

VR-БИБЛИОТЕКА НЕЙРОХИРУРГИЧЕСКОЙ ИНТРАКРАНИАЛЬНОЙ ПАТОЛОГИИ: МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ И ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Коновалов Антон Николаевич¹, Окишев Дмитрий Николаевич¹, Артемьев Антон Алексеевич²,
Блинова Екатерина Валериевна², Элиава Шалва Шалвович¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко»,
г. Москва, Российская Федерация

² Первый Московский государственный медицинский университет им. И. М. Сеченова,
г. Москва, Российская Федерация

ORCID: Коновалов А. Н. 0000-0002-0932-4752

ORCID: Окишев Д. Н. 0000-0003-0815-5624

ORCID: Артемьев А. А. 0000-0002-3537-7997

ORCID: Блинова Е. В. 0000-0003-0050-0251

ORCID: Элиава Ш. Ш. 0000-0001-6103-9329

Ankonovalov@nsi.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2024_3_1837

Аннотация. Цель — описание метода создания и опыта использования VR-библиотеки нейрохирургической интракраниальной патологии. Материалы и методы: для создания 3D-моделей использованы КТ- и МРТ-изображения; сегментация производилась в программе Inobites, воспроизведение 3D-моделей выполнялось в Blender с помощью VR-очков Oculus Quest 2. Результаты: создана VR-библиотека на основании данных 100 пациентов; представлены три клинических наблюдения использования VR-технологии. Заключение: VR-библиотека позволяет изучать индивидуальную анатомию пациентов, улучшать планирование операции.

Ключевые слова: нейрохирургия, виртуальная реальность, 3D-моделирование, предоперационное планирование, обучение.

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о финансировании: Статья подготовлена в рамках выполнения плана НИР по гранту РНФ «Внедрение технологий виртуальной и дополненной реальности в нейрохирургическую практику» (№ 23-75-01019).

Для цитирования: Коновалов А. Н., Окишев Д. Н., Артемьев А. А., Блинова Е. В., Элиава Ш. Ш. VR-библиотека нейрохирургической интракраниальной патологии: методика создания и опыт использования // Виртуальные технологии в медицине. 2024. Т. 1, № 3. DOI: 10.46594/2687-0037_2024_3_1837

Научная специальность: 3.2.3. Общественное здоровье и организация здравоохранения, социология и история медицины
Поступила в редакцию 28 июня 2024 г.

Поступила после рецензирования 13 августа 2024 г.

Принята к публикации 13 августа 2024 г.

THE CREATION OF A VR-LIBRARY OF NEUROSURGICAL INTRACRANIAL PATHOLOGY

Konovalov Anton¹, Okishev Dmitry¹, Artemyev Anton², Blinova Ekaterina², Eliava Shalva¹

¹ N. N. Burdenko National Medical Research Center for Neurosurgery,
Moscow, Russian Federation

² Sechenov University, Moscow, Russian Federation

Ankonovalov@nsi.ru

DOI: 10.46594/2687-0037_2024_3_1837

Annotation. The purpose is to describe the method of creating and using the VR library of neurosurgical intracranial pathology. Materials and methods: CT and MRI images were used to create 3D models. Segmentation was performed in the Inobitec program; 3D models were reproduced in Blender using Oculus Quest 2 VR glasses. Results: a VR library has been created based on data from 100 patients. 3 clinical observations of the use of VR technology are presented. Conclusion: the VR library allows you to study the individual anatomy of patients and improve surgery planning.

Keywords: neurosurgery, virtual reality, 3D modeling, preoperative planning, training.

For quotation: Konovalov A., Okishev D., Artemyev A., Blinova E., Shalva E. The creation of a VR-library of neurosurgical intracranial pathology // Virtual technologies in Medicine. 2024. T. 1, No. 3. DOI: 10.46594/2687-0037_2024_3_1837

Received June 28, 2024

Revised August 13, 2024

Accepted August 13, 2024

Введение

В последнее время достижения в области нейрохирургии значительно ускорились благодаря внедрению новых технологий, таких как трехмерное (далее — 3D) моделирование и виртуальная реальность (далее — VR (от англ. virtual reality — реальность, искусственно воссозданная с помощью технических средств)) [6, 9]. Данные технологии позволяют хирургам визуализировать сложные анатомические структуры и патологии в 3D-пространстве, что улучшает планирование операции и повышает ее безопасность и точность [4, 10]. Однако в настоящее время доступ к таким инструментам ограничен, создание 3D-моделей и использование VR требует дополнительных навыков, что препятствует их широкому использованию в клинической практике.

Цель данной работы — описание методологии создания и опыта использования VR-библиотеки нейрохирургической интракраниальной патологии, которая была разработана с использованием DICOM-просмотрщика Inobitec (Воронеж, Россия) и программного обеспечения для 3D-моделирования Blender.

Материалы и методы

Сегментация изображений и создание 3D-реконструкций

Получены согласия на использование снимков компьютерной томографии (далее — КТ) и магнитно-резонансной томографии (далее — МРТ) у 100 пациентов с различными нейрохирургическими патологиями — аневризмы интракраниальных артерий, артерио-венозных мальформаций (АВМ), кавернозных ангиом, опухоли оболочек головного мозга, внутримозговых опухолей и прочих патологий (табл. 1). Сбор данных проводился на базе 3-го нейрохирургического отделения Национального медицинского исследовательского центра нейрохирургии (НМИЦН) им. акад. Н. Н. Бурденко, Москва, в период с 2023 по 2024 г. Критерии включения — наличие у пациента интракраниальной нейрохирургической патологии и предоперационных снимков. Все клинические случаи в библиотеке анонимизированы и рассортированы по соответствующим папкам с возможностью постоянного пополнения. Пациентам были проведены соответствующие нейрохирургические вмешательства.

Таблица 1

Характеристика VR-библиотеки нейрохирургических клинических наблюдений

Патология	Количество
Аневризма	52
Опухоль	17
АВМ	10
Кавернома	8
Послеоперационный дефект черепа	5
Гидроцефалия	3
Мальформация Арнольда — Киари	3
Фокальная кортикальная дисплазия	2
Всего	100

Для создания 3D-моделей были использованы медицинские изображения из исследований КТ и МРТ в формате Digital Imaging and Communications in Medicine (далее — DICOM). Сегментация изображений производилась с использованием специализированного DICOM-просмотрщика Inobitec (г. Воронеж). После сегментации полученные 3D-реконструкции экспортировались в формат Standard Triangulation Language (далее — STL). Сегментация изображений КТ и МРТ — это процесс разделения различных анатомических структур на отдельные сегменты (рис. 1). Для этого в DICOM-просмотрщике Inobitec использовались следующие инструменты:

- инструмент «Сегментация кости» для автоматической сегментации костей черепа;
- инструмент «Сегментация мягких тканей» для полуавтоматической сегментации мягких тканей черепа;
- инструмент «Редактирование сегментов» для ручной корректировки сегментации.

Процесс сегментации проводился следующим образом:

- 1) выбор целевого объекта для сегментации;
- 2) установка пороговых значений для отделения объекта от окружающих тканей;
- 3) заполнение выделенной области объектом;
- 4) ручная коррекция сегментации с использованием инструмента «Редактирование сегментов».

Экспорт в формат STL

После сегментации анатомические структуры были экспортированы в формат STL. Формат STL представляет собой формат обмена трехмерными данными, который используется для описания геометрии трехмерных объектов. Проектировочные системы используют формат STL для создания трехмерных моделей, которые могут быть использованы для прототипирования, производства или анализа конструкции. STL-файлы состоят из набора треугольников, которые определяют поверхность трехмерного объекта. В дальнейшем использование 3D-моделей выполнялось в Blender. Blender (<https://www.blender.org/>) — это бесплатное и открытое программное обеспечение с открытым исходным кодом для создания трехмерной графики, анимации, моделирования и визуализации. Blender позволяет создавать высококачественные трехмерные модели объектов и сцен, которые могут использоваться для визуализации данных, моделирования и симуляции. Инструменты моделирования включают в себя скульптинговый, полигональный и криволинейный виды моделирования, позволяя исследователям создавать сложные и реалистичные модели. Также с недавних пор появилась возможность использования Blender в режиме VR.

Импорт 3D-моделей в “Blender” и подготовка к VR

3D-модели в формате STL были импортированы в программное обеспечение Blender. Были выполнены следующие действия:

- оптимизация геометрии моделей для уменьшения количества полигонов и повышения производительности;

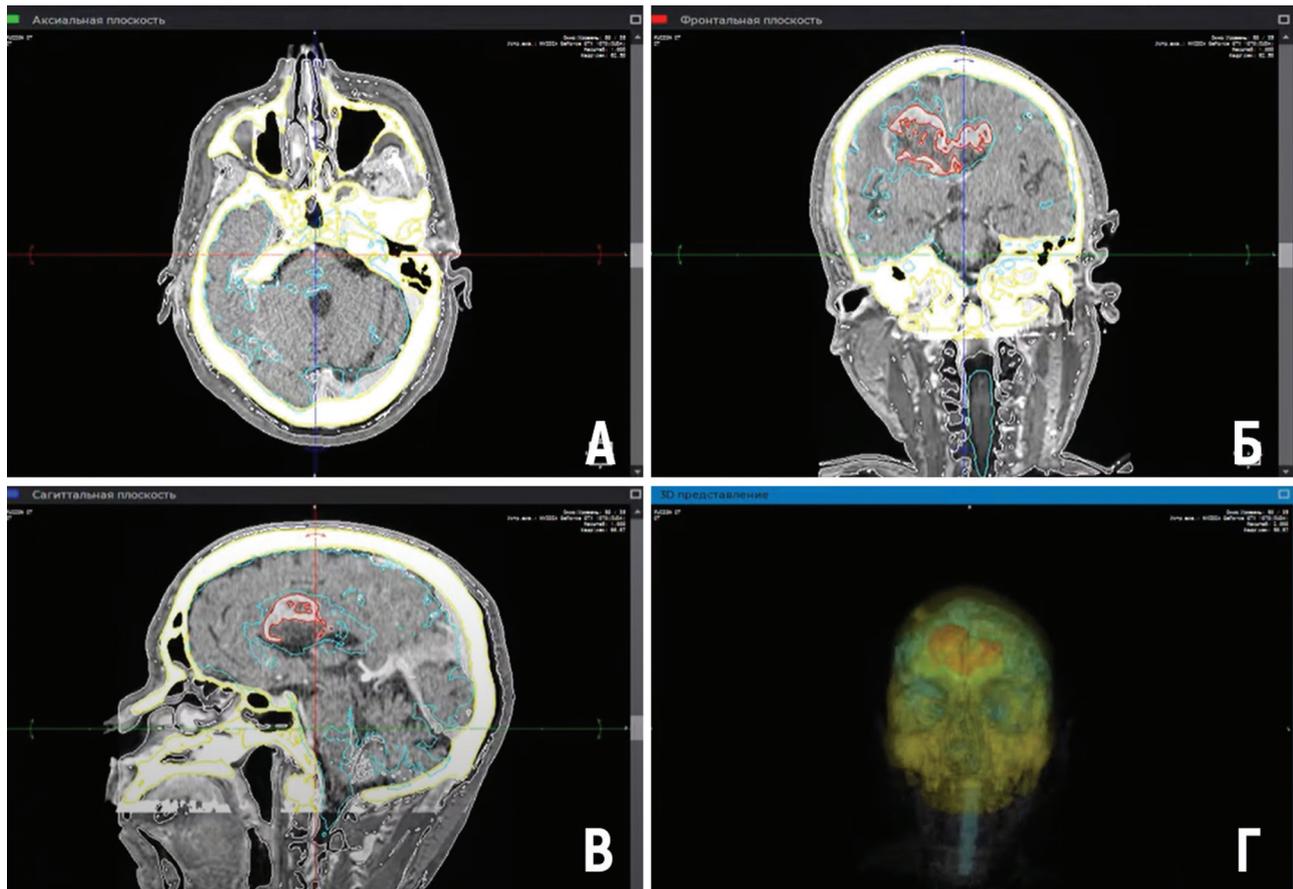


Рис. 1. Сегментация индивидуальных структур пациента с опухолью головного мозга (красный цвет) в программном обеспечении «Inobites». А, Б, В — выделены структуры костей черепа (желтый цвет), мозга (голубой цвет). Сегментированные модели визуализированы в трех стандартных плоскостях: аксиальной, коронарной и сагиттальной. Г — 3D-реконструкция выделенных тканей (справа снизу)

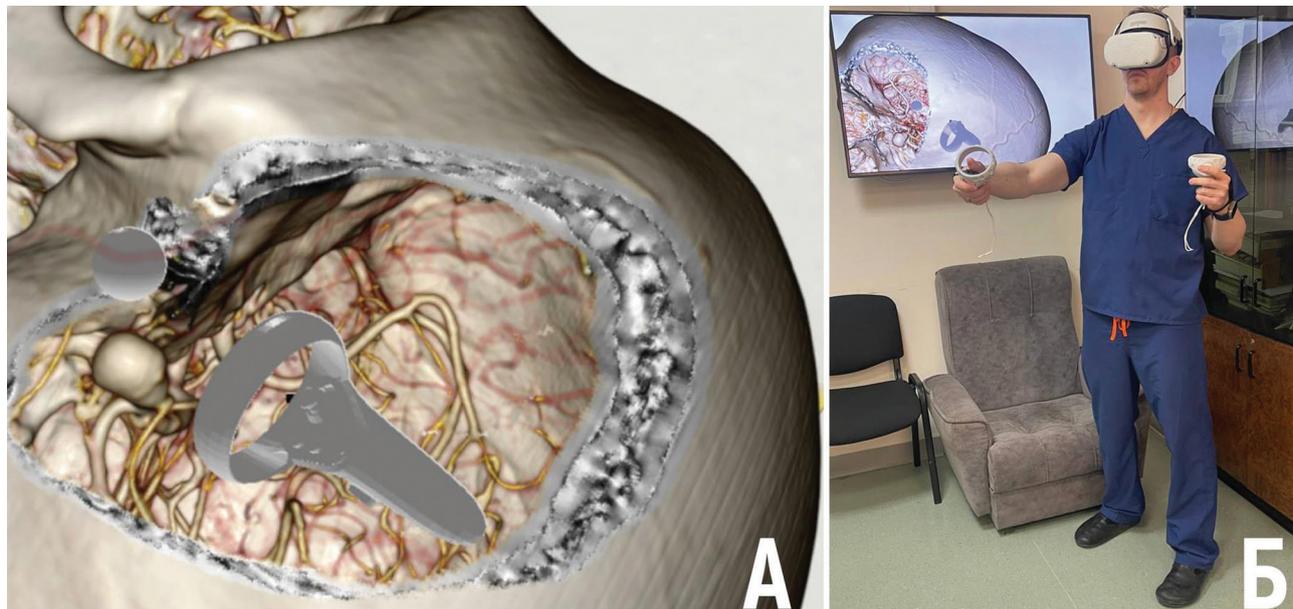


Рис. 2. Использование очков виртуальной реальности для изучения индивидуальной анатомии пациентов с нейрохирургической патологией. А — вид 3D-модели пациента с аневризмой левой средней мозговой артерии (СМА), при помощи интерактивного джойстика выполняется виртуальная левосторонняя лобно-височная краниотомия, визуализирована аневризма бифуркации левой СМА, средних размеров. Б — вид пользователя очков виртуальной реальности и двух интерактивных джойстиков для взаимодействия с 3D-моделью в виртуальном пространстве. Изображение транслируется на монитор и на компьютер через Wi-Fi-соединение

- назначение материалов и текстур для улучшения реалистичности моделей;
- создание интерактивной среды с возможностью поворота, масштабирования и перемещения моделей;
- настройка параметров VR для отображения моделей на VR-очках Oculus Quest 2.

Для использования VR-библиотеки необходимо выполнить следующие действия:

- 1) запуск VR-очков Oculus Quest 2;
- 2) в быстром меню выбор и запуск Quest Link;
- 3) на компьютере запуск приложений Oculus (оба технических устройства должны быть подключены к одной Wi-Fi-сети);
- 4) в программе Blender на боковом меню выбрать вкладку "VR", далее "start VR session";
- 5) для завершения работы выбрать "stop VR session".

Пользователю библиотеки доступен как просмотр 3D-моделей, так и возможность дополнительной сегментации данных в программе Inobites.

Результаты

В течение года после запуска VR-библиотеки было зарегистрировано более 100 пациентов с различными нейрохирургическими патологиями. Собранный архив представляет собой уникальную коллекцию 3D-моделей, позволяющую хирургам планировать и выполнять операции с большей точностью и безопасностью.

3D-моделирование позволяло хирургам получать детальное представление об анатомических особенностях и характере патологии у каждого пациента (рис. 2). Благодаря этому удалось оптимизировать планирование хирургических вмешательств, определить оптимальный доступ к пораженному участку и минимизировать риски осложнений.

В следующих клинических случаях представлены примеры применения виртуальной реальности для просмотра 3D-моделей нейрохирургической патологии (рис. 3, 4, 5):

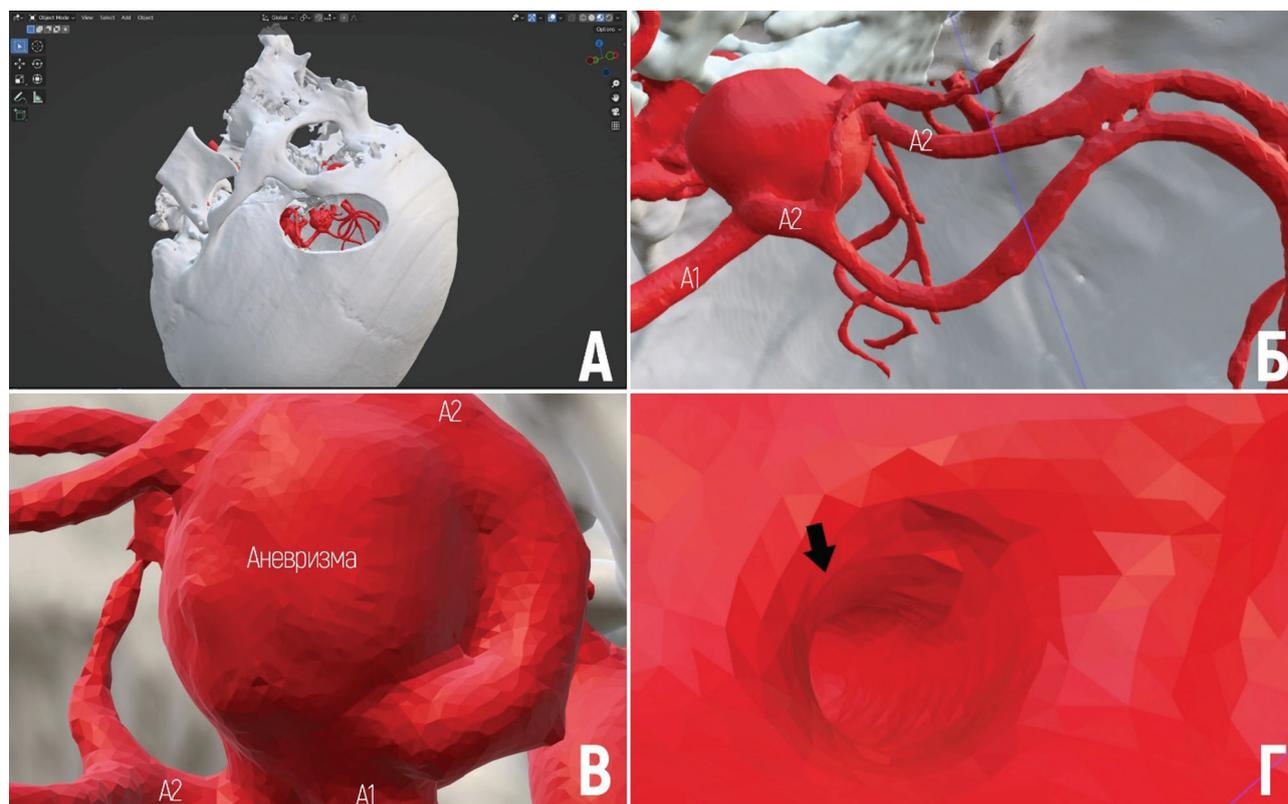


Рис. 3. Пациент с крупной аневризмой передней соединительной артерии. 3D-модель позволяет визуализировать сложную анатомию аневризмы и спланировать микрохирургическое вмешательство с использованием левостороннего птерионального доступа. А — вид модели в программе Blender с сегментированной поверхностью черепа, выполнен левосторонний птериональный доступ. Визуализирован хирургический коридор и расположение аневризмы с сосудами Виллизьева круга (красный цвет). Б — визуализация 3D анатомии аневризмы и прилегающих сосудов в режиме виртуальной реальности, вид слева. В — визуализация задней стенки аневризмы. Видно, что аневризма имеет сложную анатомию, правый А2 сегмент распластан по телу аневризмы, вместе с левой лобно-полярной ветвью. Шейка аневризмы распространяется на нижнюю, переднюю и верхнюю стенки передней соединительной артерии. Г — в режиме виртуальной реальности есть возможность интралюминарного просмотра модели сосудов и аневризмы, черной стрелкой отмечено устье А1 сегмента

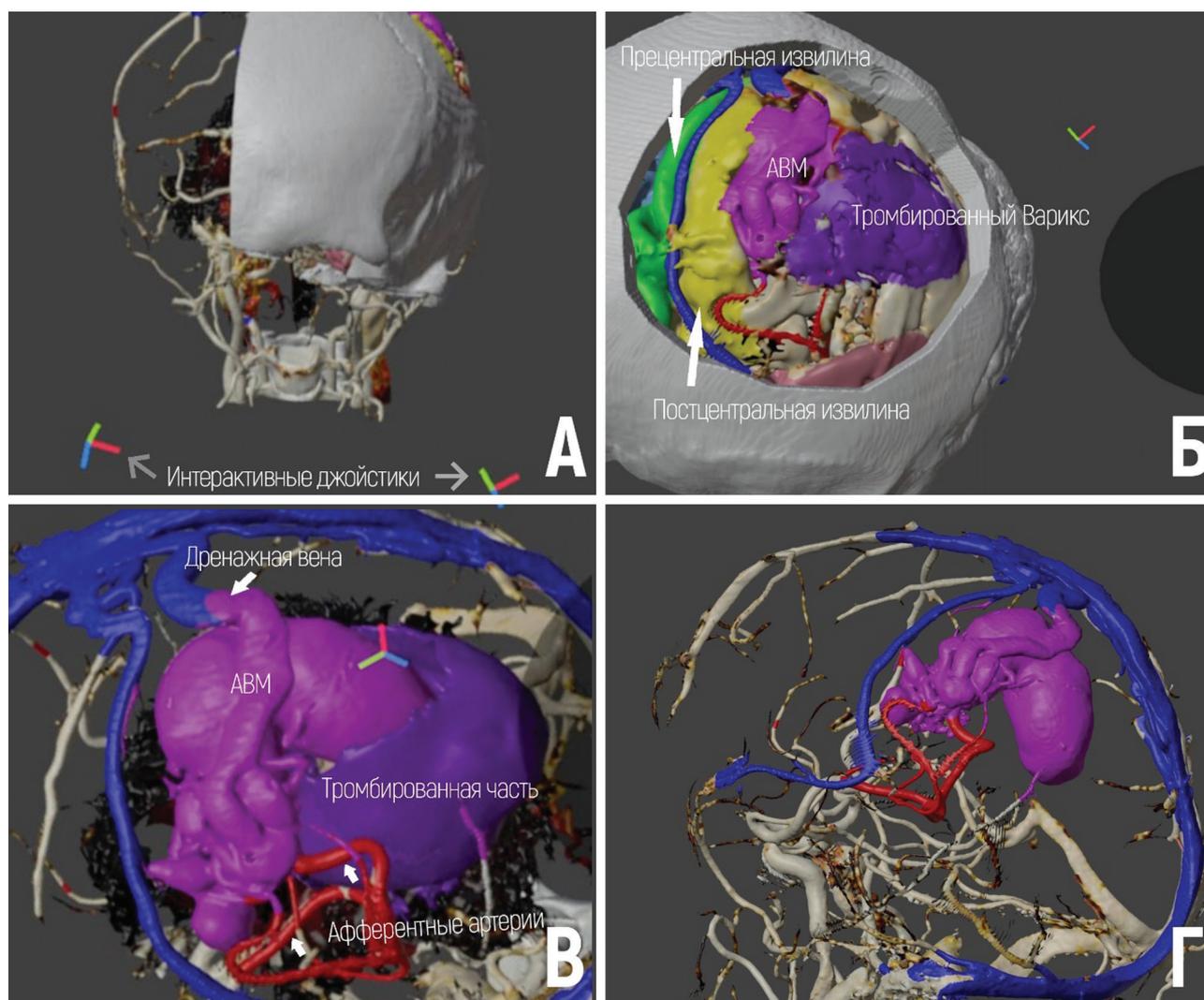


Рис. 4. Пациент с артерио-венозной мальформацией теменной доли. 3D-модель помогла определить точные границы мальформации и оценить ее взаимоотношения с важными анатомическими структурами. На основании этих данных составлена детальная карта оперативного поля, что позволяет продумать ход микрохирургического вмешательства и изучить особенности сложной анатомии АВМ. А — вид модели с костью черепа, экстра- и интракраниальными сосудами, АВМ. Б — цветом отмечены критические структуры, такие как афферентные артерии (красный цвет), дренажная вена (синий цвет), функционирующая часть АВМ (светло-фиолетовый цвет), тромбированная часть АВМ (темно-фиолетовый цвет), прецентральная извилина (зеленый цвет), постцентральная извилина (желтый цвет). В — модель сосудов без черепа и мозговых структур, визуализация в режиме виртуальной реальности. Г — вид 3D-модели без подписей. Виды афферентных артерий, дренирующих вен

Обсуждение

Разработанная виртуальная библиотека включает в себя 100 3D-моделей нейрохирургических патологий, охватывающих широкий спектр заболеваний, включая аневризмы интракраниальных артерий, артерио-венозные мальформации, кавернозные ангиомы, опухоли оболочек головного мозга и внутримозговые опухоли. Модели были созданы с использованием высокоточных медицинских изображений, включая МРТ, КТ и КТ-ангиографию.

Библиотека предоставляет пользователям возможность исследовать и взаимодействовать с патология-

ми в виртуальном пространстве. Это позволяет нейрохирургам более ясно визуализировать анатомию и отношения пораженных участков, что обеспечивает лучшее понимание заболевания и планирование лечения. Просмотр моделей в режиме виртуальной реальности повышает иммерсивность и 3D-восприятие патологий, улучшая пространственную ориентацию и оценку хирургического риска.

Традиционные методы КТ и МРТ являются рутинными исследованиями, применяемыми в нейрохирургии. КТ позволяет отображать структуру костей основания черепа, а стандартная МРТ позволяет визуализиро-

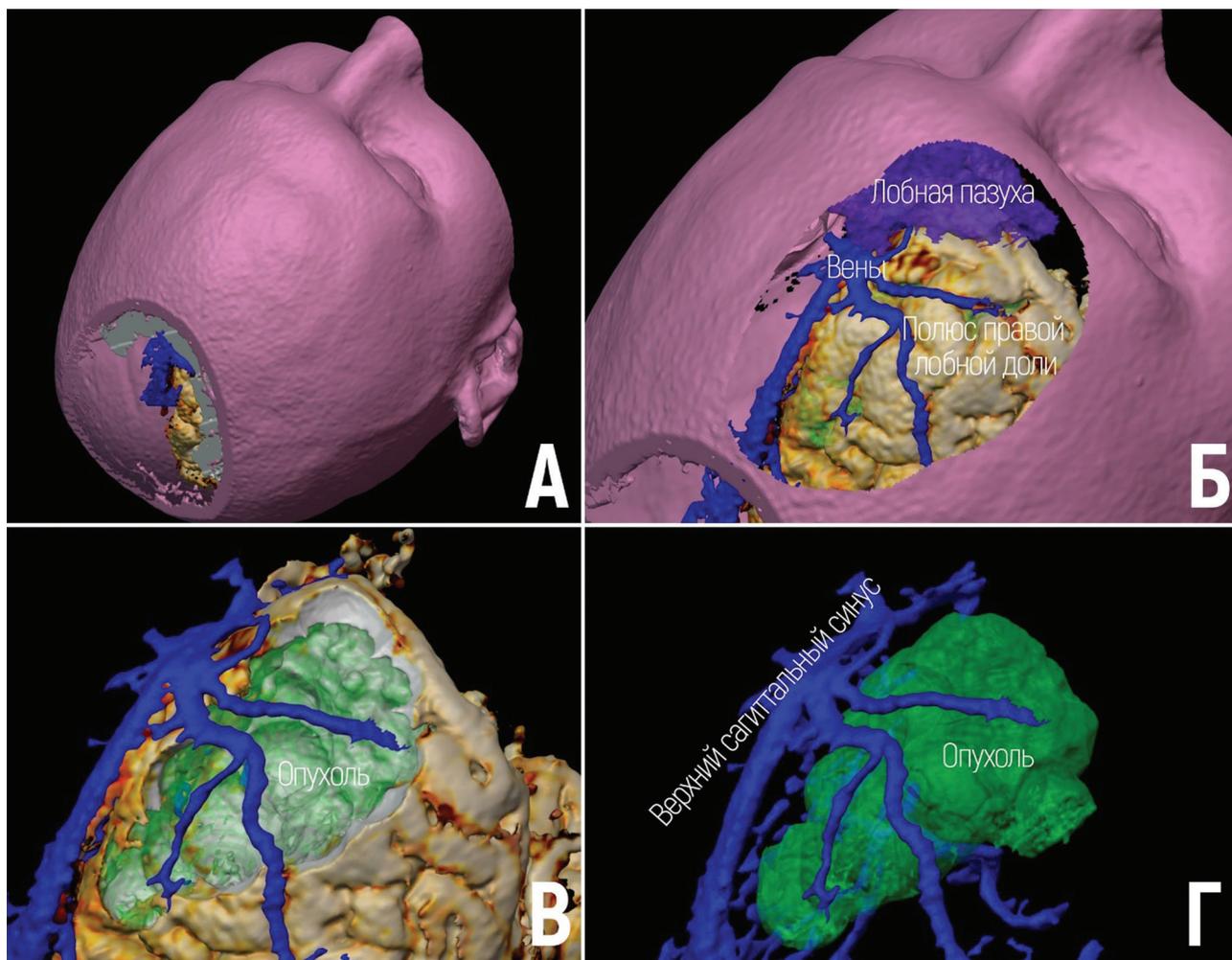


Рис. 5. Пациент с диффузной опухолью правой лобной доли. А, Б — 3D-модель обеспечила четкую визуализацию опухоли и прилегающих венозных сосудов, позволяя оценить трехмерную, объемную анатомию патологического образования. Взаимоотношение с основными ориентирами и структурами. В, Г — 3D-модель опухоли с сосудами, опухоль зеленого цвета полупрозрачная. В виртуальной реальности возможно убирать сегментированные части модели и визуализировать только зону интереса. Это позволяет определять допустимые границы резекции опухоли. В результате операция прошла успешно, и пациент сохранил неврологические функции без признаков рецидива

вать ткань мозга, желудочки и другие структуры; кроме того, после контрастного усиления стандартная МРТ выявляет опухоли и некоторые нервные ткани и сосуды. Также КТ-ангиография или МР-ангиография визуализируют сосуды головного мозга. Указанные типы методов визуализации имеют свои собственные уникальные характеристики, преимущества и сферы применения. Визуализация также представляет собой основной подход к обучению нейрохирургии [8]. Однако воспринимать сложную 3D-анатомию черепа и мозга с помощью простого двухмерного изображения затруднительно [7]. Эфтехар (Eftekhar, 2017) продемонстрировал опыт планирования хирургического лечения у пациентов с церебральными аневризмами, используя технологии виртуальной реальности [2]. Бернард (Bernard) с соавт. (2019) разработал и внедрил виртуальные видеуроки в программу нейрохирургической резидентуры во Франции [1]. Вирту-

альная реальность использует технологию синтеза DICOM-изображений разных исследований на основе сегментации и 3D-моделирования.

Виртуальное воспроизведение цифровых данных обеспечивает реконструкцию реальных случаев, позволяя манипулировать 3D-объектами и изучать их с различных ракурсов и плоскостей. Анатомическая морфология может быть изучена посредством последовательного удаления слоев, а пространственные взаимоотношения исследуются в различных плоскостях.

Технология VR не только вызывает интерес у практикующих нейрохирургов, но и облегчает процесс обучения студентов, ординаторов. По данным многих исследований VR-метод улучшает усвоение материала [11]. Де Фариа (de Faria) с соавт. (2015) использовал виртуальную технику изображения анатомии мозга

для обучения и подтвердил эффективность этого метода [3]. Гонсалес-Ромо (Gonzalez-Romo) с соавт. (2023) также описал опыт применения VR-библиотеки нейроанатомии для обучения [5]. Поскольку технология виртуальной реальности обладает характеристиками погружения, взаимодействия и воображения, ее применение возможно в экспериментальном обучении.

3D-модели в VR позволяют детально изучить индивидуальную анатомию каждого пациента под разными углами во всевозможных плоскостях. В сравнении с просмотром снимков на экране монитора данные технологии дают следующие преимущества:

- 1) улучшение понимания индивидуальной 3D-анатомии и патологии;
- 2) повышение точности диагностики и качества визуализации;
- 3) облегчение планирования хирургических вмешательств;
- 4) повышение эффективности обучения.

В целом виртуальная библиотека нейрохирургических 3D-моделей представляет собой ценный инструмент для улучшения визуализации, планирования лечения и обучения в области нейрохирургии, однако требует определенных навыков работы в области 3D-моделирования и сегментации.

Заключение

Использование виртуальной библиотеки нейрохирургических 3D-моделей позволяет изучать индивидуальную 3D-анатомию пациентов с нейрохирургической патологией. VR- библиотека является современным инструментом обучения, визуализации нейрорентгенологических данных и планирования операций, что в дальнейшем может улучшить качество нейрохирургической помощи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bernard F., Gallet C., Fournier H. D. et al. Toward the development of 3-dimensional virtual reality video tutorials in the French neurosurgical residency program. Example of the combined petrosal approach in the French College of Neurosurgery // *Neurochirurgie*. 2019, Aug., no. 65 (4). P. 152–157.
2. Eftekhar B. Smartphone as a Remote Touchpad to Facilitate Visualization of 3D Cerebral Angiograms during Aneurysm Surgery // *J. Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*. 2017, 1 Sept., no. 78 (5). P. 502–506.
3. de Faria J. W., Teixeira M. J., de Moura Sousa Júnior L. et al. Virtual and stereoscopic anatomy: when virtual reality meets medical education // *J. Neurosurg*. 2016 Nov., no. 125 (5). P. 1105–1111.
4. Feinmesser G., Yogev D., Goldberg T. et al. Virtual reality-based training and pre-operative planning for head and neck sentinel lymph node biopsy // *Am J. Otolaryngol*. 2023, Nov-Dec., no. 44 (6): 103976.
5. Gonzalez-Romo N. I., Mignucci-Jiménez G., Hanalioglu S. et al. Virtual neurosurgery anatomy laboratory: A collaborative and remote education experience in the metaverse // *Surg Neurol Int*. 2023 March., no. 17; P. 14–90.
6. Jean W. C. Virtual and Augmented Reality in Neurosurgery: The Evolution of its Application and Study Designs // *World Neurosurg*. 2022, May, no. 161. P. 459–464.
7. Johnson A. M. The speed of mental rotation as a function of problem-solving strategies // *Percept Mot Skills*. 1990 Dec., no. 71 (3, Part 1). P. 803–806.
8. Mason W. T., Strike P. W. See one, do one, teach one-is this still how it works? A comparison of the medical and nursing professions in the teaching of practical procedures // *Med. Teach*. 2003, Nov., no. 25 (6). P. 664–666.
9. Okishev D. N., Abramyana A. A., Kononov A. N. et al. Brain structure segmentation and 3D printed individual craniometric rulers for cortex brain lesions // *Annals of 3D Printed Medicine*. 2022, Oct., no. 1 (8).
10. Ruparelia J., Manjunath N., Nachiappan D. S. et al. Virtual Reality in Preoperative Planning of Complex Cranial Surgery // *World Neurosurg*. 2023, Dec., no.180: P. e11–e18.
11. Shao X., Yuan Q., Qian D. et al. Virtual reality technology for teaching neurosurgery of skull base tumor // *BMC Med Educ* 2020, Jan 3., no. 20 (1). P. 3.