

Спостереження з практики = Case Report = Наблюдение из практики

Ukr Neurosurg J. 2020;26(4):42-50
doi: 10.25305/unj.209171

Клінічне спостереження хірургічного лікування кавернозної мальформації дорзальних відділів моста мозку із застосуванням інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу

Мороз В.В.¹, Скобська О.Є.², Шахін Н.¹, Малишева О.Ю.²

¹ Відділення невідкладної судинної нейрохірургії, Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

² Група отоневрології, Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України, Київ, Україна

Надійшла до редакції 31.07.2020

Прийнята до публікації 26.10.2020

Адреса для листування:

Скобська Оксана Євгенівна, Група отоневрології, Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова, вул. Платона Майбороди, 32, Київ, 04050, Україна, e-mail: skobska@i.ua

Наведене клінічне спостереження хірургічного лікування кавернозної мальформації дорзальних відділів моста мозку зліва із застосуванням інтраопераційного нейрофізіологічного моніторингу (ІОНМ) становить науково-прикладний інтерес. ІОНМ є відносно новим діагностичним перспективним, але найменш вивченим напрямом у системі нейрофізіологічного забезпечення високотехнологічної нейрохірургічної допомоги в Україні. Детально проаналізовано клінічні особливості, результати клініко-інструментальних методів обстеження і хід операції. Для моніторингу застосовували систему ISIS ІОНМ (Inomed, Німеччина). Представлений клінічний випадок демонструє, що застосування мультимодального ІОНМ дає змогу ідентифікувати в режимі реального часу більшість структур центральної нервової системи, розташованих у зоні ризику хірургічного втручання, запобігти їх ушкодженню та розвитку післяопераційного неврологічного дефіциту і знизити ризик інвалідності. Чинник, який забезпечує успішність ІОНМ – конструктивна взаємодія нейрохірургів, нейрофізіологів і анестезіологів.

Ключові слова: стовбур мозку; кавернозна мальформація; інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг; соматосенсорні викликані потенціали; акустичні стовбурові викликані потенціали, черепні нерви

Clinical observation of surgical treatment of cavernous malformation of the dorsal pons using intraoperative neurophysiological monitoring

Vladimir V. Moroz¹, Oksana Y. Skobska², Nouredin Shakhin¹, Aleksandra Y. Malysheva²

¹ Emergency Department of Vascular Neurosurgery, Romodanov Neurosurgery Institute, Kyiv, Ukraine

² Group of Otoneurology, Romodanov Neurosurgery Institute, Kyiv, Ukraine

Received: 31 July 2020

Accepted: 26 October 2020

Address for correspondence:

Oksana Y. Skobska, Group of Otoneurology, Romodanov Neurosurgery Institute, 32 Platona Mayborody st., Kyiv, 04050, Ukraine, e-mail: skobska@i.ua

The presented clinical observation of surgical treatment of cavernous malformation of the left dorsal part of pons using the intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is of scientific and applied interest. IONM is a relatively new diagnostic and at the same time the least studied direction in the system of neurophysiological support in high-tech neurosurgical care in Ukraine. The clinical manifestations, the results of clinical and instrumental methods of examination, and the course of the operation are analyzed in detail. The ISIS IONM system (Inomed, Germany) was used for monitoring. This case demonstrates that the use of multimodal IONM allows you to identify in real time most of the structures of the central nervous system that are at risk of surgery and prevent their damage. This makes it possible to prevent the development of postoperative neurological deficits and reduce the risk of disability in patients. The factor that ensures the success of IONM is the constructive interaction of neurosurgeons, neurophysiologists, and anesthesiologist.

Keywords: brainstem; cavernous malformation; intraoperative neurophysiological monitoring; somatosensory evoked potentials; acoustic brainstem evoked potentials; cranial nerves

Клиническое наблюдение хирургического лечения кавернозной мальформации дорзальных отделов моста мозга с применением интраоперационного нейрофизиологического мониторинга

Мороз В.В.¹, Скобская О.Е.², Шахин Н.¹, Малишева А.Ю.²

¹ Отделение неотложной сосудистой нейрохирургии, Институт нейрохирургии им. акад. А.П. Ромоданова НАМН Украины, Киев, Украина

² Группа отоневрологии, Институт нейрохирургии им. акад. А.П. Ромоданова НАМН Украины, Киев, Украина

Приведенное клиническое наблюдение хирургического лечения кавернозной мальформации дорзальных отделов моста мозга слева с применением интраоперационного нейрофизиологического мониторинга (ИОНМ) представляет научный интерес. ИОНМ является относительно новым диагностическим перспективным, но наименее изученным направлением в системе нейрофизиологического обеспечения высокотехнологичной нейрохирургической помощи в Украине.

Copyright © 2020 Vladimir V. Moroz, Oksana Y. Skobska, Nouredin Shakhin, Aleksandra Y. Malysheva



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Поступила в редакцію 31.07.2020
Принята к публікації 26.10.2020

Адрес для переписки:

Скобская Оксана Евгеньевна,
Группа отоневрологии, Институт
нейрохирургии им. акад. А.П.
Ромоданова, ул. Платона
Майбороды, 32, Киев, 04050,
Украина, e-mail: skobska@i.ua

Детально проанализированы клинические особенности, результаты клинично-инструментальных методов обследования и ход операции. Для мониторинга применяли систему ISIS IOHM (Inomed, Германия). Представленный клинический случай демонстрирует, что применение мультимодального ИОМ позволяет идентифицировать в режиме реального времени большинство структур центральной нервной системы, расположенных в зоне риска хирургического вмешательства, предотвратить их повреждение и развитие послеоперационного неврологического дефицита, снизить риск инвалидности. Фактор, обеспечивающий успешность ИОМ – конструктивное взаимодействие нейрохирургов, нейрофизиологов и анестезиологов.

Ключевые слова: ствол мозга; кавернозная мальформация; интраоперационный нейрофизиологический мониторинг; соматосенсорные вызванные потенциалы; акустические стволовые вызванные потенциалы, черепные нервы

Актуальність

Каверноми (кавернозні ангіоми, кавернозні гемангіоми) головного мозку належать до вад розвитку судинної системи головного та спинного мозку. Їх частка становить 10–15% [1,2]. Поширеність каверном у загальній популяції – 0,4–0,8% [3,4]. За локалізацією каверноми головного мозку поділяють на супратенторіальні, субтенторіальні та стовбурові.

На частку кавернозних мальформацій (КМ) припадає близько 30% симптомних судинних мальформацій головного мозку. За поширенням вони поступаються лише артеріовенозним мальформаціям. Клінічна маніфестація КМ переважно припадає на другу–п'яту декаду життя, що свідчить про соціально-економічне значення проблеми лікування цього захворювання. Особливості розташування і клінічного перебігу КМ зумовлюють тяжкість патології та складність її лікування.

Значне погіршення стану у пацієнтів із супратенторіальними і субтенторіальними КМ спричинене переважно поширеним крововиливом в оточуючу мозкову тканину. Ризик крововиливу становить 0,1–5,0% і є значно вищим при КМ глибинної локалізації [5,6]. Частота КМ у стовбурі головного мозку варіює від 4 до 35% від КМ глибинної локалізації. Після першого епізоду крововиливу ризик повторної кровотечі при локалізації КМ у стовбурі головного мозку зростає до 60% на рік [7–9].

Хірургічне лікування КМ стовбурових відділів головного мозку є дуже складним через ризик розвитку ускладнень. Вибір хірургічного доступу залежить від особливостей локалізації КМ у стовбурі мозку та можливої асоціації з венозними аномаліями розвитку стовбура мозку, які суттєво впливають на формування та клінічний перебіг змішаних мальформацій [10–12].

Запобігання інтраопераційним і післяопераційним ускладненням при нейрохірургічному лікуванні судинної патології головного мозку є однією з актуальних проблем сучасності [13].

Інтраопераційний нейрофізіологічний моніторинг (ІОМ) – важлива складова системи нейрофізіологічного забезпечення високотехнологічної нейрохірургічної допомоги. В Україні ІОМ при нейрохірургічній патології центральної нервової системи є відносно новим, перспективним, але найменш вивченим

напрямом. Основна мета ІОМ – запобігання неврологічним ускладненням та/або зниження їх частоти при проведенні нейрохірургічних операцій.

Спостереження нейрохірургічного лікування КМ дорзальних відділів моста мозку із застосуванням ІОМ

Пацієнт Г., 1975 року народження, перебував на лікуванні у відділенні невідкладної судинної нейрохірургії з рентгеноопераційною Інституту нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України з приводу повторного гострого порушення мозкового кровообігу за геморагічним типом на ґрунті повторного розриву КМ стовбурових відділів головного мозку.

З анамнезу захворювання відомо, що первинні прояви захворювання мали місце у 2012 р. Початок захворювання пов'язаний зі значним фізичним навантаженням, під час якого у пацієнта виник раптовий головний біль, порушення мови, загальна слабкість і асиметрія обличчя. За результатами магнітно-резонансної томографії (МРТ) головного мозку виявлено МР-ознаки гематоми та КМ дорзальних відділів моста мозку (**Рис. 1**). Пацієнт лікувався консервативно за місцем проживання. Відзначено позитивну динаміку неврологічного статусу. Повторне погіршення стану мало місце у березні 2020 р. За результатами МРТ (24.03.2020 р.) виявлено МР-ознаки повторного крововиливу в ділянці моста мозку (**Рис. 2**). Госпіталізований в Інститут нейрохірургії для дообстеження та, можливо, хірургічного лікування. Проведено МРТ головного мозку з контрастним підсиленням (**Рис. 3**) та дифузно-тензорну МРТ (**Рис. 4**).

У дорзальних відділах моста мозку ліворуч визначається округле утворення з геморагічним компонентом неоднорідного гіперінтенсивного МР-сигналу у T2, T1 та FLAIR, гіперінтенсивного – на VEN BOLD з обідком гемосидерину по краю, яке неоднорідно накопичує парамагнетик після контрастування, розміром до 1,69 × 1,57 × 1,85 см, IV шлуночок компресований.

Провідникові шляхи стовбура мозку в краніо-каудальному напрямку вказано рожевим кольором (інтактні, зміщені допереду) (**Рис. 4, Б**), мостомозочкові тракти (бульбо-таламічний тракт) – зеленим (простежуються в крайовій зоні утворення) (**Рис. 4, А**), волокна які перемикаються на ядрах моста. Обидва

Стаття містить рисунки, які відображаються в друкованій версії у відтинках сірого, в електронній – у кольорі.

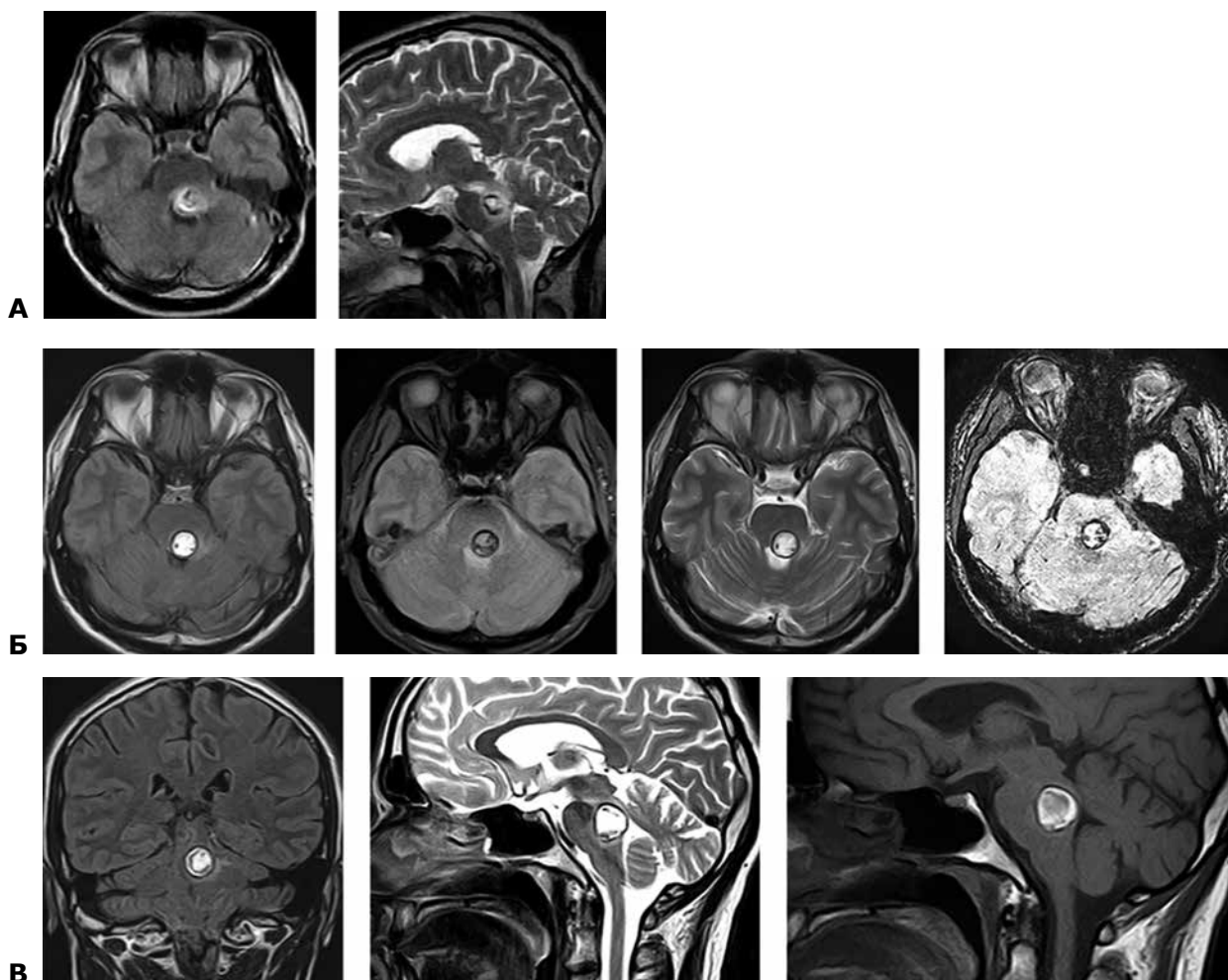


Рис. 1. МРТ головного мозку пацієнта Г.: А – Т1 (аксіальні зрізи) і Т2 (сагітальні зрізи); Б – Т1, FLAIR, Т2, режим дифузії; В – Т1, Т2, FLAIR. Візуалізується гіперінтенсивна гетерогенна структура на рівні стовбура головного мозку з гіперінтенсивним сигналом у режимі дифузії

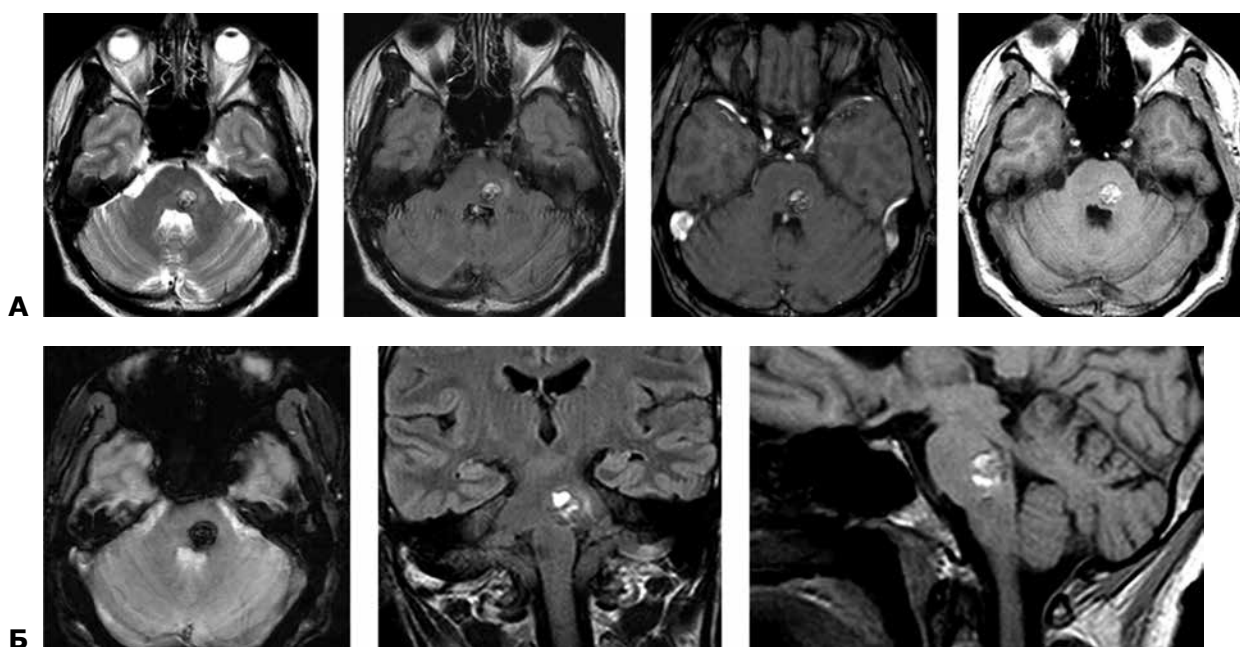


Рис. 2. МРТ головного мозку пацієнта Г., режими Т2, Т1, FLAIR: А – аксіальні зрізи; Б – аксіальні, фронтальні та сагітальні зрізи

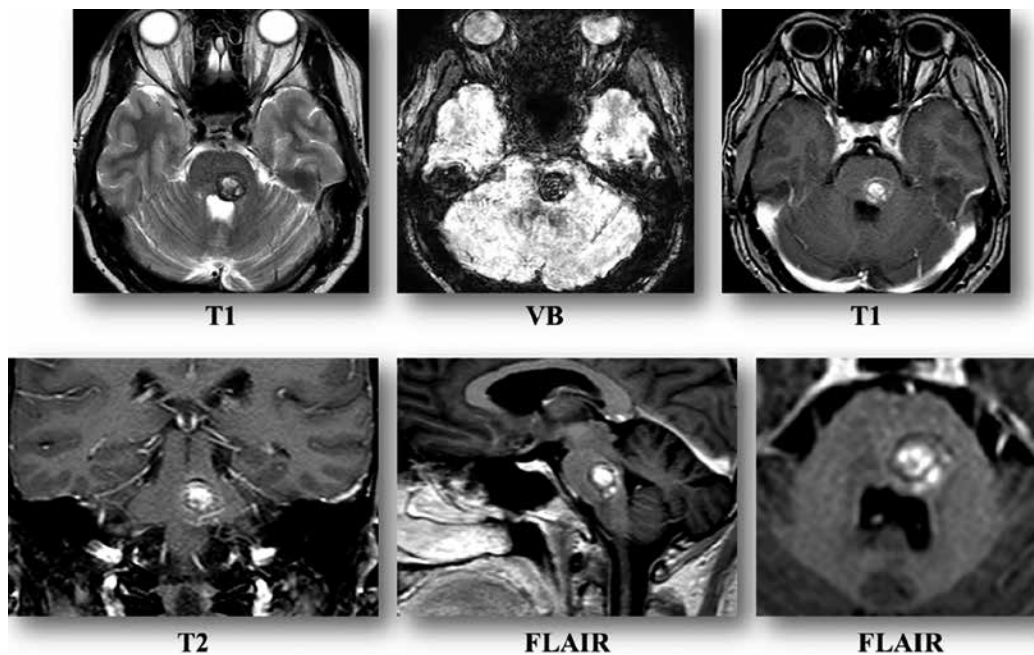


Рис. 3. МРТ головного мозку пацієнта Г., T2, FLAIR, T1, T1, FLAIR, FLAIR, VEN BOLD

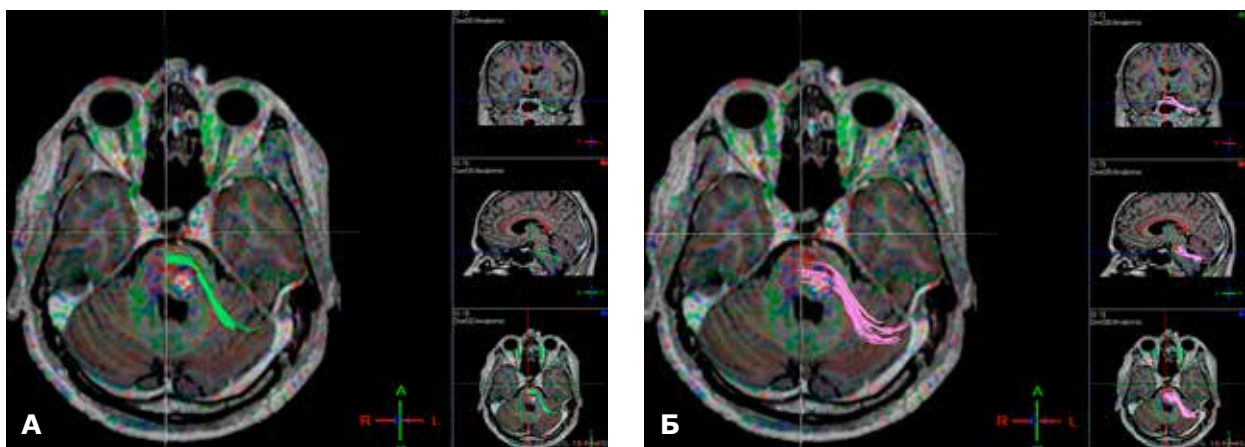


Рис. 4. Дифузно-тензорна МРТ пацієнта Г. А - мостомозочкові тракти (бульбо-таламічний тракт); Б - провідникові шляхи стовбуру мозку краніо-каудального напрямку

кортико-спинальні тракти (КСТ) стовбуру мозку на рівні гематоми витончені (компресовані), лівий КСТ зміщений гематомою праворуч, притиснутий до правого КСТ і простежується по латеральному контуру гематоми. Правий КСТ також зміщений праворуч, розташований на відстані 1,3 мм від латерального контуру гематоми. Цілісність волокон обох КСТ не порушена. Бульбо-таламічний тракт зміщений гематомою праворуч, простежується на відстані 3 мм від її латерального контуру, цілісність волокон тракту не порушена.

На момент госпіталізації до Інституту нейрохірургії пацієнт скаржився на головний біль у потиличній ділянці, зниження чутливості в правих кінцівках з періодичним онімінням, зниження слуху праворуч, хиткість при ходьбі. В неврологічному статусі мали місце гіпестезія та гіперрефлексія у правих кінцівках, недостатність VII та VI пар черепних нервів зліва. Відзначено патологічні стопні рефлекси праворуч.

Пальценосову пробу виконував з помилкою з обох боків. Також мали місце дискоординаторні порушення у вигляді хиткості при ходьбі.

Отоневрологічне обстеження до операції виявило такі порушення:

V пара – гіпестезія на обличчі, губах і язика зліва;

VII пара – помірна дисфункція за центральним типом ліворуч;

VIII пара – чіткий спонтанний горизонтальний середньорозмашистий ністагм в обидва боки, чіткий спонтанний вертикальний ністагм;

аудиометричне дослідження слуху: двобічне

зниження слуху за типом звукосприйняття ($AD \geq AS$);

двобічна хронічна сенсоневральна приглухуватість, справа – загострення ($AD \geq AS$);

IX пара – дисфагії немає;

X пара – фонація не порушена; дизартрія не відзначається, м'яке піднебіння напружується симетрично;

XI пара – сила з груднинно-ключично-соскоподібного і трапецієподібного м'язів з обох боків однакова; XII пара – язик по середній лінії, атрофія м'язів язика не відзначається.

Координація руху – атаксія, статокординаторні порушення.

Висновок отоневролога: характер вестибулоокорухових порушень свідчить про ушкодження стовбурових структур мозку на мезенцефальному рівні.

Консультація нейроофтальмолога: ангіодистонія сітківки обох очей.

Консультація терапевта: гіпертонічна хвороба I ступеня, легкий перебіг.

За даними МСКТ головного мозку до операції візуалізується гіперденсивне вогнище в ділянці моста мозку ліворуч до 15 мм у діаметрі, яке спричиняє деформацію IV шлуночка, зумовлене КМ моста мозку (Рис. 5).

З урахуванням клініко-анамнестичних даних і результатів інструментальних методів дослідження встановлено клінічний діагноз повторного гострого порушення мозкового кровообігу за геморагічним типом з формуванням внутрішньомозкової гематоми

в дорзальних відділах моста мозку внаслідок повторного розриву КМ у зазначеній ділянці.

З огляду на наявність стійкого неврологічного дефіциту клінічно, схильності до рецидивуючого перебігу захворювання (повторні крововиливи, підтвержені МРТ у динаміці), дані інструментальних методів обстеження, зокрема наявність крововиливу в мості мозку, встановлено показання до хірургічного лікування. З урахуванням локалізації патологічного вогнища, спричиненого КМ дорзальних відділів моста мозку, ураження та компресії трактів, відповідно до існуючих клінічних рекомендацій застосовано ІОНМ.

Доопераційна підготовка передбачала протинабрякову, інфузійну та симптоматичну терапію.

Операцію проведено в обсязі кістково-пластичної краніотомії задньої черепної ямки ліворуч, видалення внутрішньомозкової гематоми та КМ моста мозку теловелярним доступом через IV шлуночок (Рис. 6).

Для моніторингу застосовували систему ISIS ІОНМ (Inomed, Німеччина). Набір модальностей ІОНМ вибирали з урахуванням локалізації та доступу до КМ для контролю функціонального стану стовбура мозку. Мультиmodalний ІОНМ передбачав поєд-

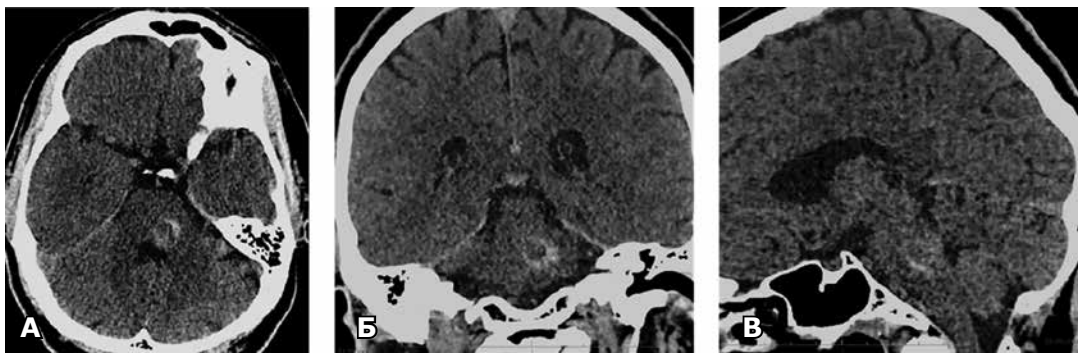


Рис. 5. МСКТ головного мозку пацієнта Г. до операції: А – аксіальна площина; Б – фронтальна площина; В – сагітальна площина

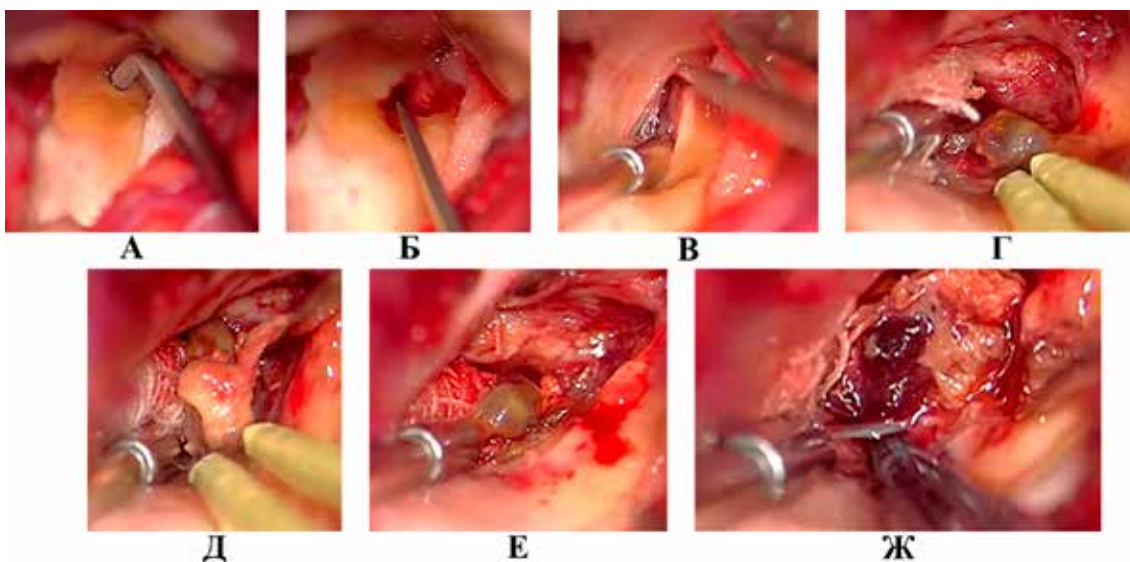


Рис. 6. Етапи виконання хірургічного втручання: А – застосування ІОНМ для визначення ядер черепних нервів; Б – доступ до IV шлуночка. Сліди геморагії в ромбоподібну ямку ліворуч; В – енцефалотомія та перфорація капсули гематоми моста; Г-Ж – мобілізація та фрагментування елементів КМ і капсули гематоми

нання електроміографії (t-EMG, f-EMG) черепних нервів VII, X, XI, XII і реєстрацію акустичних стовбурових (АСВП) і соматосенсорних викликаних потенціалів (ССВП).

Для реєстрації ССВП, АСВП та електроміограм черепних нервів застосовували голчасті або спіральні електроди. Стимуляцію проводили електродами та біполярним зондом шляхом прямої нервової стимуляції (виконує нейрохірург). Результати аналізували із застосуванням програми побудови моделі, запропонованої фірмою-виробником. Оцінку вихідних показників викликаних потенціалів (ВП) проводили після індукції анестезії і укладання пацієнта, реєстрацію – безперервно під час операції. Порівнювали зміни амплітуди та латентності ВП з вихідними показниками і даними, отриманими під час виконання хірургічного втручання.

Як критерій подачі сигналу тривоги при записі ССВП визначали збільшення латентності більш ніж на 10% і/або зниження амплітуди піків більш ніж на 50% (зокрема зникнення піків). Для АСВП основним критерієм подачі сигналу тривоги було зниження амплітуди піків III і/або V на 50% і/або збільшення їх латентності на 1 мс. У такому випадку нейрохірурги зупиняли маніпуляції, нейрофізіолог повторно записував ВП, контролювали параметри анестезії та рівень нервово-м'язової блокади. Рішення про подальші дії приймали нейрохірурги.

Особливу увагу під час операції приділяли ідентифікації лицевого нерва. Визначали розташування ствала нерва та ядер.

Наводимо результати мультимодального ІОНМ відповідно до етапів виконання хірургічного втручання (Рис. 7-14). Підкреслимо, що у будь-якого пацієнта, нейрофізіологічна відповідь на стимул носить індивідуальний характер, який залежить від ряду об'єктивних обставин.

Післяопераційний стан пацієнта відповідав доопераційному. Посилення моторних і сенсорних порушень після операції не виявлено. В неврологічному статусі незначне наростання симптоматики у вигляді

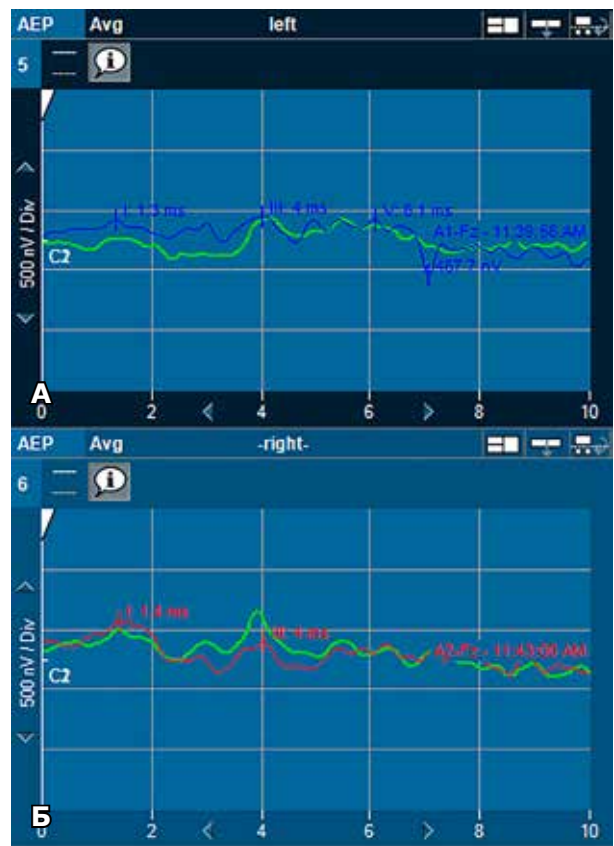


Рис. 7. Етап виконання доступу. Параметри стимуляції АСВП: інтенсивність – 90 дБ, тривалість – 200 мкс, частота – 14,3 Гц. Відповіді на стимуляцію лівого (А) і правого (Б) вуха. Всі амплітудні та часові показники АСВП збережено

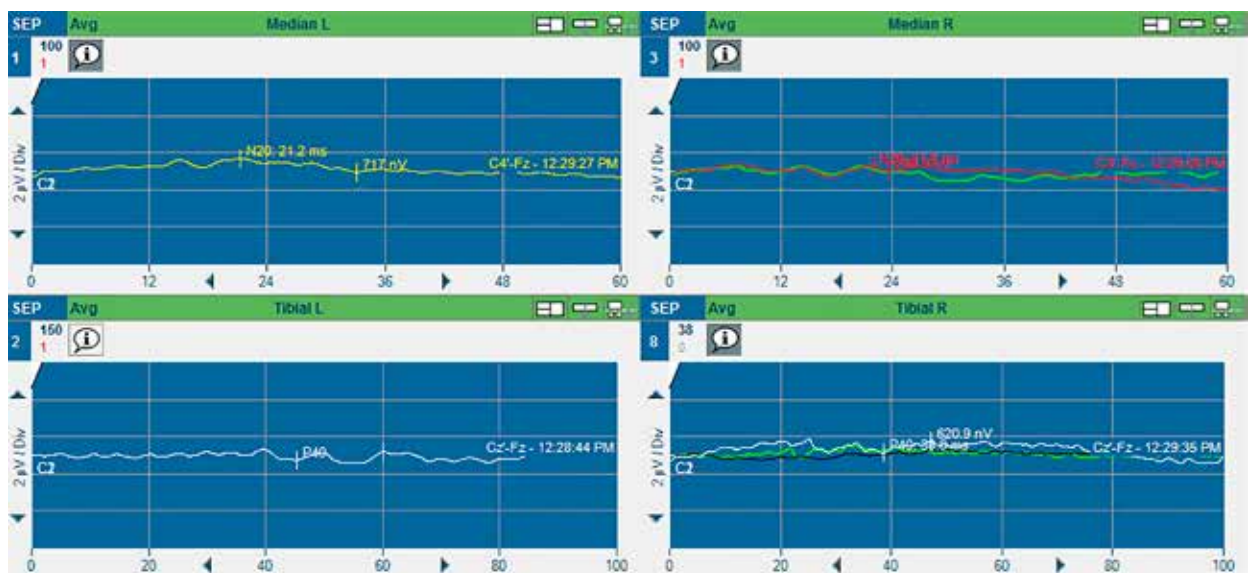


Рис. 8. Етап виконання доступу. Параметри стимуляції ССВП: частота – 4,7 Гц, тривалість імпульсу – 200 мс, сила стимулу – 15 мА. Амплітудні та часові показники ССВП дещо подовжені зліва. Відповідь на стимуляцію правих кінцівок реєструється без суттєвих відхилень від базових показників

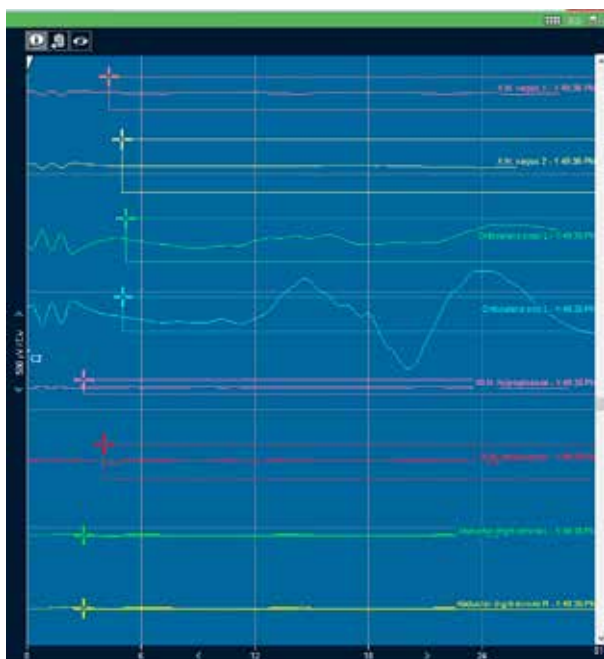


Рис. 9. Етап видалення гематоми з КМ. Стимуляційна ЕМГ VII, X, XI, XII пар черепних нервів. Проводили стимуляцію капсули біполярним зондом із силою стимуляції 0,5 мА. Показано відповіді м'язів *orbicularis oculi*, *orbicularis oris* зліва при електричній стимуляції операційного поля (зона ризику) з метою ідентифікації ядра лицевого нерва. Після ідентифікації ядер лицевого нерва хірургічну тактику модифіковано

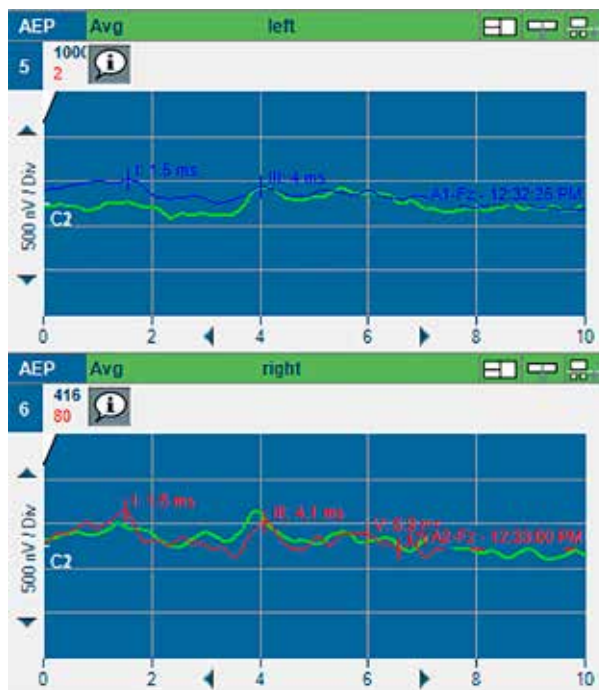


Рис. 11. Етап видалення гематоми з КМ. Зарєєстровано втрату V піка кривої АСВП зліва (А). Всі амплітудні та часові показники відповіді на стимуляцію правого (Б) вуха збережено

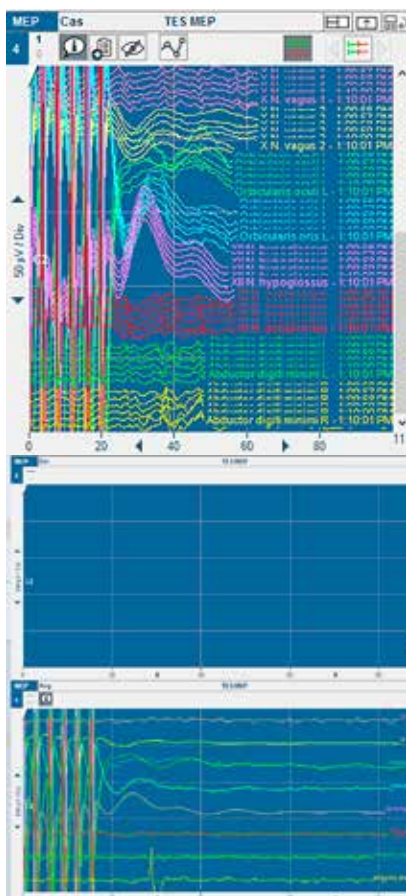


Рис. 10. Реєстрація моторних ВП з черепних нервів та верхніх кінцівок. Моторні ВП при транскраніальній стимуляції. Параметри стимуляції моторних ВП: струм – до 100 мА, тривалість імпульсу – 500 мкс, імпульси подавалися серіям по 6 з інтервалом 4 мс всередині серії. Транскраніальну стимуляцію виконано парами електродів С3–С4 та Cz–Fz. На етапі виконання доступу зафіксовано низьку амплітуду відповідей з верхніх кінцівок. Після видалення гематоми з КМ відзначено відновлення амплітудних показників моторних ВП. Амплітуди відповіді моторних ВП збільшувались у міру зменшення глибини нервово-м'язової блокади

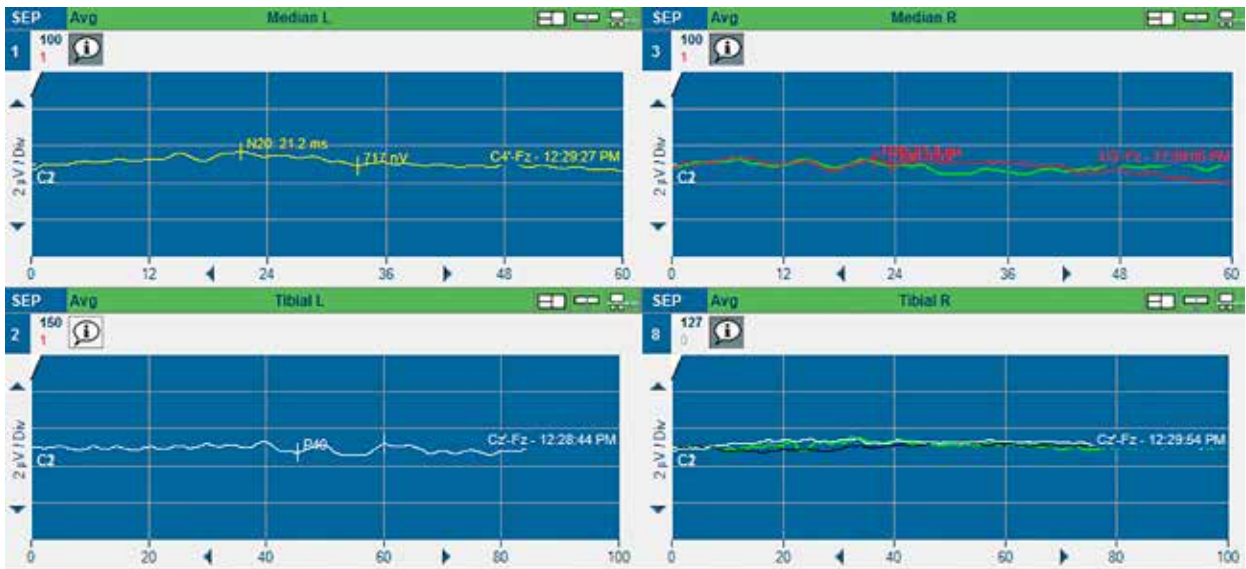


Рис. 12. Етап видалення КМ. Зберігається подовження латентності та знижена амплітуда піків ССВП. Відзначено втрату піків під час запису відповідей на стимуляцію з правої нижньої кінцівки та зниження амплітуди піків з правої верхньої кінцівки щодо базової лінії

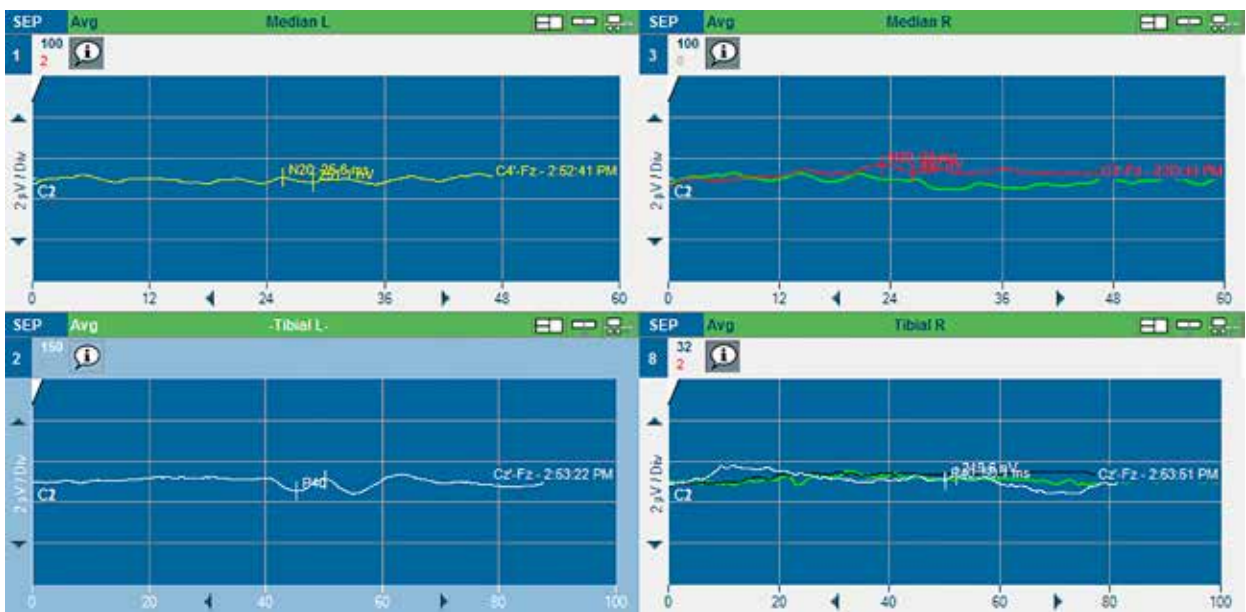


Рис. 13. Гемостаз. Відновлення амплітудних і часових показників ССВП відповідно до фізіологічної норми



Рис. 14. Гемостаз. Амплітудні та часові показники АСВП повністю відновлено до базового рівня

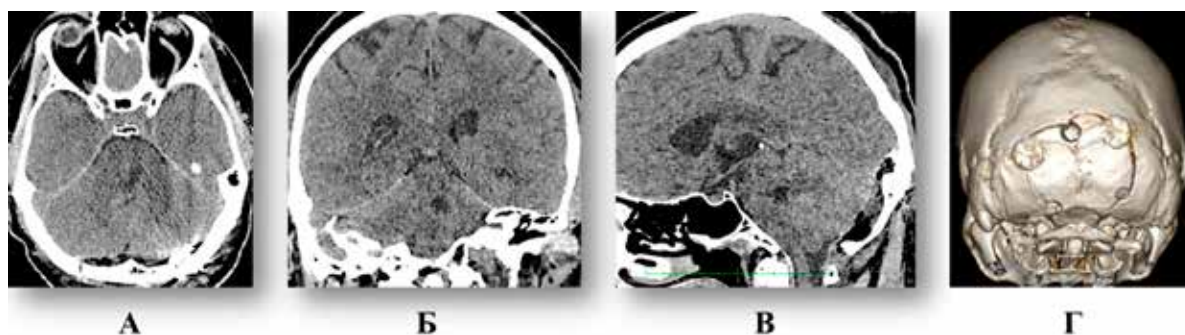


Рис. 15. Контрольна мультиспіральна комп'ютерна томографія головного мозку пацієнта Г. Перша доба після втручання: А – аксіальна площина; Б – фронтальна площина; В – сагітальна площина; Г – 3D-реконструкція кісток черепа

елементів ядерної дисфункції VI та VII черепних нервів ліворуч.

Результати патогістологічного дослідження: діагностовано змішану паренхіматозну ваду розвитку за типом артеріовенозної мальформації з ділянками проліферату, яка відповідає КМ.

Результати контрольної мультиспіральної комп'ютерної томографії головного мозку після операції: ознак гематоми та КМ у мості мозку не виявлено (**Рис. 15**).

Через 7 дб після хірургічного втручання загальний стан і неврологічний статус пацієнта з позитивною динамікою. На момент виписки відзначено частковий регрес чутливих та статокординаторних порушень. Пацієнта виписано у відносно задовільному стані з позитивною динамікою неврологічного статусу для продовження лікування в неврологічному стаціонарі за місцем проживання.

Висновки

Застосування ІОНМ значною мірою сприяє оптимізації доступу і всіх етапів оперативного втручання, підвищує безпечність радикальності видалення патологічного вогнища, запобігає неврологічному дефіциту, зберігає функції центральної нервової системи та якість життя. Важливим чинником, який забезпечує успішність ІОНМ, є конструктивна взаємодія нейрохірургів, нейрофізіологів та анестезіологів.

Розкриття інформації

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Етичні норми

Всі процедури, виконані пацієнту в ході дослідження, відповідають етичним стандартам інституційного і національного комітетів з етики та Гельсінської декларації 1964 року і її пізнішим поправкам або аналогічним етичним стандартам.

Інформована згода

Від пацієнта отримана інформована згода.

Фінансування

Дослідження не мало спонсорської підтримки.

References

- Giacobbo Scavo C, Roperto R, Cacciotti G, Mastronardi L. Cystic Progression of a Cavernous Malformation at the Level of the Trigeminal Root Entry Zone Presenting With Sudden Onset of Trigeminal Neuralgia. *J Craniofac Surg.* 2018 Nov;29(8):e728-e730. doi: 10.1097/SCS.0000000000004501. PubMed PMID: 29570519.
- Taslimi S, Modabbernia A, Amin-Hanjani S, Barker FG 2nd, Macdonald RL. Natural history of cavernous malformation: Systematic review and meta-analysis of 25 studies. *Neurology.* 2016 May 24;86(21):1984-91. doi: 10.1212/WNL.0000000000002701. PubMed PMID: 27164680; PubMed Central PMCID: PMC4887121.
- Xie MG, Li D, Guo FZ, Zhang LW, Zhang JT, Wu Z, Meng GL, Xiao XR. Brainstem Cavernous Malformations: Surgical Indications Based on Natural History and Surgical Outcomes. *World Neurosurg.* 2018 Feb;110:55-63. doi: 10.1016/j.wneu.2017.10.121. PubMed PMID: 29097334.
- Gross BA, Du R. Hemorrhage from cerebral cavernous malformations: a systematic pooled analysis. *J Neurosurg.* 2017 Apr;126(4):1079-1087. doi: 10.3171/2016.3.JNS152419. PubMed PMID: 27203143.
- Rajagopal N, Kawase T, Mohammad AA, Seng LB, Yamada Y, Kato Y. Timing of Surgery and Surgical Strategies in Symptomatic Brainstem Cavernomas: Review of the Literature. *Asian J Neurosurg.* 2019 Jan-Mar;14(1):15-27. doi: 10.4103/ajns.AJNS_158_18. PubMed PMID: 30937003; PubMed Central PMCID: PMC6417313.
- de Aguiar PH, Zicarelli CA, Isolan G, Antunes A, Aires R, Georgeto SM, Tahara A, Haddad F. Brainstem cavernomas: a surgical challenge. *Einstein (Sao Paulo).* 2012 Jan-Mar;10(1):67-73. PubMed PMID: 23045829.
- Arauz A, Patiño-Rodríguez HM, Chavarria-Medina M, Becerril M, Longo GM, Nathal E. Rebleeding and Outcome in Patients with Symptomatic Brain Stem Cavernomas. *Cerebrovasc Dis.* 2017;43(5-6):283-289. doi: 10.1159/000463392. PubMed PMID: 28319946.
- Farhoud A, Aboul-Enein H. Surgical management of symptomatic brain stem cavernoma in a developing country: technical difficulties and outcome. *Neurosurg Rev.* 2016 Jul;39(3):467-73. doi: 10.1007/s10143-016-0712-0. PubMed PMID: 27053221.
- Ren Y, Li J, Tao C, Zheng J, Zhang S, Xiao A, Chen R, You C. Surgical Treatment of Cavernous Malformations Involving the Midbrain: A Single-Center Case Series of 34 Patients. *World Neurosurg.* 2017 Nov;107:753-763. doi: 10.1016/j.wneu.2017.08.117. PubMed PMID: 28847556.
- Georgieva VB, Krastev ED. Surgical Treatment of Brainstem Cavernous Malformation with Concomitant Developmental Venous Anomaly. *Asian J Neurosurg.* 2019 Apr-Jun;14(2):557-560. doi: 10.4103/ajns.AJNS_246_18. PubMed PMID: 31143282; PubMed Central PMCID: PMC6516034.
- Cannizzaro D, Sabatino G, Mancarella C, et al. Management and Surgical Approaches of Brainstem Cavernous Malformations: Our Experience and Literature Review. *Asian J Neurosurg.* 2019;14(1):131-139. doi:10.4103/ajns.AJNS_290_17.
- Georgieva VB, Krastev ED. Surgical Treatment of Brainstem Cavernous Malformation with Concomitant Developmental Venous Anomaly. *Asian J Neurosurg.* 2019;14(2):557-560. doi:10.4103/ajns.AJNS_246_18.
- Gaytan AS, Krivoshapkin AL, Karaskov AM, Kanygin VV, Valentik AV. [Results of surgical treatment of patients with glioblastomas using a combined 5-ala fluorescent-guided resection]. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokirurgiya.* 2014;18(2):37-41. Russian. doi: 10.21688/1681-3472-2014-2-37-41.