



СТЕНТИРОВАНИЕ БОКОВОГО ЖЕЛУДОЧКА В ЛЕЧЕНИИ ОТШНУРИРОВАННОГО ВИСОЧНОГО РОГА БОКОВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Д. И. Пицхелаури, С. А. Маряшев, Н. С. Грачев

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии
им. акад. Н. Н. Бурденко» Минздрава России, Москва

РЕЗЮМЕ: В представленной работе описаны случаи одномоментного стентирования после удаления опухолей треугольника бокового желудочка и методика стентирования в отдаленном периоде наблюдения после удаления опухолей желудочкового треугольника.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: оценить эффективность и безопасность применения стентирующих операций для лечения изолированного височного рога.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Представлен анализ 8 случаев хирургического лечения изолированного височного рога методом стентирования желудочковой системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Стентирование примененное в послеоперационном периоде (как метод лечения сформировавшейся гидроцефалии) имело положительный клинический эффект в 100 % случаев — регрессировала общемозговая симптоматика, застой на глазном дне, речевые расстройства. Для больных, у которых стентирование было применено как метод профилактики развития гидроцефалии также отмечался положительный результат — не отмечалось увеличения размеров желудочковой системы и не потребовалось применение шунтирующих операций в послеоперационном периоде.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Хирургия опухолей боковых желудочков, моновентрикулярная гидроцефалия, изолированный височный рог.

Для цитирования: Д. И. Пицхелаури, Н. С. Грачев, С. А. Маряшев. Стентирование бокового желудочка в лечении отшнурированного височного рога бокового желудочка Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2022;14(2):60–66

LATERAL VENTRICULAR STENTING IN ENTRAPPED TEMPORAL HORN TREATMENT

D. I. Pitskhelauri, S. A. Maryashev, N. S. Grachev

FGAU «National Medical Research Center for Neurosurgery. acad. N. N. Burdenko»
of the Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia

SUMMARY: The present paper describes cases of simultaneous stenting after removal of tumors of the lateral ventricular triangle and the technique of stenting in the long-term follow-up period after removal of tumors of the ventricular triangle.

THE PURPOSE OF THE STUDY: to evaluate the effectiveness and safety of the use of stenting operations for the treatment of entrapped temporal horn.

MATERIALS AND METHODS: The analysis of 8 cases of surgical treatment of entrapped temporal horn by ventricular system stenting is presented.

RESULTS: Stenting applied in the postoperative period (as a method of treating formed hydrocephalus) had a positive clinical effect in 100 % of cases — regressed cerebral symptoms, stagnation on the fundus, speech disorders. For patients in whom stenting was used as a method of preventing the development of hydrocephalus, a positive result was also noted — there was no increase in the size of the ventricular system and no application was required.

KEY WORDS: lateral ventricle surgery, monoventricular hydrocephalus, entrapped temporal horn.

For citation: D. I. Pithelauri, S. A. Maryashev, N. S. Grachev. Lateral ventricular stenting in entrapped temporal horn treatment. Rossiiskii neurokhirurgicheskii zhurnal imeni professora A. L. Polenova. 2022;14(2):60–66

Список сокращений:

МРТ — магнитно резонансная томография;

ВИ — взвешенные изображения;

КТ — компьютерная томография;

ИВР — изолированный височный рог.

Введение. Одним из осложнений после микрохирургического удаления опухолей желудочкового треугольника является развитие специфического осложнения в виде изолированного височного рога {Abderrahmen, 2016 #1}[1–3]. Это осложнение развивается вторично, когда вслед за удалением ново-

образования происходит разобщение височного рога от остальной части желудочковой системы. Сосудистое сплетение височного рога бокового желудочка при этом продолжает вырабатывать спинномозговую жидкость, что обуславливает увеличение височного рога. Расширение височного рога приводит к височному вклинению и сдавлению ствола мозга, что проявляется угнетением уровня сознания, гемипарезом, нарушением памяти, выпадению полей зрения [4, 5]. Как правило, проявления изолированного височного рога являются симптоматическими, а лечение этого осложнения требует хирургического вмешательства.

По данным литературы отсутствуют репрезентативные исследования по частоте встречаемости данного осложнения, нет четкого алгоритма наблюдения и ведения за таких пациентов и непонятны показания к хирургическому лечению. Данные литературы показывают варианты лечения случившегося осложнения.

В представленной работе описаны случаи одномоментного стентирования после удаления опухолей треугольника бокового желудочка и методика стентирования в отдаленном периоде наблюдения после удаления опухолей желудочного треугольника.

Цель. Оценить эффективность и безопасность применения стентирующих операций для лечения изолированного височного рога.

Материалы и методы. В период с 2010 по 2020 год в 7-м нейрохирургическом отделении ФГАУ НМИЦ НИИ нейрохирургии отделении прооперировано более 200 пациентов с различными опухолями боковых желудочков. В ретроспективном анализе было выявлено 8 случаев стентирования височного рога после удаления новообразований в области височного треугольника. У 4 больных стентирование изолированного височного рога было осуществлено интраоперационно (в качестве профилактики возникновения осложнения) у 4 больных уже в послеоперационном периоде в сроки до 3 месяцев после удаления опухоли желудочкового треугольника (вследствие развития моноventрикулярной гидроцефалии).

Средний возраст пациентов составил 41 год, соотношение мужчин к женщинам составило 1:1,6. Дооперационный уровень Карновского в среднем составил 70 баллов. До операции во всех случаях по данным МРТ определялось наличие опухоли в области желудочкового треугольника и признаки гидроцефалии с увеличенным индексом Эванса.

Для оценки радикальности хирургического вмешательства и эффективности стентирующей операции всем пациентам проводилась контрольная МРТ с контрастным усилением и волуметрией остатков опухоли через 3–6 месяцев после операции.

Клиническая картина в большинстве случаев была представлена внутричерепной гипертензией, наличием застойных дисков зрительных нервов, выпадением полей зрения, общемозговой симптоматикой. Другие клинические симптомы представлены в таблице 1.

Табл. 1. Основные клинические данные больных с изолированным височным рогом. Table 1. Baseline characteristics for patients with entrapped temporal horn

Показатель	Величина
Возраст	41 (28–63)
Женщины/ Мужчины	5 / 3
Клиническая картина	
Головные боли	100 % (n=8)
Внутричерепная гипертензия (застой)	37,5 % (n=3)
Нарушение памяти	62,5 % (n=5)
Пирамидная симптоматика	25 % (n=2)
Нарушение полей зрения	50 % (n=4)
Тошнота, рвота	62,5 % (n=5)
Эпи-синдром	25 % (n=2)
Шаткость	50 % (n=4)
Распределение по гистологическому типу	
Злокачественные глиальные опухоли	50 % (n=4)
Нейроцитомы	37,5 % (n=3)
Менингиома	12,5 % (n=1)
Степень резекции	
Тотальное удаление (100 %)	87,5 % (n=7)
Субтотальное удаление (90–95 %)	12,5 % (n=1)
Эффективность стентирующей операции	100 % (n=8)
Ипсилатеральное стентирование	62,5 % (n=5)
Контралатеральное стентирование	37,5 % (n=3)

Одномоментная микрохирургическая техника стентирования после удаления опухоли (4 наблюдения).

Техника стентирования желудочковой системы. После удаления и хорошей визуализации основных анатомических ориентиров — вход в височный рог, сплетение бокового желудочка и вход в тело бокового желудочка в область тела имплантируется ретроградный конец на глубину 3–4 см и после в область височного рога проводится оставшаяся дистальная часть катетера. В зависимости от уровня обструкции стентирование может быть как ипсилатеральное (соединять передний рог, отверстие Монро и височный рог) и контралатеральное (передний рог–прозрачная перегородка–височный рог). На рис. 1 представлен клинический случай одномоментного удаления опухоли бокового желудочка со стентированием.

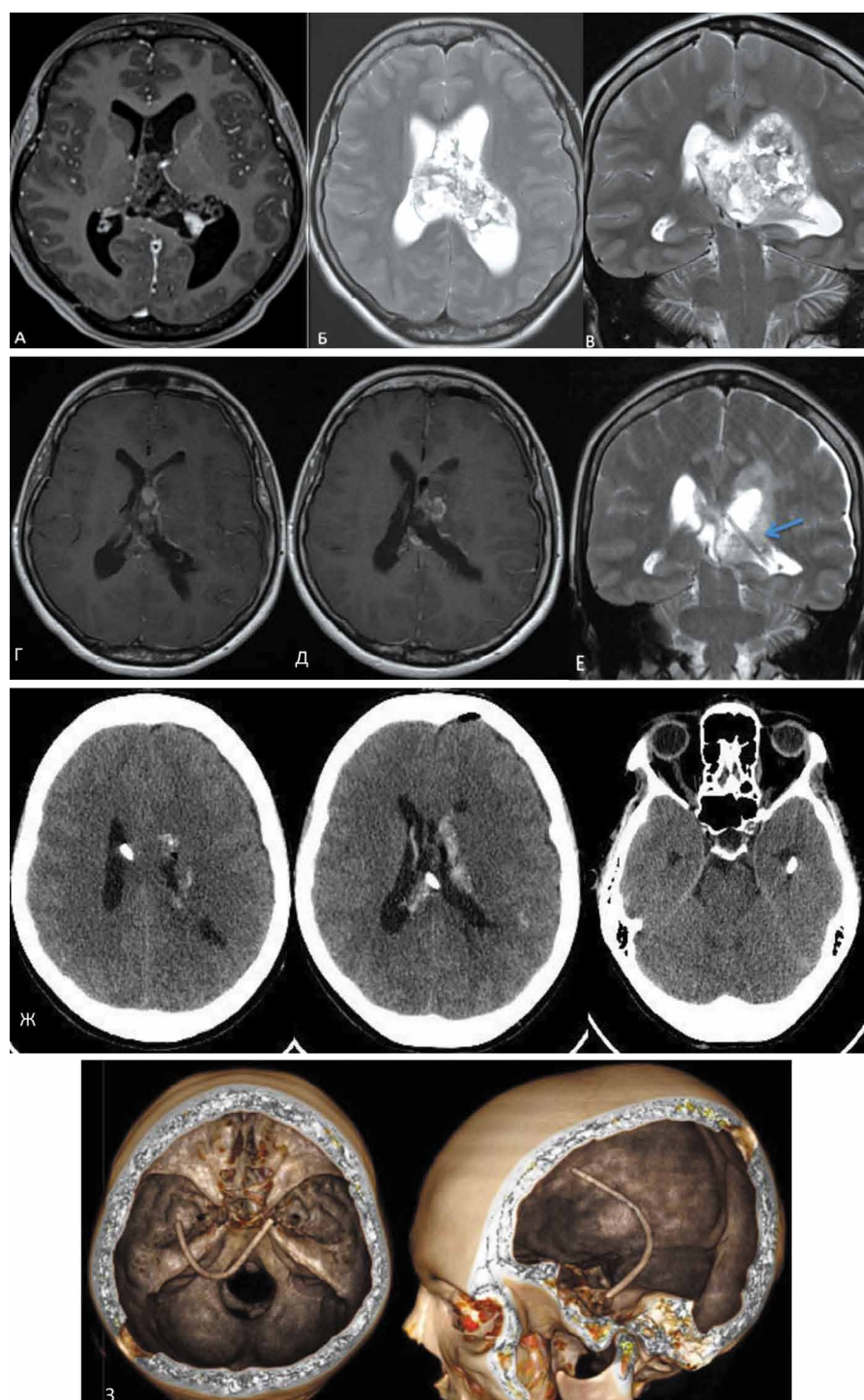


Рис 1. Пациентка Д. 32 г. Клинический случай удаления центральной нейроицитомы левого бокового желудочка с одномоментным стентированием желудочковой системы. А, Б, В — дооперационные МРТ в режимах Т1ВИ с контрастным усилением, Т2ВИ визуализируется гиперинтенсивное объемное образование с распространением на область прозрачной перегородки, переднего рога, тела и треугольника левого бокового желудочка, гетерогенно накапливающее контрастное вещество. Г, Д, Е — послеоперационные МРТ в режимах Т1ВИ с контрастным усилением, Т2ВИ показывают отсутствие остатков опухоли. В проекции треугольника визуализируется вентрикулярный катетер (отмечен стрелкой). Ж, 3 — аксиальная КТ и К3-Д реконструкция показывает расположение вентрикулярного катетера в желудочковой системе.

Fig. 1. Patient D. 32 g. A clinical case of removal of a central neurocytoma of the left lateral ventricle with simultaneous stenting of the ventricular system. А, Б, В — preoperative MRI in T1 weighted image — WI with contrast enhancement, T2 WI, a hyperintensive volumetric formation is visualized with a spread to the area of the septum pellucidum, anterior horn, body and triangle of the left lateral ventricle, heterogeneously accumulating contrast agent. Г, Д, Е — postoperative MRI in T1 WI with contrast enhancement, T2 WI show g. A ventricular catheter is visualized in the triangle projection (marked with an arrow). Ж, 3 — axial CT and 3-D reconstruction shows the location of the ventricular catheter in the ventricular system.

Для стентирования используется вентрикулярный катетер, длина которого определяется индивидуально, исходя из данных нейровизуализации и вентрикулометрии. В среднем длина вентрикулярного катетера составляет 7–10 см. Дополнительно в вентральном конце катетера делаются отверстия с помощью микрохирургических ножниц. Для фиксации в области анатомического сужения используется манжетка, которая отрезается от вентрикулярного катетера.

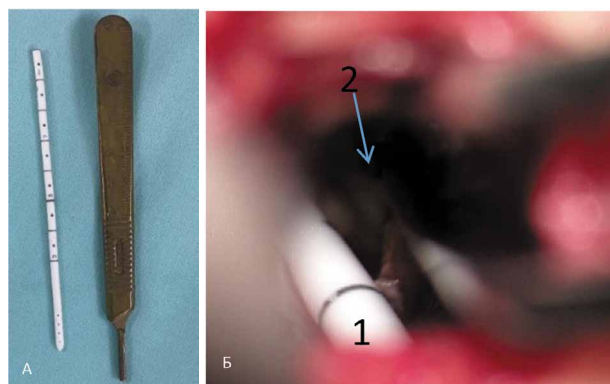


Рис. 2. Вентрикулярное стентирование. На рисунке изображен вентрикулярный катетер (А), погруженный в щелевидный просвет височного рога (Б).

Fig. 2 Ventricular stenting. The figure shows a ventricular catheter (1) immersed in the slit-like lumen of the temporal horn (2).

Под микрохирургическим контролем хирург погружает стент на желаемую глубину, соединяя элементы желудочковой системы. При нестабильном положении стента создаётся манжетка. Рана многократно промывается физиологическим раствором, при необходимости используется хирургическая марля.

Основными показаниями для проведения профилактического стентирования височного рога являются: диффузный, инфильтративный характер роста опухоли, грубая инфильтрация эпендимы в области треугольника бокового желудочка, наличие остатков опухоли.

Постанная микрохирургическая техника стентирования отшунтированного височного рога (4 наблюдения).

В отдаленном периоде стентирование сопряжено с определенными сложностями. Измененная анатомия, спаечный процесс и послеоперационные изменения эпендимы усложняют поиски места для входа в височный рог и тело бокового желудочка. В связи с чем для выбора траектории формирования стомы и стентирования требуется подробное изучение данных МРТ с периоперационным планированием. В качестве вспомогательных техник интраоперационно могут использоваться ультразвуковая и электромагнитная навигация.

Клинический случай развития изолированного височного рога через 1 месяц после удаления менингиомы области треугольника бокового желудочка. Пациент Н. 28 лет, спустя месяц после удаления менингиомы области бокового желудочка слева стал жаловаться на снижение памяти на текущие события, ограничение полей зрения, выраженную головную боль и шаткость при ходьбе. В связи с чем было выполнено МРТ (рис. 3). После проведения стентирующей операции жалобы в значительной степени регрессировали.

Результаты.

Радикальность

В 7 случаях из 8 удаление было тотальным. В одном наблюдении резекция была субтотальной.

Эффективность стентирования. Во всех случаях эффективность стентирования оценивалась в раннем послеоперационном периоде, при контрольном МРТ исследовании через 3–6 месяцев и при катамнестическом исследовании пациентов. Стентирование считалось эффективным, если в послеоперационном периоде регрессировала клиническая симптоматика и в дальнейшем не наступило прогрессии гидроцефалии и не понадобилось шунтирующих операций. Стентирование, примененное в послеоперационном периоде (как метод лечения сформировавшейся гидроцефалии) имело положительный клинический эффект в 100 % случаев — регрессировали общемозговая симптоматика, застой на глазном дне, речевые расстройства. Для больных, у которых стентирование было применено как метод профилактики развития гидроцефалии, также отмечался положительный результат — не отмечалось увеличения размеров желудочковой системы и не потребовалось применение шунтирующих операций в послеоперационном периоде.

Осложнения

Возникновения неврологического дефицита де пова в указанной группе отмечено не было. Случаев инфекционных осложнений отмечено не было. Также не было зафиксировано случаев развития ликвореи. Во всех случаях дисфункции стента не наблюдалось.

Обсуждение.

Частичное изолированное увеличение бокового желудочка представляет собой особую форму обструктивной гидроцефалии, которая вызывает расширение височного рога, затылочного рога или треугольника. Впервые изолированный височный рог был описан Cairns and Daniel в 1947 году. По данным Wang Y развитие изолированного височного рога (ИВР) выявляется в 19 % случаев после удаления новообразований треугольника бокового желудочка [1].

По данным литературы у 68,4 % пациентов изолированный рог является отсроченным (среднее время от резекции опухоли до развития ИВР 4,4 месяца, диапазон 1–10 месяцев) [1]. Медленное развитие ИВР может быть связано с медленной природой

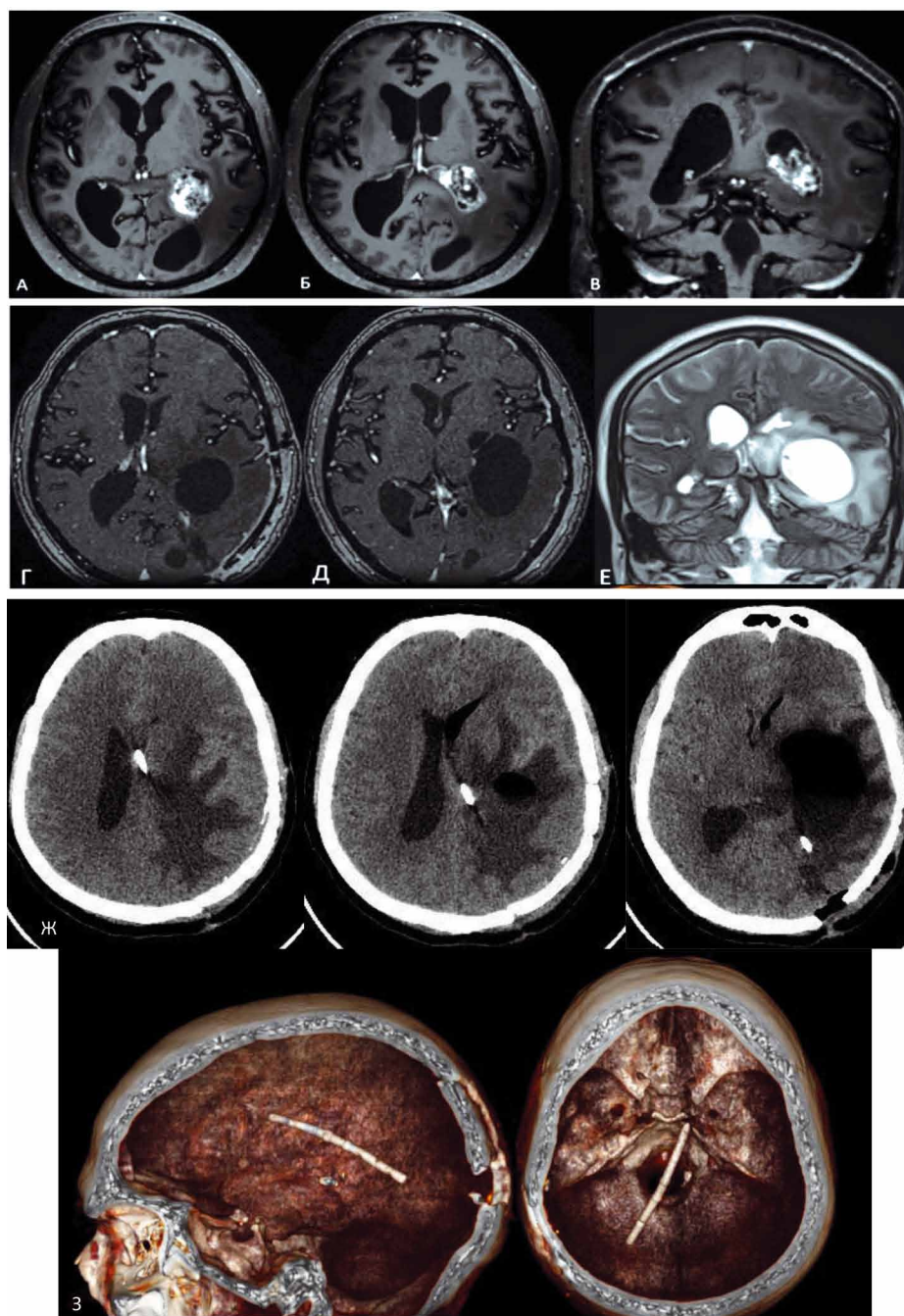


Рис. 3. Клинический случай развития изолированного височного рога через 1 месяц после удаления менингиомы области треугольника бокового желудочка.

А, Б, В — на T1 ВИ с контрастным усилением визуализируется объёмное образование, гетерогенного строения, интенсивно накапливающее контрастное вещество. Г, Д, Е — снимки через 1 месяц после удаления менингиомы области треугольника бокового желудочка. На T1 ВИ с контрастным усилением нет признаков остатков опухоли. На T1 ВИ и T2 ВИ хорошо визуализируется расширенный височный рог, с выраженным перифокальным отёком.

Ж, З — аксиальная КТ и 3Д-реконструкция после проведения стентирования височного рога, треугольника и переднего рога левого бокового желудочка.

Fig. 3. Clinical case of isolated temporal horn development 1 month after removal of meningioma of the lateral ventricular.

А, Б, В — on T1 WI with contrast enhancement, a volumetric formation of heterogeneous structure, intensively accumulating contrast agent, is visualized. Г, Д, Е — images 1 month after removal of the meningioma of the triangle area of the lateral ventricle. There are no signs of tumor remnants on T1WI with contrast enhancement. On T1 WI and T2 WI, the expanded temporal horn is well visualized,

обструкции или уменьшением выработки спинномозговой жидкости из сосудистого сплетения после его коагуляции во время удаления опухоли из желудочкового треугольника [6, 7]. Поэтому пациенты, которые прошли успешное удаление опухоли в области желудочкового треугольника, должны длительно оставаться под наблюдением. Всякий раз когда у ранее выписанного пациента возникает новый неврологический дефицит или ухудшение, следует незамедлительно выполнить КТ или МРТ, чтобы понять причину нарастания очаговой симптоматики. При подтверждении диагноза отсроченного послеоперационного ИВР, показано тщательное наблюдение за пациентом, а во многих случаях требуется хирургическое лечение.

В настоящее время не существует общепринятого метода лечения данного осложнения [1, 8]. Все методы хирургического лечения изолированного височного рога можно разделить на три группы: шунтирующие операции, операции по созданию дополнительного сообщения между элементами желудочковой системы (создание стомы) и стентирующие операции (в область стомы устанавливается стент).

Наиболее распространенными принято считать шунтирующие операции. Описаны различные методики шунтирования изолированного височного рога: одномоментное шунтирование лобного и височного рогов [9] и шунтирование височного рога в область препонтиной цистерны [10]. При лобно-височном шунтировании устанавливаются два вентрикулярных катетера, сначала в лобный рог (как правило из точки Кохера) затем височный рог (в области нижней части чешуи височной кости), после оба катетера соединяются при помощи коннектора к ликворной помпе [9]. Височно-препонтиное шунтирование подразумевает обязательное использование стереотаксической навигации [10]. Применение данных методов ограничивается необходимостью стереотаксической навигации, отсутствием визуального контроля и возможным синдромом гипердренирования.

В литературе существует большое количество публикаций, посвященных эндоскопическому методу лечения данного осложнения. Расширенная желудочковая система и хорошая визуализация нейроваскулярных структур делает видеондоскопию одним из наиболее доступных и простых методов хирургического лечения изолированного височного рога. Эндоскопическая фенестрация, как правило, применяется с применением нейронавигации для выбора оптимальной точки для перфорации. Суть операции заключается в рассечении спаек (чаще располагаются в области треугольника) и восстановлении нормального тока спинномозговой жидкости [11]. Также в литературе описываются успешные случаи применения нейроэндоскопической височной вентрикулоцистерностомии [12]. Идеальная точка для перфорации выбиралась в области, которая проходила выше области зрительного тракта и передней хорoidal-

ной артерии, ниже области третьего нерва и задней соединительной артерии.

Описанными наблюдениями стентирования желудочковой системы (одномоментное после удаления опухоли либо в отдаленном периоде) демонстрируется возможность надежной профилактики развития ИВР после удаления новообразования из треугольника бокового желудочка, когда нарушается сообщение между камерами желудочковой системы после удаления опухоли.

В каждом конкретном случае оперирующий хирург принимает оптимальное решение для лечения ИВР с учетом анатомических особенностей, выраженности ИВР, наличия отека и т.д. Преимущества и недостатки различных способов лечения ИВР представлены в таблице 1.

Заключение. Стентирование желудочковой системы является доступным и эффективным микрохирургическим методом профилактики развития изолированного височного рога. Одномоментное стентирование после удаления опухоли позволяет избежать развития данного осложнения в отдаленном периоде, избавляет от повторных операций и не сопряжено с хирургическими сложностями отдаленного стентирования.

Применение стентирующих операций имеет ряд существенных преимуществ: операция и имплантация катетера полностью происходит под визуальным контролем хирурга, отсутствие сифонных и клапанных механизмов препятствует развитию гипердренирования и развитию синдрома щелевидных желудочков.

Явные преимущества наряду с недостатками описанного метода (возможность инфицирования катетера, техническая сложность выполнения, большая инвазивность процедуры) делает этот метод приемлемым, но не универсальным.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. **Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study

ORCID авторов / ORCID of authors:

Пицхелаури Давид Ильич
<https://orcid.org/0000-0003-0374-7970>

Маряшев Сергей Алексеевич
<https://orcid.org/000-0002-0108-0677>

Грачев Никита Сергеевич
<https://orcid.org/0000-0002-6390-4192>

Таблица 2. Преимущества и недостатки различных способов лечения ИВР. Т
 able 2. Advantages and disadvantages of various methods of treatment of entrapped temporal horn.

Хирургическая тактика	Преимущества	Недостатки	Показания
ВППШ	– Регресс ВЧД – Высокая эффективность	– Зависимость от шунта. – Осложнения: инфекции, гипогипердренирование. – Возможность распространения в брюшную полость при злокачественных опухолях	– Подходит для всех случаев
Лобно-височное стентирование	– Нет риска распространения злокачественных клеток вне желудочка.	– Невозможно при узких желудочках. – Рост опухоли может вытеснить стент.	– Расширенная желудочковая система особенно переднего рога.
Эндоскопическая фенестрация	– Нет риска распространения злокачественных клеток – Может использоваться при вентрикулитах.	– Возможность спонтанного закрытия стомы особенно после радиотерапии – Необходимость в нейронавигации	– Удобная анатомия для выполнения. – Необходимость биопсии.
Эндоскопическая фенестрация со стентированием	– Нет риска распространения злокачественных клеток. – Стент — дополнительная надежность стомы.	– Риск инфицирования стента. – Рост опухоли может вытеснить стент. – Риск миграции стента. – Необходимость в неронавигации.	– Благоприятная анатомия для выполнения. – Необходимость биопсии
Микрохирургическое соединение ИВР с охватывающей цистерной	– Нет риска распространения злокачественных клеток.	– Более инвазивная процедура	– Альтернатива эндоскопии. – Необходимость биопсии.
Микрохирургическая фенестрация	– Восстанавливает ликвородинамику между ИВР и боковым желудочком.	– Риск закрытия стомы.	– Благоприятная анатомия для микрохирургической фенестрации стенки между ИВР и желудочковой системой

Литература/References

- Wang, Y., et al., The Incidence and Risk Factors of Postoperative Entrapped Temporal Horn in Trigone Meningiomas. *World Neurosurg*, 2016. 90: p. 511–517. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.03.040
- Abderrahmen, K., et al., Trapped temporal horn, an unusual form of obstructive hydrocephalus: 5 case-reports. *Neurochirurgie*, 2016. 62(2): p. 108–12. DOI: 10.1016/j.neuchi.2015.09.001
- Maurice-Williams, R.S. and M. Choksey, Entrapment of the temporal horn: a form of focal obstructive hydrocephalus. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1986. 49(3): p. 238–42. DOI: 10.1136/jnnp.49.3.238
- Spallone, A., D. Belvisi, and L. Marsili, Entrapment of the Temporal Horn as a Cause of Pure Wernicke Aphasia: Case Report. *J Neurol Surg Rep*, 2015. 76(1): p. e109–12. DOI: 10.1055/s-0035-1549225
- Маряшев С. А., И.Р.Э., Пицхелаури Д. И., Чмутин Е.Г., Стентирование бокового желудочка как метод профилактики развития изолированного височного рога после удаления опухоли бокового желудочка. Клиническое наблюдение и обзор литературы. *Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии*, 2021. № 9. [Maryashev S. A., I.R.E., Pitskhelauri D. I., Chmutin E. G., Stentirovanie bokovogo zheludochka kak metod profilaktiki razvitiya izolirovannogo visochnogo roga posle udaleniya opukholi bokovogo zheludochka. Klinicheskoe nablyudenie i obzor literatury. *Vestnik nevrologii, psikiatrii i neirokhirurgii*, 2021. № 9. <https://panor.ru/articles/stentirovanie-bokovogo-zheludochka-kak-metod-profilaktiki-razvitiya-izolirovannogo-visochnogo-roga-posle-udaleniya-opukholi-bokovogo-zheludochka-klinicheskoe-nablyudenie-i-obzor-literatury/70275.html> DOI:10.33920/med-01-2109-04 (In Russ.).]
- Oi, S. and R. Abbott, Loculated ventricles and isolated compartments in hydrocephalus: their pathophysiology and the efficacy of neuroendoscopic surgery. *Neurosurg Clin N Am*, 2004. 15(1): p. 77–87. DOI: 10.1016/S1042-3680(03)00072-X
- Lin, Z., et al., Clinical characteristics of and treatment protocol for trapped temporal horn following resection of lateral ventricular trigone meningioma: a single-center experience. *J Neurosurg*, 2019. 132(2): p. 481–490. DOI: 10.3171/2018.11.JNS182710
- Krähenbühl, A.K., et al., Endoscopic temporal ventriculocisternostomy: an option for the treatment of trapped temporal horns. *J Neurosurg Pediatr*, 2013. 11(5): p. 568–74. DOI: 10.3171/2013.2.PEDS12417
- Hervey-Jumper, S.L., et al., Frontal-to-temporal horn shunt as treatment for temporal horn entrapment. *J Neurosurg*, 2010. 112(2): p. 410–3. DOI: 10.3171/2009.3.JNS081423
- Chen, C.C., et al., Management of entrapped temporal horn by temporal horn to prepontine cistern shunting. *World Neurosurg*, 2013. 79(2): p. 404.e7–10. DOI: 10.1016/j.wneu.2011.02.025
- Zhang, B., et al., Neuroendoscopic Fenestration for Entrapped Temporal Horn After Surgery: Report of 3 Cases. *World Neurosurg*, 2018. 112: p. 77–80. DOI: 10.1016/j.wneu.2018.01.096
- Paredes, I., et al., Endoscopic temporal ventriculocisternostomy for the management of temporal horn entrapment: report of 4 cases. *J Neurosurg*, 2017. 126(1): p. 298–303. DOI: 10.3171/2016.1.JNS152248