострадала его цистернальная часть на расстоянии 5–7 мм от внутреннего слухового прохода в месте наибольшей спаянности нерва и капсулы опухоли.

7 пациентов были женского пола и 1 – мужского. Медиана возраста больных с анатомическим повреждением ЛН – 60,5 [51,5; 64,0] года, в группе без анатомического повреждения ЛН – 54,0 [39,0; 60,0] года ($U = 247,0$; $p = 0,205$). В 4 случаях опухоль имела большой размер, в 4 – гигантский. В группе больших ВШ ($n = 52$) частота анатомического повреждения составила 7,7 %, в группе гигантских ВШ ($n = 41$) – 9,7 %. При сопоставлении данных по размеру опухоли в группах больных с анатомическим повреждением ЛН

и без такового какой-либо разницы выявлено не было: 38,0 [30,7; 47,1] и 37,0 [31,6; 44,2] мм соответственно ($U = 330,0$; $p = 0,896$).

Исходя из значений поперечно-продольного указателя головы, в основной группе отмечалась тенденция с преобладанием мезоцефалов – 75,0 % (Рисунок 3), в группе сравнения их было почти в два раза меньше – 38,8 % ($p = 0,065$). И наоборот, в группе сравнения было больше брахицефалов – 51,7 и 25,0 % соответственно ($p = 0,267$). По высотно-продольному указателю среди больных с повреждением лицевого нерва отмечался больший процент ортоцефалов (75,0 и 50,6 % соответственно), но без статистической значимости ($p = 0,273$). По высотно-поперечному указателю основную массу в обеих группах составили тапеиноцефалы.

Получены некоторые статистически значимые различия при сопоставлении линейных и угловых параметров ЗЧЯ. В основной группе длина ЗЧЯ была статистически значимо меньше, чем в группе сравнения: 73,3 и 78,8 мм соответственно ($U = 491,0$; $p = 0,039$) (Рисунок 4). Ширина ЗЧЯ также была меньшей, но без статистической значимости – 108,8 и 113,3 мм соответственно ($p = 0,205$). Обращает на себя внимание тот факт, что пациентов с самой узкой ЗЧЯ (10-й перцентиль – 99,9 мм) среди больных с анатомическим повреждением ЛН было



Рисунок 3. Мезоцефальная форма черепа у пациентки с интраоперационным анатомическим повреждением лицевого нерва. Источник: составлено авторами

Рисунок 3. Mesocephalic skull shape in a female patient with intraoperative anatomical damage to the facial nerve. Source: created by the authors

37,5 %, что статистически значимо больше, чем в группе сравнения – 7,0 % ($p = 0,028$). Базиллярный угол был больше у пациентов основной группы ($134,0^\circ$ и $130,0^\circ$ соответственно), однако данное отличие не было статистически значимым ($U = 223,5$; $p = 0,112$). Следует отметить, что у пациентов с интраоперационной травмой ЛН в целом были более узкие и короткие ЗЧЯ.

Длина ЗЧЯ не зависела от формы черепа, а более широкие формы ямки были характерны для брахицефалов.

По результатам МРТ у пациентов основной группы чаще визуализировались перитуморозный отек (25,0 и 14,1 % соответственно; $p = 0,345$), опущение миндалик мозжечка (62,5 и 55,3 % соответственно; $p = 1,000$), гидроцефалия (87,5 и 69,4 % соответственно; $p = 0,430$) и перивентрикулярный отек (50,0 и 24,7 % соответственно; $p = 0,204$). У них чаще отсутствовала ликворная щель между опухолью и мозговой тканью (12,5 и 5,9 % соответственно; $p = 0,426$) (Рисунок 5), однако выявленные отличия не были статистически значимы.

По данным МСКТ-перфузии, в основной группе отмечался более высокий показатель мозгового кровотока (CBF, cerebral blood flow) в ткани опухоли – 41,0 и 36,2 мл/100 г/мин соответственно, но опять же без статистической значимости ($U = 3,0$; $p = 0,800$).

Из интраоперационных факторов риска следует отметить радикальность удаления

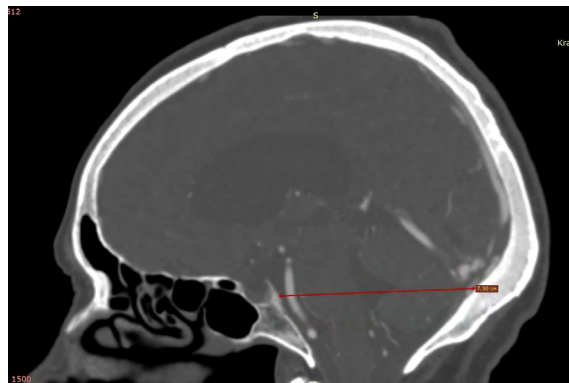


Рисунок 4. Длина задней черепной ямки 7,3 см у пациентки с интраоперационным анатомическим повреждением лицевого нерва. Источник: составлено авторами

Рисунок 4. Posterior cranial fossa length of 7.3 cm in a female patient with intraoperative anatomical damage to the facial nerve. Source: created by the authors

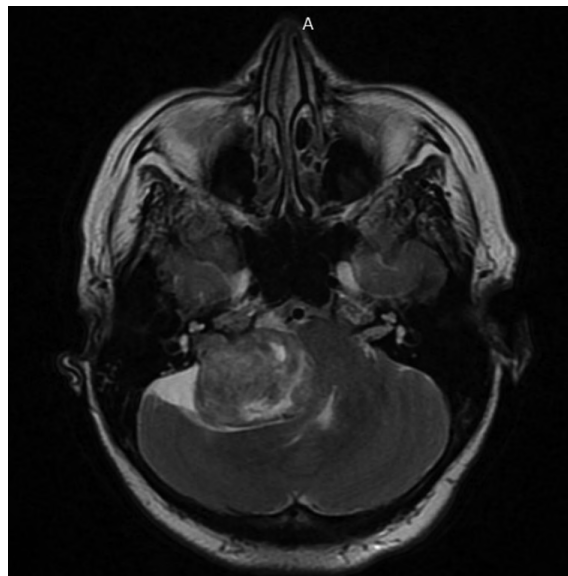


Рисунок 5. МРТ пациентки с гигантской вестибулярной шванномой справа: визуализируется отсутствие симптома ликворной щели между опухолью, мостом и проксимальными отделами средней мозжечковой ножки. Источник: составлено авторами

Рисунок 5. MRI of a female patient with a giant right vestibular schwannoma. The absence of a cerebrospinal fluid cleft sign between the tumor, the pons, and the proximal parts of the middle cerebellar peduncle is visualized. Source: created by the authors

опухоли. В основной группе все опухоли (100 %) были удалены радикально, в то время как в группе сравнения процент радикально резецированных шванном составил лишь 62,3 %. В остальных случаях новообразование было удалено субтотально. Данные отличия были статистически значимы ($p = 0,047$) (Рисунки 6, 7). Обращает на себя внимание и большая продолжительность операций у пациентов основной группы: 245,0 и 220,0 мин соответственно

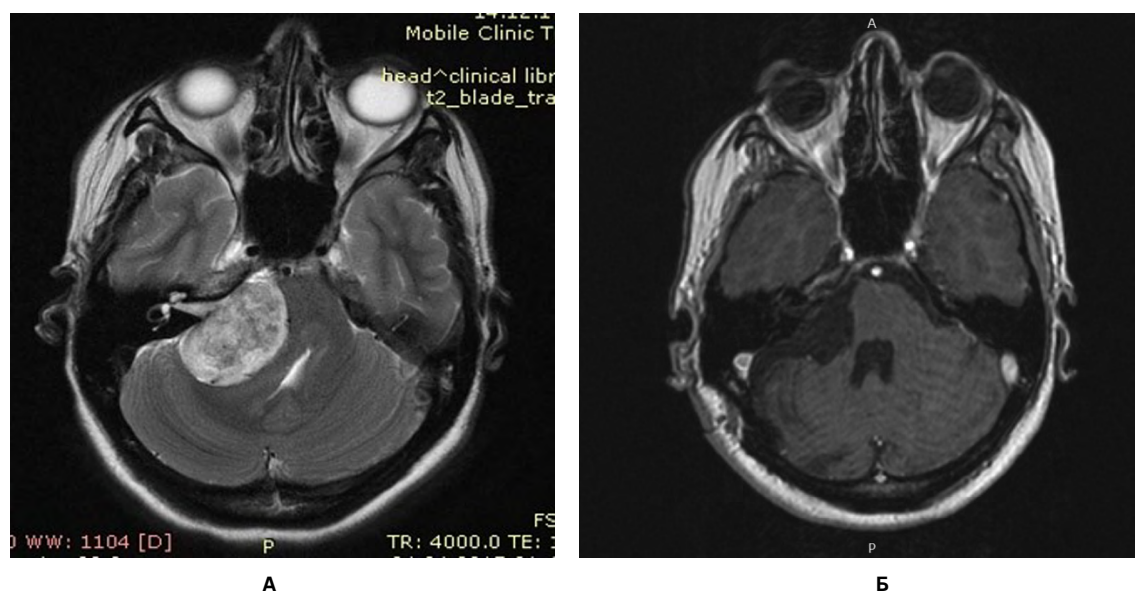


Рисунок 6. МРТ пациентки с гигантской вестибулярной шванномой справа: А – до операции; Б – после операции (остатки опухоли не визуализируются). Источник: составлено авторами

Figure 6. MRI of a female patient with a giant right vestibular schwannoma: A – before surgery; B – after surgery (no residual tumor is visible). Source: created by the authors

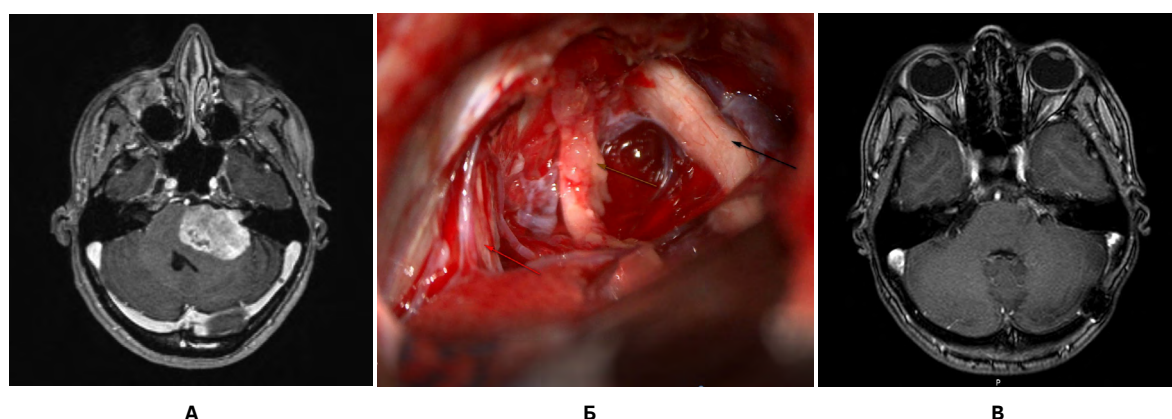


Рисунок 7. Пациентка с гигантской вестибулярной шванномой слева: А – МРТ до операции; Б – интраоперационное фото ложа удаленной вестибулярной шванномы слева (визуализируются тройничный нерв (черная стрелка), каудальная группа нервов (красная стрелка), остатки капсулы опухоли на лицевом нерве); В – МРТ после субтотального удаления опухоли (визуализируется остаточная часть опухоли в области внутреннего слухового прохода и мосто-мозжечковой цистерны). Источник: составлено авторами

Figure 7. Female patient with a giant left vestibular schwannoma: A – preoperative MRI; B – intraoperative picture of the left vestibular schwannoma resection bed (the trigeminal nerve (black arrow), the caudal group of nerves (red arrow), and remnants of the tumor capsule on the facial nerve are visualized); C – MRI after subtotal tumor removal (a residual portion of the tumor in the area of the internal auditory canal and the cerebellopontine cistern is seen). Source: created by the authors

($U = 280,0$; $p = 0,414$), то есть это были более деликатные и трудные вмешательства.

В 2 случаях прямого повреждения нерва инструментами при отделении от капсулы опухоли были приняты попытки наложения прямого анастомоза поврежденных концов нерва. Однако анатомические особенности и глубина раны не позволили выполнить эту манипуляцию. Четырем пациентам проведена ранняя реиннервирующая операция на 10–14-е сутки после удаления шванномы путем невротизации лицевого нерва желательным. Еще в 4 случаях невротизация

лицевого нерва проведена в сроки 6–9 месяцев после резекции опухоли. В одном случае удалось добиться функции мимических мышц, соответствующей II степени по шкале House – Brackmann, в остальных – III–IV степени.

Обсуждение

Одним из главных индикаторов качества хирургии вестибулярных шванном является состояние лицевого нерва [4, 8, 9]. Послеоперационная функция мимических мышц

зависит от множества факторов, основные из которых – опыт хирурга, размеры шванномы, васкуляризация и плотность опухоли, дооперационное состояние нерва, наличие предшествующих опций лечения, а также особенности топографо-анатомических взаимоотношений нерва и новообразования [2, 4, 9, 13].

Для точной дооперационной оценки расположения нерва по отношению к ВШ предложено использование диффузионно-тензорной трактографии [14].

Большинство нейрохирургов считают, что именно размер ВШ и выраженность адгезии капсулы опухоли к черепным нервам и стволу являются основными факторами, влияющими на радикальность удаления и функциональный исход операции [3, 4, 6, 9, 15].

По литературным данным, анатомическое сохранение ЛН при резекции шванном среднего размера достигается в 100 % случаев, при больших (более 3 см) новообразованиях – в 81,3 %, а при гигантских (более 4 см) – только в 76,5 % [16]. В среднем вероятность повреждения ЛН во время удаления больших и гигантских ВШ составляет 10,3–17 % [2, 5, 7, 10, 11]. Несмотря на то, что анатомическое сохранение целостности нерва во время операции не коррелирует с косметическим результатом, оно предполагает постепенное восстановление его функции [12]. По данным метаанализа, проведенного P. Zou и соавт. (2014), вероятность сохранения анатомической целостности лицевого нерва при удалении больших и гигантских ВШ составляет 88,8 % (95%-й доверительный интервал: 83,6–93,2 %; индекс гетерогенности – 76,1 %) [17].

В нашей серии пациентов с большими и гигантскими ВШ частота анатомического повреждения составила 8,6 %. Сопоставление данных по размеру опухоли в группах больных с анатомическим повреждением ЛН и без него какой-либо разницы не выявило.

В ряде случаев, особенно при гигантских ВШ, нерв не удается визуализировать, либо он максимально истончен до состояния отдельных тонких пленок, даже деликатные манипуляции на которых могут привести к их повреждению [2, 7, 18].

В нашей когорте пациентов в 3 наблюдениях лицевой нерв не был обнаружен во время операции, еще в 3 случаях отмечалось его разволокнение до отдельных волокон.

В анализируемой литературе нам не удалось найти информацию об анатомических особенностях пациентов с повреждением

лицевого нерва при удалении ВШ. Поэтому выявленные данные о более высокой частоте среди них людей с мезо- и ортоцефальными краниотипами, узкими и короткими формами ЗЧЯ представляют определенный интерес. На наш взгляд, подобные морфологические особенности обуславливают узость анатомических коридоров во время операции и ограничивают объем наиболее точных манипуляций хирурга при отделении капсулы опухоли от нервов акустико-фациальной группы.

Основными немодифицируемыми факторами риска анатомического повреждения лицевого нерва считаются его вовлечение в ткань опухоли, атрофия в области входа корешка нерва в ствол мозга (root enter zone) и резкое истончение с приращением к капсуле шванномы при ее гигантских размерах [7].

Из интраоперационных факторов подчеркивается значение степени васкуляризации опухоли и радикальности хирургии. Удаление гипervasкулярных шванном сопровождается постоянным кровотечением и затрудняет визуализацию арахноидальной плоскости диссекции опухоли [2]. По результатам МРТ у наших пациентов в группе анатомического повреждения чаще регистрировался перитуморозный отек, что, по данным исследователей, говорит о повышенной васкуляризации шванномы [19]. Об этом же свидетельствует и более высокий показатель CBF в структуре новообразований. Отсутствие симптома ликворной щели указывает на инвазию мягкой мозговой оболочки, отсутствие плоскости диссекции и предрасполагает к сложностям удаления.

Важным фактором, влияющим на функцию ЛН после операции, является радикальность удаления ВШ. По данным М.В. Пряникова и соавт. (2016), тяжелая дисфункция лицевого нерва (IV–VI степень по шкале House – Brackmann) после тотального удаления опухоли регистрируется более чем в 2 раза чаще, чем после субтотального [20]. Результаты исследования H. Mahboubi и соавт. (2014) свидетельствуют о том, что вероятность пареза мимической мускулатуры после тотального удаления ВШ достигает 90 % [21].

Наше исследование также продемонстрировало статистически значимое увеличение вероятности анатомического повреждения ЛН при радикальном удалении больших и гигантских ВШ в сравнении с субтотальным.

Данные литературы указывают на то, что для получения лучшего функционального исхода лицевого нерва ряд авторов

предпочитают почти тотальное (near total resection), субтотальное (subtotal resection) и даже частичное (partial resection) удаление больших и гигантских ВШ [2, 8, 15, 22–27]. Авторы клинических рекомендаций по удалению ВШ В.Н. Шиманский и соавт. (2017) подчеркивают, что доброкачественный характер опухоли, низкая скорость прогрессии, наличие эффективного альтернативного радиохирургического метода лечения снижают степень приоритетности их радикального удаления [4].

По данным Н.Ж. Сеол и соавт. (2006) приемлемая функция ЛН (I–II степень по шкале House – Brackmann) сразу после операции отмечена лишь у 15,4 % пациентов при тотальном удалении и у 46,6 % – при субтотальном [22]. G. Grinblat и соавт. (2021) приводят сведения о том, что сразу после операции хорошая функция мимических мышц отмечается у 33,9 % пациентов после тотальной резекции и у 46,6 % – после субтотальной [7].

Идеальным тактическим вариантом в ситуации анатомического повреждения лицевого нерва является выполнение его шва «конец в конец» или использование свободной невралной вставки при наличии дефекта. Также для этих целей предложен целый ряд различных методик использования фибрин-тромбинового клея, пластин Тахокомба и свободных мышечных вставок [28, 29]. Однако, как показал анализ литературы и наш опыт, выполнить подобную манипуляцию возможно далеко не в каждой

ситуации. В этих случаях, а также у пациентов с разволокненным или невизуализированным нервом рекомендуется выполнение реиннервирующей операции в максимально ранние сроки [29–33].

Заключение

Вероятность анатомического повреждения лицевого нерва при удалении новообразований большого и гигантского размера, по данным литературы, составляет 10,3–17 %. Он может быть поврежден инструментами вследствие истончения и плотного сращения с капсулой шванномы, разволокнен или не идентифицирован во время операции.

Кроме хорошо известных факторов, приводящих к увеличению риска интраоперационного повреждения нерва, нами выявлено и влияние анатомических особенностей строения задней черепной ямки. Данное осложнение чаще происходит у пациентов с узкой и короткой формой ямки.

Более высокая частота анатомической травматизации нерва при радикальном удалении опухоли заставляет еще раз вернуться к дискуссии о целесообразности радикального удаления больших и гигантских вестибулярных шванном, особенно в случаях их гиперваскулярности и отсутствия необходимой плоскости диссекции.

В случаях анатомического повреждения лицевого нерва рекомендуется проведение реиннервирующей операции в ранние сроки.

Литература / References

1. Тастанбеков ММ, Олюшин ВЕ, Берснев ВП, Фадеева ТН, Руслякова ИА, Гоман ПГ, и др. Хирургическое лечение неврином VIII нерва больших и гигантских размеров: особенности хирургической тактики и результаты лечения. *Нейрохирургия*. 2010; (3): 25–29. [Tastanbekov MM, Olyushin VE, Bersnev VP, Fadeeva TN, Ruslyakova IA, Goman PG, et al. Surgical treatment of large and giant neurinomas of the VIII nerve: Features of surgical tactics and treatment results. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2010; (3): 25–29. (In Russ.)].
2. Talfer S, Dutertre G, Conessa C, Desgeorges M, Poncet JL. Surgical treatment of large vestibular schwannomas (stages III and IV). *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*. 2010; 127(2): 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2010.03.003>
3. Gerganov VM, Samii M. Giant vestibular schwannomas. *World Neurosurg*. 2012; 77(5–6): 627–628. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2011.10.008>.
4. Шиманский ВН, Танияшин СВ, Шевченко КВ, Одаманов ДА. Хирургическое лечение неврином слухового нерва (вестибулярных шванном). *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2017; 81(3): 66–76. [Shimanskiĭ VN, Taniashin SV, Shevchenko KV, Odamanov DA. Surgical treatment of acoustic neuromas (vestibular schwannomas). *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2017; 81(3): 66–76. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/neiro201781366-76>
5. Huang X, Xu J, Xu M, Chen M, Ji K, Ren J, et al. Functional outcome and complications after the microsurgical removal of giant vestibular schwannomas via the retrosigmoid approach: A retrospective review of 16-year experience in a single hospital. *BMC Neurol*. 2017; 17(1): 18. <https://doi.org/10.1186/s12883-017-0805-6>
6. Starnoni D, Giammattei L, Cossu G, Link MJ, Roche PH, Chacko AG, et al. Surgical management for large vestibular schwannomas: A systematic review, meta-analysis, and consensus statement on behalf of the EANS skull base section. *Acta Neurochir (Wien)*. 2020; 162(11): 2595–2617. <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04491-7>
7. Grinblat G, Dandinarasaiah M, Braverman I, Taibah A, Lisma DG, Sanna M. Large and giant vestibular schwannomas: Overall outcomes and the factors influencing facial nerve function. *Neurosurg Rev*. 2021; 44(4): 2119–2131. <https://doi.org/10.1007/s10143-020-01380-6>

8. Carlson ML, Van Gompel JJ, Wiet RM, Tombers NM, Devaiah AK, Lal D, et al. A cross-sectional survey of the North American Skull Base Society: Current practice patterns of vestibular schwannoma evaluation and management in North America. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2018; 79(3): 289-296. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1607319>
9. Tatagiba M, Ebner FH, Nakamura T, Naros G. Evolution in surgical treatment of vestibular schwannomas. *Curr Otorhinolaryngol Rep*. 2021; 9(4): 467-476. <https://doi.org/10.1007/s40136-021-00366-2>
10. Mehrotra N, Behari S, Pal L, Banerji D, Sahu RN, Jain VK. Giant vestibular schwannomas: Focusing on the differences between the solid and the cystic variants. *Br J Neurosurg*. 2008; (22): 550-556. <https://doi.org/10.1080/02688690802159031>
11. Silva J, Cerejo A, Duarte F, Silveira F, Vaz R. Surgical removal of giant acoustic neuromas. *World Neurosurg*. 2012; 77(5-6): 731-735. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2011.08.019>
12. Han JH, Suh MJ, Kim JW, Cho HS, Moon IS. Facial reanimation using hypoglossal-facial nerve anastomosis after schwannoma removal. *Acta Oto-Laryngologica*. 2017; 137(1): 99-105. <https://doi.org/10.1080/00016489.2016.1212398>
13. Chiu SJ, Hickman SJ, Pepper IM, Tan JHY, Yianni J, Jefferis JM. Neuro-ophthalmic complications of vestibular schwannoma resection: Current perspectives. *Eye Brain*. 2021; (13): 241-253. <https://doi.org/10.2147/EB.S272326>
14. Taoka T, Hirabayashi H, Nakagawa H, Sakamoto M, Myochin K, Hirohashi S, et al. Displacement of the facial nerve course by vestibular schwannoma: Preoperative visualization using diffusion tensor tractography. *J Magn Reson Imaging*. 2006; 24: 1005-1010. <https://doi.org/10.1002/jmri.20725>
15. Goldbrunner R, Weller M, Regis J, Lund-Johansen M, Stavrinou P, Reuss D, et al. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. *Neuro Oncology*. 2020; 22(1): 31-45. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noz153>
16. Jain VK, Mehrotra N, Sahu RN, Behari S, Banerji D, Chhabra DK. Surgery of vestibular schwannomas: An institutional experience. *Neurol India*. 2005; 53(1): 41-45; discussion 45. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.15052>
17. Zou P, Zhao L, Chen P, Xu H, Liu N, Zhao P, et al. Functional outcome and postoperative complications after the microsurgical removal of large vestibular schwannomas via the retrosigmoid approach: A meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2014; (37): 15-21. <https://doi.org/10.1007/s10143-013-0485-7>
18. Bacciu A, Falcioni M, Pasanisi E, Di Lella F, Lauda L, Flanagan S, et al. Intracranial facial nerve grafting after removal of vestibular schwannoma. *Am J Otolaryngol*. 2009; (30): 83-88. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2008.02.010>
19. Samii M, Giordano M, Metwali H, Almarzooq O, Samii A, Gerganov VM. Prognostic significance of peritumoral edema in patients with vestibular schwannomas. *Neurosurgery*. 2015; (77): 81-85. <https://doi.org/10.1227/NEU.0000000000000748>
20. Пряников МВ, Тастанбеков ММ, Пустовой СВ, Куканов КК. Вестибулярные шванномы с выраженным кистозным компонентом. Особенности клинической картины, диагностики, тактики хирургического лечения. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2016; 8(3): 46-52. [Pryanikov MV, Tastanbekov MM, Pustovoy SV, Kukanov KK. Cystic vestibular schwannomas. Clinical and diagnostic features, surgical tactics. *Russian Neurosurgical Journal named after professor A.L. Polenov*. 2016; 8(3): 46-52. (In Russ.)].
21. Mahboubi H, Ahmed OH, Yau AY, Ahmed YC, Djalilian HR. Complications of surgery for sporadic vestibular schwannoma. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2014; 150(2): 275-281. <https://doi.org/10.1177/0194599813512106>
22. Seol HJ, Kim CH, Park CK, Kim DG, Chung YS, Jung HW. Optimal extent of resection in vestibular schwannoma surgery: Relationship to recurrence and facial nerve preservation. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2006; 46(4): 176-180; discussion 180-181.
23. Schwartz MS, Karl E, Strickland BM, Berliner K, Brackmann DE, House JW, et al. Evaluation of the increased use of partial resection of large vestibular schwannomas: Facial nerve outcomes and recurrence/regrowth rates. *Otol Neurotol*. 2013; 34(8): 1456-1464. <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3182976552>
24. Iwai Y, Ishibashi K, Watanabe Y, Uemura G, Yamanaka K. Functional preservation after planned partial resection followed by gamma knife radiosurgery for large vestibular schwannomas. *World Neurosurg*. 2015; 84(2): 292-300. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.03.012>
25. Zhang S, Liw W, Hui X, You C. Surgical treatment of giant vestibular schwannomas: Facial nerve outcome and tumor control. *World Neurosurg*. 2016; 94: 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.06.119>
26. Troude L, Boucekine M, Montava M, Lavielle JP, Regis JM, Roche PH. Adjunctive gamma knife surgery or wait and scan policy after optimal resection of large vestibular schwannomas: Clinical and radiologic outcomes. *World Neurosurg*. 2018; 118: e895-e905. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.07.093>
27. Daniel RT, Tuleasca C, Rocca A, George M, Pralong E, Schiappacasse L, et al. The changing paradigm for the surgical treatment of large vestibular schwannomas. *J Neurol Surg B Skull Base*. 2018; 79 (Suppl 4): S362-S370. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1668540>
28. Choi KS, Kim MS, Jang SH, Kim OL. Preservation of facial nerve function repaired by using fibrin glue-coated collagen fleece for a totally transected facial nerve during vestibular schwannoma surgery. *J Korean Neurosurg Soc*. 2014; 55(4): 208-211. <https://doi.org/10.3340/jkns.2014.55.4.208>
29. Bianchi B, Ferri A, Ferrari S, Copelli C, Salvagni L, Sesenna E. The masseteric nerve: A versatile power source in facial animation techniques. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2014; 52(3): 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2013.12.013>

30. Зотов АВ, Рзаев ДА, Дмитриев АБ, Чернов СВ, Мойсак ГИ. Оценка ближайших результатов хирургического лечения больных с лицевым параличом методом тригеминальной невротизации. *Вопросы нейрохирургии*. 2016; (4): 31-39. [Zotov AV, Rzaev DA, Dmitriev AB, Chernov SV, Moysak GI. Evaluation of short-term surgical outcomes in facial paralysis patients treated by trigeminal neurotization. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2016; 80(4): 31-39. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/neiro201680431-39>
31. Нечаева АС, Улитин АЮ, Пустовой СВ, Тастанбеков ММ. Опыт реиннервации лицевого нерва подъязычным нервом для коррекции послеоперационной дисфункции лицевого нерва. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2019; 11(3): 32-37. [Nechaeva AS, Ulitin AYU, Pustovoy SV, Tastanbekov MM. Experience of facial nerve reinnervation by the hypoglossal nerve for correction of postoperative facial nerve dysfunction. *Russian Neurosurgical Journal named after professor A.L. Polenov*. 2019; 11(3): 32-37. (In Russ.)].
32. Volk GF, Geitner M, Geißler K, Thielker J, Raslan A, Mothes O, et al. Functional outcome and quality of life after hypoglossal-facial jump nerve suture. *Front Surg*. 2020; (7): 11. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2020.00011>
33. Hamdi OA, Jones MK, Ziegler J, Basu A, Oyer SL. Hypoglossal nerve transfer for facial nerve paralysis: A systematic review and meta-analysis. *Facial Plast Surg Aesthet Med*. 2024; 26(2): 219-227. <https://doi.org/10.1089/fpsam.2023.0144>

Сведения об авторах / Information about the authors

Руденко Павел Геннадьевич✉ – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии с курсом ПО, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; врач-нейрохирург КГБУЗ «Краевая клиническая больница»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9390-3134>; e-mail: rpg30@rambler.ru

Канахин Александр Васильевич – врач-нейрохирург, КГБУЗ «Краевая клиническая больница»; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4554-5306>; e-mail: aleksander.kanashin2017@yandex.ru

Кобаненко Владислав Олегович – младший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3889-1956>; e-mail: kobanenko1999@bk.ru

Файзова Марворид Нусратуллоевна – врач-нейрохирург, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет имени профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8738-6847>; e-mail: marvoridin00@gmail.com

Pavel G. Rudenko✉ – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery with a Course of Continuing Professional Education, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; Neurosurgeon, Krasnoyarsk Regional Clinical Hospital; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9390-3134>; e-mail: rpg30@rambler.ru

Alexander V. Kanashin – Neurosurgeon, Krasnoyarsk Regional Clinical Hospital; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4554-5306>; e-mail: aleksander.kanashin2017@yandex.ru

Vladislav O. Kobanenko – Junior Researcher, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3889-1956>; e-mail: kobanenko1999@bk.ru

Madina N. Fayzova – Neurosurgeon, Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8738-6847>; e-mail: marvoridin00@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Клинические случаи / Clinical cases

Применение страховочного экстра-интракраниального шунта при удалении менингиомы переднего наклоненного отростка (описание клинического случая и обзор литературы)

Федоренко А.Д.¹, Забунян Г.А.², Литвиненко Д.В.^{2,✉}, Ткачев В.В.²

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, ул. Митрофана Седина, д. 4, г. Краснодар, Российская Федерация, 350063

²ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края, ул. 1 Мая, д. 167, Краснодар, Российская Федерация, 350086

Резюме

Введение. Степень инвазии менингиом переднего наклоненного отростка в магистральные сосуды головного мозга прямо коррелирует с радикальностью их удаления. Создание страховочных обходных артериальных шунтов – один из путей повышения радикальности операций.

Описание случая. Пациентка 36 лет поступила в ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края с диагнозом: менингиома правого переднего наклоненного отростка. Решено выполнить радикальное удаление опухоли с наложением страховочного экстра-интракраниального шунта между лучевой артерией левой руки и правой средней мозговой артерией. После удаления опухоли выявлено стенозирование внутренней сонной артерии, в связи с чем выполнена конверсия временного экстра-интракраниального шунта в постоянный. На контрольной магнитно-резонансной томографии признаков остаточной опухоли не выявлено, церебральный кровоток не скомпрометирован. Пациентка выписана в удовлетворительном состоянии.

Обсуждение. Вовлечение магистральных церебральных артерий в опухолевый узел снижает радикальность удаления новообразований и уменьшает продолжительность безрецидивного периода. Создание обходного артериального шунта – один из методов церебральной реваскуляризации при удалении опухолей основания черепа с инвазией в магистральные сосуды головного мозга. Нами использована методика, позволяющая на этапе удаления опухоли обеспечить временную ретроградную перфузию артерий каротидного бассейна при вынужденном прекращении в них антеградного кровотока, а при необходимости – выполнять постоянное обходное шунтирование различного объема кровотока участков артерии, пораженного опухолью.

Ключевые слова: менингиома переднего наклоненного отростка, реваскуляризация головного мозга, экстра-интракраниальный шунт, аутографт

Для цитирования: Федоренко А.Д., Забунян Г.А., Литвиненко Д.В., Ткачев В.В. Применение страховочного экстра-интракраниального шунта при удалении менингиомы переднего наклоненного отростка (описание клинического случая и обзор литературы). *Сибнейро*. 2025; 1(1): 57–67. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-57-67>

Вклад авторов

Федоренко А.Д. – создание черновика рукописи.

Забунян Г.А. – создание рукописи и ее редактирование.

Литвиненко Д.В. – создание рукописи и ее редактирование.

Ткачев В.В. – администрирование проекта, руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Данные предоставляются по запросу в обезличенном виде.

Поступила: 04.04.2025

Принята к печати: 25.07.2025

Опубликована: 15.10.2025

The use of safety extra-intracranial anastomosis in the removal of meningioma of the anterior oblique process (description of the clinical case and literature review)

Arkady D. Fedorenko¹, Grant A. Zabunyan², Dmitry V. Litvinenko^{2✉}, Vyacheslav V. Tkachev²

¹Kuban State Medical University, Mitrofana Sedina str., 4, Krasnodar, Russian Federation, 350063

²Regional Clinical Hospital No. 1 named after Professor S.V. Ochapovsky, 1 Maya str., 167, Krasnodar, Russian Federation, 350086

Abstract

Introduction. The degree of invasion of meningiomas of the anterior oblique process into the main vessels of the brain directly correlates with the radicality of their removal. The creation of safety bypass arterial shunts is one of the ways to increase the radicality of operations.

Case description. A 36-year-old patient was admitted to the Regional Clinical Hospital No. 1 named after Professor S.V. Ochapovsky with a diagnosis of meningioma of the right anterior oblique process. It was decided to perform a radical removal of the tumor with the imposition of an extra-intracranial anastomosis between the radial artery of the left arm and the right middle cerebral artery. After removal of the tumor, stenosis of the internal carotid artery was revealed, and therefore a temporary extra-intracranial anastomosis was converted into a permanent shunt. The control MRI showed no signs of a residual tumor, and the cerebral blood flow was not compromised. The patient was discharged in a satisfactory condition.

Discussion. The involvement of the main cerebral arteries in the tumor node reduces the radical removal of neoplasms and reduces the duration of the recurrence-free period. The creation of a bypass arterial shunt is one of the methods of cerebral revascularization in the removal of tumors of the base of the skull with invasion into the main vessels of the brain. We used a technique that allows, at the stage of tumor removal, to provide temporary retrograde perfusion of the carotid basin arteries with the forced cessation of antegrade blood flow in them, and, if necessary, to perform permanent bypass surgery of various volumes of blood flow in areas of the artery affected by the tumor.

Key words: meningioma of the anterior oblique process, brain revascularization, extra-intracranial bypass, autograph

For citation: Fedorenko A.D., Zabunyan G.A., Litvinenko D.V., Tkachev V.V. The use of safety extra-intracranial anastomosis in the removal of meningioma of the anterior oblique process (description of the clinical case and literature review). *Sibneuro*. 2025; 1(1): 57–67. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-57-67>

Authors' contribution

Fedorenko A. D. – writing – original draft.

Zabunyan G. A. – writing – review & editing.

Litvinenko D. V. – writing – review & editing.

Tkachev V. V. – project administration, supervision, writing – review & editing.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. Data is provided upon request in anonymized form

Received: 04.04.2025

Accepted: 25.07.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Проблема хирургии менингиом переднего наклоненного отростка (ПНО) не нова. Опухоли данной локализации составляют от 10 до 25 % всех внутримозговых менингиом [1–4] и, согласно классификации О. Al-Mefty, разделяются на три типа в зависимости от исходного расположения матрикса и степени инвазии опухоли в стенку внутренней сонной артерии (ВСА) [5].

В процессе роста менингиомы ПНО могут распространяться на малое и большое крыло клиновидной кости, кавернозный синус, а также субтенториально в петрокливальную область [6]. Доказано, что продолжительно-

стью безрецидивного периода имеет прямую корреляционную связь с радикальностью удаления указанных новообразований [7–9].

Одной из важных характеристик менингиом, влияющих на радикальность их удаления, является плотность стромы опухоли [10, 11]. Чем плотнее опухоль, тем сложнее выделение и тем выше риск повреждения сосудов и нервов, вовлеченных в опухолевый узел [12]. По данным лучевых методов дооперационной диагностики не всегда возможно достоверно определить как плотность менингиомы, так и наличие инвазии опухоли в стенку магистральных церебральных артерий [13].

Таким образом, при удалении менингиом ПНО с вовлечением в опухоль магистральных церебральных артерий имеется реальный риск повреждения ВСА и ее магистральных ветвей, что без экстренной сосудистой реконструкции может привести к инвалидизации и летальному исходу [14]. Опыт показывает, что попытки экстренной реконструкции сосудов, находящихся в опухолевом узле, в отсутствие «проксимального» и «дистального» контроля кровотечения из поврежденной артерии сопровождаются кровопотерей, дополнительным ятрогенным повреждением окружающих анатомических структур и редко бывают успешными [15–17]. Вследствие этого при вовлечении в опухолевый узел магистральных церебральных артерий ряд пациентов или оперируются заведомо не радикально, или признаются неоперабельными [18, 19].

Создание страховочных обходных шунтов – один из путей повышения радикальности и улучшения функциональных исходов лечения больных с краниобазальными опухолями [20, 21]. Поэтому поиск оптимального способа реваскуляризации мозга при вовлечении в опухоль магистральных церебральных артерий ведется на протяжении последних 50 лет и продолжается до настоящего времени.

Мы представляем один из возможных вариантов решения данной проблемы.

Цель работы

Представить клинический случай тотального удаления менингиомы переднего

наклоненного отростка с полным вовлечением в опухолевый узел внутренней сонной артерии с использованием страховочного высокопоточного экстра-интракраниального шунта между темпорополярной ветвью средней мозговой артерии (СМА) и лучевой артерией контралатерального предплечья.

Клинический случай

Пациентка Ю., 36 лет, поступила в Больницу скорой медицинской помощи г. Краснодара с жалобами на головную боль, единственный судорожный приступ с потерей сознания с обонятельной аурой. При проведении компьютерной томографии (КТ) головного мозга выявлено объемное образование медиобазальных отделов правой височной доли. Пациентка Переведена для оперативного лечения в нейрохирургическое отделение ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края.

При поступлении состояние средней степени тяжести, превалирует общемозговая симптоматика, очагового дефицита не отмечено. При проведении магнитно-резонансной томографии (МРТ) верифицировано объемное образование правого переднего наклоненного отростка с вовлечением ВСА (Рисунок 1)

Учитывая молодой возраст пациентки и предположительно доброкачественный характер опухоли, принято решение выполнить

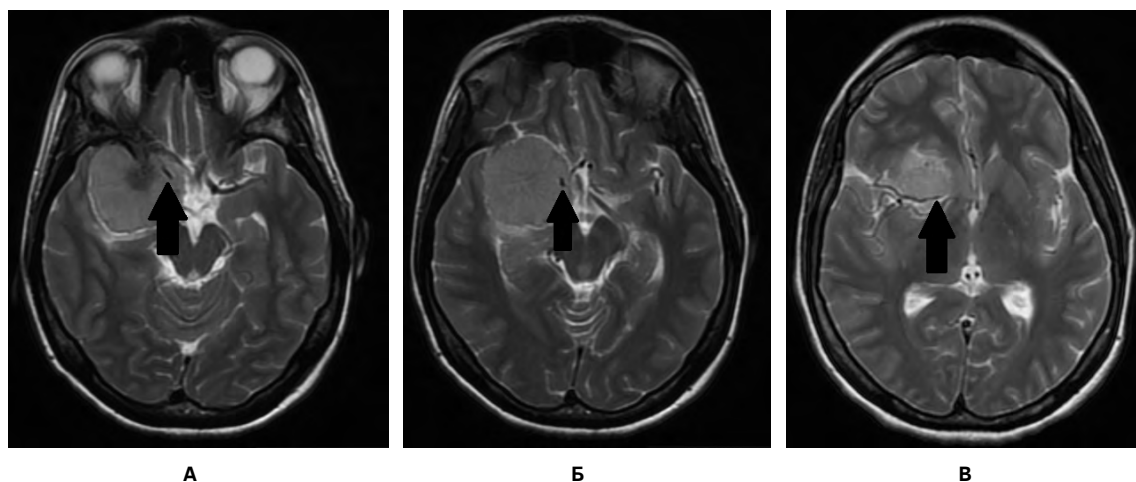


Рисунок 1. МРТ в режиме T2-взвешенного изображения пациентки Ю. до операции: определяется менингиома правого переднего наклоненного отростка с вовлечением в опухоль правой внутренней сонной и средней мозговой артерий; А, Б – черной стрелкой указана вовлеченная в опухоль ВСА; В – черной стрелкой указана вовлеченная в опухоль СМА. Источник: составлено авторами

Figure 1. Preoperative magnetic resonance imaging scans of the patient Yu., T2-weighted sequence. A meningioma of the right anterior clinoid process is seen, with involvement of the right internal carotid and middle cerebral arteries; A, B – the black arrow indicates the internal carotid artery involved in the tumor; C – the black arrow indicates the middle cerebral artery involved in the tumor. Source: created by the authors

радикальное удаление опухоли с возможным наложением страховочного экстра-интракраниального шунта. Проба Аллена подтвердила возможность использования левой лучевой артерии в качестве донорской артерии.

Описание операции

Голова пациентки повернута влево и жестко зафиксирована в головодержателе. Левая рука пациентки запрокинута и уложена на дополнительный подлокотник непосредственно позади головы (Рисунок 2).

Выполнены обработка и драпировка операционного поля, обеспечивающего возможность одновременного выполнения операционных доступов к руке пациента, шее, наружному и внутреннему основанию черепа в правой лобно-височно-теменной области. Произведена расширенная правосторонняя птериональная краниотомия с экстрадуральной резекцией медиальных отделов крыла основной кости, переднего наклоненного отростка, частично верхней и латеральной стенок правой орбиты, де-структурированных опухолью (Рисунок 3).

Транссильвиевым подходом осуществлен доступ к хиазмально-селлярной области, где обнаружено плотное, хорошо отграниченное от вещества головного мозга объемное образование, матриксом которого является твердая мозговая оболочка правого переднего наклоненного отростка и наружной стенки правого кавернозного синуса. По данным экспресс биопсии опухоль определена как менингиома. После внутренней декомпрессии опухоли верифицировано, что правые ВСА и СМА на значительном

протяжении располагаются внутри плотного опухолевого узла (Рисунок 4).

Принято решение о наложении страховочного экстра-интракраниального шунта с использованием графта левой лучевой артерии с сохранением питающей ножки. Для этого выделены темпоральная ветвь СМА и поверхностная височная артерия. Край размеченной кожной раны на левом предплечье подшиты к краям трепанационного окна. Лучевая артерия (ЛА), мобилизованная на запрокинутой руке, после перевязки и пересечения в дистальной трети предплечья позиционирована в мозговую рану в качестве донорского сосуда (Рисунок 5).

После наложения временных клипсов на правую темпорополярную артерию и ее «линейной» артериотомии наложен экстра-интракраниальный анастомоз между лучевой артерией и темпоральной ветвью средней мозговой артерии (Рисунок 6А). После гемостаза по линии сосудистого шва был восстановлен кровоток по лучевой артерии. Таким образом, дальнейшие этапы удаления опухоли осуществлялись на фоне перфузии церебральных артерий как через вовлеченные в опухоль ВСА и СМА, так и «через руку» – посредством искусственно созданного обходного шунта.

Позатпно правые внутренняя сонная, передняя и средняя мозговые артерии и их функционально значимые ветви выделены из опухолевого узла. Капсула опухоли отделена от хиазмы, правого зрительного и глазодвигательного нервов. После удаления опухоли правая ВСА оставалась стенозированной, но с сохраненным антеградным кровотоком в СМА, что не требует высоко-



Рисунок 2. Положение пациентки на операционном столе с драпировкой операционного поля. Источник: составлено авторами

Figure 2. Patient positioning on the operating table with draping of the surgical field. Source: created by the authors

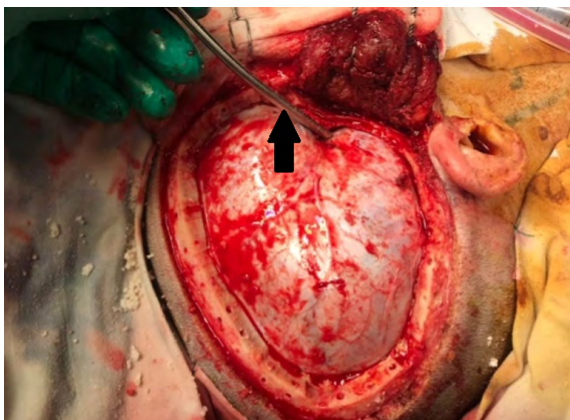


Рисунок 3. Расширенная птериональная краниотомия, выполненная пациентке Ю.: черной стрелкой обозначена область резекции латеральной стенки орбиты. Источник: составлено авторами

Figure 3. Extended pterional craniotomy performed on the patient. The black arrow indicates the area of resection of the lateral orbital wall. Source: created by the authors



Рисунок 4. Интраоперационное фото пациентки Ю.: черной стрелкой указана строма опухоли; черным пунктиром указан ствол правой СМА. Источник: составлено авторами

Figure 4. Intraoperative picture of the patient's brain. The black arrow indicates the tumor stroma. The black dashed line indicates the trunk of the right MCA. Source: created by the authors

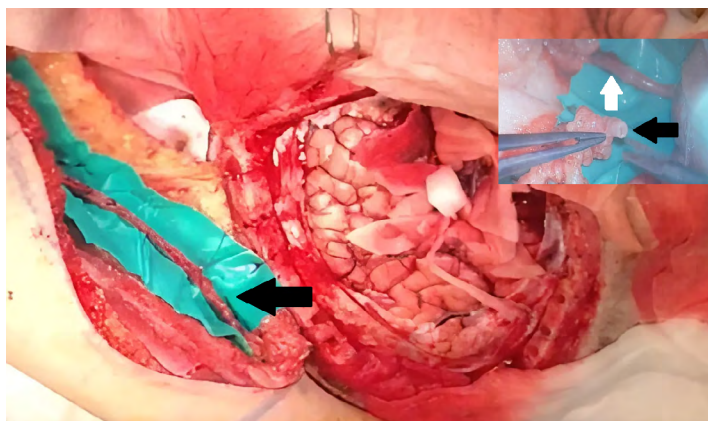


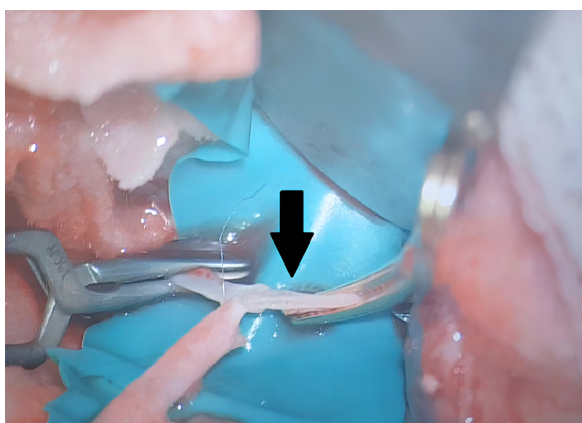
Рисунок 5. Интраоперационные фотографии пациентки Ю.: подготовка к созданию временного шунта между левой лучевой и правой средней мозговой артериями. Черными стрелками указана левая лучевая артерия; белой стрелкой указана выделенная темпоральная ветвь СМА. Источник: составлено авторами

Figure 5. Intraoperative picture of the patient. Preparation for the creation of a temporary shunt between the left radial artery and the right middle cerebral artery. The left radial artery is indicated by black arrows; the highlighted temporal branch of the middle cerebral artery is indicated by a white arrow. Source: created by the authors

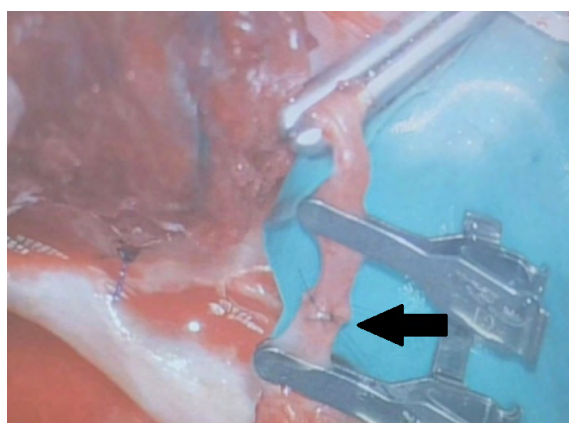
объемного обходного шунтирования и связанного с ним риска реперфузионных осложнений. В связи с этим принято решение о конверсии временного экстра-интракраниального шунта в постоянный. После выделения, лигирования и пересечения теменной ветви правой поверхностной височной артерии ствол левой лучевой артерии лигирован и пересечен в проксимальной трети левого

предплечья. Выполнено наложение проксимального анастомоза поверхностной височной артерии с аутоартериальным трансплантатом по типу «конец в конец» узловыми швами (Рисунок 6Б). После тщательного гемостаза выполнено послойное ушивание всех операционных ран.

На контрольной МРТ признаков остаточной опухоли не выявлено, церебральный



А



Б

Рисунок 6. Интраоперационные фотографии наложения анастомозов между левой лучевой и правой темпорополярной артериями пациентки Ю.: А – наложение временных клипс на правую темпорополярную артерию и экстра-интракраниального анастомоза между лучевой и темпоральной ветвью средней мозговой артериями (черной стрелкой показано место наложения анастомоза); Б – конверсия временного анастомоза в экстра-интракраниальный шунт между правыми поверхностной височной и средней мозговой артериями (черной стрелкой показано место наложения анастомоза между артериями). Источник: составлено авторами

Figure 6. Intraoperative pictures of anastomosis creation between the left radial artery and the right temporo-polar artery: A – Application of temporary clip to the right temporo-polar artery and creation of an extra-intracranial anastomosis between the radial artery and the temporal branch of the middle cerebral artery, the black arrow indicates the site of the anastomosis. B – conversion of the temporary anastomosis into an extra-intracranial shunt between the right superficial temporal artery and the middle cerebral artery (the black arrow indicates the site of the anastomosis between the arteries). Source: created by the authors

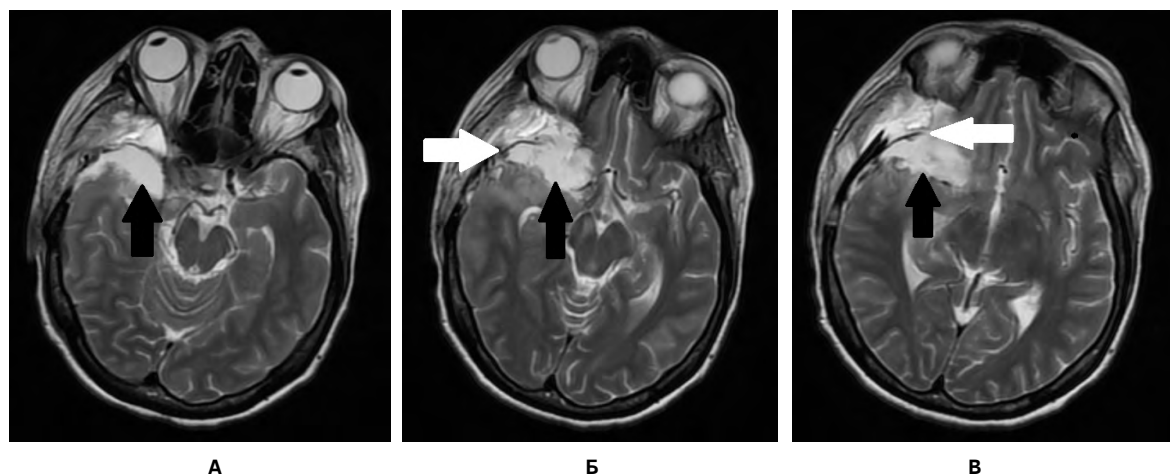


Рисунок 7. МРТ в режиме T2 пациентки Ю. после операции: опухоль удалена тотально; значимых зон ишемии не выявляется: А – черной стрелкой указана зона тотального удаления опухоли; Б, В – черной стрелкой указана зона тотального удаления опухоли, белой стрелкой указан функционирующий экстра-интракраниальный анастомоз. Источник: составлено авторами

Figure 7. Postoperative T2-weighted magnetic resonance imaging scan. The tumor was totally removed. No significant ischemic areas are identified; A – the black arrow indicates the area of total tumor removal; B, C – the black arrow indicates the area of total tumor removal; the white arrow indicates the functioning extra-intracranial anastomosis. Source: created by the authors

кровооток не скомпрометирован (Рисунок 7). На контрольной церебральной ангиографии видно, что кровооток по артериям, ранее вовлеченным в опухолевый узел, сохранен; созданный экстра- интракраниальный анастомоз хорошо функционирует (Рисунок 8).

Общее состояние пациентки при выписке удовлетворительное. В неврологиче-

ском статусе отмечено появление пареза правого глазодвигательного нерва. Других очаговых симптомов и координаторных нарушений не выявляется. Заживление операционных ран на голове и левом предплечье первичное, швы сняты. Пациентка выписана под наблюдение невролога по месту жительства.

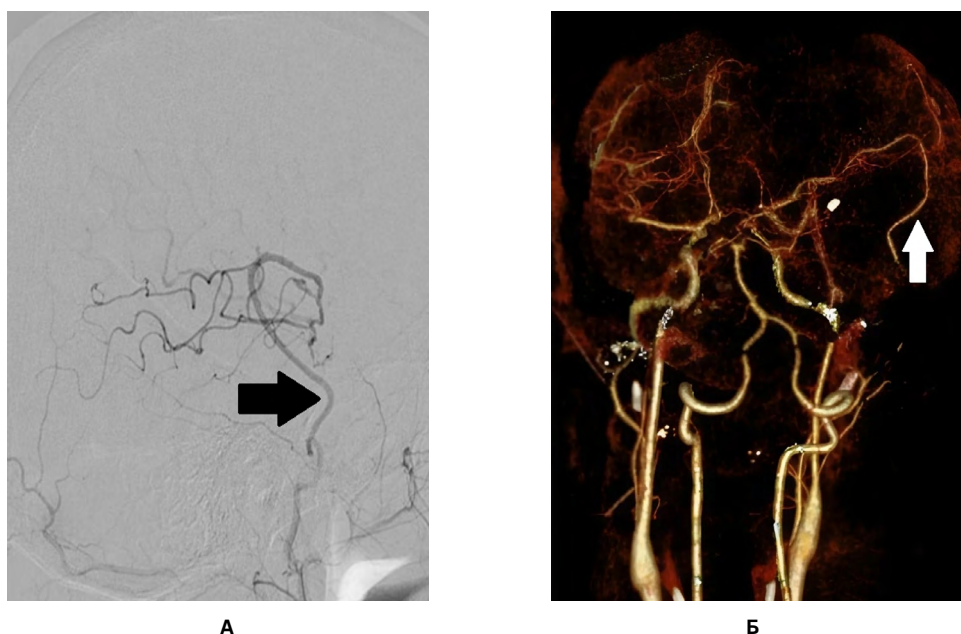


Рисунок 8. Церебральная ангиография (А) и компьютерная томографическая ангиография (Б) пациентки Ю. после операции: черной стрелкой указан функционирующий шунт между правыми поверхностной височной и средней мозговой артериями; белой стрелкой указан функционирующий шунт между правыми поверхностной височной и средней мозговой артериями. Источник: составлено авторами

Figure 8. Postoperative cerebral angiography (A) and CT angiography (B) of the patient: the black arrow indicates the functioning shunt between the right superficial temporal artery and the middle cerebral artery; the white arrow indicates the functioning shunt between the right superficial temporal artery and the middle cerebral artery. Source: created by the authors

Обсуждение

Замещение артериального кровотока по магистральным артериям головного мозга при удалении опухолей краниобазальной и субкраниальной локализаций является важной точкой приложения реваскуляризирующих технологий.

Принято считать, что впервые о протезировании экстракраниального отдела внутренней сонной артерии аутовеной в ходе удаления опухолей на шее сообщил J.J. Conley в 1953 г. [22]. Следующей важной вехой стала публикация в 1980 г. U. Fisch и соавт. первых результатов аутовенозного протезирования внутренней сонной артерии при лечении ее субкраниальных и внутримозговых поражений [23]. Примерно в это же время появились описания отдельных случаев применения экстра-интракраниального анастомоза по методике M.G. Yasargil при удалении внутричерепных опухолей [24–27].

В 1996 г. M.T. Lawton и R.F. Spetzler опубликовали результаты лечения 10 пациентов с краниобазальными опухолями, при удалении которых производилось пересечение внутренней сонной артерии и высокопоточное экстра-интракраниальное шунтирование [19, 28].

Самый большой опыт микрохирургической реваскуляризации церебральных артерий у онкологических пациентов представили L.N. Sekhar и соавт. В 2001 г. их серия насчитывала 98, а в 2008 г. – 130 пациентов, причем число выполняемых ежегодно операций во второй серии имело отчетливую тенденцию к снижению [29, 30]. Данный факт объясняется увеличением доступности современных методов лучевой диагностики, повышением эффективности стереотаксической радиохирургии, разработкой новых химиотерапевтических препаратов, что в совокупности позволило сократить число пациентов с распространенными формами заболевания и сместить парадигму лечения первичных пациентов в сторону выполнения менее агрессивных оперативных вмешательств в комбинации с химиотерапией и стереотаксической радиохирургией [31–35].

Учитывая общую распространенность опухолей краниобазальной локализации, число пациентов, требующих выполнения реваскуляризирующих операций в ходе удаления опухоли, невелико, хотя истинная потребность в подобных вмешательствах остается неопределенной. Ключевыми факторами при решении вопроса целесооб-

ности замещения артериального кровотока в ходе удаления опухоли остаются: степень злокачественности и гистологическая структура опухоли; локализация и распространенность новообразования. Важное значение имеет характер выполнения операции – превентивная или ургентная [28, 30–32, 35].

Доброкачественными опухолями, вовлекающих в себя магистральные артерии мозга, чаще всего являются менингиомы, краниофарингиомы, аденомы гипофиза, шванномы и ювенильные ангиофибромы [28, 30–32, 35]. Для указанных новообразований характерен медленный, неинвазивный рост, вызывающий оттеснение сосудистых образований, с сохранением демаркационной зоны, представленной паутинной оболочкой и периадвентициальными тканями [28, 30, 31, 36, 37]. Это позволяет при использовании современной микрохирургической техники в большинстве случаев выполнять удаление опухоли с минимальным риском диссекции и пересечения церебральных артерий [36, 37].

Однако у части больных, чаще при менингиомах кавернозного синуса и переднего наклоненного отростка, возможно полное вовлечение магистральных артерий в плотный опухолевый узел, сопровождающееся стенозированием и инвазией опухолью сосудистой стенки [2, 29, 35–37, 38]. Многочисленными исследованиями установлено, что проведение неоадьювантной радиохирургии осложняет открытое удаление новообразования, так как в результате облучения степень стеноза вовлеченных в опухоль артерий и выраженность адгезии ткани опухоли с сосудистой стенкой усугубляются [29, 39].

При интрадуральном расположении опухоли, помимо магистральных артерий, в нее могут вовлекаться функционально значимые ветви, такие как задняя соединительная и передняя ворсинчатая артерия, а также перфорирующие артерии, повреждение которых может нанести пациенту вред, сопоставимый с ранением несущей их артерии. На сегодняшний день возможности селективной реконструкции ветвей малого диаметра ограничены, а часто это технически не выполнимо. Поэтому полное вовлечение в опухолевый узел супраклиноидного отдела ВСА, сфеноидального сегмента СМА и ПМА снижает целесообразность предоперационной резекции крупных артерий [32]. С другой стороны, расположение опухоли проксимальнее зоны отхождения перфорирующих артерий, наоборот, смещает чашу

весов в сторону проведения операции с использованием артериальной реконструкции.

Также нельзя забывать, что частота рецидивов доброкачественной опухоли краниобазальной локализации, определяется не только хирургической тактикой в отношении магистральных артерий, но и радикальностью отделения от опухоли черепных нервов, структур гипоталамо-гипофизарной системы и ствола мозга, функциональное значение которых огромно, а возможности полноценной коррекции их функций в случае утраты на сегодняшний день отсутствуют. Данный аргумент косвенно подтверждается сопоставимой частотой рецидивов менингиом кавернозного синуса, выполненных с протезированием [2] и с сохранением [36] сонной артерии.

Основной дилеммой при решении вопроса о проведении церебральной реваскуляризации в нейроонкологии остается вопрос об облигатности восстановления кровотока по магистральным церебральным артериям при их иссечении в ходе удаления опухоли.

Имеется два концептуальных подхода к решению данной проблемы. Сторонники «селективной реваскуляризации» выполняют артериальное шунтирование выборочно на основании результатов баллон-окклюзионных тестов (БОТ) [28, 31, 40]. Сторонники «универсальной реваскуляризации» отстаивают облигатное восстановление кровотока по резецируемой магистральной артерии вне зависимости от степени толерантности пациента к ишемии по результатам БОТ или вообще без их выполнения [40, 41].

Основным аргументом специалистов, применяющих стратегию «селективного» подхода к реваскуляризации, является то, что даже плановое, преднамеренное, шунтирование церебральных артерий до настоящего времени остается небезопасной операцией, сопряженной с 5–16%-м риском послеоперационных осложнений и летальностью, достигающей при некоторых нозологиях 13 % [29, 42].

С другой стороны, хирурги, пропагандирующие «универсальный» подход к реваскуляризации, обосновывают свою точку зрения тем, что частота ложноотрицательных результатов БОТ варьирует от 2 до 22 % [2, 43]. Исходя из этого, даже при наличии адекватного коллатерального кровообращения по данным БОТ у пациентов при окклюзии сосудов все равно имеется риск развития инсульта. Помимо этого, само по себе выполнение окклюзионного теста сопряжено с риском неврологических осложнений в диапазоне от 0,7 до 7 % [43, 44].

В качестве аргумента в пользу «неселективного» подхода к реваскуляризации также выдвигается тезис о потенциальной возможности развития после выключения магистральных артерий мозга отсроченных ишемических инсультов и формирования аневризм *de novo* [28, 30].

Наряду с этим большинство авторов единодушны в том, что реконструкция случайно поврежденной в ходе операции магистральной артерии должна выполняться у всех пациентов, которым БОТ до операции не проводился, так как функциональная значимость поврежденной артерии уже не может быть достоверно определена [19, 30, 31].

В настоящее время основным методом микрохирургической реваскуляризации головного мозга при онкологических заболеваниях остается экстра-интракраниальное шунтирование. Показания к выполнению данного вида операций сформулировали L.N. Sekhar и соавт. [30]. С некоторыми изменениями и дополнениями эти показания можно экстраполировать на все современные виды артериальной реваскуляризации в нейроонкологии:

- 1) наличие доброкачественных опухолей, особенно рецидивных и ранее облученных, окутывающих магистральную артерию, если резекция опухоли не может быть достигнута без повреждения артерии [30];
- 2) наличие злокачественной опухоли, вовлекающей в себя магистральную артерию, с целью тотальной резекции новообразования «en-block» [30];
- 3) стеноз (окклюзия) магистральной артерии опухолью, что вызывает у пациента симптомы церебральной ишемии или значительное снижение цереброваскулярного резерва по данным предоперационного обследования [30];
- 4) незапланированное интраоперационное повреждение магистральной артерии, если ее проходимость не может быть восстановлена *in situ* [30];
- 5) синдром «разрыва сонной артерии», если его купирование невозможно другим способом [34, 45].

Таким образом, вопрос о показаниях и технике выполнения страховочных шунтов при лечении пациентов с краниобазальными опухолями остается открытым. При изучении доступной литературы наше внимание привлекла методика создания временного экстра-интракраниального шунта между лучевой артерией на предплечье и ветвями средней мозговой артерии, разработанная для выключения сложных аневризм у па-

циентов с низкой толерантностью к ишемии при проведении окклюзионных тестов Н. Kamiyama [47].

Мы адаптировали и применили данную технику для лечения больных с краниобазальными опухолями [48] и находим ее полезной, так как ее применение позволяет:

- 1) «более уверенно», радикально и безопасно удалять новообразования с вовлечением в опухолевый узел магистральных артерий головного мозга;
- 2) в зависимости от технического результата основного этапа операции формировать экстра-интракраниальные шунты с различным объемным кровотоком: при сшивании проксимального конца графта с поверхностной височной артерией создается шунт низкого потока, с верхнечелюстной артерией – среднего,

с брахицефальными артериями на шее – шунт высокого потока,

- 3) при выполнении реваскуляризации воздержаться от забора артерий скальпа, что уменьшает риск осложнений со стороны операционной раны.

Выводы

Наложение страховочного экстра-интракраниального шунта с использованием аутографта лучевой артерии с сохраненной питающей ножкой является эффективным приемом, расширяющим возможности микрохирургического лечения краниобазальных новообразований с влечением в строум опухоли магистральных артерий мозга. Отбор пациентов для данного вида операций должен осуществляться по строгим показаниям.

Литература / References

1. Коновалов АН (ред.). *Хирургия опухолей основания черепа*. М.; 2004. [Konovalov AN (ed.). *Surgery of skull base tumors*. Moscow; 2004. (In Russ.)].
2. Al-Mefty O. Clinoidal meningiomas. *J Neurosurg*. 1990; 73(6): 840-849. <https://doi.org/10.3171/jns.1990.73.6.0840>
3. Romani R, Laakso A, Kangasniemi M, Lehecka M, Hernesniemi J. Lateral supraorbital approach applied to anterior clinoidal meningiomas: Experience with 73 consecutive patients. *Neurosurgery*. 2011; 68(6): 1632-1647; discussion 1647. <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e318214a840>
4. Al-Mefty O, Ayoubi S. Clinoidal meningiomas. *Acta Neurochir Suppl (Wien)*. 1991; 53: 92-97. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-9183-5_16
5. Krisht AF. Clinoidal meningiomas. In: DeMonte F, McDermot MW, AlMefty O (eds.). *Meningiomas*. Philadelphia: Thieme; 2010; (24): 228-237.
6. Чернов СВ, Рзаев ДА, Калиновский АВ, Дмитриев АВ, Касымов АР, Зотов АВ, и др. Ранние результаты хирургического лечения пациентов с менингиомами переднего наклоненного отростка. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2017; 81(1): 74-80. [Chernov SV, Rzaev DA, Kalinovskiy AV, Dmitriev AB, Kasymov AR, Zotov AV, et al. Early postoperative results of surgical treatment of patients with anterior clinoidal meningiomas. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2017; 81(1): 74-80. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/neiro201780774-80>
7. Schipmann S, Schwake M, Sporns PB, Voß KM, Sicking J, Spille DC, et al. Is the Simpson grading system applicable to estimate the risk of tumor progression after microsurgery for recurrent intracranial meningioma? *World Neurosurg*. 2018; 119: e589-e597. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.07.215>
8. Zhang G, Zhang Y, Zhang G, Li D, Wu Z, Wang Y, et al. Outcome and prognostic factors for atypical meningiomas after first recurrence. *J Clin Neurosci*. 2019; 63: 100-105. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2019.01.032>
9. Гольбин ДА, Черкаев ВА, Капитанов ДН, Козлов АВ, Кадашева АВ, Струнина ЮВ, и др. Лечение срединных краниофациальных менингиом: что мы узнали из анализа 125 наблюдений? Часть 2. Прогностические факторы и алгоритмы лечения. *Российская ринология*. 2023; 31(1): 6-21. [Golbin DA, Cherekaev VA, Kapitanov DN, Kozlov AV, Kadasheva AB, Strunina YuV, et al. Treatment of midline craniofacial meningiomas: What did we learn from the analysis of 125 observations? Part 2. Prognostic factors and treatment algorithms. *Russian Rhinology*. 2023; 31(1): 6-21. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/rosrino2023310116>
10. Sughrue M, Kane A, Rutkowski MJ, Berger MS, McDermott MW. Meningiomas of the anterior clinoid process: Is it wise to drill out the optic canal? *Cureus*. 2015; 7(9): e321. <https://doi.org/10.7759/cureus.321>
11. Sitthinamsuwan B, Khampalikit I, Nunta-aree S, Srirabheebhat P, Witthiweij T, Nitising A. Predictors of meningioma consistency: A study in 243 consecutive cases. *Acta Neurochir (Wien)*. 2012; 154(8): 1383-1389. <https://doi.org/10.1007/s00701-012-1427-9>
12. Kendall B, Pullicino P. Comparison of consistency of meningiomas and CT appearances. *Neuroradiology*. 1979; 18(4): 173-176. <https://doi.org/10.1007/BF00345721>
13. Bassiouni H, Asgari S, Sandalcioğlu IE, Seifert V, Stolke D, Marquardt G. Anterior clinoidal meningiomas: Functional outcome after microsurgical resection in a consecutive series of 106 patients. Clinical article. *J Neurosurg*. 2009; 111(5): 1078-1090. <https://doi.org/10.3171/2009.3.17685>
14. Tamrazi B, Shiroishi MS, Liu CS. Advanced imaging of intracranial meningiomas. *Neurosurg Clin N Am*. 2016; 27(2): 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2015.11.004>
15. Chazono H, Okamoto Y, Matsuzaki Z, Horiguchi S, Matsuoka T, Horikoshi T, et al. Carotid artery resection: Preoperative temporary occlusion is not always an accurate predictor of collateral blood flow. *Acta Otolaryngol*. 2005; 125(2): 196-200. <https://doi.org/10.1080/00016480410017486-1>

16. Wolfe SQ, Tummala RP, Morcos JJ. Cerebral revascularization in skull base tumors. *Skull Base*. 2005; 15(1): 71-82. <https://doi.org/10.1055/s-2005-868164>
17. Wolfswinkel EM, Landau MJ, Ravina K, Kokot NC, Russin JJ, Carey JN. EC-IC bypass for cerebral revascularization following skull base tumor resection: Current practices and innovations. *J Surg Oncol*. 2018; 118(5): 815-825. <https://doi.org/10.1002/jso.25178>
18. Gormley WB, Sekhar LN, Wright DC, Olding M, Janecka IP, Snyderman CH, et al. Management and long-term outcome of adenoid cystic carcinoma with intracranial extension: A neurosurgical perspective. *Neurosurgery*. 1996; 38(6): 1105-1112; discussion 1112-1113. <https://doi.org/10.1097/00006123-199606000-00008>
19. Lawton MT, Spetzler RF. Internal carotid artery sacrifice for radical resection of skull base tumors. *Skull Base Surg*. 1996; 6(2): 119-123. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1058903>
20. Wessels L, Hecht N, Vajkoczy P. Bypass in neurosurgery-indications and techniques. *Neurosurg Rev*. 2019; 42(2): 389-393. <https://doi.org/10.1007/s10143-018-0966-9>
21. Miyazaki S, Fukushima T, Fujimaki T. Resection of high-cervical paraganglioma with cervical-to-petrous internal carotid artery saphenous vein bypass. Report of two cases. *J Neurosurg*. 1990; 73(1): 141-146. <https://doi.org/10.3171/jns.1990.73.1.0141>
22. Conley JJ. Free autogenous vein graft to the internal and common carotid arteries in the treatment of tumors of the neck. *Ann Surg*. 1953; 137(2): 205-214. <https://doi.org/10.1097/00000658-195302000-00009>
23. Fisch UP, Oldring DJ, Senning A. Surgical therapy of internal carotid artery lesions of the skull base and temporal bone. *Otolaryngol Head Neck Surg* (1979). 1980; 88(5): 548-554. <https://doi.org/10.1177/019459988008800507>
24. Sakaki T, Kikuchi H, Furuse S, Karasawa J, Yoshida T. [The usefulness of STA-MCA anastomosis in trapping vascular disorder (author's transl.)]. *No Shinkei Geka*. 1977; 5(3): 253-259. (In Japanese).
25. Lawner PM, Simeone FA. Treatment of intraoperative middle cerebral artery occlusion with pentobarbital and extracranial-intracranial bypass. Case report. *J Neurosurg*. 1979; 51(5): 710-712. <https://doi.org/10.3171/jns.1979.51.5.0710>
26. Moritake K, Handa H, Yamashita J, Takeuchi J, Taki W, Takebe Y, et al. STA-MCA anastomosis in patients with skull base tumours involving the internal carotid artery – haemodynamic assessment by ultrasonic Doppler flowmeter. *Acta Neurochir (Wien)*. 1984; 72(1-2): 95-110. <https://doi.org/10.1007/BF01406817>
27. Umansky F, Michowitz SD, Gomori M, Shalit M. [Extracranial-intracranial bypass in a meningioma of the cranial base]. *Harefuah*. 1988; 114(2): 49-51. (In Hebrew).
28. Spetzler RF, Fukushima T, Martin N, Zabramski JM. Petrous carotid-to-intradural carotid saphenous vein graft for intracavernous giant aneurysm, tumor, and occlusive cerebrovascular disease. *J Neurosurg*. 1990; 73(4): 496-501. <https://doi.org/10.3171/jns.1990.73.4.0496>
29. Kalavakonda C, Sekhar LN. Cerebral revascularization in cranial base tumors. *Neurosurg Clin N Am*. 2001; 12(3): 557-574, viii-ix.
30. Sekhar LN, Natarajan SK, Ellenbogen RG, Ghodke B. Cerebral revascularization for ischemia, aneurysms, and cranial base tumors. *Neurosurgery*. 2008; 62(6 Suppl 3): 1373-1408; discussion 1408-1410. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000333803.97703.c6>
31. Taussky P, Couldwell W. Decision-making strategies for EC-IC bypass in the treatment of skull base tumors. *Cerebral Revascularization: Techniques in Extracranial-to-Intracranial Bypass Surgery*. 2010: 349-354.
32. Krengli M. The management of skull base tumours: A challenge claiming for a multidisciplinary collaboration. *Rep Pract Oncol Radiother*. 2016; 21(4): 285-287. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2016.03.004>
33. Bernier J, Liu JC (eds). Head and neck cancer, multimodality management; 2nd ed. Springer, Switzerland; 2016.
34. Rangel-Castilla L, Russin JJ, Spetzler RF. Surgical management of skull base tumors. *Rep Pract Oncol Radiother*. 2016; 21(4): 325-335. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2014.09.002>
35. Zhao Z, Huang L, Chen J, Huang W, Zhang X, Ma Y, et al. Comprehensive treatment strategy for internal carotid artery blowout syndrome caused by nasopharyngeal carcinoma. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2021; 164(5): 1058-1064. <https://doi.org/10.1177/0194599820963129>
36. DeMonte F, Smith HK, al-Mefty O. Outcome of aggressive removal of cavernous sinus meningiomas. *J Neurosurg*. 1994; 81(2): 245-251. <https://doi.org/10.3171/jns.1994.81.2.0245>
37. Sen C, Sekhar LN. Direct vein graft reconstruction of the cavernous, petrous, and upper cervical internal carotid artery: Lessons learned from 30 cases. *Neurosurgery*. 1992; 30(5): 732-742; discussion 742-743.
38. Launay M, Fredy D, Merland JJ, Bories J. Narrowing and occlusion of arteries by intracranial tumors. Review of the literature and report of 25 cases. *Neuroradiology*. 1977; 14(3): 117-126. <https://doi.org/10.1007/BF00333054>
39. Graffeo CS, Link MJ, Stafford SL, Parney IF, Foote RL, Pollock BE. Risk of internal carotid artery stenosis or occlusion after single-fraction radiosurgery for benign parasellar tumors. *J Neurosurg*. 2019; 133(5): 1388-1395. <https://doi.org/10.3171/2019.8.JNS191285>
40. Muhm M, Grasl MCh, Burian M, Exadaktylos A, Staudacher M, Polterauer P. Carotid resection and reconstruction for locally advanced head and neck tumors. *Acta Otolaryngol*. 2002; 122(5): 561-564. <https://doi.org/10.1080/00016480260092417>
41. Brisman MH, Sen C, Catalano P. Results of surgery for head and neck tumors that involve the carotid artery at the skull base. *J Neurosurg*. 1997; 86(5): 787-792. <https://doi.org/10.3171/jns.1997.86.5.0787>

42. Zoarski GH, Seth R. Safety of unilateral endovascular occlusion of the cervical segment of the vertebral artery without antecedent balloon test occlusion. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014; 35(5): 856-861. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3885>
43. Kalani MY, Rangel-Castilla L, Ramey W, Nakaji P, Albuquerque FC, McDougall CG, et al. Indications and results of direct cerebral revascularization in the modern era. *World Neurosurg*. 2015; 83(3): 345-350. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2014.10.013>
44. Origiano TC, al-Mefty O, Leonetti JP, DeMonte F, Reichman OH. Vascular considerations and complications in cranial base surgery. *Neurosurgery*. 1994; 35(3): 351-362; discussion 362-363. <https://doi.org/10.1227/00006123-199409000-00001>
45. Tarr RW, Jungreis CA, Horton JA, Pentheny S, Sekhar LN, Sen C, et al. Complications of preoperative balloon test occlusion of the internal carotid arteries: Experience in 300 cases. *Skull Base Surg*. 1991; 1(4): 240-244. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1057104>
46. Wu PA, Yuan GY, Zhou RM, Ho WW, Lu ZQ, Cai JF, et al. Extracranial/intracranial vascular bypass in the treatment of head and neck cancer – Related carotid blowout syndrome. *Laryngoscope*. 2021; 131(7): 1548-1556. <https://doi.org/10.1002/lary.29427>
47. Kamiyama H. [Bypass with radial artery graft]. *No Shinkei Geka*. 1994; 22(10): 911-924. (In Japanese).
48. Порханов ВА, Барышев АГ, Ткачев ВВ, Забунян ГА. *Способ лечения опухолей основания черепа с вовлечением в новообразование магистральных артерий головного мозга: Патент № 2779729 Рос. Федерация; МПК А61В17/00, А61В17/11. 2021; № 2021118563. [Porkhanov VA, Baryshev AG, Tkachev VV, Zabunyan GA. Method for treating tumors of the skull base with involvement of the main arteries of the brain in the neoplasm: Patent No. 2779729 of the Russian Federation. 2021. (In Russ.)].*

Сведения об авторах / Information about the authors

Федоренко Аркадий Дмитриевич – клинический ординатор по профилю нейрохирургия кафедры неврологии и нейрохирургии, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, 350063, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1461-553X>; e-mail: arkadiy2000a1@gmail.com

Забунян Грант Андроникович – врач-онколог, пластический хирург, челюстно-лицевой хирург, заведующий хирургическим отделением № 3, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8731-3218>; e-mail: grant-z@yandex.ru

Литвиненко Дмитрий Викторович – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург нейрохирургического отделения № 2, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4831-1874>; e-mail: dimalit73@gmail.com

Ткачев Вячеслав Валерьевич – доктор медицинских наук, доцент, врач-нейрохирург, заведующий нейрохирургическим отделением № 2, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 имени профессора С.В. Очаповского» Минздрава Краснодарского края; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5600-329X>; e-mail: tkachovvv@yandex.ru

Arkady D. Fedorenko – Clinical Resident of the Department of Neurology and Neurosurgery, Kuban State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1461-553X>; e-mail: arkadiy2000a1@gmail.com

Grant A. Zabunyan – Oncologist, Plastic Surgeon, Maxillofacial Surgeon, Head of the Surgery Department No. 3, Regional Clinical Hospital No. 1 named after Professor S.V. Ochapovsky; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8731-3218>; e-mail: grant-z@yandex.ru

Dmitry V. Litvinenko – Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon of the Neurosurgery Department No. 2, Regional Clinical Hospital No. 1 named after Professor S.V. Ochapovsky; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4831-1874>; e-mail: dimalit73@gmail.com

Vyacheslav V. Tkachev – Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Neurosurgeon, Head of the Neurosurgery Department No. 2, Regional Clinical Hospital No. 1 named after Professor S.V. Ochapovsky; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5600-329X>; e-mail: tkachovvv@yandex.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Клинические случаи / Clinical cases

Псевдотуморозная реакция на гемостатический материал. Новый подход к лечению на примере клинических случаев

Кушель Ю.В., Коновалова Е.И.✉, Демин М.О.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16, г. Москва, Российская Федерация, 125047

Резюме

Введение. Эффективный гемостаз имеет ключевое значение в нейрохирургии, особенно при операциях на границе опухоль/мозг, где классические методы остановки кровотечения могут быть недостаточно эффективны. Оксицеллюлозный материал, широко применяемый в таких операциях (в наших операционных – Surgicel®, один из самых популярных материалов), в редких случаях вызывает гранулематозные реакции, которые могут имитировать рецидив опухоли или абсцесс.

Цель исследования. Рассмотреть два клинических примера воспалительной реакции на гемостатический материал с успешным консервативным лечением и обсудить существующую литературу по данной проблеме.

Материалы и методы. Приведены клинические случаи двух пациентов (17 и 10 лет), перенесших нейрохирургические операции с использованием оксицеллюлозных гемостатиков, после которых развилась воспалительная реакция на материал. В обоих случаях проведена противовоспалительная терапия с использованием преднизолона, что привело к полной регрессии симптомов.

Результаты. У обоих пациентов отмечалась типичная клиническая картина воспалительной реакции на гемостатический материал, что подтверждалось нейровизуализационными (магнитно-резонансная томография) и лабораторными данными. Противовоспалительное лечение преднизолоном дало быстрый терапевтический эффект, позволив избежать повторной операции. Реакция на гемостатический материал, такая как гранулематозное воспаление, требует тщательной дифференциальной диагностики с рецидивом опухоли и абсцессом. В стабильных случаях возможно успешное консервативное лечение, что позволяет избежать ненужных хирургических вмешательств.

Ключевые слова: глиальные опухоли, хирургическое лечение опухолей ЦНС, гемостатические средства, оксицеллюлоза, гранулема, абсцесс, рецидив глиальной опухоли

Для цитирования: Кушель Ю.В., Коновалова Е.И., Демин М.О. Псевдотуморозная реакция на гемостатический материал. Новый подход к лечению на примере клинических случаев. *Сибнейро*. 2025; 1(1): 68–77. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-68-77>

Вклад авторов

Кушель Ю.В. – концептуализация, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация.

Коновалова Е.И. – проведение исследования, написание рукописи – создание рукописи и ее редактирование, визуализация.

Демин М.О. – проведение исследования, визуализация.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Данные, подтверждающие результаты и выводы, включены в материал статьи. Остальные сведения о пациентах имеются в распоряжении коллектива авторов.

Благодарности. Коллектив авторов выражает благодарность пациентам и их родителям за их доверие и понимание, а также коллективу отделения за неоценимый вклад в лечение пациентов.

Поступила: 08.04.2025

Принята к печати: 15.08.2025

Опубликована: 15.10.2025

Pseudotumorous reaction to hemostatic material. A new treatment approach illustrated by clinical cases

Yuri V. Kushel, Elizaveta I. Konovalova✉, Maksim O. Demin

N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery, 4ya Tverskaya-Yamskaya str., 16, Moscow, Russian Federation, 125047

Abstract

Introduction. Effective hemostasis is crucial in neurosurgical operations at the tumor/brain interface, where classical methods of bleeding control may be insufficient. The widely used oxidized cellulose material (Surgicel®), one of the most popular materials used in our operating rooms) rarely causes granulomatous reactions that can mimic tumor recurrence or an abscess. Objective of the study was to review two clinical cases of an inflammatory reaction to a hemostatic agent with successful conservative treatment and to discuss the existing literature on this issue.

Materials and methods. We present the clinical cases of two patients (17 and 10 years old) who underwent neurosurgical operations using oxidized cellulose hemostatic agents, after which an inflammatory reaction to the material developed. In both cases, anti-inflammatory therapy with prednisolone was administered, leading to the complete regression of symptoms, including radiological findings.

Results. Both patients exhibited a typical clinical picture of an inflammatory reaction to the hemostatic material, confirmed by neuroimaging (MRI) and laboratory data. Anti-inflammatory treatment with prednisolone provided a rapid therapeutic effect, avoiding the need for reoperation.

Conclusions. A reaction to the hemostatic material, such as granulomatous inflammation, requires careful differential diagnosis from tumor recurrence and abscess. In stable cases, successful conservative treatment is possible, avoiding unnecessary surgical interventions.

Keywords: glial tumors, surgical treatment of CNS tumors, hemostatic agents, oxidized cellulose, granuloma, abscess, glial tumor recurrence

For citation: Kushel Yu.V., Konovalova E.I., Demin M.O. Pseudotumorous reaction to hemostatic material. A new treatment approach illustrated by clinical cases. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 68–77. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-68-77>

Authors' contribution

Kushel Yu.V. – conceptualization, investigation, writing – original draft, visualization.

Konovalova E.I. – investigation, writing – review & editing, visualization.

Demin M.O. – investigation, visualization.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. The data supporting the results and conclusions are included in the article. Additional patient information is available from the corresponding author upon reasonable request.

Acknowledgments. The authors would like to thank the patients and their parents for their trust and understanding. The authors also extend their gratitude to the entire department staff for their invaluable contribution to patient care.

Received: 08.04.2025

Accepted: 15.08.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Эффективный гемостаз является важнейшим условием профилактики хирургических осложнений. В нейрохирургии проблема гемостаза наиболее актуальна, так как внутричерепная гематома – это жизнеугрожающее состояние, требующее экстренной хирургической помощи. Часто нейрохирургические операции, особенно в нейроонкологии, заканчиваются не по достижении нормальных анатомических границ тканей, а в так называемой «переходной зоне» между здоровой тканью и опухолью. В такой ситуации эффективность классических методов остановки кровотечения (коагуляция, лигирование) бывает снижена, и нейрохирурги ши-

роко используют поверхностно активные препараты для повышения надежности гемостаза. В мире широко используются средства на основе регенерированной оксицеллюлозы, хорошо известные под торговой маркой Surgicel®. Этот препарат укладывается в конце операции после коагуляции основных источников кровотечения на поверхность зоны слабоинтенсивного паренхиматозного кровотечения. Имея pH < 3,5, оксицеллюлоза действует как слабая кислота: коагулирует белки на поверхности, окисляет гемоглобин и запускает процессы формирования фибринового сгустка [1–3]. В отличие от производных коллагена (коллагеновая и желатиновая губки), гемостатик из оксицеллюлозы не об-

ладает яркими антигенными свойствами и не должен запускать иммунный ответ в тканях [4]. По рекомендации производителей его можно оставлять *in situ* по достижении гемостатического эффекта. Тем не менее, в литературе описаны случаи гранулематозной реакции на оксигеллозу. В большинстве случаев рентгенологическая картина трактовалась как рецидив опухоли или абсцесс, и пациенты были оперированы [5–9]. В нашей клинической практике оказалось два схожих по клиническому течению и магнитно-резонансной томографической (МРТ) семиотике наблюдения, которые исходно были расценены как возможная реакция на гемостатический материал, хотя и были во многом похожи на объемный процесс с характеристиками абсцесса либо рецидива новообразования. При этом анамнез пациентов, изначальный диагноз и лабораторные данные позволили достоверно исключить и опухолевую, и инфекционную природу изменений, то есть вся клиническая ситуация позволяла предположить «псевдотуморозное», имитирующее объемный процесс, течение воспалительного ответа в рамках реакции гиперчувствительности замедленного типа. На фоне противовоспалительного лечения все клинические и нейровизуализационные изменения полностью регрессировали, а пациенты таким образом были избавлены от ненужного повторного вмешательства. Мы не нашли в литературе описаний консервативного лечения подобных ситуаций.

Материалы и методы

Исследование основано на ретроспективном анализе двух клинических случаев пациентов, перенесших нейрохирургические опе-

рации с использованием гемостатического материала на основе регенерированной оксигеллозы (в нашем случае – самый популярный материал производителя Surgicel®). Оба пациента в послеоперационном периоде демонстрировали признаки воспалительной реакции с неспецифическими лабораторными проявлениями и картиной именно локального воспалительного процесса, которая была подтверждена при МРТ головного мозга с контрастированием. При выполнении МРТ оценивались изображения, полученные по стандартному протоколу в режиме T1 и T2 изучались анатомические особенности, режим T2 FLAIR позволял оценить степень локального отека тканей, режим DWI – оценить ограничение диффузии. Кроме МРТ, диагностика включала клиническую оценку состояния, лабораторные исследования: общий анализ крови, оценку уровня С-реактивного белка (СРБ) и прокальцитонина в сыворотке крови, клинический и биохимический анализ ликвора, микробиологическое исследование ликвора.

Консервативное лечение включало назначение преднизолона (30 мг дважды в сутки внутримышечно в течение 5 дней с постепенной отменой в течение недели). Эффективность терапии оценивалась на основании мониторинга клинического состояния пациентов, динамики лабораторных показателей и данных нейровизуализации (МРТ).

Клинический случай № 1

Пациент С., 17 лет, кавернома медио-базальных отделов правой височной доли. За несколько месяцев до поступления к нам в стационар испытал приступ выраженной головной боли, ставший поводом к выпол-

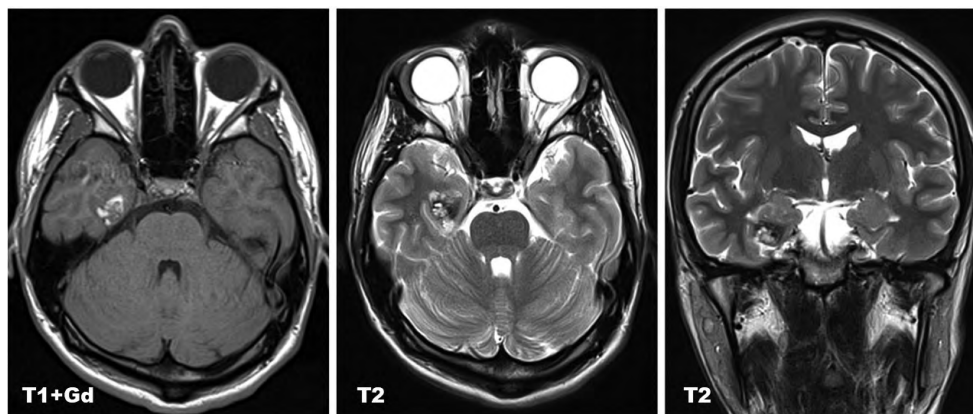


Рисунок 1. Клинический случай № 1, исходные данные МРТ в режимах T1 с применением контраста (T1+Gd) и T2: характерные признаки каверномы медиальных отделов правой височной доли головного мозга. Источник: составлено автором

Figure 1. Clinical Case #1, baseline MRI in T1 with contrast (T1+Gd) and T2 sequences: characteristic features of a cavernoma in the medial portions of the right temporal lobe of the brain. Source: created by the authors

нению МРТ, где была выявлена кавернома с кровоизлиянием (Рисунок 1). Аллергологический анамнез без особенностей. Хронических заболеваний нет. Лабораторные показатели перед операцией в пределах нормы.

Выполнена операция – микрохирургическое удаление каверномы из височного мини-доступа. Пациент пробужден через 2 часа после окончания операции без неврологического дефицита и был переведен в общее отделение из палаты пробуждения операционного блока. Компьютерная томография (КТ) в первые сутки после операции выполнена в рамках стандартного клинического протокола для исключения хирургических осложнений и представлена на рисунке 2.

На 3-и сутки после операции отмечается появление менингизма и лихорадки. В общем анализе крови воспалительный нейтрофильный сдвиг (общее количество лейкоцитов 17×10^9 л, нейтрофилы – 85 %), высокий СРБ (157 мг/л), прокальцитонин 0,08 нг/мл. Выполнена люмбальная пункция, выявившая лейкоцитоз 7000/мл, низкую глюкозу (1,9 ммоль/л) и высокий лактат (10,7 ммоль/л). Микробиологическое исследование ликвора выявило *Klebsiella oxytoca*. Начато лечение ванкомицином и меропенемом внутривенно в течение 10 дней. На этом фоне достигнута нормализация лабораторных показателей, получены стерильные посевы ликвора. За время наблюдения неврологический статус пациента оставался нормальным, а общее состояние изменено лишь астенизацией при отсутствии каких-либо жалоб и симптомов, температура тела также оставалась нормальной.

Пациент выписан домой на 11-е сутки после операции. На момент выписки в анализах крови общее количество лейкоцитов составило 8×10^9 л, нейтрофилы – 59%, СРБ = 10 мг/л, прокальцитонин < 0,05 нг/мл. Через 4 дня после выписки отмечен разовый подъем температуры до 38,5 °C без неврологических симптомов, включая отсутствие общемозговой и менингеальной симптоматики. Принято решение о госпитализации с целью выявления причины лихорадки с учетом перенесенной ранее инфекции, в первую очередь для исключения рецидива. Общий анализ ликвора без особенностей, в последующем посевы стерильные. В общем анализе крови также не выявлено каких-либо признаков реактивации септического воспалительного процесса: общее количество лейкоцитов 7×10^9 л, нейтрофилы – 70 %, СРБ = 11 мг/л. Выполнена МРТ с контрастным усилением (Рисунок 3).

Дифференциальный диагноз проводился между формирующимся абсцессом на месте операции и асептической воспалительной реакцией на гемостатический материал. Учитывая отсутствие данных, свидетельствующих об инфекционном процессе в лабораторных анализах и отсутствие клинической картины формирующегося крупного абсцесса мозга, включая общее хорошее состояние пациента, предположена воспалительная реакция на гемостатический материал. Благодаря верному пониманию наиболее вероятной природы находки хирургическое вмешательство не рассматривалось. Начата противовоспалительная терапия преднизолоном в дозировке 30 мг внутримышечно два раза в сутки в течение 5 дней с последующей постепенной отменой в течение недели. На фоне лечения отмечен регресс лихорадки, общее самочувствие пациента оставалось хорошим. МРТ с контрастным усилением через 7 дней после начала лечения преднизолоном представлена на рисунке 4.

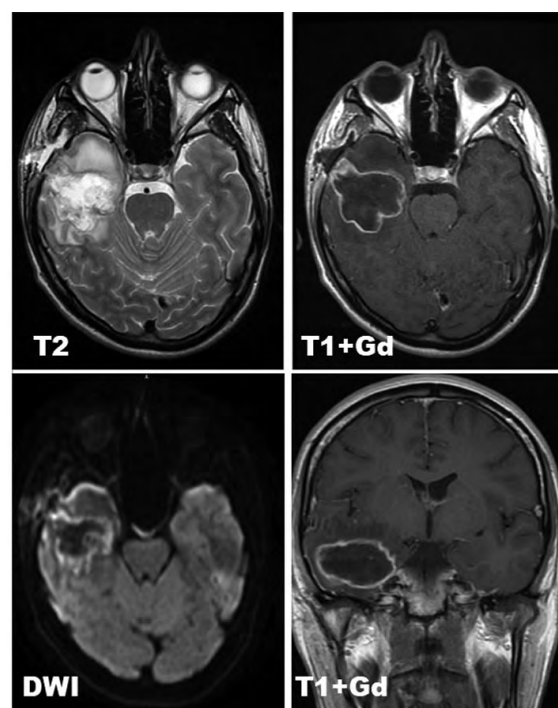


Рисунок 2. Клинический случай № 1, контрольная КТ через 24 часа после микрохирургического удаления каверномы правой височной доли головного мозга в режимах T2, T1 с применением гадолиния (T1+Gd) и DWI: исключены хирургические осложнения, нет признаков перифокального отека в зоне ложа удаленной каверномы. Источник: составлено автором

Figure 2. Clinical Case #1, follow-up CT 24 hours after microsurgical removal of the cavernoma in the right temporal lobe of the brain in T2, T1 with gadolinium (T1+Gd) and DWI sequences: surgical complications are ruled out, there are no signs of perifocal edema in the region of the resected cavernoma bed. Source: created by the authors

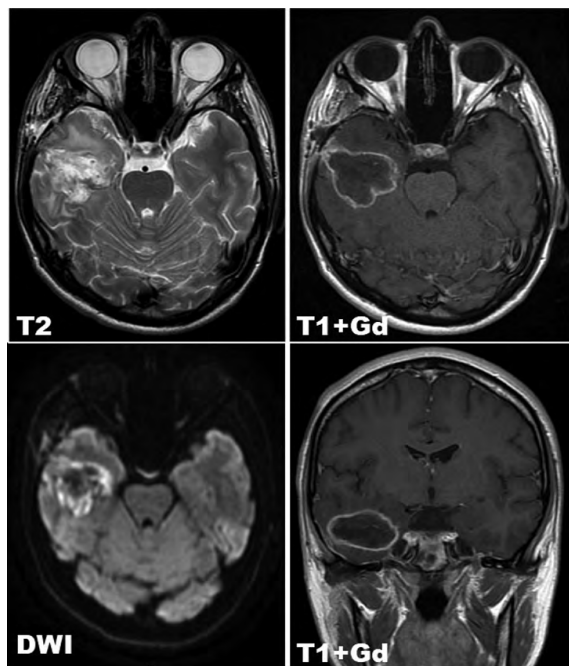


Рисунок 3. Клинический случай № 1, МРТ головного мозга в режимах T2, T1 с применением гадолиния (T1+Gd) и DWI с контрастным усилением через 15 суток после удаления каверномы правой височной доли: выраженный перифокальный отек в режиме T2, накопление контрастного препарата по краю послеоперационной полости, характерное как для слоя гемостатического материала в первые недели после операции, так и для абсцесса, а также нехарактерные для абсцесса параметры диффузии в режиме DWI ($b = 1000$). Источник: составлено автором

Figure 3. Clinical Case #1, brain MRI in T2, T1 with gadolinium (T1+Gd) and DWI with contrast enhancement 15 days after removal of the right temporal lobe cavernoma: pronounced perifocal edema on T2-weighted imaging, accumulation of contrast agent along the edge of the postoperative cavity, which is characteristic both of a layer of hemostatic material in the first weeks after surgery and of an abscess, as well as diffusion parameters on DWI ($b = 1000$) not characteristic of an abscess. Source: created by the authors

На момент выписки, через 18 дней после начала лечения, общее состояние хорошее, соматически и неврологически без отклонений, нормальные лабораторные показатели (общее количество лейкоцитов 5×10^9 л, нейтрофилы – 58 %, СРБ = 2,5 мг/л, прокальцитонин < 0,05 нг/мл). Через 5 месяцев после операции при контрольном осмотре самочувствие пациента хорошее, жалоб нет, неврологической симптоматики нет. Контрольная МРТ представлена на рисунке 5.

Клинический случай № 2

Пациент Г., 10 лет, клинико-рентгенологическая картина глиомы задних отделов правой островковой доли (ганглиоглиома). Около года ребенка беспокоили пароксизмы в виде чувства жжения в левой половине лица продолжительностью около 10 с, повторявшиеся до нескольких раз в неделю. При обследовании выполнена МРТ головного мозга, где выявлена глиальная опухоль задних отделов правой островковой доли (Рисунок 6).

Аллергологический анамнез – кожная реакция по типу крапивницы на амоксицилин. Хронических заболеваний нет. Лабораторные показатели перед операцией в пределах нормы. Выполнена операция – микрохирургическое удаление глиомы задних отделов правой островковой доли из транссильвиевого мини-доступа. Пациент проснулся через 2 часа после окончания операции и был переведен в клиническое отделение из палаты пробуждения операционного бло-

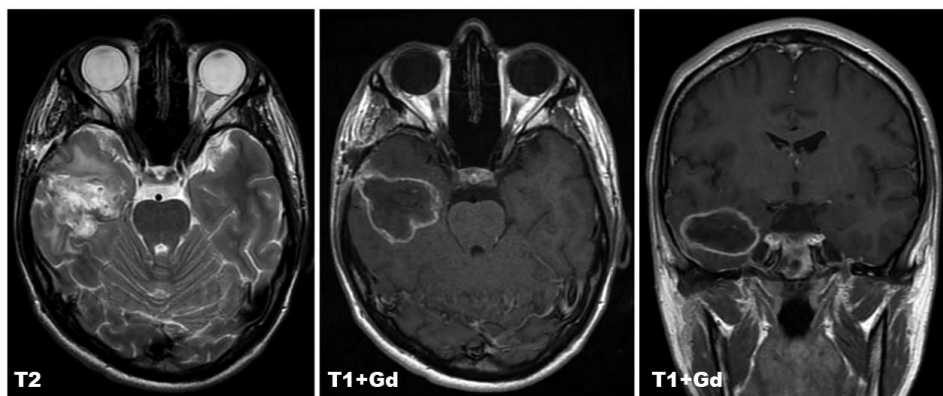


Рисунок 4. Клинический случай № 1, МРТ головного мозга в режимах T2, T1 с применением гадолиния (T1+Gd) с контрастным усилением через 22 дня после операции: регресс воспалительных изменений: уменьшение перифокального отека в зоне операции (режим T2), уменьшение размеров послеоперационной полости. При этом характеристики диффузии и накопления контрастного вещества не изменились, как и должно было быть с остатками гемостатика, еще не деградировавшего в эти сроки. Источник: составлено автором

Figure 4. Clinical Case #1, brain MRI in T2 and T1 with gadolinium (T1+Gd) with contrast enhancement 22 days after surgery: regression of inflammatory changes – reduction of perifocal edema in the surgical area (T2-weighted image), decrease in the size of the postoperative cavity. At the same time, the diffusion characteristics and contrast accumulation have not changed, as should be expected with remnants of the hemostatic agent, which has not yet degraded at this stage. Source: created by the authors

ка. В неврологическом статусе отмечался монопарез в левой руке со снижением мышечной силы до 4 баллов, более выраженный в кисти. КТ в первые сутки после операции выполнена в рамках стандартного протокола для исключения хирургических осложнений (Рисунок 7).

Ранний послеоперационный период протекал без особенностей, монопарез частично регрессировал к моменту выписки. Пациент выписан на 5-е сутки после операции. К этому моменту патоморфологическое исследование уже верифицировало ганглиogliому. В лабораторных анализах отмечается умеренный воспалительный сдвиг на фоне нормального ($< 0,05$ нг/мл) прокальцитонина, повышенного до 35 мг/л уровня СРБ, при этом гипертермии и симптомов воспаления нет. На 14-е сутки после операции пациент отметил ухудшение в виде снижения мышечной силы и объема движений в левой руке до раннего послеоперационного уровня, температура тела оставалась нормальной. Выполнена срочная МРТ (Рисунок 8).

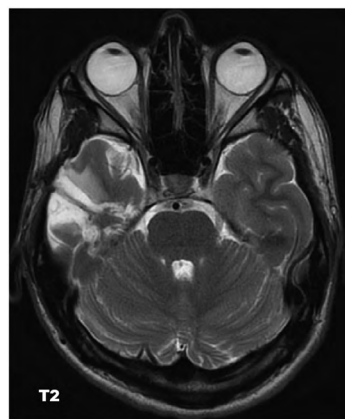


Рисунок 5. Клинический случай № 1, контрольная МРТ головного мозга в режиме Т2 с контрастным усилением через 5 месяцев после операции: отмечается полный регресс перифокального отека и инволюция послеоперационной полости с формированием глиального рубца, обычного для последствий энцефалотомии. Источник: составлено автором

Figure 5. Clinical Case #1, follow-up brain MRI in T2 with contrast enhancement 5 months after surgery. There is a complete regression of perifocal edema and involution of the postoperative cavity with the formation of a gliatal scar, typical of the sequelae of encephalotomy. Source: created by the authors

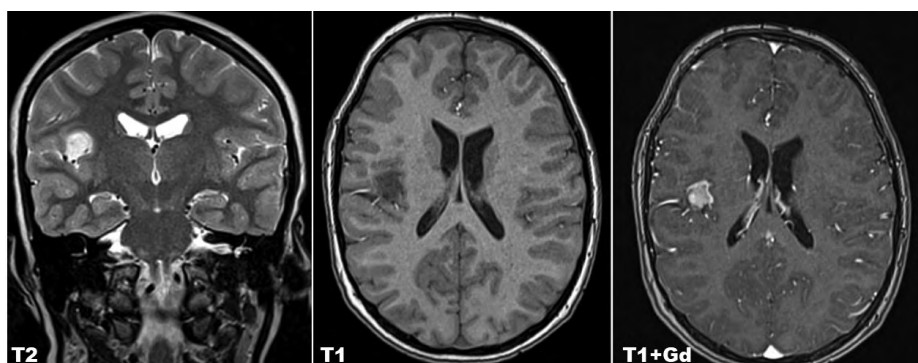


Рисунок 6. Клинический случай № 2, исходные данные МРТ в режимах Т2, Т1 и Т1 с применением гадолиния (Т1+Gd): ганглиogliома задних отделов правой островковой доли, характерные рентгенологические признаки low grade глиомы. Источник: составлено автором

Figure 6. Clinical Case #2, baseline MRI in T2, T1 and T1 with gadolinium (T1+Gd) sequences: ganglioglioma of the posterior portions of the right insular lobe, characteristic radiological signs of a low-grade glioma. Source: created by the authors

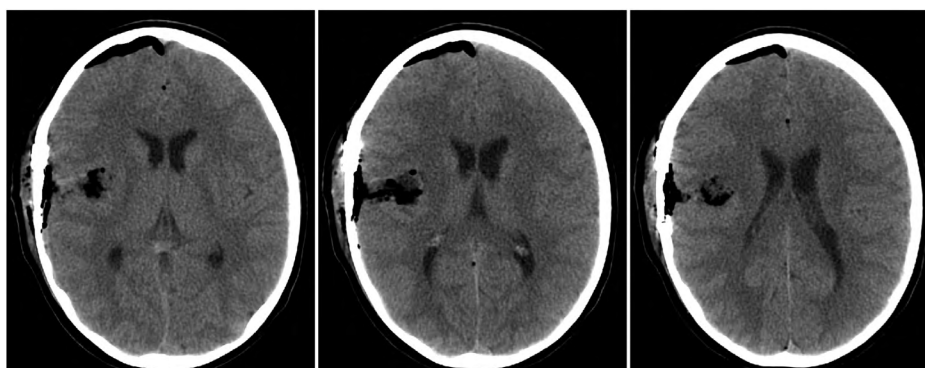


Рисунок 7. Клинический случай № 2, контрольная КТ через 24 часа после микрохирургического удаления новообразования: исключены хирургические осложнения, нет признаков перифокального отека в зоне ложа удаленной глиомы. Источник: составлено автором

Figure 7. Clinical Case #2, follow-up CT 24 hours after microsurgical removal of the neoplasm: surgical complications are ruled out, there are no signs of perifocal edema in the region of the resected glioma bed. Source: created by the authors

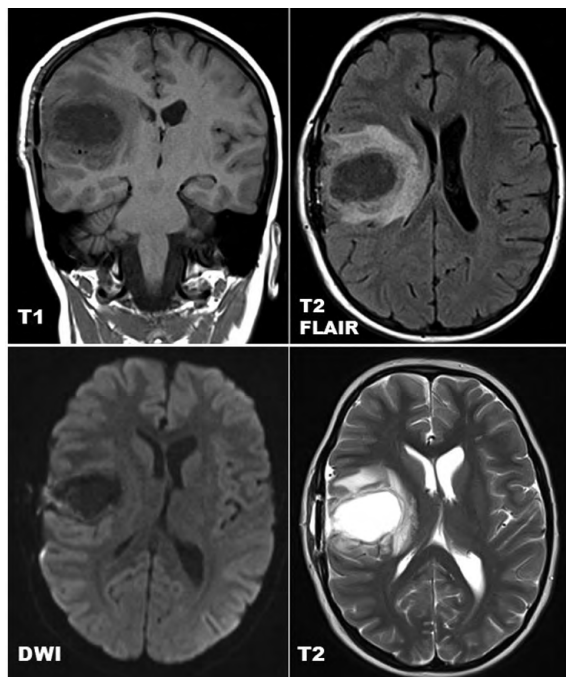


Рисунок 8. Клинический случай № 2, МРТ головного мозга в режимах T1, T2, T2 FLAIR и DWI с контрастным усилением на 13-е сутки после удаления ганглиоглиомы. Выраженный перифокальный отек (в режимах T2 и T2 FLAIR) со значительным масс-эффектом – правый боковой желудочек деформирован, есть латеральная дислокация срединных структур. На этом этапе уже известен морфологический диагноз ганглиоглиомы, что позволяет исключить возможность быстрого рецидива или малигнизации. В режиме DWI ($b = 1000$) характеристики диффузии, не свойственные абсцессу. Источник: составлено автором

Figure 8. Clinical Case #2, brain MRI in T1, T2, T2 FLAIR and DWI with contrast enhancement on day 13 after removal of the ganglioglioma. Pronounced perifocal edema (on T2 and T2 FLAIR sequences) with significant mass effect – the right lateral ventricle is deformed, there is lateral displacement of the midline structures. At this stage, the morphological diagnosis of ganglioglioma is already known, which rules out the possibility of rapid recurrence or malignant transformation. On DWI ($b = 1000$), the diffusion parameters are not characteristic of an abscess. Source: created by the authors

В анализах крови отмечается снижение СРБ до 8 мг/л. Учитывая невозможность рецидива ганглиоглиомы в такие короткие сроки и с такими характеристиками локального отека, а также опыт, полученный при лечении первого пациента, и данные литературы, ситуация была более уверенно расценена как воспалительно-аллергическая реакция на гемостатический материал. Начата противовоспалительная терапия преднизолоном (30 мг два раза в сутки внутримышечно в течение 5 дней с последующей постепенной отменой за неделю). На фоне лечения отмечен регресс неврологической симптоматики, общее самочувствие пациента оставалось стабильно хорошим. МРТ с контрастным усилением через 12 дней после начала лечения преднизолоном представлена на рисунке 9.

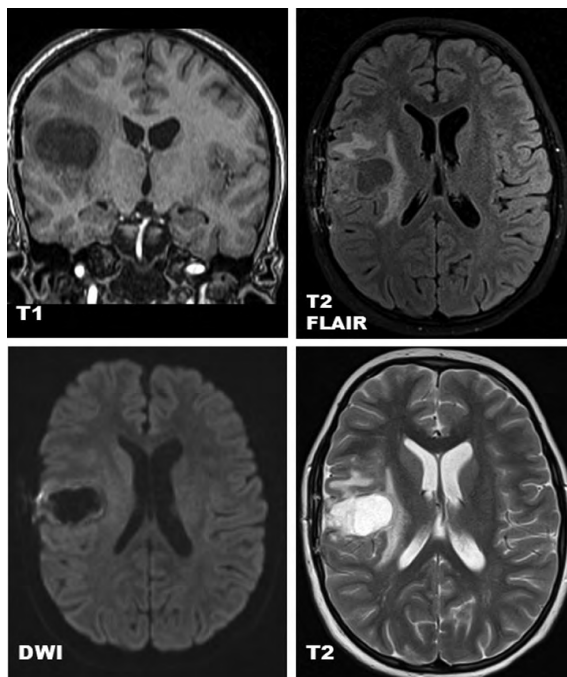


Рисунок 9. Клинический случай № 2, МРТ головного мозга в режимах T1, T2, T2 FLAIR и DWI с контрастным усилением на 25-е сутки после операции: регресс воспалительных изменений – уменьшение перифокального отека в зоне операции, уменьшение масс-эффекта. Источник: составлено автором

Figure 9. Clinical Case #2, brain MRI in T1, T2, T2 FLAIR and DWI with contrast enhancement on day 25 after surgery: regression of inflammatory changes – reduction of perifocal edema in the surgical area, decrease in mass effect. Source: created by the authors

Через месяц после окончания терапии МРТ демонстрирует дальнейший регресс воспалительных изменений в зоне операции (Рисунок 10). Об этом же свидетельствуют нормализация лабораторных показателей (общее количество лейкоцитов $5,7 \times 10^9$ л, нейтрофилы – 55 %, СРБ = 1,8 мг/л).

Обсуждение

Восстановленная (регенерированная) оксигеллюлоза (Surgicel®) используется для улучшения гемостаза при нейрохирургических операциях с 1949 г. [3]. За это время препарат получил признание и широкое распространение в клинической практике. Важнейшими качествами, обеспечившими Surgicel повсеместное применение, явля-

ются: эффективный гемостаз, антимикробная активность за счет низкого pH, удобные формы выпуска для самых разнообразных клинических ситуаций, быстрая резорбируемость, отсутствие белковых производных в составе – низкая антигенность, относительно невысокая стоимость, длительный срок хранения, отсутствие специальных условий для хранения [1–4]. Нас в данной работе, безусловно, интересует теоретически низкая антигенность оксицеллюлозы. В идеальных условиях Surgicel не должен вызывать никакой избыточной воспалительной реакции со стороны местного тканевого иммунитета. Действительно, более чем 90-летний опыт применения только в нейрохирургии говорит о единичных случаях чрезмерных реакций организма на данный гемостатик [1, 10, 11]. Важно отметить, что все описанные в литературе ситуации избыточной воспалительной реакции на оксицеллюлозу (и на другие гемостатики) заканчивались повторной операцией и удалением очага измененного сигнала на МРТ. В некоторых случаях эти изменения сигнала и формирование гранулемы происходили в позднем послеоперационном периоде; иногда после операции проходили годы и воспалительные изменения были расценены как вероятный рецидив опухоли. На МРТ у таких пациентов обычно имеется узловое накопление контраста, иногда с признаками незначительной прогрессии в динамике. Безусловно, подобное клиническое течение оправдывает активную хирургическую тактику, особенно в ситуациях со злокачественными новообразованиями, когда нет ресурса ждать регресса воспаления или наличие такого выраженного воспалительного процесса препятствует проведению адъювантной терапии. Гистологическая картина таких хронических гранулем описывается как частично лизированный целлюлозный материал, окруженный плотной коллагеновой капсулой и хроническим воспалительным инфильтратом с реактивной сосудистой пролиферацией, который распространяется на окружающую мозговую ткань [7, 8, 12, 13]. Гигантские макрофаги инородного тела не характерны. Опухолевая ткань внутри такой гранулемы отсутствует. Однако более половины всех опубликованных до настоящего времени статей обсуждают диагностику и тактику лечения пациентов в ранние сроки после операции – 2–3 недели. В эти сроки клиническая картина и МРТ-семиотика наиболее похожи на острое воспаление в зоне операции: появление или нарастание обще-

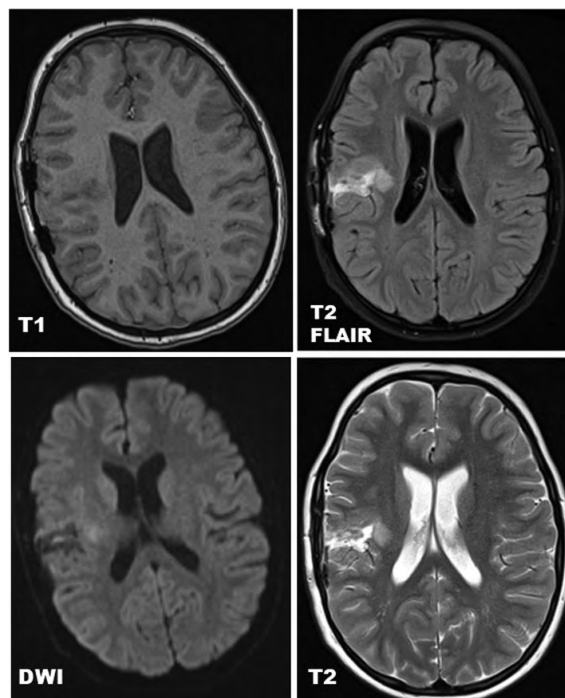


Рисунок 10. Клинический случай № 2, контрольная МРТ головного мозга в режимах T1, T2, T2 FLAIR и DWI с контрастным усилением через 2 месяца после операции (соответственно через 1 месяц после отмены преднизолона): полный регресс воспалительных изменений в режимах T2 и T2 FLAIR, регресс дислокации смежных структур. Источник: составлено автором

Figure 10. Clinical Case #2, follow-up brain MRI in T1, T2, T2 FLAIR and DWI with contrast enhancement 2 months after surgery (corresponding to 1 month after prednisolone discontinuation): complete regression of inflammatory changes on T2 and T2 FLAIR sequences, regression of displacement of adjacent structures. Source: created by the authors

мозговой симптоматики, фокального неврологического дефицита, менингизма. В одном случае, как и у нашего первого пациента, описан бактериальный менингит. В этих статьях преобладали пациенты после удаления конвекситальных менингиом. Чаще всего ситуация трактовалась как «кистозный» рецидив или абсцесс [5, 6, 8, 9]. Все пациенты были оперированы повторно, в центре образования обнаруживались неполностью лизированные остатки гемостатика (описано использование именно Surgicel), а периферическая зона представляла собой сильно отечное и, как отмечено в одной из работ, «разжиженное» мозговое вещество с лейкоцитарной инфильтрацией. Ни в одном из описанных случаев после получения МРТ-картины, подозрительной на реактивное воспаление, не предпринимались попытки активного противовоспалительного лечения. Одному пациенту была начата пробная антибиотикотерапия (без противовоспалительной), не давшая эффекта, и он был оперирован через несколько дней на фоне

отсутствия клинического эффекта [5]. Подавляющее число наблюдений – это взрослые пациенты с менингиомами. Лишь в одной работе описываются три пациента детского возраста [7]. У всех были злокачественные эмбриональные опухоли и все случаи воспалительной инфильтрации в области гемостатического материала были расценены как рецидив, и пациенты были повторно оперированы.

Наши пациенты имели достаточно типичные для реакции на гемостатический материал клиническую картину и данные нейровизуализации. Поэтому основным рабочим диагнозом была локальная воспалительная реакция по типу гиперчувствительности замедленного типа. Учитывая сроки после операции, доброкачественную природу оперированной патологии, вопрос о возможном рецидиве не стоял. Единственной альтернативой в дифференциальной диагностике был абсцесс. Удовлетворительное общее самочувствие пациентов без нарастания признаков внутричерепной гипертензии и/или быстрой прогрессии фокального дефицита, давало нам возможность повременить с хирургией, назначить и оценить эффект противовоспалительного действия преднизолона. Ретроспективно можно констатировать, что при верной оценке ситуации, лечебный эффект появлялся уже через 4–6 часов после первой внутримышечной инъекции, а через сутки самочувствие пациентов соответствовало тому, что было до клинических проявлений осложнения. Кроме клинической картины, эффективность лечения позволяла оценить МРТ в динамике. Уже через неделю можно было увидеть уменьшение выраженности зоны воспалительных изменений и перифокального отека. Через месяц от начала терапии МРТ картина соответствовала обычной послеоперационной.

В литературе обсуждается вопрос влияния количества используемого гемостатического материала на риски развития воспалительной гранулемы. Так, авторы пытаются объяснить преобладание в описанных клинических случаях пациентов с менингиомами: крупная, часто богато кровоснабженная опухоль; большая площадь резекции, требующая большого количества гемостатического материала. Наш опыт не подтверждает такой концепции. Оба описанных в данной работе пациента оперированы по поводу маленьких новообразований из минимально-инвазивных доступов. Во время операции в каждом случае было

использовано несколько фрагментов гемостатика (Surgicel nu-knit™) общей площадью 3–4 см². Мы пользуемся именно этим гемостатиком уже более 15 лет и широко применяем его на гораздо более обширных операциях (гемисферотомия, удаление гигантских полушарных и вентрикулярных опухолей). При этих операциях используется 2–3 упаковки гемостатика площадью по 70 см² каждая. Ни у одного пациента с такой большой площадью гемостаза не отмечено подобных реакций. Учитывая, что речь идет о специфическом (извращенном) иммунном ответе, вероятно, причина кроется не в количестве гемостатика, а в неких особенностях иммунной системы конкретного пациента.

Заключение

Гемостатический материал на основе регенерированной оксигеллозы является важнейшим участником любой нейрохирургической операции уже более 90 лет. Поиски альтернативных препаратов на настоящий момент практического результата не дали. Поэтому Surgicel еще долго останется верным помощником нейрохирурга в деле повышения надежности гемостаза при самых разнообразных операциях. В крайне редких случаях на него могут возникать выраженные воспалительные реакции по типу гиперчувствительности замедленного типа, требующие дифференциального диагноза с рецидивом опухоли, абсцессом, лучевым некрозом. Эти реакции могут наблюдаться как в раннем, так и в отсроченном послеоперационном периоде, иногда даже после проведения адъювантной терапии. В поздние сроки обычно встает вопрос о вероятности рецидива, и в ситуации со злокачественными опухолями активная хирургическая тактика выглядит абсолютно оправданной. Что касается раннего послеоперационного периода, то тщательный и всесторонний клинический анализ ситуации позволят в ряде случаев с высокой долей вероятности предположить именно реактивный процесс. В таком случае при стабильном состоянии пациента, отсутствии быстро нарастающих признаков внутричерепной гипертензии попытка консервативного разрешения проблемы выглядит оправданной и соответствует интересам пациента. Наш опыт говорит о высокой эффективности внутримышечного применения преднизолона как основного противовоспалительного и иммуномодулирующего препарата.

Литература / References

1. Huang L, Liu GL, Kaye AD, Liu H. Advances in topical hemostatic agent therapies: A comprehensive update. *Adv Ther.* 2020; 37(10): 4132-4148. <https://doi.org/10.1007/s12325-020-01467-y>
2. Rho SY, Jin M, Kim HK, Park JI, Park JH, Yun S, et al. The novel use and feasibility of hemostatic oxidized regenerated cellulose agent (SurgiGuard®): Multicenter retrospective study. *Gland Surg.* 2023; 12(7): 905-916. <https://doi.org/10.21037/gs-22-675>
3. Scarff JE, Stookey B, Garcia F. The use of dry oxidized cellulose as a primary hemostatic agent in neurosurgery. *J Neurosurg.* 1949; 6(4): 304-306. <https://doi.org/10.3171/jns.1949.6.4.0304>
4. Ereth MH, Schaff M, Ericson EF, Wetjen NM, Nuttall GA, Oliver WC Jr. Comparative safety and efficacy of topical hemostatic agents in a rat neurosurgical model. *Neurosurgery.* 2008; 63(4 Suppl 2): 369-372; discussion 372. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000327031.98098.DD>
5. Agudelo-Arrieta M, Sierra Peña JA, Suárez MJ, Omaña-Álvarez L, Feo Lee OH. Brain surgiceloma and concomitant brain abscess by cutibacterium acnes: A case report. *Interdiscip Neurosurg Adv Tech Case Manag.* 2023; (31): 101684. <https://doi.org/10.1016/j.inat.2022.101684>
6. Buckley SC, Broome JC. A foreign body reaction to Surgicel(R) mimicking an abscess or tumour recurrence. *Br J Neurosurg.* 1995; 9(4): 561-563. <https://doi.org/10.1080/02688699550041241>
7. Kothbauer KF, Jallo GI, Siffert J, Jimenez E, Allen JC, Epstein FJ. Foreign body reaction to hemostatic materials mimicking recurrent brain tumor. Report of three cases. *J Neurosurg.* 2001; 95(3): 503-506. <https://doi.org/10.3171/jns.2001.95.3.0503>
8. Ribalta T, McCutcheon IE, Neto AG, Gupta D, Kumar AJ, Biddle DA, et al. Textiloma (gossypiboma) mimicking recurrent intracranial tumor. *Arch Pathol Lab Med.* 2004; 128(7): 749-758. <https://doi.org/10.5858/2004-128-749-TGMRIT>
9. Sandhu GS, Elempuru-Camiruaga JA, Buckley S. Oxidized cellulose (Surgicel) granulomata mimicking tumour recurrence. *Br J Neurosurg.* 1996; 10(6): 617-619. <https://doi.org/10.1080/02688699646989>
10. Franceschini G, Visconti G, Di Leone A, Masetti R. "Warning" to postoperative complications when using hemostatic agents! *Acta Neurochir (Wien).* 2019; 161(5): 871-872. <https://doi.org/10.1007/s00701-019-03863-y>
11. Li B, Pan W, Sun X, Qin K, Bai G, Bao H, et al. Hemostatic effect and safety evaluation of oxidized regenerated cellulose in total knee arthroplasty – a randomized controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord.* 2023; 24(1): 797. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06932-7>
12. Capozza M, Pansini G, Buccoliero AЮ, Barbagli G, Ashraf-Noubari B, Mariotti F, et al. Foreign body reaction mimicking intracranial abscess following the use of oxidized regenerated cellulose (SurgicelTM): Case report and literature review. *Iranian J Neurosurg.* 2016; (2): 20-23. <https://doi.org/10.18869/acadpub.irjns.2.2.20>
13. Kleine J, Leisz S, Ghadban C, Hohmann T, Prell J, Scheller C, et al. Variants of oxidized regenerated cellulose and their distinct effects on neuronal tissue. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(21): 11467. <https://doi.org/10.3390/ijms222111467>

Сведения об авторах / Information about the authors

Кушель Юрий Вадимович – доктор медицинских наук, врач-нейрохирург, ведущий научный сотрудник 2-го нейрохирургического отделения (нейрохирургия детского возраста), ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7136-0693>; e-mail: kuszel@nsi.ru

Коновалова Елизавета Игоревна – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург 2-го нейрохирургического отделения (нейрохирургия детского возраста), ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3523-9885>; e-mail: elisabeth-snu@yandex.ru

Демин Максим Олегович – кандидат медицинских наук, врач-нейрохирург 2-го нейрохирургического отделения (нейрохирургия детского возраста), ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8534-5213>; e-mail: mdemin@nsi.ru

Yuri V. Kushel – Dr. Sci. (Med.), Neurosurgeon, Leading Researcher of the 2nd Neurosurgical Department (Pediatric Neurosurgery), N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7136-0693>; e-mail: kuszel@nsi.ru

Elizaveta I. Konovalova – Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon of the 2nd Neurosurgical Department (Pediatric Neurosurgery), N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3523-9885>; e-mail: elisabeth-snu@yandex.ru

Maxim O. Demin – Cand. Sci. (Med.), Neurosurgeon of the 2nd Neurosurgical Department (Pediatric Neurosurgery), N.N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8534-5213>; e-mail: mdemin@nsi.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Клинические случаи / Clinical cases

Менингиома оболочек добавочного нерва: описание редкого клинического случая

Алексеев И.М.✉, Велентиенко В.С., Плотницкий А.В., Зуев А.А.

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России,
ул. Нижняя Первомайская, д. 70, г. Москва, Российская Федерация, 105203

Резюме

Наиболее частыми опухолями черепно-мозговых нервов (ЧМН) являются шванномы. Однако в редких случаях могут встречаться менингиомы, которые растут из арахноидальной оболочки, покрывающей ЧМН. Менингиома добавочного нерва – это крайне редкая патология. Всего на сегодняшний день в литературе описано 6 случаев удаления таких опухолей.

Женщина, 41 год, обратилась к нейрохирургу в связи с наличием новообразования на уровне краниовертебрального перехода, а также его увеличением в размерах в динамике. По данным магнитно-резонансной томографии было выявлено интрадуральное экстремедуллярное образование на уровне позвонка С1 справа, активно накапливающее контрастный препарат. Пациентке проведена операция, во время которой были визуализированы два объемных образования, растущих из оболочек корешка правого добавочного нерва. Обе опухоли удалены тотально, гистологическая и иммуногистохимическая картина соответствовали ангиоматозным менингиомам (WHO Grade I). Послеоперационный период протекал без особенностей, пациентка выписана на 4-е сутки в удовлетворительном состоянии.

Заключение. Менингиома оболочек добавочного нерва – это редко встречающаяся патология, в литературе отмечаются единичные описания удаления данной опухоли. Настоящий клинический случай уникален тем, что на корешке добавочного нерва были расположены сразу две менингиомы.

Ключевые слова: добавочный нерв, менингиома, опухоль, новообразование, черепно-мозговой нерв

Для цитирования: Алексеев И.М., Велентиенко В.С., Плотницкий А.В., Зуев А.А. Менингиома оболочек добавочного нерва: описание редкого клинического случая. *Сибнейро*. 2025; 1(1): 78–85. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-78-85>

Вклад авторов

Алексеев И.М. – концептуализация, администрирование данных, формальный анализ, визуализация, создание черновика рукописи.

Велентиенко В.С. – визуализация, создание рукописи и её редактирование.

Плотницкий А.В. – визуализация, создание рукописи и её редактирование.

Зуев А.А. – администрирование проекта, руководство исследованием, создание рукописи и её редактирование.

Конфликт интересов. Зуев А.А. является членом редакционного совета журнала «Сибнейро» с 2025 г., но не имеет отношения к решению о публикации статьи. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. О иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Первичные данные пациента (история болезни и т.д.) не могут быть общедоступными и не будут обнародованы.

Поступила: 05.05.2025

Принята к печати: 10.06.2025

Опубликована: 15.10.2025

Meningioma of the accessory nerve sheaths: description of a rare clinical case

Ivan M. Alekseev✉, Vladimir S. Velentienko, Aleksey V. Plotnitsky, Andrey A. Zuev

Pirogov National Medical and Surgical Center, Nizhnaya Pervomaiskaya str., 70, Moscow, Russian Federation, 105203

Abstract

The most common tumors of the cranial nerves are schwannomas. However, in rare cases, meningiomas that grow from arachnoid sheath of cranial nerves may occur. Meningioma of the accessory nerve is an extremely rare pathology. In total, 6 cases of surgical removal of such tumors have been described in the literature to date.

A 41-year-old woman consulted a neurosurgeon due to the presence of a tumor at the level of the craniovertebral junction, as well as its dynamic increase in size. According to magnetic resonance imag-

ing, an intradural extramedullary lesion was detected at the level of the C1 vertebra on the right side, with intensive contrast enhancement. The patient underwent surgery, during which two tumors growing from the sheaths of the root of the right accessory nerve were visualized. Both tumors were removed totally, the histological and immunohistochemical analysis revealed an angiomatous meningiomas (WHO Grade I). The postoperative period was uneventful and the patient was discharged on the fourth day in a satisfactory condition.

Conclusion. Meningioma of sheaths of accessory nerve is a rare pathology, in the literature there are only isolated descriptions of the removal of this tumor. This clinical case is unique in that two meningiomas were located on the root of the accessory nerve.

Keywords: accessory nerve, meningioma, tumor, cranial nerve

For citation: Alekseev I.M., Velentienko V.S., Plotnitsky A.V., Zuev A.A. Meningioma of the accessory nerve sheaths: description of a rare clinical case. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 78–85. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-78-85>

Authors' contribution

Alekseev I.M. – conceptualization, data curation, formal analysis, investigation visualization, writing – original draft preparation.

Velentienko V.S. – investigation visualization, writing – review & editing.

Plotnitsky A.V. – investigation visualization, writing – review & editing.

Zuev A.A. – project administration, supervision, writing – review & editing.

Conflict of interests. Zuev A.A. has been a member of the Editorial Board of the “Sibneuro” journal since 2025 but was not involved in the decision to publish this article. The article underwent the journal's standard peer-review procedure. No other potential conflicts of interest were reported by the authors.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. Patient primary data (medical history, etc.) cannot be made publicly available and will not be disclosed.

Received: 05.05.2025

Accepted: 10.07.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Наиболее часто встречающимися опухолями, расположенными на уровне краниовертебрального перехода (КВП), являются шванномы и менингиомы [1]. Шванномы растут из оболочек черепно-мозговых (ЧМН) и спинальных нервов, а менингиомы происходят из арахноидэндотелиоцитов и чаще всего связаны с твердой мозговой оболочкой (ТМО) [2]. Вместе с тем менингиомы без признаков связи с ТМО, начиная с уровня КВП и каудальнее, встречаются нечасто. Так, в литературе описаны единичные случаи удаления менингиом оболочек спинальных и некоторых ЧМН [3, 4]. Шванномы же являются одними из наиболее частых опухолей как ЧМН, так и спинальных нервов [5]. Опухоли добавочного нерва – это редкие новообразования, в подавляющем большинстве случаев представленные шванномами [6]. Менингиомы, происходящие из арахноидальной оболочки добавочного нерва, чрезвычайно редки: на сегодняшний день в мировой литературе описано всего 6 случаев удаления таких опухолей [7–12].

В данной статье представлено описание уникального клинического случая микрохирургического удаления двух рядом расположенных менингиом добавочного нерва.

Клинический случай

Пациентка, 41 год, на протяжении 10 лет периодически выполняла магнитно-резонансную томографию (МРТ) шейного отдела позвоночника в связи с наличием случайно выявленной асимптомной синингомиелической кисты на уровне позвонка С7. За несколько лет до обращения к нейрохирургу при проведении очередного МР-исследования были выявлены признаки наличия новообразования небольших размеров на уровне КВП справа. При проведении контрольных МРТ головного мозга и КВП с контрастированием в течение последующих двух лет были выявлены признаки увеличения новообразования в размерах.

Наличие отрицательной динамики в размерах опухоли послужило причиной обращения пациентки на консультацию к нейрохирургу. На момент обращения пациентка активно не предъявляла жалоб, при объективном осмотре очаговой неврологической симптоматики выявлено не было. С пациенткой обсуждены несколько тактик: продолжение динамического наблюдения, а также хирургическое и радиохирургическое лечение. После обсуждения всех вариантов лечения, а также рисков операции с пациенткой было принято решение о проведении микрохирургического удаления опухоли.

На предоперационной МРТ головного мозга и шейного отдела позвоночника выявлено интрадуральное экстрамедуллярное новообразование, расположенное на уровне позвонка С1 справа от спинного мозга (Рисунки 1А–В), а также расширение центрального канала спинного на уровне позвонка С7 с индексом Вакуэро 36,9 % (Рисунок 1Г). По данным нейровизуализационного исследования размеры опухоли составляли $17 \times 8 \times 5$ мм, приблизительный объем – $0,4 \text{ см}^3$. Новообразование было изоинтенсивным в режиме Т1-взвешенного изображения (ВИ), гиперинтенсивным – в режимах Т2-ВИ и Т2-FLAIR, а также интенсивно и гомогенно накапливало контрастный препарат. Признаков связи опухоли с ТМО, а также со спинным мозгом выявлено не было.

На основании данных нейровизуализации был предположен диагноз: невринома правого добавочного нерва. Пациентке запланирована операция на следующий день после проведения МРТ.

Под эндотрахеальным наркозом в положении пациентки лежа на животе с фиксированной в жесткой скобе Мейфилда головой выполнен разрез мягких тканей в шейно-затылочной области по средней линии длиной 4 см. Выполнена ламинэктомия задней дужки позвонка С1, а также резекция затылочной кости в области большого затылочного отверстия размером $2,5 \times 1$ см (Рисунок 2А). Далее выполнена интраоперационная ультрасонография, при которой выявлено гиперэхогенное по сравнению с гипоехогенной тканью спинного мозга интрадуральное

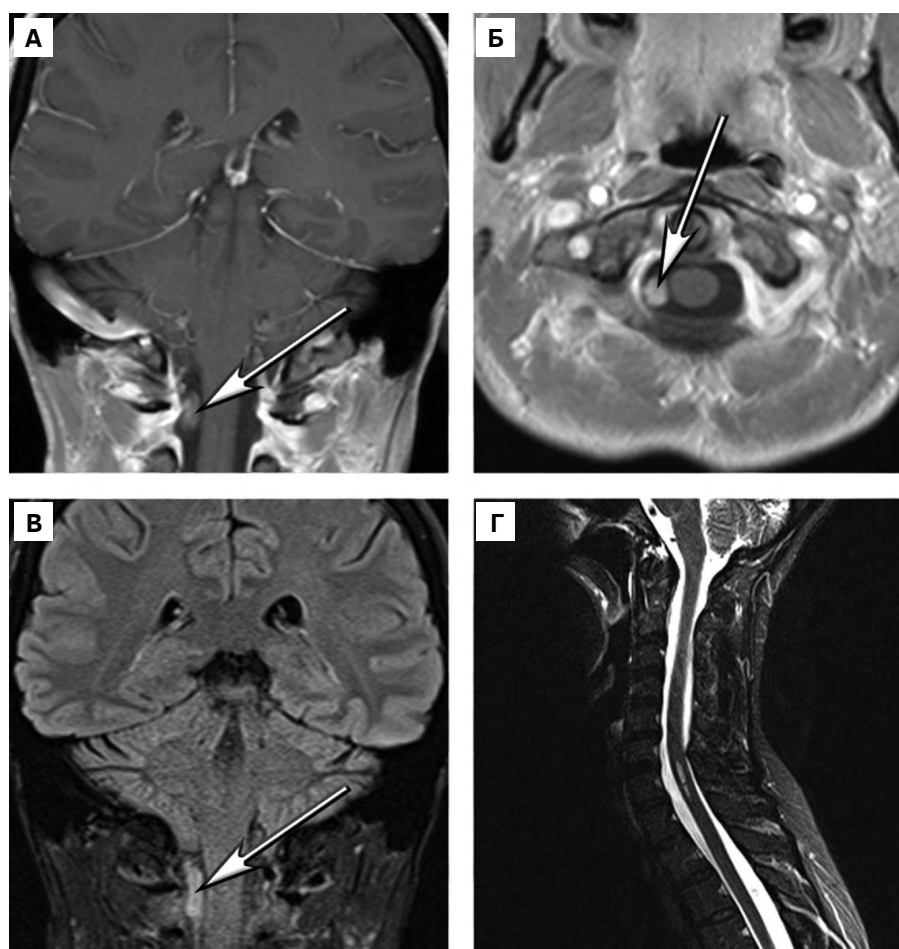


Рисунок 1. МРТ головного мозга и шейного отдела позвоночника пациентки, выполненные до операции (стрелками обозначено интрадуральное экстрамедуллярное новообразование): А – МРТ головного мозга в режиме Т1-взвешенного изображения (ВИ) с контрастированием, коронарная проекция; Б – МРТ головного мозга в режиме Т1-ВИ с контрастированием, аксиальная проекция; В – МРТ головного мозга в режиме Т2-ВИ FLAIR, коронарная проекция; Г – МРТ шейного отдела позвоночника в режиме Т2-ВИ, сагиттальная проекция. На уровне позвонка С7 определяется локальное расширение центрального канала спинного мозга. Источник: составлено авторами

Figure 1. Preoperative MRI of the patient's brain and cervical spine. The arrows indicate an intradural extramedullary mass: А – brain MRI, T1-weighted image (T1-WI) with contrast, coronal view; Б – brain MRI, T1-weighted image (T1-WI) with contrast, axial view; В – brain MRI, T2-weighted FLAIR image, coronal view; Г – cervical spine MRI, T2-weighted image (T2-WI), sagittal view. A focal dilation of the central canal of the spinal cord is seen at the level of the C7 vertebra. Source: created by the authors

экстремедуллярное новообразование. ТМО вскрыта линейным разрезом в проекции опухоли (Рисунок 2Б). Визуализированы спинной мозг, правый добавочный нерв, правый корешок С1, а также зубчатая связка. Далее визуализирована интрадуральная опухоль, расположенная в правых отделах дурального мешка на уровне позвонка С1, желто-серого цвета, плотно-эластичной консистенции, плотно спаянная с корешком правого добавочного нерва (Рисунок 2В). Прямая электро-стимуляция нерва на силе стимула в 0,5 мА не вызвала моторных вызванных потенциалов в правой трапецевидной мышце. С использованием микрохирургической техники начата попытка отделения опухоли от нерва острым путем, однако опухоль

была плотно спаяна с нервом и его оболочками (Рисунок 2Г). В процессе удаления новообразования выявлено, что краниальнее от него на добавочном нерве располагалась еще одна опухоль меньших размеров, которая не была ранее визуализирована на предоперационной МРТ (Рисунок 2Д). В связи с невозможностью безопасного отделения новообразований от нерва, множественным характером опухоли, а также данными нейрофизиологического мониторинга с целью радикального удаления и предотвращения рецидива новообразований, интраоперационно было принято решение пересечь корешок нерва с использованием биполярной коагуляции каудальнее и краниальнее от обеих опухолей. Обе опухоли удалены то-

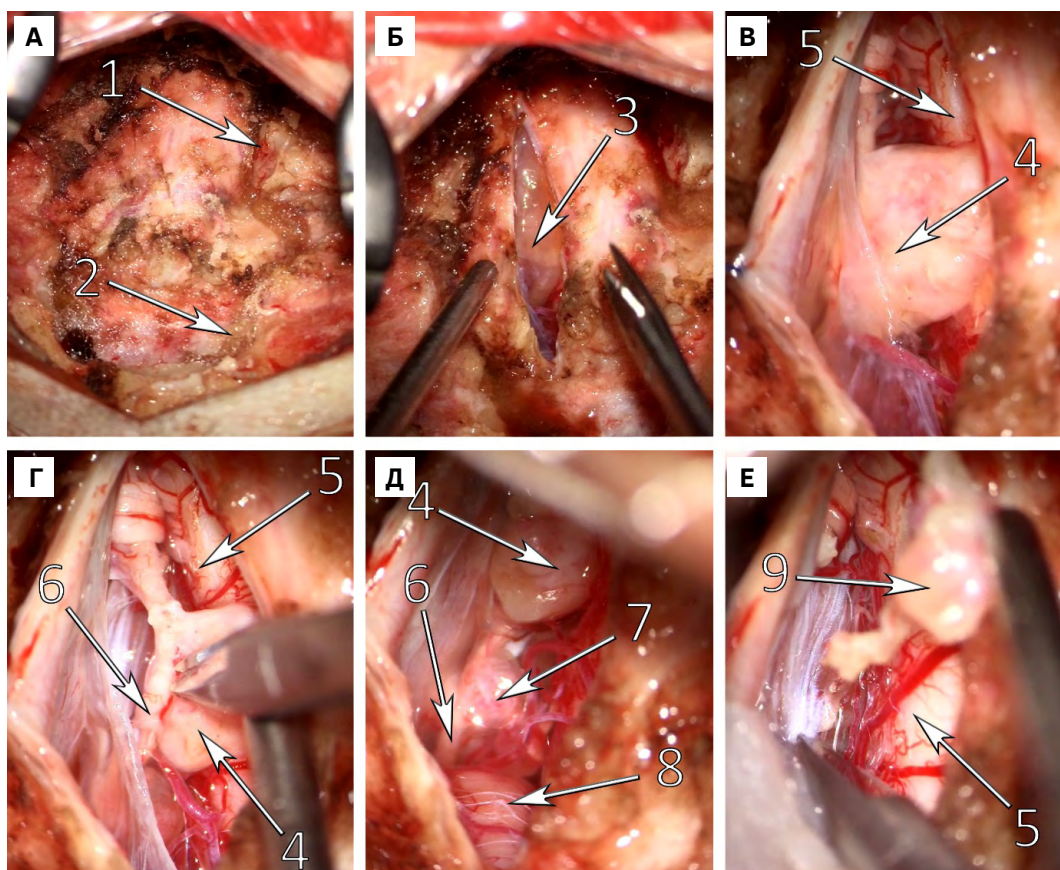


Рисунок 2. Этапы операции по удалению менингиомы правого добавочного нерва: А – операционное поле после проведения ламинэктомии позвонка С1 и парциальной субокципитальной краниоэктомии; Б – вскрытие ТМО; В – вид на опухоль и спинной мозг после вскрытия ТМО; Г – попытка отделения опухоли от добавочного нерва острым путем; Д – Визуализация второй опухоли добавочного нерва, расположенной краниальнее; Е – удаление обеих опухолей единым блоком с корешком нерва. Примечание: 1 – задняя дужка атланта; 2 – затылочная кость; 3 – арахноидальная оболочка на уровне КВП, визуализированная через разрез ТМО; 4 – опухоль; 5 – спинной мозг; 6 – правый добавочный нерв; 7 – вторая опухоль меньших размеров; 8 – мозжечок; 9 – опухоль вместе с частью корешка добавочного нерва, удаленные единым блоком. Источник: составлено авторами

Figure 2. Stages of the surgical removal of the meningioma of the right accessory nerve: А – surgical field after C1 laminectomy and partial suboccipital craniectomy; В – durotomy (incision of the dura mater); В – view of the tumor and the spinal cord after durotomy; Д – attempted sharp dissection of the tumor from the accessory nerve; Е – visualization of a second, more cranial tumor of the accessory nerve; F – en bloc removal of both tumors together with the nerve root. Notes: 1 – posterior arch of the atlas (C1), 2 – occipital bone, 3 – arachnoid membrane at the craniovertebral junction, visualized through the dural opening, 4 – tumor, 5 – spinal cord, 6 – right accessory nerve, 7 – second, smaller tumor, 8 – cerebellum, 9 – tumor along with a portion of the accessory nerve root, removed en bloc. Source: created by the authors

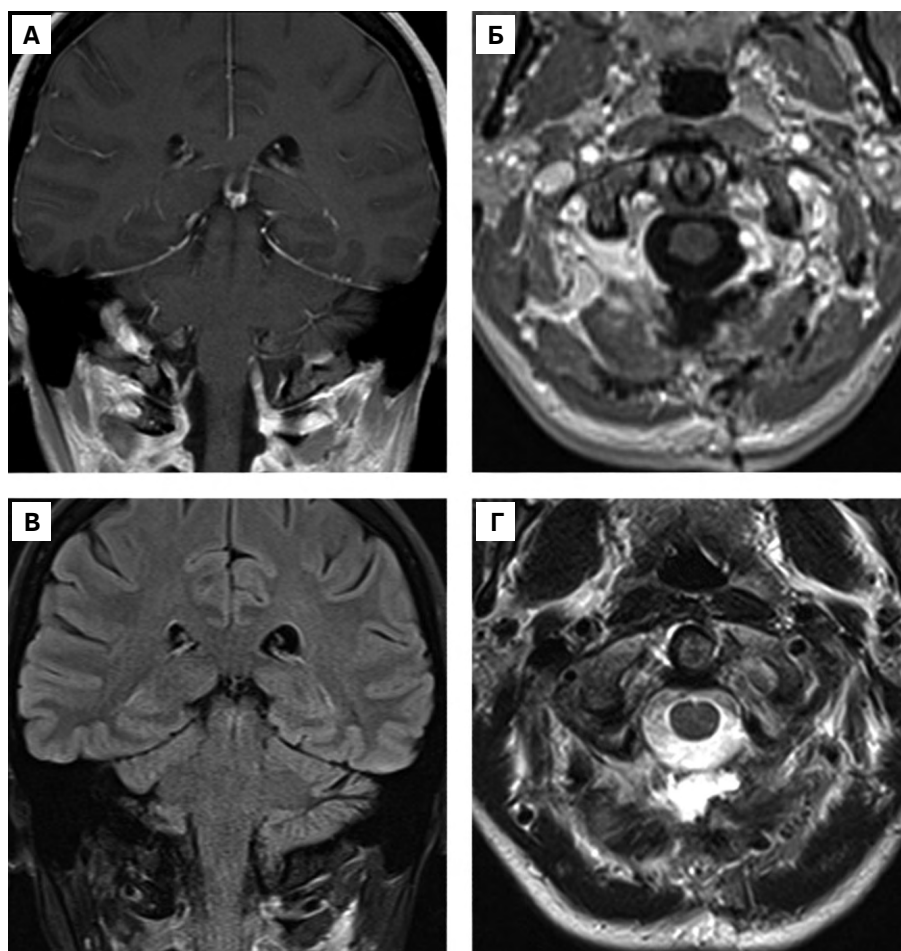


Рисунок 3. Послеоперационный МР-контроль головного мозга (остаточных фрагментов опухоли не выявлено): А – МРТ в режиме T1-ВИ с контрастированием, коронарная проекция; Б – МРТ в режиме T1-ВИ с контрастированием, аксиальная проекция; В – МРТ в режиме T2-ВИ FLAIR, коронарная проекция; Г – МРТ в режиме T2-ВИ, аксиальная проекция. Источник: составлено авторами

Figure 3. Postoperative MRI follow-up of the brain: no residual tumor fragments were detected: А – MRI, T1-weighted image (T1-WI) with contrast, coronal view; Б – MRI, T1-weighted image (T1-WI) with contrast, axial view; В – MRI, T2-weighted FLAIR image, coronal view; Г – MRI, T2-weighted image (T2-WI), axial view. Source: created by the authors

тально единым блоком с корешком правого добавочного нерва и отправлены на гистологическое исследование (Рисунок 2Е). ТМО, а также мягкие ткани герметично ушиты.

В тот же день после операции пациентка активизирована, вертикализирована. При неврологическом осмотре выявлен парез 2–3 балла правой трапецевидной мышцы.

На послеоперационном МР-контроле головного мозга и КВП признаков гематом, очагов ишемии, остаточных фрагментов опухоли выявлено не было (Рисунок 3). На 4-е сутки после операции пациентка выписана из стационара в удовлетворительном состоянии.

Гистологическое исследование выявило доброкачественную опухоль, которая была представлена скоплениями кровеносных сосудов с гиалинизированной стенкой, единичными псаммоными тельцами, а также скоплениями клеток, напоминающими менинготелиоциты, без четких границ,

с мономорфными овоидными ядрами с нормохромией (Рисунок 4А). При пересмотре результатов гистологического исследования в другом лечебном учреждении получено заключение: «морфологическая картина соответствует доброкачественному образованию мезенхимального ряда, основной дифференциальный диагноз стоит проводить между менингиомой и сосудистым образованием».

Проведение иммуногистохимического исследования выявило положительную ядерную экспрессию рецепторов прогестерона (PR) в опухолевых клетках (Рисунок 4Б), очаговую экспрессию эпителиального мембранного антигена (EMA, epithelial membrane antigen) (Рисунок 4В), экспрессию CD34 в эндотелии сосудов (Рисунок 4Г). В совокупности морфологические и иммуногистохимические данные соответствовали ангиоматозной менингиоме (WHO Grade I).

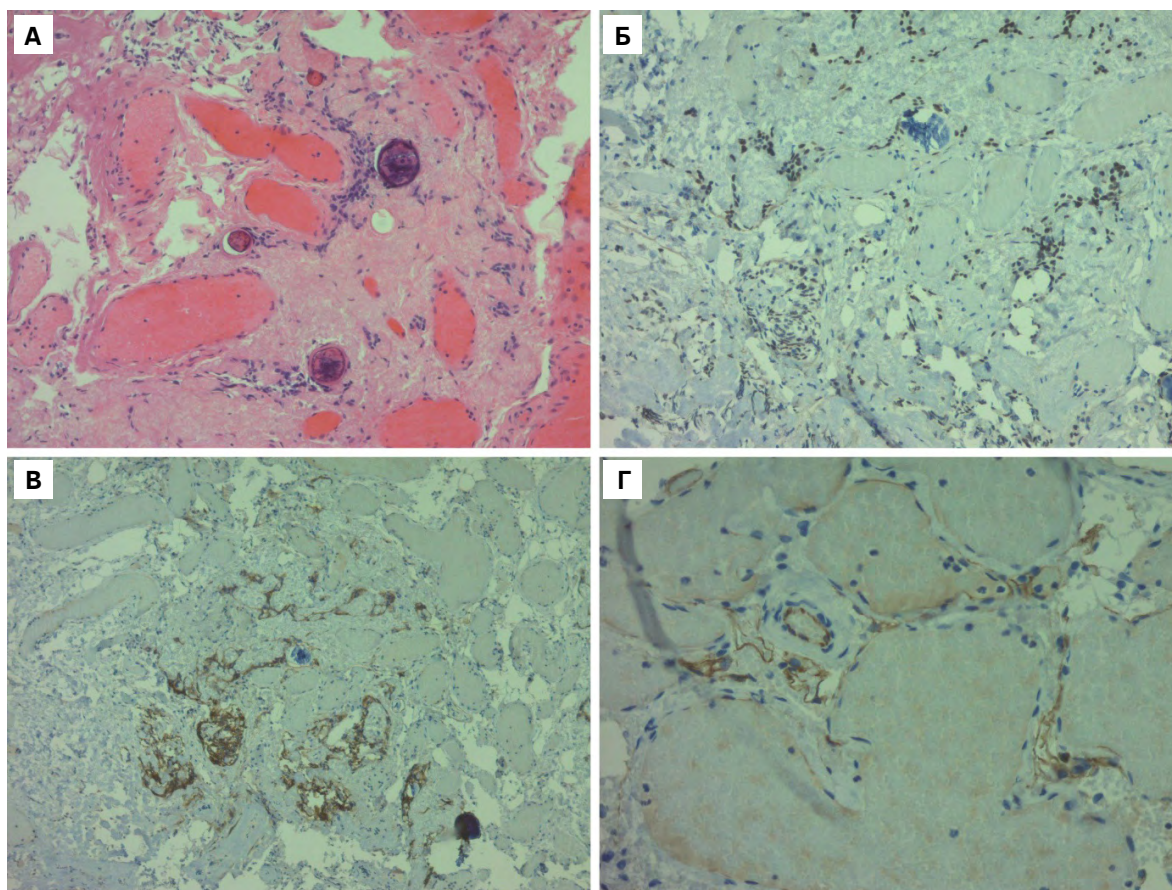


Рисунок 4. Микрофотографии срезов биопсийного препарата при проведении гистологического и иммуногистохимического исследований: А – окрашивание гематоксилином и эозином; Б – иммуногистохимическое окрашивание (положительная ядерная экспрессия рецепторов прогестерона); В – иммуногистохимическое окрашивание (очаговая экспрессия эпителиального мембранного антигена); Г – иммуногистохимическое окрашивание (экспрессия CD34 в эндотелии сосудов). Источник: составлено авторами

Figure 4. Microphotographs of the biopsy specimen sections for histological and immunohistochemical analysis: A – Staining with hematoxylin and eosin (H&E); B – Immunohistochemical staining: positive nuclear expression of progesterone receptors; C – Immunohistochemical staining: focal expression of epithelial membrane antigen (EMA); D – Immunohistochemical staining: expression of CD34 in the vascular endothelium. Source: created by the authors

Обсуждение

Менингиомы – это опухоли, растущие из арахноидэндотелиоцитов паутинной оболочки и чаще всего плотно связанные с ТМО [2]. Менингиомы без признаков связи с ТМО встречаются нечасто; одной из наиболее редких локализаций матрикса данных опухолей является паутинная оболочка ЧМН и спинальных нервов [2]. На сегодняшний день в литературе описаны единичные случаи удаления таких опухолей, растущих из оболочек нервов, не считая случаев хирургии менингиом оболочек зрительного нерва, которые встречаются значительно чаще [3, 4].

Опухоли добавочного нерва – это редкие новообразования, в основном представленные шванномами [6]. Менингиомы оболочек добавочного нерва чрезвычайно редки: по данным мировой литературы, имеется ин-

формация всего о 6 случаях удаления таких опухолей [7–12].

В большинстве вышеуказанных работ отмечено, что опухоль клинически проявлялась головной болью в затылочной области, болью в шее или в плечах (5 (83,3 %) пациентов), а также парезами (2 (33,3 %) пациента). Всего 1 (16,7 %) пациент не предъявлял каких-либо жалоб при наличии данной опухоли, что аналогично нашему клиническому случаю [9].

По данным предоперационной МРТ практически невозможно предположить диагноз менингиомы добавочного нерва в связи с ее неспецифическими нейровизуализационными характеристиками, однако возможно визуализировать связь новообразования с корешком добавочного нерва с использованием режима FIESTA (или с применением аналогичных режимов) [12].

В подавляющем большинстве описанных случаев (5 (83,3 %) из 6) в качестве

хирургического доступа был выбран срединный субокципитальный. Решение о необходимости проведения ламинэктомии позвонка С1 и об объеме резекции затылочной кости принималось в зависимости от конкретной локализации опухоли, а также от опыта и предпочтений хирурга. В одном случае при распространении опухоли в яремное отверстие и парафарингеальную область был выбран заднебоковой (паракондиллярный) доступ [8]. В представленном нами случае была выполнена срединная субокципитальная краниотомия с резекцией небольшой части затылочной кости и ламинэктомией позвонка С1. Адекватность объема костного доступа интраоперационно оценивалась с использованием ультразвукографии. Разрез ТМО проводился не по срединной линии, а в проекции опухоли (справа) для большего удобства и лучшей визуализации.

Во всех описанных случаях авторы заявляют о тотальном удалении опухоли; в 1 (16,7 %) случае в связи с особенностями взаимоотношения менингиомы и корешка добавочного нерва пришлось пересечь [8]. В большинстве статей (5 (83,3 %) из 6) было описано удаление односторонней опухоли, а в 1 (16,7 %) статье – двусторонней опухоли [7]. Нами впервые описан случай удаления сразу двух менингиом, расположенных рядом на одном добавочном нерве. В связи с невозможностью безопасного отделения новообразования от нерва, множественным характером опухоли, а также данными нейрофизиологического мониторинга с целью радикального удаления и предотвращения

рецидива новообразований нами было принято решение воздержаться от сохранения корешка правого добавочного нерва и удалить обе опухоли тотально единым блоком.

По неясным причинам интраоперационных ответов от правой трапецевидной мышцы при стимуляции добавочного нерва нами выявлено не было, однако в послеоперационном периоде у пациентки отмечен парез 2–3 балла в данной мышце.

Наиболее часто в литературе описан менинготелиальный вариант строения (WHO Grade I) менингиомы добавочного нерва – 66,7 %; в 1 (16,7 %) случае описана атипическая менингиома (WHO Grade II), еще в одном (аналогично нашему) – ангиоматозная менингиома (WHO Grade I).

Заключение

Опухоли добавочного нерва – это нечасто встречающиеся новообразования, в основном представленные шванномами. Менингиома оболочек добавочного нерва – это крайне редкая опухоль, всего несколько раз описанная в литературе. Настоящий клинический случай уникален тем, что на корешке добавочного нерва было расположено сразу две менингиомы. Нейрохирургу необходимо знать о существовании менингиом, растущих из арахноидальной оболочки ЧМН, в том числе и из XI пары. По возможности следует стремиться к радикальному удалению такого рода образований с сохранением как анатомической, так и функциональной целостности нервных волокон.

Литература / References

1. Landeiro J, Acioly M, Tatagiba M. Tumors of the craniocervical junction: Overview and update. In: Ramina R, Aguiar P, Tatagiba M (eds). *Samii's essentials in neurosurgery*; 2nd ed. Springer Berlin Heidelberg; 2014: 417–431.
2. Huntoon K, Toland A, Dahiya S. Meningioma: A review of clinicopathological and molecular aspects. *Front Oncol*. 2020; (10): 1–14. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.579599>
3. Maamri K, Taieb M, Trifa A, Elkahla G, Njima M, Darmoul M. Spinal clear cell meningioma without dural attachment: A case report and literature review. *Radiol Case Rep*. 2022; 17: 1760–1764. <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2022.02.052>
4. Zhang X, Zhang P, Wang J, Dong S, Wu Y, Zhang H, et al. Intraspinal clear cell meningioma without dural attachment: A case report and literature review. *Medicine (Baltimore)*. 2021; 100: e25167. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025167>
5. Hilton D, Hanemann C. Schwannomas and their pathogenesis. *Brain Pathol*. 2014; 24: 205–220. <https://doi.org/10.1111/bpa.12125>
6. Yan P, Wang P. Accessory nerve schwannoma: A new case report and systematic review. *Interdiscip Neurosurg Adv Tech Case Manag*. 2020; (19): 100571. <https://doi.org/10.1016/j.inat.2019.100571>
7. Thome C, Grobholz R, Boschert J, Schmiedek P, Vapalahti M. Bilateral meningiomatous lesions of the spinal accessory nerves. *Acta Neurochirurgica*. 2003; 145(4): 309–313. <https://doi.org/10.1007/s00701-002-1059-6>
8. Tatagiba M, Koerbel A, Bornemann A, Freudenstein D. Meningioma of the accessory nerve extending from the jugular foramen into the parapharyngeal space. *Acta Neurochirurgica*. 2005; 147(8): 909–910. <https://doi.org/10.1007/s00701-005-0520-8>
9. Liechty P, Tubbs RS, Loukas M, Blount JP, Wellons JC, Acakpo-Satchivi L, et al. Spinal accessory nerve meningioma in a paediatric patient: Case report. *Folia Neuropathol*. 2007; 45(1): 23–25.

10. Mohri M, Yamano J, Saito K, Nakada M. Spinal accessory nerve meningioma at the foramen magnum with medullar compression: A case report and literature review. *World Neurosurg.* 2019; 128: 158-161. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.05.013>
11. Ueno H, Tsutsumi S, Hashizume A, Sugiyama N, Ishii H. Atypical meningioma originating from the spinal accessory nerve. *Surg Neurol Int.* 2022; 13: 598. https://doi.org/10.25259/SNI_1085_2022
12. Кобяков НГ, Безбабичева ТС, Шишкина ЛВ, Арустамян СР, Пицхелаури ДИ. Менингиома оболочек добавочного нерва. Клинический случай и обзор литературы. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2024; 88(3): 90-95. [Kobyakov NG, Bezbabicheva TS, Shishkina LV, Arustamyan SR, Pitskhelauri DI. Accessory nerve meningioma. A case report and literature review. *Burdenko's Journal of Neurosurgery.* 2024; 88(3): 90-95. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/neiro20248803190>

Сведения об авторах / Information about the authors

Алексеев Иван Максимович✉ – врач-нейрохирург, ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8107-3065>; e-mail: alexeev.im@yandex.ru

Велентиев Владимир Сергеевич – врач-патологоанатом ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; e-mail: velentienko@mail.ru

Плотницкий Алексей Валерьевич – заведующий патологоанатомическим отделением ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; e-mail: doctor_1@inbox.ru

Зуев Андрей Александрович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий Центром нейрохирургии ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-1462>; e-mail: mosbrain@gmail.com

Ivan M. Alekseev✉ – Neurosurgeon, Pirogov National Medical and Surgical Center; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8107-3065>; e-mail: alexeev.im@yandex.ru

Vladimir S. Velentienko – Pathologist, Pirogov National Medical and Surgical Center; e-mail: velentienko@mail.ru

Aleksey V. Plotnitsky – Head of the Pathology Department, Pirogov National Medical and Surgical Center; e-mail: doctor_1@inbox.ru

Andrey A. Zuev – Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Neurosurgery Center, Pirogov National Medical and Surgical Center; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-1462>; e-mail: mosbrain@gmail.com

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



Лучевая диагностика / Radiology

Подходы к нейровизуализации тригеминальной невралгии

Филимонова Е.А.✉

ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России, ул. Немировича-Данченко, д. 132/1, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630087
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Красный просп., д. 52, г. Новосибирск, Российская Федерация, 630091

Резюме

Тригеминальная невралгия (ТН) является тяжелым хроническим заболеванием, существенно влияющим на качество жизни пациентов. В статье рассматриваются современные стандартизированные подходы к нейровизуализации при ТН, направленные на повышение точности диагностики. Предлагается внедрение унифицированного протокола МРТ-исследования, включающего специализированные последовательности для детальной оценки структур тройничного нерва и выявления нейроваскулярного конфликта. Описываются алгоритм анализа изображений, ориентированный на прицельное изучение ключевых анатомических зон, и преимущества использования клинически ориентированных шаблонов описания результатов. Стандартизация методов визуализации позволяет снизить вариабельность интерпретации данных и улучшить качество диагностики и лечения пациентов с ТН.

Ключевые слова: тригеминальная невралгия, МРТ, протокол исследований

Для цитирования: Филимонова Е.А. Подходы к нейровизуализации тригеминальной невралгии. *Сибнейро*. 2025; 1(1): 86–90. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-86-90>

Конфликт интересов. Филимонова Е.А. является членом редакционной коллегии журнала «Сибнейро» с 2025 г., но не участвовала в процессе вынесения решения о принятии статьи к публикации. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов автор не сообщал.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использовались.

Доступность данных. Любые первичные данные, использованные при написании статьи, доступны при запросе у автора, ответственного за переписку.

Поступила: 15.06.2025

Принята к печати: 13.08.2025

Опубликована: 15.10.2025

Neuroimaging approaches to trigeminal neuralgia

Elena A. Filimonova✉

Federal Neurosurgical Center, Nemirovicha-Danchenko str., 132/1, Novosibirsk, Russian Federation, 630087
Novosibirsk State Medical University, Krasny ave., 52, Novosibirsk, Russian Federation, 630091

Abstract

Trigeminal neuralgia (TN) is a severe chronic condition that significantly impacts patients' quality of life. The article reviews modern standardized approaches to neuroimaging in TN aimed at improving diagnostic accuracy. It proposes the implementation of a unified MRI protocol incorporating specialized sequences for detailed assessment of trigeminal nerve structures and detection of neurovascular conflict. The paper describes an image analysis algorithm focused on targeted evaluation of key anatomical areas and highlights the benefits of using clinically oriented structured reporting templates. Standardization of imaging methods helps reduce variability in data interpretation and enhances the quality of diagnosis and treatment for patients with TN.

Keywords: trigeminal neuralgia, MRI, study protocol

For citation: Filimonova E.A. Neuroimaging approaches to trigeminal neuralgia. *Sibneuro*. 2025;1(1): 86–90. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-86-90>

Conflict of interest. Filimonova E.A. has been a member of the editorial board of the *Sibneuro* journal since 2025 but was not involved in the decision-making process regarding the acceptance of this article for publication. The article underwent the journal's standard peer-review procedure. The author reported no other conflicts of interest.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. Any primary data used in the writing of this article is available upon request from the corresponding author.

Received: 15.07.2025

Accepted: 13.08.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Тригеминальная невралгия (ТН) – хроническое заболевание, которое проявляется в виде кратковременных болевых пароксизмов, возникающих по ходу зон иннервации тройничного нерва [1]. Данное состояние является крайне тяжелым и негативно сказывается на основных видах деятельности пациента [1–3]. Развитие методов нейровизуализации в последние десятилетия позволило расширить наше понимание причин ТН за счет детальной

оценки морфологических изменений области мостомозжечкового угла и смежных регионов [4, 5]. Тем не менее, очевидна необходимость стандартизированных подходов к нейровизуализации этой группы пациентов, а именно: 1) внедрение унифицированных протоколов магнитно-резонансной томографии (МРТ); 2) разработка и имплементация алгоритмов интерпретации изображений; 3) создание контекстуализированных шаблонов протоколов описания МР-исследований.

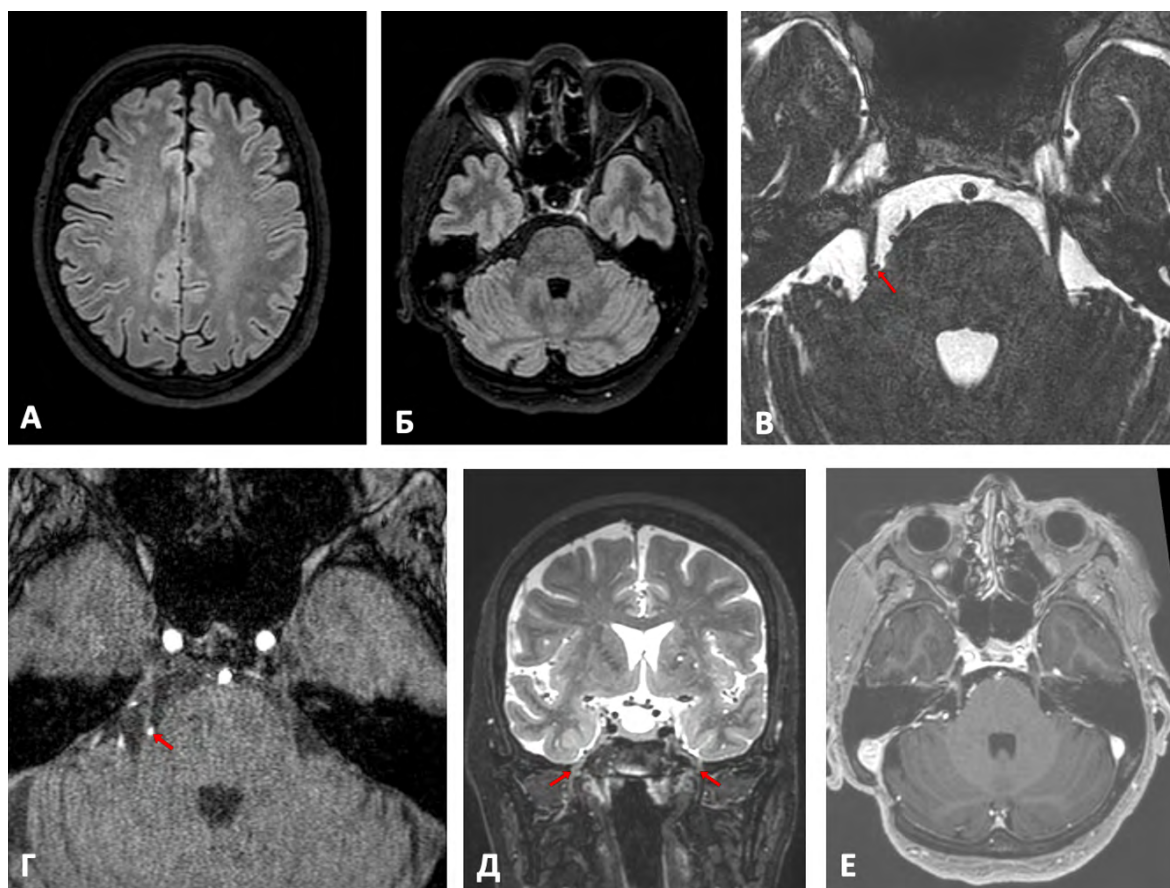


Рисунок 1. Пример МРТ-исследования у пациента с тригеминальной невралгией (МРТ-система Philips Ingenia, 3T): А – 3D FLAIR на уровне больших полушарий головного мозга; Б – 3D FLAIR на уровне ствола головного мозга; В – 3D DRIVE (стрелкой указан нейроваскулярный конфликт справа, Sindou Grade 3); Г – 3D-TOF МР-ангиография (стрелкой указана верхняя мозжечковая артерия); Д – T2-ВИ с жироподавлением на уровне мягких тканей подвисочной области (стрелками указаны мандибулярные нервы); Е – T1-ВИ после внутривенного контрастирования. Источник: составлено авторами

Figure 1. An example of an MRI study in a patient with trigeminal neuralgia (Philips Ingenia MRI system, 3T): A – 3D FLAIR at the level of the cerebral hemispheres; B – 3D FLAIR at the level of the brainstem; C – 3D DRIVE (a neurovascular conflict on the right is indicated by an arrow, Sindou grade 3); D – 3D-TOF MR angiography (the superior cerebellar artery is indicated by an arrow); E – T2-weighted imaging with fat suppression at the level of the infratemporal soft tissues (arrows indicate mandibular nerves); F – T1-weighted imaging after intravenous contrast administration. Source: created by the authors

Таблица 1. Пример алгоритма анализа МР-изображений у пациентов с тригеминальной невралгией. Источник: составлено авторами

Table 1. An example of an algorithm for analyzing MR images in patients with trigeminal neuralgia. Source: created by the authors

Режим	Возможные находки
3D FLAIR	– очаги измененного сигнала на уровне моста по ходу интра-аксиальной части корешка ТН в проекции его ядер; – очаги измененного сигнала в белом веществе (микроангиопатия, демиелинизация)
3D DRIVE/CISS/FIESTA	– анатомия препонтиной цистерны; – патология на уровне кармана Меккеля; – патология кавернозного синуса; – нейроваскулярный конфликт
3D TOF	– сосудистые мальформации/аневризмы; – вариантная анатомия сосудов; – нейроваскулярный конфликт
T2 FatSat	– патология на уровне кармана Меккеля; – патология кавернозного синуса; – область круглого и овального отверстий; – крылонебная ямка; – мягкие ткани подвисочной области
T1-CE	– мелкие объемные образования кармана Меккеля, кавернозного синуса; – лептоменингеальный процесс; – периневральное распространение опухолевого процесса
Оценку корешка тройничного нерва на предмет нейроваскулярного конфликта рекомендуется выполнять в последнюю очередь	

1. Стандартизированный протокол проведения МР-исследования

Применение стандартизированного протокола МРТ-исследования позволяет снизить вариативность интерпретации, а также способствует ретроспективному анализу данных в мультицентровых исследованиях [5–7]. Помимо стандартных последовательностей, для оценки нейроваскулярного конфликта (3D CISS/DRIVE/FIESTA и МР-ангиография) в протокол исследования рекомендовано включать такие модальности, как FLAIR высокого разрешения (для поиска патологических очагов в стволе головного мозга), 3D T2-взвешенное изображение (ВИ) с жироподавлением (для оценки мягких тканей по ходу ветвей тройничного нерва), и T1-ВИ после внутривенного контрастирования (поиск мелких объемных образований, оценка венозной анатомии). Пример МРТ-исследования у пациентов с ТН представлен на рисунке 1.

2. Стандартизированный алгоритм анализа МР-изображений

Алгоритм анализа изображений у пациентов с ТН отличается от такового при стандартном (скрининговом) исследовании головного мозга и должен учитывать необходимость прицельного анализа всех компартментов системы тройничного нерва. Пример алгоритма анализа МР-изображений

у пациентов с тригеминальной невралгией, используемого в нашем центре, представлен в таблице 1.

3. Стандартизированный протокол описания исследования

Для адекватного анализа МР-изображений рядом авторов рекомендуется использование так называемых контекстуализированных протоколов описания исследования с клинически ориентированной расстановкой акцентов в тексте отчета [8]. В частности, у пациентов с ТН необходимо прицельно оценивать такие структуры, как карман Меккеля, кавернозный синус, крылонебная ямка и т. д., а также вариантную анатомию структур мостомозжечковой области. Пример контекстуализированного протокола описания рентгенологического исследования у пациентов с ТН представлен на рисунке 2.

Заключение

Тригеминальная невралгия является комплексной неврологической и нейрохирургической проблемой, тогда как магнитно-резонансная томография – основной инструментальный диагностический метод для данного состояния. Стандартизированные подходы к получению и интерпретации МРТ-снимков у данной группы пациентов позволят улучшить качество оказания медицинской помощи.

На сериях МР-томограмм в аксиальной, сагиттальной и фронтальной плоскостях, с применением T1- и T2-взвешенных методик, FLAIR, DWI визуализированы интракраниальные структуры. <i>Выполнено прицельное исследование мостомозжечковых углов (3D DRIVE).</i> <i>Выполнена бесконтрастная МР-ангиография.</i> Выполнено исследование с применением Gd-содержащего контрастного препарата «Гадобускан» (в/в болюсно, в дозе 0,1 ммоль/кг веса). Клиническая ситуация: тригеминальная невралгия справа / слева. Объемная патология ЗЧЯ: не выявлено. // определяется ... Нейроваскулярный конфликт: не выявлено // <i>справа / слева в REZ-зоне, на 2–3 мм от входа в варолиев мост определяется вазоневральный конфликт между сосудистой петлей (верхняя мозжечковая артерия) и корешком, Sindou grade 1 / 2 / 3; контралатерально без особенностей.</i> // справа / слева на уровне входа в карман Меккеля определяется прилегание венозной структуры к корешку тройничного нерва без его деформации. Препонитинная цистерна: без особенностей // сужена на фоне «тесной ЗЧЯ». Супраеатальный бугорок: не выражен // определяется гипертрофия справа / слева до ... мм размерами с сужением входа в карман Меккеля. Карманы Меккеля: без особенностей. // расширение карманов Меккеля билатерально с формированием мелких менингоэнцефалоцеле справа / слева до ... мм в диаметре. // сужение справа / слева за счет ... Кавернозный синус: без особенностей. // определяется ... Структуры ствола: без признаков объемной и очаговой патологии. // определяются множественные вазогенные очаги на уровне моста (микроангиопатия) // определяются очаги демиелинизации на уровне ... // определяется зона повышения МР-сигнала на FLAIR и T2-ВИ по ходу внутримозгового сегмента корешка левого / правого тройничного нерва – неспецифическая демиелинизация (герпетического генеза?). Область круглого и овального отверстий: без особенностей // определяется расширение и патологическое контрастирование за счет ... Крылонебная ямка: без особенностей. // определяется ... Мягкие ткани и жевательные мышцы: без особенностей. // определяется ... Периневральное контрастирование: не выявлено. // определяется по ходу ... МР-ангиография: данных за наличие артериовенозных мальформаций, аневризматического расширения, патологического стенотического сужения интракраниальных артерий не выявлено. // вариант развития Виллизьева круга – гипоплазия левой и правой ЗСА / P1 сегмента ЗМА / A1 сегмента ПМА. Система ликвороциркуляции: без особенностей. // признаки ВЧГ в виде ... // признаки гидроцефалии за счет ... // заместительное расширение ликворных пространств. Другие находки: не выявлено // в белом веществе лобных и теменных долей, субкортикально, визуализируются единичные / множественные мелкие округлой и овоидной формы очаги гиперинтенсивного на FLAIR МР-сигнала, до ... мм в диаметре / отдельные – с тенденцией к слиянию / местами сливные. В белом веществе лобных и затылочных долей, перивентрикулярно, определяются зоны диффузного повышения интенсивности сигнала на FLAIR. // ... Зон снижения диффузии не выявлено. Миндалины мозжечка выше уровня большого затылочного отверстия. Орбиты без особенностей. Краниовертебральный переход – без особенностей. Околоносовые пазухи пневматизированы, без особенностей. Заключение. МР-признаки нейроваскулярного конфликта между цистернальной частью корешка левого / правого тройничного нерва и петлей верхней мозжечковой артерии, Sindou grade ... // Данных за нейроваскулярный конфликт не выявлено. Объемной патологии не выявлено. // Объемное образование на уровне ... Очаги структурных изменений на уровне варолиева моста / по ходу корешка тройничного нерва слева / справа, семиотика соответствует ... Немногочисленные // Множественные очаговые изменения в белом веществе больших полушарий головного мозга, вазогенного характера (микроангиопатия Fazekas ...). МР-признаки внутричерепной гипертензии // с формированием мелких менингоэнцефалоцеле... Заместительное расширение ликворных пространств на фоне церебральной атрофии. МРА-данных за наличие артериовенозных мальформаций, аневризматического расширения, патологического стенотического сужения интракраниальных артерий не выявлено. МРА-картина варианта развития Виллизьева круга в виде снижения кровотока и сужения просвета по обоим задним соединительным артериям.
--

Рисунок 2. Пример контекстуализированного протокола рентгенологического исследования у пациентов с тригеминальной невралгией. Источник: составлено авторами

Figure 2. An example of a contextualized radiological examination protocol for patients with trigeminal neuralgia. Source: created by the authors

Литература / References

1. Jones MR, Urits I, Ehrhardt KP, Cefalu JN, Kendrick JB, Park DJ, et al. A comprehensive review of trigeminal neuralgia. *Curr Pain Headache Rep.* 2019; 23(10): 74. <https://doi.org/10.1007/s11916-019-0810-0>
2. Chong MS, Bahra A, Zakrzewska JM. Guidelines for the management of trigeminal neuralgia. *Cleve Clin J Med.* 2023; 90(6): 355-362. <https://doi.org/10.3949/ccjm.90a.22052>
3. De Toledo IP, Conti Réus J, Fernandes M, Porporatti AL, Peres MA, Takaschima A, et al. Prevalence of trigeminal neuralgia: A systematic review. *J Am Dent Assoc.* 2016; 147(7): 570-576.e2. <https://doi.org/10.1016/j.adaj.2016.02.014>
4. Hughes MA, Frederickson AM, Branstetter BF, Zhu X, Sekula RF Jr. MRI of the trigeminal nerve in patients with trigeminal neuralgia secondary to vascular compression. *AJR Am J Roentgenol.* 2016; 206(3): 595-600. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.14156>
5. Kontzialis M, Kocak M. Imaging evaluation of trigeminal neuralgia. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017; 51(3 Suppl 1): S62-S68. <https://doi.org/10.17096/jiufd.27242>
6. Mo J, Zhang J, Hu W, Luo F, Zhang K. Whole-brain morphological alterations associated with trigeminal neuralgia. *J Headache Pain.* 2021; 22(1): 95. <https://doi.org/10.1186/s10194-021-01308-5>
7. Li M, Yan J, Wen H, Lin J, Liang L, Li S, et al. Cortical thickness, gyrification and sulcal depth in trigeminal neuralgia. *Sci Rep.* 2021; 11(1): 16322. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95811-z>
8. Mamlouk MD, Chang PC, Saket RR. Contextual radiology reporting: A new approach to neuroradiology structured templates. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2018; 39(8): 1406-1414. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5697>

Сведения об авторе / Information about the author

Филимонова Елена Андреевна – врач-рентгенолог, заведующая отделением лучевой диагностики, ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России; ассистент кафедры нейрохирургии, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6696-9071>; e-mail: e.filimonova@alumni.nsu.ru

ElenaA. Filimonova – Radiologist, Head of the Department of Radiology, Federal Neurosurgical Center; Teaching Assistant of the Department of Neurosurgery, Novosibirsk State Medical University; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6696-9071>; e-mail: e.filimonova@alumni.nsu.ru



Молодой ученый / Young scientist

Клинический пример ошибки в диагностике и лечении синингомиелии

Семенов А.А.✉, Копылов И.Б., Батороев Ю.К.

Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал
ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Минздрава России, м/р Юбилейный, д. 100, г. Иркутск, Российская Федерация, 664049

Резюме

Введение. Синингомиелия – хроническое прогрессирующее заболевание нервной системы, при ко-
тором в спинном мозге образуются полости. Особый интерес представляет идиопатический тип
синингомиелии, который ассоциирован с возникновением полостей в спинном мозге без явной
причины. В данной статье отражено описание клинического случая синингомиелии, верификация
причины которой вызвала значительные сложности и которая, как следствие, могла быть отнесена
к идиопатическому типу.

Цель исследования. Представить на обсуждение сложный с точки зрения диагностики случай
синингомиелии, а также предложить диагностическую тактику при затруднениях в верификации
ее причины.

В работе представлен клинический случай пациента, обратившегося в ОГБУЗ «Иркутская город-
ская клиническая больница № 3» в январе 2023 г. с жалобами на выраженную прогрессирующую
слабость в ногах (больше слева), умеренную слабость в руках, снижение чувствительности в ниж-
ней половине тела (больше справа), нарушение температурной чувствительности на спине, животе,
учащение мочеиспускания, слабость в левой руке с декабря 2022 г. В течение нескольких лет обра-
щений за медицинской помощью, в ходе которых неоднократно проводились магнитно-резонанс-
ная томография (МРТ) и МРТ с внутривенным контрастированием, причину заболевания выявить
не удалось. Было проведено комплексное обследование, включая контрастную мультиспиральную
компьютерную томографию с миелографией, по результатам которой был выявлен блок распро-
странения контрастного вещества в заднем позвоночном субарахноидальном пространстве. Было
проведено хирургическое лечение в объеме выполнения ламинэктомии Th_{III}–Th_{VI} и микрохирурги-
ческого удаления объемного новообразования позвоночного канала на уровне Th_{III}–Th_V с исполь-
зованием интраоперационной ультразвуковой навигации. Послеоперационный период протекал
без осложнений, был отмечен регресс неврологической симптоматики. Период наблюдения соста-
вил более 3 месяцев с благоприятным исходом.

По данным гистологического исследования было установлено, что причиной синингомиелии у па-
циента А. являлась менингиома менинготелиального типа G1, которая не накапливала контрастное
вещество.

Ключевые слова: синингомиелия, миелография, менингиома, контрастные исследования

Для цитирования: Семенов А.А., Копылов И.Б., Батороев Ю.К. Клинический пример ошибки в диа-
гностике и лечении синингомиелии. *Сибневро*. 2025; 1(1): 91–98. <https://doi.org/10.64265/sibneu-ro-2025-1-1-91-98>

Вклад авторов

Семенов А.А. – концептуализация, создание черновика рукописи, создание рукописи и ее редакти-
рование, руководство исследованием

Копылов И.Б. – концептуализация, создание черновика рукописи, создание рукописи и ее редакти-
рование, руководство исследованием

Батороев Ю.К. – концептуализация, администрирование проекта, руководство исследованием

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проведено без привлечения какой-либо финансовой поддержки.

Использование ИИ. При написании статьи технологии искусственного интеллекта не использова-
лись.

Доступность данных. Данные, описываемые в статье доступны на Едином Цифровом Портале
(<https://ecp38.is-mis.ru>).

Этический аспект. Получено добровольное информированное согласие пациента на публикацию
случая его заболевания.

Поступила: 30.06.2025

Принята к печати: 26.08.2025

Опубликована: 15.10.2025

A clinical case of diagnostic and treatment error in syringomyelia

Andrey A. Semenov✉, Ilya B. Kopylov, Yury K. Batoroev

Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Yubileiny, 100, Irkutsk, Russia, 664049

Abstract

Introduction. Syringomyelia is a chronic progressive disease of the nervous system characterized by the formation of cavities within the spinal cord. Idiopathic syringomyelia, which is associated with the development of spinal cord cavities without an apparent cause, is of particular interest. This article describes a clinical case of syringomyelia where determining the etiology proved to be significantly challenging, to the extent that it could have been classified as idiopathic.

Aim of the study. To present a diagnostically complex case of syringomyelia for discussion and to propose a diagnostic approach for situations where verifying the cause is difficult.

Case description. The paper presents a clinical case of a patient who was admitted to the Irkutsk City Clinical Hospital No. 3 in January 2023. The patient's complaints included severe progressive weakness in the legs (more pronounced on the left), moderate weakness in the arms, decreased sensation in the lower half of the body (more pronounced on the right), impaired temperature sensitivity on the back and abdomen, increased urinary frequency, and weakness in the left arm since December 2022. Over several years of seeking medical help, magnetic resonance imaging (MRI) and contrast-enhanced MRI had been performed repeatedly but failed to identify the cause of the disease. A comprehensive examination was conducted, including contrast-enhanced multispiral computed tomography with myelography, which revealed a blockage of contrast agent propagation in the posterior spinal subarachnoid space. Surgical treatment was performed, involving laminectomy of ThIII–ThVI and microsurgical removal of a space-occupying lesion in the spinal canal at the ThIII–ThV level using intraoperative ultrasound navigation. The postoperative course was uneventful, with regression of neurological symptoms noted. The follow-up period was over 3 months with a favorable outcome. Histological examination determined that the cause of syringomyelia in patient A. was a Grade 1 meningothelial meningioma, which did not accumulate contrast agent.

Keywords: syringomyelia, myelography, meningioma, contrast-enhanced imaging studies

For citation: Semenov A.A., Kopylov I.B., Batoroev Yu.K. A clinical case of diagnostic and treatment error in syringomyelia. *Sibneuro*. 2025; 1(1): 91–98. <https://doi.org/10.64265/sibneuro-2025-1-1-91-98>

Authors' contribution

Semenov A.A. – conceptualization, writing – original draft, writing – review & editing, project administration.

Kopylov I.B. – conceptualization, writing – original draft, writing – review & editing, project administration.

Batoroev Yu.K. – conceptualization, project administration, supervision.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure. The study was carried out without any financial support.

Use of AI. No AI technologies were used in the writing of this article.

Data availability. The data described in the article is available on the Unified Digital Portal (<https://ecp38.is-mis.ru>).

Ethics statement. The patient provided written informed consent for the publication of this case report.

Received: 30.06.2025

Accepted: 26.08.2025

Published: 15.10.2025

Введение

Сирингомиелия – хроническое прогрессирующее заболевание нервной системы, при котором в спинном мозге образуются полости. Существует признанная международная классификация сирингомиелии по типам – классификация Н.Д.М. Барнет (1973):

1. Сообщающаяся сирингомиелия – полость в спинном мозге связана через центральный канал с IV желудочком вследствие обструкции отверстий Мажанди и Люшка:
 - аномалия Арнольда – Киари;
 - базиллярная импрессия;

- базальный арахноидит, кисты, опухоли задней черепной ямки.
2. Посттравматическая сирингомиелия.
 3. Сирингомиелия вследствие спинальных арахноидитов.
 4. Сирингомиелия при опухолях спинного мозга.
 5. Сирингомиелия при компрессии спинного мозга неопухолевой природы:
 - грыжи межпозвонковых дисков шейного уровня;
 - рассеянный склероз – крупные очаги демиелинизации в спинном мозге.

6. Идиопатическая сирингомиелия – причины неизвестны.

Использование представленной классификации распространено как среди отечественных врачей и ученых [1, 2], так и за рубежом [3–5]. Особый интерес представляет идиопатический тип сирингомиелии, который ассоциирован с возникновением полостей в спинном мозге без явной причины. Ряд авторов считают, что сирингомиелия является исключительно вторичным патологическим состоянием, а указание на идиопатическое происхождение свидетельствует о наличии недиагностированной причины [6].

В данной статье отражено описание клинического случая сирингомиелии, верификация причины которой вызвала значительные сложности и которая, как следствие, могла быть отнесена к идиопатическому типу.

Описание случая

Пациент А., мужчина 59 лет, обратился в январе 2023 г. в неврологический стационар г. Иркутска с жалобами на выраженную прогрессирующую слабость в ногах (больше слева), умеренную слабость в руках, снижение чувствительности в нижней половине тела (больше справа), нарушение температурной чувствительности на спине, животе, учащение мочеиспускания, слабость в левой руке с декабря 2022 г.

Из анамнеза жизни известно, что в 1984 г. перенес тяжелую черепно-мозговую травму (падение на мотоцикле), страдает варикозной болезнью нижних конечностей, хроническим пиелонефритом, хронической болезнью почек.



Рисунок 1. МРТ грудного (А) и поясничного (Б) отделов позвоночника (январь 2019 г.), сирингомиелия C_{VII}–Th_{VII}. Источник: составлено авторами

Figure 1. MRI of the thoracic (A) and lumbar (B) spine (January 2019); syringomyelia C_{VII}–Th_{VII}. Source: created by the authors

Первые симптомы заболевания появились в 2018 г., когда пациент почувствовал утреннюю скованность, слабость в ногах и неустойчивость при вставании на ноги. Через несколько месяцев появились нарушения чувствительности.

В 2019 г. пациент обратился к неврологу по месту жительства с указанными жалобами, после чего он был направлен на консультацию нейрохирурга в клиническую областную больницу. В региональном нейрохирургическом отделении была выполнена магнитно-резонансная томография (МРТ) шейного (с контрастным усилением), грудного и поясничного отделов позвоночника (Ри-

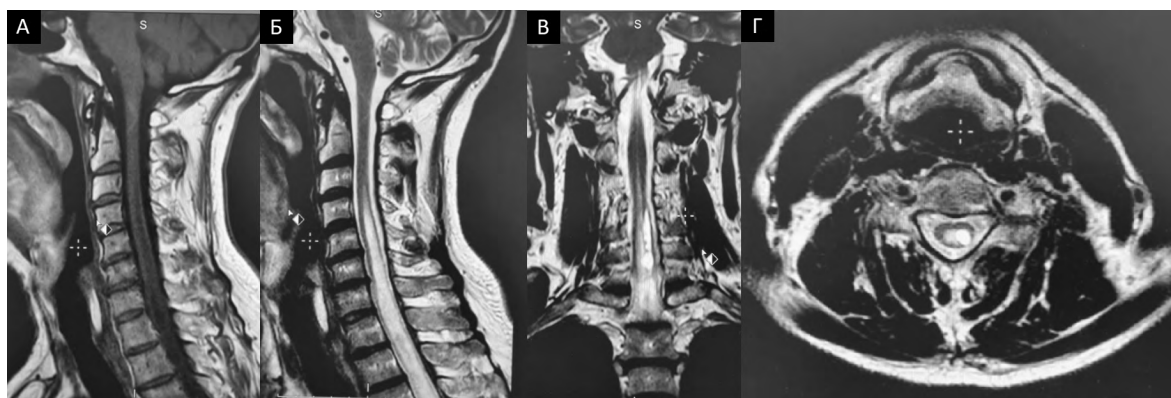


Рисунок 2. МРТ шейного отдела позвоночника: А – сагиттальный срез, T1-взвешенное изображение (ВИ); Б – сагиттальный срез, T2-ВИ; В – фронтальный срез, T2-ВИ; Г – аксиальный срез, T2-ВИ (декабрь 2019 г.) Интрамедуллярное объемное образование на уровне C_{IV}–Th_{III} без признаков гиперваскулярности. Источник: составлено авторами

Figure 2. MRI of the cervical spine: A – sagittal section, T1-weighted image (WI); B – sagittal section, T2-WI; C – frontal section, T2-WI; D – axial section, T2-WI (December 2019). Intramedullary space-occupying lesion at the C_{IV}–Th_{III} level with no signs of hypervascularity. Source: created by the authors

сунки 1, 2), по результатам которых поставлен диагноз: сирингомиелия, шейно-грудная форма на уровне C_{III} – Th_{VIII} , умеренный нижний парапарез, чувствительные нарушения в нижних конечностях. Далее в марте 2020 г. было выполнено цистоцистернальное дренирование, кисто-субарахноидальное шунтирование. Послеоперационный период без осложнений, выписан с частичным регрессом неврологической симптоматики. Была дана рекомендация – проведение контрольной МРТ головного и спинного мозга через 6 месяцев с повторной консультацией нейрохирурга.

Контрольное исследование не было выполнено в рекомендованные сроки по причине ухудшения симптоматики, которое, тем не менее, появилось позднее. На фоне отмечаемого ухудшения в апреле 2021 г. пациенту А. проведена МРТ шейного и грудного отделов позвоночника без контрастного усиления, после чего по направлению в мае 2021 г. пациент был очно проконсультирован нейрохирургами центральных медицинских учреждений г. Москвы. В ходе консультаций не были отмечены нарушения высших корковых функций и менингеальные знаки, но были выявлены нижний спастический парапарез до 2–3 баллов и нарушение функции тазовых органов. Была проведена МРТ всей центральной нервной системы с контрастированием (Рисунок 3), по результатам которой было исключено наличие новообразования в позвоночном канале как возможной причины прогрессирующей сирингомиелии и ухудшения самочувствия.

По итогам консультаций поставлен диагноз: сирингомиелия на уровне шейного

и грудного отделов позвоночника. Состояние после цистоцистернального дренирования и кисто-субарахноидального шунтирования. Спастический нижний парапарез. Пациенту назначена консервативная терапия (Баклофен 10 мг 2 р/день внутрь, Алфузозин 5 мг 1 р/день внутрь утром), и он был отправлен на амбулаторное лечение в г. Иркутск по месту жительства.

В марте 2022 г. было отмечено ухудшение состояния в виде нарастающей одышки, которая, со слов самого пациента, частично купируется приемом Беродуала. Признаки ассоциации дыхательных нарушений со спинальным синдромом на момент неврологического осмотра не выявлены. Невролог провел коррекцию лечения: Баклофен 25 мг 3 р/день, Ипидакрин 20 мг 2 р/день в течение 3 месяцев, Габапентин 300 мг 3 р/день в течение 3 месяцев. Далее в ходе динамического наблюдения у невролога была выявлена явная отрицательная динамика – пациент отмечал увеличение спастичности в нижних конечностях, появилось осложнение тазовых нарушений в виде присоединения мочевого инфекции. Пациент был направлен на госпитализацию в нейрохирургическое отделение ОГБУЗ «Иркутская городская клиническая больница № 3» для уточнения диагноза и получения лечения (январь 2023 г.)

В объективном статусе на момент осмотра был выявлен выраженный спастический нижний парапарез, больше слева. Пациент передвигается при помощи ходунков. Наблюдается умеренно выраженный верхний парапарез с похуданием кистей, больше слева. Выявлено диссоциированное расстройство чувствительности с грудного

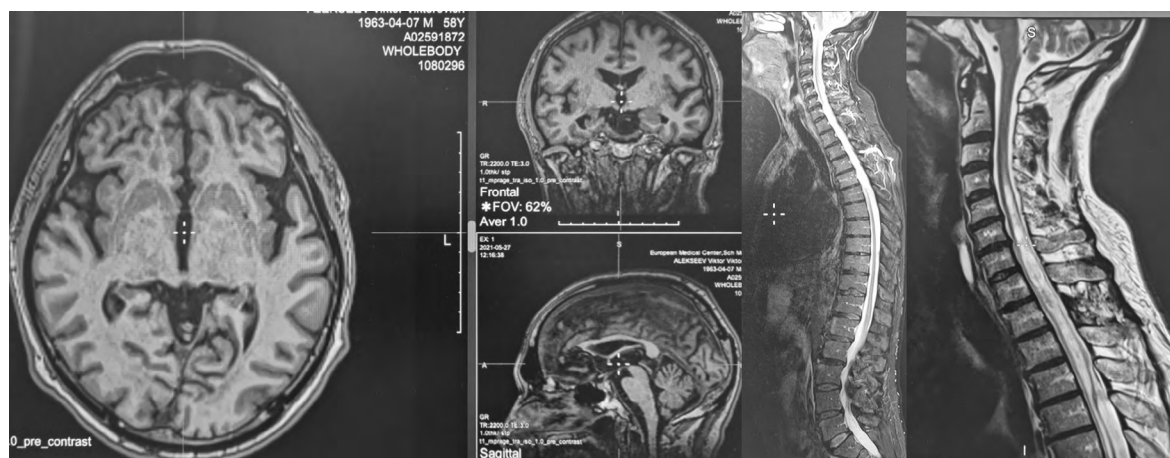


Рисунок 3. МРТ всей центральной нервной системы с контрастированием (май 2021 г.): МР-данных, свидетельствующих о новообразовании, не получено; сохраняется сирингомиелия на уровнях шейного и грудного отделов позвоночника. Источник: составлено авторами

Figure 3. Contrast-enhanced MRI of the entire central nervous system (May 2021): no MR evidence of a neoplasm was obtained; syringomyelia persists at the cervical and thoracic spinal levels. Source: created by the authors

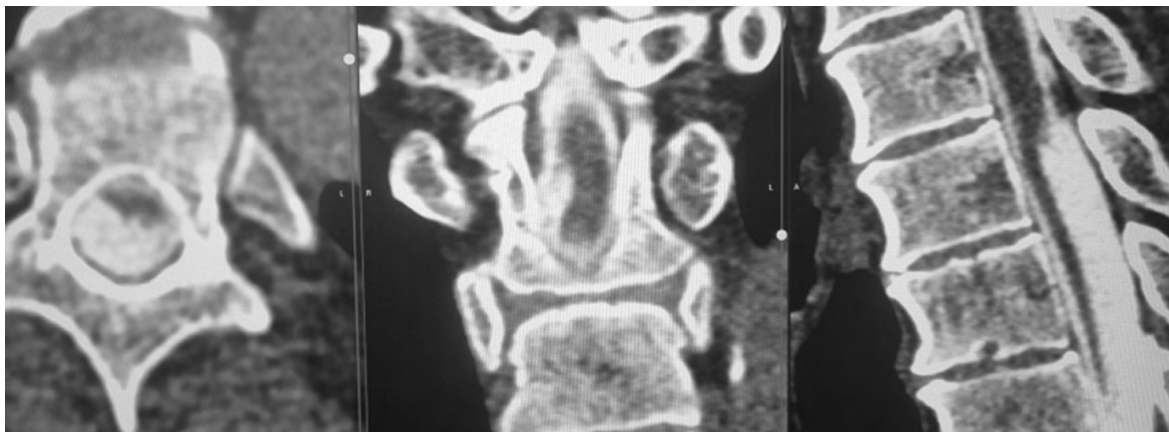


Рисунок 4. МСКТ-миелография с введением контрастного вещества (февраль 2023 г.): четко ограниченный дефект наполнения в заднем позвоночном субарахноидальном пространстве на уровне грудного отдела, «симптом ступеньки». Источник: составлено авторами

Figure 4. MSCT myelography with contrast agent administration (February 2023): a well-defined filling defect in the posterior spinal subarachnoid space at the thoracic level, with a “step-off” sign. Source: created by the authors

уровня со снижением поверхностной чувствительности справа и по типу синдрома Броун – Секара слева. Патологические рефлексы Бабинского, Гордона, Оппенгейма с обеих сторон. Данная клиническая картина полностью соответствует проявлениям сирингомиелии [7, 8].

Было принято решение о проведении мультиспиральной компьютерной томографии с миелографией с введением контрастного вещества (февраль 2023 г.), по результатам которого был выявлен четко ограниченный дефект наполнения в заднем позвоночном субарахноидальном пространстве на уровне грудного отдела, названный авторами «сим-

птом ступеньки» (Рисунок 4). Полученные данные позволили установить обструктивную этиологию сирингомиелии и исключить возможность ее идиопатического появления, а также спланировать дальнейшую тактику ведения.

В феврале 2023 г. было проведено хирургическое лечение в объеме выполнения ламинэктомии Th_{III}–Th_{VI} и микрохирургического удаления объемного новообразования позвоночного канала на уровне Th_{III}–Th_V с использованием интраоперационной ультразвуковой навигации (Рисунок 5). Удаленное новообразование было направлено на гистологическое исследование. Послеопера-



Рисунок 5. Ультразвуковая навигация, интраоперационная съемка: визуализируется обструкция спинального субарахноидального пространства новообразованием. Источник: составлено авторами

Figure 5. Ultrasound navigation, intraoperative imaging: Obstruction of the spinal subarachnoid space by a neoplasm is seen. Source: created by the authors

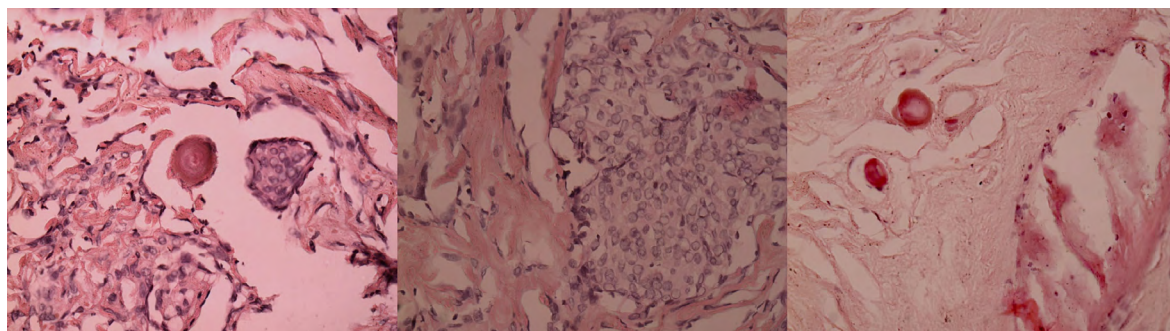


Рисунок 6. Гистологический препарат тканей извлеченного новообразования (окраска гематоксилин-эозином, увеличение $\times 40$): менингиома менинготелиального типа G1, новообразование с пучками и завитками вытянутых клеток, с тонкими пучками фиброза (фиброваскулярной стромы), участками кальциноза, псаммоматозными тельцами. Источник: составлено авторами

Figure 6. Histological specimen of the extracted neoplasm tissue (hematoxylin and eosin staining, $\times 40$ magnification): grade 1 meningeothelial meningioma, a neoplasm with bundles and whorls of elongated cells, thin bands of fibrosis (fibrovascular stroma), areas of calcification, and psammoma bodies. Source: created by the authors

ционный период протекал без осложнений, был отмечен регресс неврологической симптоматики.

В марте 2023 г. по результатам гистологического исследования было установлено, что причиной синрингомиелии у пациента А. являлась менингиома менинготелиального типа G1 (Рисунок 6).

Результаты

Диагностический поиск причины прогрессирования синрингомиелии был затруднен и потребовал многократного выполнения различных исследований и консультаций. В результате прошествия времени, потребовавшегося для представленной сложной маршрутизации, состояние пациента неуклонно ухудшалось, а прогноз на восстановление становился все менее благоприятным.

После установления этиологического фактора заболевания и проведения этиотропного хирургического лечения удалось добиться значимого клинического улучшения в виде регресса неврологической симптоматики и уменьшения полостей в спинном мозге, что подтверждается контрольной МРТ через 3 месяца и 20 суток после вмешательства (Рисунок 7).

Обсуждение

Причиной многочисленных обращений за медицинской помощью и ухудшения состояния пациента стали трудности в верификации причины синрингомиелии и, как следствие, отсутствие этиотропной терапии. Диагностические сложности возникли по причине отсутствия признаков обструктивной этиологии заболевания по дан-



Рисунок 7. Контрольная МРТ шейного и грудного отделов позвоночника после повторного хирургического лечения (май 2023 г.): уменьшение полостей в спинном мозге, положительная динамика. Источник: составлено авторами

Figure 7. Follow-up MRI of the cervical and thoracic spine after repeat surgical treatment (May 2023). Reduction of spinal cord cavities, positive dynamics. Source: created by the authors

ным нейровизуализации, которая включала в себя проведение МРТ головного и спинного мозга, в том числе с использованием контрастного вещества. По данным некоторых авторов среди менингиом только 85 % из них накапливают контрастное вещество, а отсутствие его накопления лишь отражает целостность гематоэнцефалического барьера [9]. Другие авторы заявляют лишь о 5 % менингиом, не накапливающих контрастное вещество [10].

Авторы считают, что при наличии трудностей обнаружения явной причины сирингомиелии при помощи МРТ как золотого стандарта диагностики [11, 12] показано выполнение контрастной МСКТ-миелографии, так как данное исследование позволит однозначно получить информацию о наличии или отсутствии обструкции на каком-либо из уровней спинальных субарахноидальных пространств.

Выводы

При диагностике сирингомиелии делать выводы о ее типе только на основании МРТ всей центральной нервной системы с внутривенным контрастным усилением недостаточно, так как не все объемные образования/новообразования по своей природе могут накапливать контрастное вещество.

При установке диагноза необходимо акцентировать внимание на возможных ликвородинамических нарушениях не только на уровне задней черепной ямки, но и в спинальных ликворных пространствах.

При поиске мест блокирования ликворциркуляции востребованы не «статические», а «динамические» методы диагностики, например, контрастная МСКТ-миелография, позволяющая лучше визуализировать места сужения субарахноидальных пространств по типу предложенного авторами «симптома ступеньки».

Литература / References

- Иванова МФ, Евтушенко СК, Симонян ВА, Мурадян ИЭ, Евтушенко ИС, Нестеренко АФ, и др. Сирингомиелия и ее маски. *Международный неврологический журнал*. 2012; 5(51): 76-82. [Ivanova MF, Yevtushenko SK, Simonyan VA, Muradyan IE, Yevtushenko IS, Nesterenko AF, et al. Syringomyelia and its masks. *International Neurological Journal*. 2012; 5(51): 76-82. (In Russ.)].
- Евзиков ГЮ. Сирингомиелия. *Нейрохирургия*. 2008; (2): 8-13. [Evzikov GYu. Syringomyelia. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2008; (2): 8-13. (In Russ.)].
- Milhorat TH. Classification of syringomyelia. *Neurosurg Focus*. 2000; 8(3): E1. <https://doi.org/10.3171/foc.2000.8.3.1>
- Di Lorenzo N, Cacciola F. Adult syringomyelia. Classification, pathogenesis and therapeutic approaches. *J Neurosurg Sci*. 2005; 49(3): 65-72.
- Flint G. Syringomyelia: Diagnosis and management. *Pract Neurol*. 2021; 21(5): 403-411. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2021-002994>
- Roy AK, Slimack NP, Ganju A. Idiopathic syringomyelia: Retrospective case series, comprehensive review, and update on management. *Neurosurg Focus*. 2011; 31(6): E15. <https://doi.org/10.3171/2011.9.FOCUS11198>
- Klekamp J. How should syringomyelia be defined and diagnosed? *World Neurosurg*. 2018; 111: e729-e745. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.12.156>
- Zheng YC, Liu YT, Wei KC, Huang YC, Chen PY, Hsu YH, et al. Outcome predictors and clinical presentation of syringomyelia. *Asian J Surg*. 2023; 46(2): 705-711. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2022.06.150>
- Власов ЕА. *Опухоли мозга. КТ- и МРТ-диагностика*. СПб.: СпецЛит; 2018. [Vlasov EA. *Brain tumors. CT and MRI diagnostics*. Saint Petersburg: SpetsLit; 2018. (In Russ.)].
- Oner AY, Tokgöz N, Tali ET, Uzun M, Isik S. Imaging meningiomas: Is there a need for post-contrast FLAIR? *Clin Radiol*. 2005; 60(12): 1300-1305. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2005.07.005>
- Adib SD, Schittenhelm J, Kurucz P, Hauser TK, Tatagiba M. Surgical management of syringomyelia associated with spinal arachnoid web: Strategies and outcomes. *Neurosurg Rev*. 2023; 46(1): 152. <https://doi.org/10.1007/s10143-023-02071-8>
- Авдей ГМ, Лебеико ТЯ. Сирингомиелия. *Медицинские новости*. 2020; 8(311): 62-66. [Avdei GM, Lebeiko TYa. Syringomyelia. *Medical News*. 2020; 8(311): 62-66. (In Russ.)].

Сведения об авторах / Information about the authors

Семенов Андрей Александрович – ординатор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6411-4718>; e-mail: andrey.semenov.100500@mail.ru

Копылов Илья Борисович – ординатор кафедры травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6411-4718>; e-mail: andrey.semenov.100500@mail.ru

Andrey A. Semenov – Resident of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6411-4718>; e-mail: andrey.semenov.100500@mail.ru

Ilya B. Kopylov – Resident of the Department of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6411-4718>; e-mail: andrey.semenov.100500@mail.ru

пломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0823-3005>; e-mail: ilya.kopylov@list.ru

Батороев Юрий Клементьевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии, Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5902-0274>; e-mail: yuri@batoroev.ru

the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0823-3005>; e-mail: ilya.kopylov@list.ru

Yuri K. Batoroev – Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Oncology, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5902-0274>; e-mail: yuri@batoroev.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Сибирско-турецкий нейрохирургический симпозиум – площадка профессионального и культурного диалога

В последние годы нейрохирургия неуклонно движется в сторону интеграции современных технологий, уникального опыта коллег и широкого международного сотрудничества. Ярким подтверждением этой тенденции стал первый Сибирско-турецкий нейрохирургический симпозиум, прошедший 29–30 мая 2025 года на базе Федерального нейрохирургического центра в Новосибирске. В течение двух дней ведущие специалисты из России и Турции обсудили актуальные проблемы и направления развития нейрохирургии: от онкологии и сосудистых вмешательств до тонкостей функциональных операций.

География и состав участников

Среди докладчиков были признанные профессионалы из России и Турции – всего в научной программе приняли участие более 40 специалистов, представляющих ведущие клиники и университеты двух стран. Председатели симпозиума – Джамиль Рзаев (Новосибирск) и профессор Хакан Эмmez (Анкара) – тщательно продумали баланс между наукой и неформальным общением, что позволило участникам не только обмениваться профессиональными навыками, но и заложить основу для будущих совместных проектов.

Основные тематические блоки

Программа Симпозиума была насыщенной и логично выстроенной. Первый день открылся секцией по опухолям и краниофациальной хирургии. Особый интерес вызвал доклад профессора Эммеца о микрохирургии гемангиобластом, а также сообщение Екатерины Гормолысовой о современных подходах к удалению опухолей краниофациальной области. Не осталась без внимания инновационная лекция профессора Абузера Гю-

гера, подробно представившего варианты супратенториальных доступов.

В сосудистой нейрохирургии оживленную дискуссию вызвал доклад Андрея Дубового о выборе хирургического подхода при аневризмах и сообщение Сабри Гюрбюза по вопросам применения биполярной коагуляции при клипировании аневризм. Современные возможности эндоваскулярного лечения аневризм задней циркуляции были освещены профессором Эрханом Тюркоглу, а методы ревазуляризации мозга были представлены Бураком Караасланом. Секция по хирургии тригеминальной невралгии стала одной из самых практически значимых. В частности, доклады профессора Айдына Айдосели о минимально инвазивных вмешательствах и Антона Пашкова по нейровизуализации в диагностике невралгии позволили по-новому взглянуть на привычные подходы.

Второй день симпозиума открыла секция по спинальной хирургии: Муроджон Косимшоев представил опыт хирургического лечения злокачественных опухолей позвоночника, а профессор Сердар Кахраман рассказал о стратегии нейрохирургического ведения метастатических поражений. В педиатри-





ческой секции ключевыми стали доклады профессора Юрия Кушеля об актуальных принципах хирургии опухолей ствола мозга и доклад Этема Гёксу по доступам к менигиомам краниовертебрального перехода.

Симпозиум завершился обсуждением вопросов функциональной нейрохирургии и радиохирургических технологий. Сергей Ким поделился опытом хирургической терапии эпилепсии при перивентрикулярной гетеротопии, а Евгений Половников представил современные возможности дистанционной радиохирургии благодаря LINAC. Финальное слово было отдано обмену мнениями о перспективах двусторонних программ обучения и совместных исследований.

Наука и за ее пределами

Насыщенная научная программа сопровождалась не менее важной социальной частью. Для зарубежных гостей были организованы экскурсия по Федеральному нейрохирургическому центру, а также вечерние мероприятия: посещение Новосибирского

театра оперы и балета и торжественный ужин с панорамным видом на город. В неформальной обстановке продолжились дискуссии, обсуждение новых профессиональных контактов и, что не менее существенно, – знакомство турецких коллег с культурой научного центра Сибири.

Важность международного обмена

Сибирско-турецкий нейрохирургический симпозиум продемонстрировал: именно через прямое общение, сравнение методик и коллективный разбор неординарных клинических случаев формируется современная школа нейрохирургии. Сложные вопросы – от определения хирургической тактики до нюансов послеоперационного наблюдения – удалось обсудить максимально открыто и конструктивно.

Подобные симпозиумы не просто расширяют кругозор, но и открывают дорогу совместным инновационным исследованиям, обмену специалистами, формированию новых клинических рекомендаций.



Планы на будущее

Уже на закрытии форума участники сошлись во мнении о необходимости превращения этого события в традицию. Решено, что следующий, второй, Сибирско-турецкий симпозиум пройдет в Турции, что позволит расширить число участников, интегрировать в программу новые темы и укрепить научное сотрудничество между странами и клиниками.

Вывод

Первый Сибирско-турецкий нейрохирургический симпозиум стал не только площадкой профессионального общения, но и примером эффективного международного партнерства. Открытость, научный драйв и культурное единение – именно эти качества позволили ему стать событием, которое ждет продолжения. Мы уверены: новые встречи принесут еще больше открытий для всех, кто посвятил себя искусству нейрохирургии.

Анонсы

Announcements

10–13 ноября 2025 года

Практический курс «Отработка микрососудистого шва»

Место проведения: ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России, (г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, д. 132/1)

Количество участников: 10 участников

Курс поможет врачам не только непосредственно осваивать технику микрососудистого шва, но также улучшить микрохирургические навыки в целом, так как, оттачивая точность движений при выполнении микрососудистых анастомозов, в дальнейшем нейрохирург сможет использовать эти навыки в своей рутинной работе.

Программа курса представлена на официальном сайте Сибирской ассоциации нейрохирургов (<https://sibneuro.org/predstoyashchie-meropriyatiya/prakticheskiy-kurs-otrabotka-mikrososudistogo-shva/>).



20 ноября 2025 года

Практический курс с живой хирургией «Трансторакальная грудная симпатэктомия с эндоскопической ассистенцией в лечении идиопатической эритемы лица и гипергидроза ладоней»

Место проведения: ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России, (г. Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, д. 132/1)

Количество участников: 8 участников

На курсе будут представлены общие лекции по анатомии, физиологии, заболеваниям вегетативной нервной системы и методам их лечения. Отдельно и более подробно будет рассказано о таких вегетативных расстройствах, как идиопатическая эритремия лица, ладонный и подмышечный гипергидроз, представлены сведения о частоте их встречаемости, клинических проявлениях, диагностике и показаниях к хирургическому лечению. Также будет представлена информация о принципах, особенностях выполнения грудной симпатэктомии, ее результатах, возможных побочных эффектах и осложнениях. Курсанты подробно познакомятся с оборудованием и инструментами, необходимыми для трансторакальной симпатэктомии с эндоскопической ассистенцией.

Программа курса представлена на официальном сайте Сибирской ассоциации нейрохирургов (<https://sibneuro.org/predstoyashchie-meropriyatiya/transtorakalnaya-grudnaya-simpatpektomiya-s-endoskopicheskoy-assistentsiey-v-lechenii-idiopaticheskoy-25/>).



11–13 декабря 2025 года

**Олимпиада по нейрохирургии для студентов старших курсов
медицинских университетов и клинических ординаторов**

VII студенческая Олимпиада по нейрохирургии «Сибнейро», организуемая Сибирской ассоциацией нейрохирургов и Новосибирским государственным медицинским университетом, объединит перспективных студентов из различных регионов России и Казахстана, предоставив им уникальную возможность продемонстрировать свои знания и навыки в области нейрохирургии. Подробная информация будет представлена на сайте Сибирской ассоциации нейрохирургов (<https://sibneuro.org/predstoyashchie-meropriyatiya/>).

28 января – 1 февраля 2026 года

Siberian-Indian Neurosurgical Symposium

Программа будет доступна позже на сайте Сибирской ассоциации нейрохирургов (<https://sibneuro.org/predstoyashchie-meropriyatiya/>).

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Сибнейро» благодарит вас за интерес к нашему первому выпуску. Мы только начинаем свой путь, но наша цель – стать авторитетной площадкой для обмена передовым опытом и научными достижениями в области нейрохирургии, неврологии, лучевой диагностики и анестезиологии-реаниматологии. Мы приглашаем авторов к сотрудничеству и ждем ваши научные статьи для публикации в следующих номерах журнала.

Все рукописи проходят обязательное двойное слепое рецензирование для обе-

спечения высокого научного качества публикаций. Статьи принимаются и обрабатываются через удобную электронную систему на нашем сайте. Ваша работа будет доступна широкому кругу специалистов как в электронном, так и в традиционном печатном формате.

Для подачи рукописи и ознакомления с правилами оформления, пожалуйста, посетите наш официальный сайт <https://www.sibneurojournal.com>

С уважением,
Редакция журнала «Сибнейро»

СИБНЕЙРО

Расширенный поиск

ГЛАВНАЯ | О ЖУРНАЛЕ | ТЕКУЩИЙ ВЫПУСК | АРХИВЫ

Рецензируемый научный журнал «Сибнейро» основан в 2025 году и посвящен изложению результатов современных научных исследований в области нейрохирургии, неврологии, лучевой диагностики и анестезиологии-реаниматологии. Журнал придерживается принципов открытой науки, доказательной медицины и нацелен на активное продвижение в медицинском сообществе новейших методов диагностики и лечения заболеваний, связанных с патологиями нервной системы, в том числе перспективных исследований в русле персонализированной и высокотехнологичной медицины.

Журнал «Сибнейро» публикует оригинальные исследования, обзорные статьи, клинические случаи и дискуссионные материалы, соответствующие высоким международным стандартам научной публикации. Особое внимание уделяется междисциплинарным работам, объединяющим достижения нейронаук, инновационных технологий и практической медицины.

Основные тематические направления журнала включают:

- Современные методы нейровизуализации и функциональной диагностики.
- Микрохирургические и эндоскопические технологии в нейрохирургии.
- Новейшие подходы к лечению нейродегенеративных, цереброваскулярных и онкологических заболеваний нервной системы.
- Искусственный интеллект и цифровизация в неврологии и нейрореабилитации.
- Инновации в анестезиологии и интенсивной терапии пациентов с поражениями головного и спинного мозга.

Отправить статью

Правила для авторов

Редакционная коллегия

Рецензирование

Этика публикаций

OPEN ACCESS

We are Crossref Member

АНТИПЛАГИАТ

* не является рекламой

ПОПУЛЯРНЫЕ СТАТЬИ

