

DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_130

С.Ю. Иванов^{1,2},

член-корр. РАН, д.м.н., профессор, зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии; зав. кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

Д.Ю. Милюкова¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

А.Д. Свириденко¹,

к.м.н., ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии

А.А. Мураев²,

д.м.н., профессор кафедры челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии

А.М. Гусаров¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

Л.Л. Бороздкин¹,

к.м.н., доцент кафедры челюстно-лицевой хирургии

А.М. Кузнецов¹,

ассистент кафедры челюстно-лицевой хирургии

И.А. Седов¹,

клинический ординатор кафедры челюстно-лицевой хирургии

¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, 119991, Москва, Россия² РУДН, 117198, Москва, Россия

Функциональный анализ программного 3D-обеспечения, применяемого в челюстно-лицевой хирургии

Аннотация. Цель работы — анализ доступного в РФ программного обеспечения для планирования операций в челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, оценка возможностей и перспектив отечественных программ в условиях международных санкций.

Материалы и методы. В исследовании проведен анализ функциональных возможностей программ для планирования операций на основе отечественных и зарубежных продуктов. Рассмотрены такие системы, как Materialise, Dolphin, 3D Systems, Brainlab, Planmeca, а также российские разработки Avantis3D, Эндопринт, Bonabyte, Medgital Vision и Autoplan. Выполнена сравнительная характеристика их функционала, преимуществ и ограничений. Оценивалась возможность замещения зарубежных программ отечественными аналогами в условиях санкций. **Результаты.** Исследование показало, что российские программы Avantis3D, Эндопринт и Bonabyte обладают функциональными возможностями, сопоставимыми с зарубежными аналогами, что делает их полноценной альтернативой для использования в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии. Тем не менее, для полноценной работы необходимо создать программу, включающую все аспекты хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии и состоящей из трех модулей: 1) имплантология и стоматология; 2) ортогнатическая хирургия; 3) реконструктивно-пластика хирургия. **Заключение.** Российские разработки могут полноценно заменить зарубежные программы в большинстве клинических случаев, что особенно актуально в условиях санкций. Необходимы дальнейшие исследования и доработки в области биопечати и роботизации.

Ключевые слова: челюстно-лицевая хирургия, хирургическая стоматология, 3D-моделирование, навигация, программное обеспечение, 3D-печать

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Иванов С.Ю., Милюкова Д.Ю., Свириденко А.Д., Мураев А.А., Гусаров А.М., Бороздкин Л.Л., Кузнецов А.М., Седов И.А. Функциональный анализ программного 3D-обеспечения, применяемого в челюстно-лицевой хирургии. — Клиническая стоматология. — 2025; 28 (1): 130—142. DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_130

Functional analysis 3D software used in maxillofacial surgery

Annotation. The purpose of the work is to analyze the available software for planning operations in maxillofacial surgery and surgical dentistry, with an assessment of the capabilities and prospects of domestic programs in the conditions of international sanctions. **Materials and methods.** The study analyzed the functionality of programs for planning operations based on domestic and foreign software products. Systems such as Materialize, Dolphin, 3D Systems, Brainlab, Planmeca, as well as Russian developments Avantis3D, Endoprint, Bonabyte, Medgital Vision and Autoplan were considered. A comparative description of their functionality, advantages and limitations has been made. The possibility of replacing foreign programs with domestic analogues under sanctions was assessed. **Results.** The study showed that the Russian programs Avantis3D, Endoprint and Bonabyte have functionality comparable to their foreign counterparts, which makes them a full-fledged alternative for use in maxillofacial surgery and dentistry. However, bioprinting remains one of the areas where domestic developments are still lagging behind. **Conclusion.** Russian developments can fully replace foreign programs in most clinical cases, which is especially important under sanctions. Further research and development is needed in the field of bioprinting and robotics.

Key words: maxillofacial surgery, dental surgery, 3D modeling, navigation, software, 3D printing

S.Yu. Ivanov^{1,2},

Russian Academy of Science corresponding member, Doctor of Science in Medicine, full professor of the Maxillofacial surgery Department; full professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

D.Yu. Milyukova¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

A.D. Sviridenko¹,

PhD in Medical Sciences, assistant professor of the Maxillofacial surgery Department

A.A. Muraev²,

Doctor of Science in Medicine, professor of the Maxillofacial surgery and surgical dentistry Department

A.M. Gusalov¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

L.L. Borozdkin¹,

PhD in Medical Sciences, associate professor of the Maxillofacial surgery Department

A.M. Kuznetsov¹,assistant at the Maxillofacial surgery
Department**I.A. Sedov¹,**clinical resident of the Maxillofacial surgery
Department**FOR CITATION:**

Ivanov S.Yu., Milyukova D.Yu., Sviridenko A.D., Muraev A.A., Gusarov A.M., Borozdkin L.L., Kuznetsov A.M., Sedov I.A. Functional analysis 3D software used in maxillofacial surgery. *Clinical Dentistry (Russia)*. 2025; 28 (1): 130—142 (In Russian). DOI: 10.37988/1811-153X_2025_1_130

¹ Sechenov University,
119991, Moscow, Russia² RUDN University,
117198, Moscow, Russia**ВВЕДЕНИЕ**

Современный мир быстро и необратимо меняется за счет появления и распространения компьютерных технологий. Они проникают во все аспекты современного общества: в политику, оборону, развлечения, образование. Большинство процессов даже на бытовом уровне уже невозможны без использования компьютерных технологий, поскольку качество жизни человека, не сумевшего адаптироваться к современным реалиям, резко снижается. Так же и врач, не использующий современные компьютерные технологии на этапе диагностики и в процессе лечения пациентов, резко снижает их качество, подвергая пациента дополнительным рискам, что противоречит философии медицины и самой сути лечения. Сейчас на рынке представлено большое количество компьютерных программ с широким спектром инструментария. Иногда врачу-клиницисту достаточно сложно сориентироваться и выбрать подходящее компьютерное обеспечение, полностью отвечающее его запросам. В этой статье мы рассмотрим самые популярные программы, используемые сейчас в челюстно-лицевой хирургии, проведем их сравнительный анализ, представив ограничения и недостатки каждой, выделим их сильные стороны, рассмотрим перспективы развития компьютерных 3D-технологий, применяемых в данной сфере.

Именно челюстно-лицевая хирургия занимает первое место по степени важности использования предоперационного планирования — это связано с особенностями строения и многофункциональностью лица человека. В связи с трехмерной конфигурацией проектируемой конструкции и критической важностью восстановления таких функций, как речь, глотание, жевание, а также для сохранения эстетической функции лица человека челюстно-лицевая реконструкция представляет собой многогранную проблему. До недавнего времени результаты лечения пациентов были противоречивы и зависели от мануальных навыков конкретного хирурга, нарабатывались путем проб и ошибок. Виртуальное хирургическое планирование и компьютерное 3D-проектирование — это технологии, которые дают преимущества в комплексной черепно-челюстно-лицевой реконструкции, меняют подход и скорость выполнения сложных реконструкций головы и шеи. Среди заявленных преимуществ — повышенная реконструктивная точность, сокращение времени операции и простота использования.

Ранние методы планирования в реконструктивной челюстно-лицевой хирургии были основаны на эмпирическом опыте хирургов и включали использование гипсовых слепков, рисунков и физических моделей для визуализации предполагаемого хирургического результата. Например, в начале XX века хирурги использовали гипсовые маски для предоперационного моделирования реконструкции лица. В 1970-х годах началось использование двухмерной рентгенографии для более точного предоперационного планирования. Это позволило хирургам лучше оценивать анатомические особенности и планировать хирургические вмешательства. Значительный прорыв произошел в 1980-х годах с внедрением компьютерной томографии (КТ) и трехмерного моделирования. Использование 3D-моделей на основе данных КТ позволяет более точно планировать реконструктивные вмешательства с учетом индивидуальной анатомии пациента. В 1990—2000-х годах методы визуализации продолжали развиваться с появлением магнитно-резонансной томографии (МРТ), ультразвукового сканирования и других передовых технологий. В последние годы все большее распространение получают методы виртуального хирургического планирования с использованием специализированного программного обеспечения. Данный подход позволяет хирургам тщательно смоделировать операцию, отработать различные варианты и выбрать оптимальный план вмешательства. Планирование хирургических операций и моделирование имплантатов с помощью специализированного программного обеспечения стало важным инструментом в современной медицинской практике. Эти программы позволяют хирургам переносить 3D-объекты непосредственно на конкретного пациента посредством интегрированной реальности. На рынке представлено множество программ для планирования операций, каждая обладает уникальными возможностями и ориентирована на определенные клинические области. В данной статье проводится сравнительный анализ зарубежных и российских компаний.

Современные технологии, такие как трехмерное моделирование и навигация, становятся неотъемлемой частью челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии. С помощью этих технологий хирурги могут точно планировать операции, прогнозировать результаты и минимизировать риски. Однако в связи с ограничением доступа к зарубежным программным продуктам многие российские клиники столкнулись с необходимостью поиска альтернативных решений.

Цель исследования — анализ программных решений для планирования хирургических вмешательств в области челюстно-лицевой хирургии, оценка возможностей отечественных программ как альтернативы зарубежным продуктам в условиях санкций.

В ходе исследования проведен сравнительный анализ следующих программных продуктов.

Зарубежные программы:

- 1) Materialise — лидер в области 3D-моделирования для планирования сложных операций;
- 2) Dolphin — специализируется на ортогнатической хирургии и ортодонтии;
- 3) 3D Systems — предлагает решения для 3D-печати и биопринтинга;
- 4) Brainlab — система нейронавигации с возможностями интегрированной реальности;
- 5) Planmeca — ориентирована на комплексное ортогнатическое и ортодонтическое лечение.

Отечественные программы:

- 6) Avantis3D — программа для ортогнатической хирургии и имплантологии;
- 7) Эндопринт и Bonabyte — отечественные системы для планирования и 3D-печати хирургических шаблонов и пластин;
- 8) Medgital Vision — навигационная система дополненной реальности;
- 9) Autoplan — система интраоперационной навигации с роботизированными решениями.

Исследование проводилось на основе анализа документации производителей, публикаций, а также опыта применения данных программ в клинической практике. Особое внимание уделялось функциональным возможностям, ограничениям, простоте использования и наличию поддержки в условиях санкций.

ЗАРУБЕЖНЫЕ

1. Materialise

Materialise — бельгийская компания специализируется на 3D-планировании и 3D-печати в таких областях, как машиностроение, космическое оборудование, архитектура и дизайн 3D-проектов. Компания представляет программное обеспечение, применяемое в различных областях медицины, в том числе в челюстно-лицевой хирургии. Она способна преобразовывать файлы типа DICOM в анатомические 3D-модели в общепринятых форматах, импортирует изображения КТ и МРТ, автоматически сегментирует данные, измеряет геометрические параметры модели, выполняет виртуальное планирование операций непосредственно на анатомических моделях с последующим изготовлением индивидуальных имплантатов, пластин, протезов и хирургических шаблонов.

Функциональные возможности:

- Сегментация и обработка медицинских изображений. Позволяет выделять, классифицировать и реконструировать различные анатомические структуры, обеспечивая высокую точность 3D-моделей за счет обширного набора инструментов для сегментации и 3D-моделирования анатомических

структур на основе медицинских изображений (КТ, МРТ, ПЭТ).

- Виртуальное хирургическое планирование. Хирурги могут использовать 3D-модели для планирования операций, моделируя различные варианты вмешательств и оценивая их потенциальные результаты.
- Создание индивидуальных имплантатов и хирургических инструментов. Программа позволяет разрабатывать и производить персонализированные модели, имплантаты, шаблоны, пластины и другие хирургические приспособления с помощью аддитивных технологий и с учетом анатомии пациента.
- Интеграция с системами интраоперационной навигации. Данные из Materialise могут быть интегрированы с системами навигации, позволяя хирургам точно ориентироваться во время операции.
- Большая библиотека стандартных имплантатов от различных производителей.

Основные модули:

- Orthognathic surgery. Модуль по ортогнатической хирургии, который включает программное обеспечение для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов, сплинтов, имплантатов и пластин. При отсутствии необходимости изготовления индивидуальных пластин предоставляет стандартизованные S-образные пластины, специально разработанные в компании для ортогнатической хирургии.
- Reconstructive surgery. Модуль по реконструктивной хирургии для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов для забора и позиционирования трансплататов и пластин.
- TMJ Total Arthroplasty System. Модуль по реконструкции височно-нижнечелюстного сустава, который включает специальное программное обеспечение для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных хирургических шаблонов и непосредственно эндопротеза.
- Trauma surgery. Модуль по травматологии челюстно-лицевой области, который включает специальное программное обеспечение для планирование операций с последующим изготовлением индивидуальных пластин и эндопротезов

Многочисленные исследования показали эффективность использования Materialise в различных областях реконструктивной хирургии, включая восстановление лица, груди, конечностей. Данная программа является одним из ведущих программных решений для виртуального планирования, предоставляя хирургам широкий спектр инструментов для точного предоперационного моделирования и изготовления индивидуальных конструкций. Как и любое другое программное обеспечение, у нее есть свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

- Широкий спектр клинических приложений: ортогнатическая хирургия, травматология челюстно-лицевой области, реконструктивная хирургия.
- Интеграция с системами навигации для интраоперационного наведения.

- Большая научная база — более 20000 научных публикаций.

- Большой штаб высококвалифицированных биоинженеров, способных спланировать операцию любой степени сложности

Ограничения:

- Высокая стоимость лицензий и обновлений.
- Требуется мощное оборудование для работы с большими объемами данных.
- Сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие, невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.

2. Dolphin

Dolphin — американская компания, специализирующаяся на планировании ортогнатических операций, позволяет подготовить план ортодонтического и ортопедического лечения на этапе предоперационной подготовки. Программа обеспечивает удобную работу с фотографиями и рентгенограммами пациентов для понятной визуализации как клинической ситуации на этапах планирования, так и непосредственно результатов лечения.

Основные модули:

- ImagingPlus. Позволяет автоматически синхронизировать загруженные фотографии, соединять их с рентгенограммами, а также моделировать внешний вид пациента в зависимости от наличия брекетов, выравненных зубов или их отбеливания.
- Scep Traicing. На основании загруженных ТРГ или рентгеновских снимков, а также за счет переработки данных КЛКТ в 2D-рентгенограммы самостоятельно проводит расстановку краиноцефальных точек и цефалометрический анализ.
- Treatment Simulation. Позволяет спланировать и презентовать пациенту предполагаемый внешний вид в латеральной проекции.
- Letter sistem. Автоматически создает шаблоны по пациентам, в которых отражен весь фотопротокол лечения. Возможное индивидуальное редактирование формата шаблона.
- Implanner. Планирование расположения стоматологических имплантатов на рентгенограммах.
- Integration. Автоматическая передача всех изображений и рентгенограмм в базу данных Dolphin.
- 3D. Формирование 3D-моделей, перенос 2D-фотографий в 3D-формат, выделение 3D-объектов (воздухоносных путей, сосудов и нервов).
- 3D-surgery. Возможность виртуального проведения ортогнатических операций и остеотомии, интеграция 3D-сканов моделей.
- 3D digital Study Models. Загрузка в программу 3D-сканов моделей с возможностью проведения 3D-измерений для последующего планирования операций.
- Aquarium. Программа, содержащая как обучающие материалы, так и материалы для более доступной визуализации предстоящего лечения пациента.
- Cloud. Обеспечивает полное системное поддержание, обновление и синхронизацию программ, дистанционный доступ необходимой информации по пациентам.

- Mobile. Возможность доступа к системе хранения и программам через мобильное приложение.

- Функциональные возможности программы Dolphin:

- Работа с фотографиями: импорт, калибровка, изменение канта при улыбке пациента.

- Обработка КТ головы, выделение боковой, фронтальной ТРГ, получение срезов ВНЧС.

- 2D-цефалометрия лицевого скелета.

- Интерпретация полученных цефалометрических данных.

- 2D-симуляция хирургической операции.

- Сопоставление КТ, цифровых аналогов (данных сканирования) зубов, 3D-фотографий лица.

- Постановка цефалометрических точек на 3D-изображении.

- Ориентация виртуальной модели черепа.

- Моделирование виртуальных распилов.

- Перемещение сегментов челюстей, анализ измерений.

- Моделирование хирургических шаблонов.

- Подготовка файлов хирургических шаблонов к 3D-печати.

Преимущества:

- возможность проведения цефалометрического анализа;
- облачные решения и мобильные приложения для удаленного доступа и совместной работы;
- удобство работы с документацией, создание базы данных по пациентом, автоматическая синхронизация;
- обширная библиотека обучающих материалов и поддержка сообщества пользователей;
- более 20000 научных публикаций, построенных вокруг использования программы.

Ограничения:

- введение санкций против российских пользователей — открытие сайта только с VPN;
- высокая стоимость лицензий и обновлений;
- требуется мощное оборудование для работы с большими объемами данных;
- сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие, невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.
- ограниченный спектр использования — специализация на планировании ортогнатических операций.

3. 3D Systems

3D Systems — американская компания, специализирующаяся на 3D-печати персонализированных имплантатов, шаблонов и других медицинских изделий. Одно из ключевых преимуществ программ 3D Systems — возможность биопринтинга.

Основные модули программы 3D Systems:

- VSP Orthognathics. Обеспечивает возможность планирования ортогнатических операций. Первый шаг — интерактивная веб-встреча между хирургом и инженером, на которой они моделируют операцию, включая расположение линий остеотомии и передвижение костных фрагментов. В результате создается промежуточная и окончательная шина, обеспечивающая клинический перенос цифрового плана в хирургию.

- VSP Reconstruction. Наиболее широко используется для реконструкции нижней или верхней челюсти с использованием свободного лоскута малоберцовой кости и других вакуляризированных трансплантатов, при травмах, врожденных дефектах или опухолях лицевого скелета.
- VSP Distraction. Предназначен для планирования дистракционного остеогенеза. Включает проектирование размещения остеотомий, планирование векторов дистракторов и создание шаблонов для их позиционирования и проведения линий остеотомии.
- VSP Trauma. Используется в челюстно-лицевой травматологии. С его помощью можно изготовить индивидуальные шаблоны для остеотомии, индивидуальные пластины и шаблоны для правильно позиционирования прикуса. Возможна печать DICOM-файлов на основе хирургического плана для последующего использования в интраоперационных навигационных системах.
- Jaw in a Day. Позволяет немедленно установить временный зубной протез при одноэтапной операции по реконструкции челюсти с использованием свободных тканей. Планирование операции, а также проектирование шаблонов и протезов выполняется с использованием самых современных технологий CAD/CAM, что позволяет пациенту после одной операции полностью восстановить челюсть, включая стоматологическую реабилитацию.
- 3D Bioprinting. Позволяет создавать живые ткани, данная технология биопечати открывает перспективы и потенциал для разработки новых методов лечения и улучшения жизни пациентов.
- Simbionix ANGIO Mentor для виртуального хирургического моделирования позволяет хирургам отрабатывать различные сценарии вмешательств и оценивать их потенциальные возможности, а затем проводить операции на распечатанных 3D-моделях для тренировки перед основным вмешательством. Функциональные возможности:
 - инструменты для сегментации, 3D-моделирования и планирования операций;
 - проектирование индивидуальных имплантатов;
 - интеграция с системами навигации и робототехникой для хирургии;
 - поддержка 3D-печати спроектированных моделей и имплантатов.
 Преимущества:
 - есть возможность биопринтеринга;
 - интуитивно понятный интерфейс и простота использования;
 - тесная интеграция с аппаратными решениями 3D Systems для 3D-печати;
 - широкий спектр клинических приложений, включая ортопедию, стоматологию.
 Ограничения:
 - меньшая функциональность для планирования сложных операций по сравнению Materialise;
 - ограниченная библиотека стандартных имплантатов;
 - отсутствие облачных решений и ограниченная интеграция с системами навигации других производителей.

4. Brainlab

Brainlab — немецкая компания, занимающаяся медицинскими технологиями, со штаб-квартирой в Мюнхене (Бавария). Brainlab разрабатывает программное и аппаратное обеспечение для лучевой терапии и радиохирургии, а также оно применимо в таких хирургических областях, как нейрохирургия, ЛОР и челюстно-лицевая хирургия, хирургия позвоночника и травматические вмешательства. Данная компания производит уникальное оборудование для операционных, которое включает в себя все возможности интегрированной реальности.

Основные модули программы Brainlab:

- Buzz. Модуль нового поколения для работы в операционной. Он представляет собой централизованный сетевой информационный узел, подкрепленный оборудованием, который позволяет выводить, отображать, обрабатывать, передавать в потоковом режиме, записывать и дополнять медицинские изображения, программное содержимое и видеоконтент. Система Buzz имеет открытую архитектуру, удобный сенсорный интерфейс и не занимает места в помещении, благодаря чему подходит для любой операционной.
- Buzz Virtual. Данный модуль может быть установлен в любом месте, он позволяет накладывать дополнительные данные о пациентах на видеопоток в реальном времени, одновременно предоставляя необходимую документацию, обеспечивает оборудование интерактивный поддержкой.
- Kick. Модуль компактного портативного оборудования с многофункциональной навигационной системой, дополняющей линейку платформ для хирургии. Он позволяет быстро переключаться между приложениями и перемещаться между операционными, а также имеет передвижную камеру.
- Curve Navigation. Самая мощная и универсальная платформа для хирургии под визуализационным контролем, которая обеспечивает не просто навигацию, но и мобильный доступ ко всем возможностям цифровой хирургии. С помощью легкой тележки с очень большим 4K-дисплеем можно планировать, просматривать, документировать и транслировать операцию из любой точки операционной.
- Loop-X. Передвижная роботизированная система визуализации 2- и 3-мерных изображений. Loop-X позволяет делать рентгеновские снимки на месте проведения операции и устанавливать точную область сканирования, что значительно снижает дозу облучения пациента и медицинского персонала.
- Mixed reality. С помощью очков воссоздается гибридная реальность, которая позволяет взаимодействовать с реальным пациентом за счет возможности видеть перед собой изображения из программного обеспечения. Кроме того, данный модуль открывает новые способы сотрудничества с коллегами на любом расстоянии, не выходя из кабинета. Есть возможность обходить вокруг виртуальных структур и перемещать данные как реальные объекты.
- CMF Planning предназначен для планирования в челюстно-лицевой хирургии, он автоматизирует

этапы выравнивания, сегментации, конструирования, создания объемов, отзеркаливания структур. Это позволяет выполнять планирование быстро и интуитивно, независимо от сложности случая. Данный модуль удобно использовать в травматологии и реконструктивной хирургии (отзеркаливание здоровых и пораженных структур), создании STL-файлов на основании отзеркаленных структур при удалении образований за счет создания 3D-объемов.

Функциональные возможности:

- собственное разработанное оборудование и программное обеспечение для операционной;
- специализированное программное обеспечение для нейрохирургии, ортопедии и других областей медицины;
- точное планирование операций с использованием систем навигации Brainlab;
- обширная библиотека имплантатов и инструментов для их проектирования;
- интеграция с системами визуализации и интраоперационного картирования.

Преимущества:

- **высокая точность переноса виртуального плана благодаря навигации и тесной интеграции с оборудованием Brainlab;**
- **специализированные решения для конкретных клинических областей;**
- **интегрированная реальность.**

Ограничения:

- **ориентировано преимущественно на решения Brainlab, ограниченная интеграция с оборудованием других производителей.**

5. Planmeca

Planmeca — головная компания Planmeca Group, специализирующаяся на разработке и производстве высокотехнологичного стоматологического оборудования. Ассортимент продукции компании включает цифровые стоматологические установки, CAD/CAM-системы, системы двух- и трехмерной визуализации, а также комплексные программные решения. Эта компания первая в мире реализовала и продвинула на рынок концепции цифровой стоматологии, обеспечивающие эффективное и эргономичное управление информационными потоками. Компания Planmeca была основана в 1971 г. и на сегодняшний день является крупнейшей частной компанией в стоматологической отрасли.

Основные модули программы Planmeca:

- 2D. Данный модуль включает предварительную обработку рентгеновских снимков, поддерживает процессы интраоральной визуализации — от изображений прикуса до шаблонов полной внутритротовой серии изображений, а также подходит для хранения информации о пациентах.
- Сephalometric Analysis автоматически размещает точки и очертания мягких тканей на цефалометрическом изображении, позволяет имитировать хирургическое и ортодонтическое лечение, создавая цефалометрическую визуализацию цели лечения (VTO) со снимком прогнозируемого результата.

• Smile Design предназначен для проектирование новой улыбки. С помощью двухмерной фотографии лица и автоматически определяемых контуров зубов он дает возможность изменять положения, форму и размеры каждого зуба индивидуально, позволяя достичь оптимального вида и подгонки.

• Planmeca Romexis позволяет управлять снимками КЛКТ, моделями поверхностей, трехмерными фотографиями и даже записями движения челюсти в 4D в одном интерфейсе. Модуль оптимально подходит для упрощенного и быстрого просмотра изображений и предоставляет инструменты, необходимые для расширенных планов лечения и анализа.

• Romexis 3D implantology имеет два подмодуля, специально предназначенные для имплантологии: один — для виртуального планирования имплантатов, а другой — для моделирования хирургических шаблонов. В комплект программного обеспечения Romexis входит библиотека имплантатов с реалистичными моделями имплантатов более чем 100 производителей.

• Romexis CMF Surger предназначен для виртуально подготовки виртуальных планов ортогнатического хирургического лечения. Он предоставляет хирургам средства для оценки и создания промежуточных и окончательных шин на базе целевой окклюзии и положения челюсти.

• PlanCAD Easy предназначен для автоматизированного моделирования различных зубных протезов — от одиночной коронки до полного мостовидного протеза.

• PlanCAD Premium позволяет моделировать коронки и мости (колпачки, в том числе анатомические, монолитные реставрации, каркасы), вкладки, накладки, виниры, восковые модели, телескопические коронки, абатменты с винтовой и цементной фиксацией, балки и мости с опорой на имплантат, ночные окклюзионные капы и модели для 3D-печати.

• Romexis CAD/CAM позволяет добавлять неограниченное количество типов сканирования, подходящих для различных пациентов и показаний. Например, можно сканировать разные прикусы при лечении сложных случаев или добавлять изображения скан-боди для целей имплантации.

• Romexis Ortho Simulator подходит для всех наиболее распространенных ортодонтических показаний: позволяет создавать симуляции результатов лечения в течение нескольких минут после сканирования с помощью интраорального сканера Planmeca Emerald S. Результатами симуляции являются не конкретный план лечения, а реалистично выглядящий зубной ряд и улыбка, которые можно использовать в качестве основы для обсуждения плана лечения с пациентом.

Функциональные возможности:

- работа с 3D-фотографиями пациента;
- обработка КТ головы, выделение боковой, фронтальной ТРГ, получение срезов ВНЧС;
- 2D-цефалометрия лицевого скелета;
- 2D- и 3D-симуляция хирургической операции;

- сопоставление КТ, цифровых аналогов (данных сканирования) зубов, 3D-фотографий лица;
- широкий спектр возможностей внутриротового сканирования;
- CAD/CAM-печать.

Преимущества:

- **собственное качественное рентгенологическое оборудование;**
- **возможность проведения цефалометрического анализа;**
- **3D-симуляция конечного результата оперативного вмешательства и прогнозирование ортогнатического лечения (улыбка).**

Ограничения:

- **высокая стоимость лицензий и обновлений;**
- требуется мощное оборудование для работы с большими объемами данных;
- **сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.**

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ

Авантис3Д

Авантис3Д — отечественная компьютерная программа, разработанная на базе ЦНИИС. Программа направлена на минимизацию ручного труда и перевод большего количества повседневных манипуляций в автоматический режим с помощью компьютерных технологий. Программа состоит из нескольких модулей, включающих все разделы стоматологии. Она позволяет импортировать данные КТ, 3D-сканы и фото пациента, совмещать их и виртуально планировать лечение. Такое «обратное» планирование гарантирует высокое качество диагностики и лечения. Пациент может увидеть конечный результат еще до начала лечения. Виртуальный дизайн протезов, имплантов, элайнера и других лечебных аппаратов, их цифровое производство (3D-прототипирование, CAD/CAM) гарантирует высокую точность лечения.

Основные модули программы Авантис3Д:

- «Виртуальный пациент» включает возможность построения виртуального двойника пациента на основе данных КТ, сканов зубных рядов, лица (или фотографий).
- «Диагностика» включает анализ исходных данных, требуемых для планирования лечения и оценки его результатов, а также цифровой анализ моделей, ТРГ, КТ.
- «Гнатостудия» включает определение центрального взаимоотношения челюстей, расположения ВНЧС сустава, мануальную коррекцию положения шарнирной оси, проектирование сливов.
- «Ортогнатика» включает в себя виртуальное проведение ортогнатических операций.
- «Ортодизайн» включает планирование выравнивания зубов с визуализацией и контролем движения корней.
- «Имплант-мастер» включает в себя виртуальное планирование положения имплантатов и мини-винтов.
- «Дентал Лаб» включает проектирование несъемных протезов.

Функциональные возможности:

- работа с 3D-сканами пациента;
- обработка КТ головы, выделение боковой, фронтальной ТРГ, получение срезов ВНЧС;
- 2D-цефалометрия лицевого скелета;
- 3D-симуляция хирургической операции и улыбки пациента;
- сопоставление КТ, цифровых аналогов (данных сканирования) зубов, 3D-фотографий лица;
- широкий спектр возможностей внутриротового сканирования.

Преимущества:

- **удобство в использовании, при возникновении вопросов и сложностей в работе программы или планировании пациента общение происходит на русском языке, что облегчает и ускоряет достижение результата, легкая доступность обновлений, отсутствие санкций и необходимости использования VPN;**
- **3D-симуляция конечного результата оперативного вмешательства и прогнозирование ортогнатического лечения (улыбка).**

Ограничения:

- **отсутствие полноценного модуля по травматологии;**
- **сложный интерфейс, требующий дополнительного обучения, как следствие, невозможность проведения самостоятельного планирования операций для врача.**

Bonabyte

BonaByte — молодая компания, базирующаяся в Российской Федерации. Она специализируется на разработке программного обеспечения для визуализации и планирования в области реконструктивной хирургии.

Основные модули программы Bonabyte

- BonaPlanner 3D создан специально для удобства работы врача, интуитивно понятен, направлен на комфортное и быстрое взаимодействие инженера-планировщика и оперирующего хирурга. Содержит все необходимые инструменты для планирования различных типов операций (перемещение, вращение, измерения, виртуальная остеотомия). Важный плюс — можно провести постоперационное совмещение для оценки результатов операции и сравнения их с планированием.
- ВНЧС. Изготовление индивидуальных имплантов ВНЧС в соответствии с потребностями пациента, а также изготовление суставных ямок из полированного титана, высокомолекулярного полиэтилена или PEEK. Фиксация рассчитывается на этапе предоперационного планирования исходя из состояния кости, удобности доступа и безопасности нижнечелюстного нерва и полостей черепа. Персонифицированность подхода позволяет совмещать данный тип операции с ремоделированием костей и ортогнатическими коррекциями.
- Ортогнатия. Хирургические шаблоны обеспечивают высочайшую точность проведения операции, а анатомичность формы индивидуальных пластин позволяет достичь оптимального прилегания. Фиксирующие сплинты помогают добиться

запланированного взаимного расположения верхней и нижней челюсти исходя из желаемого прикуса.

- Травматология и восстановление дефектов. Индивидуальные компоненты для фиксации/аугментации/замещения фрагментов лица из различных биосовместимых материалов обеспечивают оптимальную реконструкцию средней и/или нижней трети, что приводит не только к функциональной, но и к эстетической реконструкции. Этот продукт доступен в различных конфигурациях и материалах: титан (твердотельный и сетчатый), РЕЕК (твердотельный и сетчатый), твердотельный высокомолекулярный полиэтилен.
 - Микрохирургия. Комплект направляющих для реконструкции челюсти с микроваскуляризацией малоберцовой кости позволяет оптимально приблизить силуэт челюсти пациента. Направляющие содержат тщательно спроектированные плоскости для проведения остеотомии, чтобы обеспечить полный контакт между фрагментами малоберцовой кости и в точности соблюдать медицинские показания.
 - Субпериостальная имплантация. Имплантаты для реконструкций участков верхней и нижней челюсти с посадочными местами под зубные протезы являются комплексным решением при масштабных дефектах челюсти. Крепежные элементы имплантата рассчитывают заранее, на этапе предоперационного планирования. Это позволяет запланировать введение винтов в области наибольшей плотности кости, обеспечить доступ для установки, адаптировать форму крепежных элементов в соответствии с дефектом.
- Функциональные возможности:**
- визуализация медицинских изображений и создание 3D-моделей анатомических структур;
 - планирование хирургических вмешательств с симуляцией различных сценариев;
 - проектирование индивидуальных имплантатов, их печать из медицинского титанового сплава Ti6Al4V (BT-6), SLA, FDM;
 - генерация отчетов и документации по планам операций;
 - возможность сравнения результатов до и после оперативного лечения.

Преимущества:

- относительно низкая стоимость по сравнению с лидерами рынка;
- интуитивно понятный интерфейс и простота использования, как следствие, возможность самостоятельного виртуального планирования операции хирургом;
- фокус на определенных клинических областях челюсто-лицевой хирургии ВНЧС, ортогнатия, травматология и реконструкция, микрохирургия.

Ограничения:

- меньшие функциональность и возможности по сравнению с лидерами рынка;
- ограниченная интеграция с системами навигации и роботизированной хирургии;
- отсутствие облачных решений.

Эндопринт

Инновационно-технологическая компания «Эндопринт» (ИТК «Эндопринт») — первое российское предприятие, реализующее возможности 3D-проектирования и адаптивных технологий для изготовления индивидуальных имплантатов, применяемых при лечении пациентов в сложнейших случаях. Индивидуальные решения для каждого пациента создаются в тесном взаимодействии опытных биоинженеров с оперирующим хирургом при помощи передового программного обеспечения. Каждый имплантат уникален. При изготовлении не только учитываются анатомические особенности пациента, совместно с врачом прописывается план предстоящей операции. Такой механизм работы обеспечивает возможность установки эндопротеза даже в условиях крайне сложного доступа к области дефекта.

При проектировании бионженеры учитывают индивидуальные особенности каждой конкретной анатомической области, а за основу для проектирования принимается здоровая сторона пациента, которая помогает восстановить симметрию лица. «ИТК Эндопринт» можно использовать в таких областях челюсто-лицевой хирургии, как травматология, коррекция врожденных и приобретенных деформаций с помощью резекционных шаблонов и эндопротезов, ортогнатическая хирургия, микрохирургия. Спектр возможностей определяется конкретной анатомической областью.

Области применения «ИТК Эндопринт»

- **Дно глазницы.** Имплантаты для замещения дна глазницы изготавливаются из сверхвысокомолекулярного хирургического полиэтилена — хиурулена. В редких случаях замещение производится сетчатым титановым имплантатом.
- **Скуловая кость.** Имплантаты для замещения скуловой кости, как правило, изготавливаются из сверхвысокомолекулярного хирургического полиэтилена — хиурулена. В редких случаях замещение производится титановым имплантатом.
- **ВНЧС.** Восстановление функций сустава после травмы или его разрушения в результате онкологического заболевания осуществляется посредством замещения мышцелкового отростка титановым имплантатом, а также замещения суставного диска вкладышем из сверхвысокомолекулярного хирургического полиэтилена — хиурулена. В случае поражения обширной области нижней челюсти восстановление осуществляется с помощью костного транспланта в комбинации с титановой пластиной или сеткой-фиксатором. Индивидуально спроектированные резекционные блоки из стерилизуемого медицинского фотополимера MED610 позволяют сохранить нижний альвеолярный нерв даже при замещении всей окружающей его костной ткани.
- Восстановление области нижней челюсти костным трансплантом (свободным или микрососудистым, фиксируемым индивидуальной титановой пластиной).
- Индивидуальные титановые имплантаты при переломах нижней челюсти, изгиб пластины точно повторяет контур челюсти пациента.

- Индивидуальные резекционные шаблоны и эндопротезы используются для врожденных патологий, последствий полученных травм или развития хронических заболеваний. В ходе операции резецируется участок гипертрофированной области челюсти с последующим совмещением участков и закреплением их пластиною или, наоборот, восполняется индивидуальным трансплантом. При проектировании комплекта изделий для данной операции учитываются не только анатомические особенности дефекта, но и эстетические требования к результату операции.

Функциональные возможности:

- визуализация медицинских изображений и создание 3D-моделей анатомических структур;
- планирование хирургических вмешательств с симуляцией различных сценариев;
- проектирование индивидуальных имплантатов, их печать из медицинского титанового сплава и фотополимера MED610.

Преимущества:

- относительно низкая стоимость по сравнению с лидерами рынка.**
- Доступность компании в связи с расположением в Российской Федерации.**

Ограничения:

- невозможность хирургу самостоятельно планировать операцию, длительное дистанционное согласование конечной конструкции.**

Medgigital Vision

Medgigital Vision — навигационная система дополненной реальности для визуализации анатомии пациента во время хирургической операции. С помощью технологии смешанной реальности врач приобретает способность рентгеновского зрения и может видеть все необходимые внутренние анатомические структуры и исходя из этого планировать свои действия во время операции.

Области применения Medgigital Vision

- точная привязка голограммы к пациенту за счет применения технологии позиционирования Medgigital;
- визуализация как сегментированных данных, так и данных DICOM в виде объемной модели;
- гибкая настройка визуализации — врач видит только то, что ему нужно в данный момент;
- передача данных на очки и построение объемной DICOM-модели занимает менее минуты;
- визуализация данных сразу на пациенте;
- построение сечений и сегментация нужных областей;
- голограмму можно визуализировать как в реальном масштабе, так и в увеличенном;
- планирование доступа прямо на пациенте, без необходимости резекции мягких тканей;
- гибкий инструментарий для разметки доступа.

Функциональные возможности:

- возможность проводить операции, не отвлекаясь от операционного поля;
- существенная экономия пространства операционной — нужно только очки;

- вся нужная информация всегда перед хирургом, нет необходимости переключать внимание на мониторы. Преимущества:

- планирование операций без создания физических макетов.**

Ограничения:

- не включена система планирования и печати индивидуальных физических объектов (пластины, шаблоны, эндопротезы и др.).**

Autoplan

Autoplan — российская система хирургической навигации, предназначенная для планирования оперативного вмешательства и интраоперационного контроля. Работа системы основана на технологии оптического трекинга в инфракрасном диапазоне. Ее использование обеспечивает детекцию инструмента хирурга с точностью в доли миллиметра и привязку 3D-модели пациента к его анатомическим структурам в ходе операции. Система позволяет отслеживать и отображать хирургические инструменты относительно анатомических структур пациента, избегая повреждения функционально значимых зон, в режиме реального времени. Интуитивно понятный интерфейс системы ускоряет рабочие процессы в операционной.

Области применения Autoplan:

- Проектирование и производство передовых изделий на основе технологий VR, искусственного интеллекта, оптического трекинга, биологической обратной связи для практического здравоохранения и медицинского образования. Инновационная структура ИИР СамГМУ включает в себя центры для полного цикла производства современного медицинского оборудования по принципу «от идеи до серии». Компания предоставляет системы интраоперационной навигации и роботизированной медицины.
- В настоящий момент находится на этапе разработки. Основной фокус использования планируется на ортогнатическую хирургию.
- Реконструкция дефектов на основе зеркализации симметричных областей.
- Импорт и экспорт STL-моделей.
- Добавление слепков зубов для повышения точности навигации.
- Моделирование навигационных шаблонов.
- Морфологические операции с 3D-объектами для челюстно-лицевых структур.
- Планирование линий опила.
- Моделирование желаемой ротации костных структур.
- Оценка диспропорции верхней и нижней челюстей.
- Навигация по нескольким подвижным костным структурам.
- Динамическое отображение данных о ротации цлевых структур.
- Отслеживание любого хирургического инструмента.
- Интраоперационная проверка следования плану.
- Функциональные возможности:
- собственное оборудование для интраоперационной навигации;

- производство полного цикла собственных продуктов;
- локализация производства зарубежных компаний;
- контрактное производство сторонних резидентов;
- роботизированные технологии в хирургии;
- интеграция с операционным микроскопом.

Преимущества:

- замкнутый цикл — планирование, производство, интраоперационный контроль, протоколирование.

Ограничения:

- направление челюстно-лицевой хирургии находится на этапе разработки.

| | Materialise | Dolphin | 3D Systems | Brainlab | Planmeca | Авантис3Д | Bonabute | Эндопринт | Medgital Vision | Autoplan |
|---|-------------|---------|------------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------|----------|
| Рентгенологическое оборудование | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Оборудование для 3D-сканирования лица | — | — | — | — | — | + | — | — | — | — |
| Оборудование для проведения внутриротового сканирования | — | — | — | — | — | + | — | — | — | — |
| Оборудование для комплектации операционной | — | — | — | + | — | — | — | — | — | — |
| Оборудование для интраоперационной навигации | — | — | + | + | — | — | — | — | — | + |
| 3D-очки для интегрированной реальности | — | — | — | + | — | — | — | — | + | — |
| Роботизированные технологии | — | — | — | — | — | — | — | — | — | + |
| Сегментация (трансформация КТ в 3D-модели) | + | + | + | + | + | + | + | + | — | ? |
| Интеграция 3D-сканов лица | — | + | — | — | + | + | — | — | — | ? |
| Интеграция 3D-внутриротовых сканов | — | + | — | — | + | + | — | — | — | ? |
| Виртуальные планирование операций | + | + | + | + | + | + | + | + | — | ? |
| Формирование STL-файлов для последующей печати | + | + | + | + | + | + | + | + | — | ? |
| Интегрированная реальность — перенос голографических структур на интраоперационное поле | — | — | — | + | — | — | — | — | + | ? |
| Облачные решения для хранения данных | — | + | — | + | — | — | — | — | — | ? |
| Отчетность и система документации клинических случаев для клиники и врача | — | + | — | + | — | — | — | — | — | ? |
| Травматология | + | — | + | + | — | — | + | + | + | ? |
| Реконструктивная хирургия | + | + | + | + | + | + | + | + | + | ? |
| ВНЧС | + | — | + | — | — | — | + | + | — | ? |
| Ортогнатия | + | + | + | — | + | + | + | + | — | ? |
| Микрохирургия | + | — | + | — | — | — | + | + | — | ? |
| Стоматология | — | + | — | — | + | + | — | — | — | ? |
| Печать индивидуальных конструкций из металла | + | — | + | + | — | + | + | + | — | ? |
| Печать индивидуальных конструкций из полимерных материалов | + | — | + | + | — | + | + | + | — | ? |
| Биопринтинг | — | — | + | — | — | — | — | — | — | — |

ОБСУЖДЕНИЕ

После анализа вышеизложенной информации все возможности программного обеспечения сведены нами в таблицу, что облегчает врачу-клиницисту быстрый и удобный поиск подходящего программного обеспечения.

Выбор подходящей программы зависит от конкретных потребностей врача и пациента, бюджета и области применения. Некоторые компании предлагают широкий функционал и расширенные возможности, в то время как другие ориентированы на простоту использования и доступность, отдельные выделяются своей уникальностью. В современных реалиях и при наличии санкций важно тщательно оценивать свои требования и сравнивать различные варианты, чтобы найти подходящее программное обеспечение, т.е. оценивать рассмотренные программы с точки зрения их практического применения.

Программа Materialise является безусловным лидером рынка. Она отличается широким арсеналом инженерных решений, способна справляться с планированием самых сложных операций, существует на рынке длительное время. Однако, выбирая работу напрямую с данной компанией, врач сталкивается с тем, что в связи со сложностью интерфейса и широким спектром инженерных решений, без специального обучения, самостоятельно спланировать оперативное лечение пациента весьма затруднительно, а при планировании его инженерами компании могут возникать сложности в связи с тем, что компания является бельгийской и все общение происходит на французском языке. Кроме того, возникают проблемы с доставкой распечатанных изделий.

Dolphin является лидером в области виртуального планирования лечения пациентов с врожденными аномалиями положения челюстей, включает в себя ортогнатическую хирургию, ортодонтию и ортопедию. Помимо специализированного планирования ортогнатических операций с предварительным цефалометрическим анализом и прогнозированием поведения мягких тканей, компания предлагает широкий спектр возможностей для хранения информации, облачных решений и организации документации для конкретного лечебного учреждения. Конечно, для специалистов, задействованных в ортогнатической хирургии, ортодонтии и ортопедии, программа оптимальна, но в настоящий момент в связи с санкциями нет возможности зайти на официальный сайт компании без использования VPN, вследствие чего даже при наличии программы невозможны ни техническая поддержка, ни обновления. При выборе данной программы можно использовать только старые взломанные версии, что резко ограничивает спектр возможностей планирования.

Американская программа 3D Systems предлагает уникальные решения 3D-печати. Ее особенность — возможность биопечати органов, это уникальное и перспективное направление, но практическое применение данной программы на территории РФ затруднительно. Это связано с различиями в юридических аспектах работы и сложностью логистики доставки биоматериала.

Программа Brainlab предоставляет уникальные решения для организации операционной за счет современных нейронавигационных решений, а также интегрированной реальности. Компания до сих пор сохранила российское представительство, поэтому работа с ней возможна, но спектр использования не слишком объемный. Пожалуй, наиболее рациональным будет выбор данной программы при наличии образований в челюстно-лицевой области или травматологии, но программа не сможет предложить решения для ортогнатической хирургии и стоматологии.

Программа Planmeca будет идеальным решением при необходимости комплексного лечения пациентов с врожденными аномалиями развития челюстей, коррекции прикуса и, при необходимости, дальнейшего ортопедического лечения. В данной программе с помощью цефалометрического анализа возможны полная цифровизация лечения, а также прогнозирование положения мягких тканей на 3D-сканах лица. Она предоставляет возможность цифровизации и стоматологического лечения и использование внутриротовых сканов. Процесс взаимодействия с компанией в современных реалиях остается открытым, так как даже сайт открывается только через VPN. Поэтому рассматривать ее как реальный рабочий инструмент нет возможности.

Анализ отечественных программ продемонстрировал полное функциональное замещение зарубежных. Пожалуй, единственный вопрос, который остается открытым, это биопринтинг.

Отечественная программа Авантис3Д, разработка ЦНИИСиЧЛХ, предоставляет адекватную альтернативу американским программам Planmeca и Dolphin. Она закрывает вопрос цефалометрических измерений, ортодонтического и ортопедического лечения, прогнозирования положения мягких тканей и визуализации конечного результата лечения. Программа подходит для планирования ортогнатических операций, имплантации, ортодонтического и ортопедического лечения.

Программы Эндопронт и Bonabyte являются идеальным решением для планирования операций в челюстно-лицевой области. С инженерной точки зрения они содержат все те же инструменты, что и лидер европейского рынка Materialise. Обе компании, помимо планирования, предоставляют возможность печати STL-файлов из различных материалов. В компаниях работают высококвалифицированные биоинженеры, они всегда готовы проконсультировать и помочь с выбором конструктивных решений. Важно отметить, что в компании Эндопронт у хирурга не будет возможности самостоятельно участвовать в планировании лечения, в любом случае ему придется объяснять инженеру суть концепции на словах или по видеосвязи, т.е. придется специально резервировать время для этого. Компания Bonabyte разработала уникальную программу для взаимодействия с врачом, где он сам, без специальной подготовки, может планировать операцию в любое удобное время. Уже на базе плана, который составил сам хирург, проводится инженерная коррекция. Данный инструмент взаимодействия очень удобен — он отвечает времененным реалиям врача. Однако нужно отметить, что не все

врачи готовы активно участвовать в инженерном сегменте программы, поэтому для них больше подходит Эндопринт. В компании Bonabyte сроки изготовления необходимых конструкций из определенных материалов быстрее в связи с наличием специализированного оборудования непосредственно в офисе компании. Это принципиальный момент, так как позволяет внести пациента в операционный график в кратчайшие сроки после окончания планирования.

Немецкую программу Breinlab полностью компенсируют две отечественных компании Medgital Vision и Autoplan. Компания Autoplan предоставляет широкий спектр навигационного оборудования для операционной. В настоящий момент челюстно-лицевой модуль находится на этапе разработки, но имеет большие перспективы. Данная компания предлагает решения с робототехникой, что является стратегически важным направлением. Medgital Vision работает с интегрированной реальностью посредством 3D-очков, которые можно использовать во время операции. Спектр их применения очень широкий, но еще недостаточно изучен.

В заключение хочется отметить, что все вышеописанные программы имеют свои достоинства и недостатки. Как правило, каждая программа специализируется на определенной проблеме, предлагает конкретные и достаточно узкие пути ее решения. Таким образом, в настоящее время на рынке еще не представлена программа, отвечающая всем клиническим запросам как хирургической стоматологии, так и челюстно-лицевой хирургии. Более того, в настоящее время в России наиболее активно используются методы компьютерного моделирования, базирующиеся на импортном программном обеспечении Materialise, Dolphin, 3D Systems, Brainlab, Planmeca. Эти программы не зарегистрированы в России как медицинский продукт, а учитывая сложность политической обстановки, наличие санкций против России, их обновление и легальное использование не представляется возможным. В то же время накоплен значительный практический опыт в амбулаторной и стационарной практике, имеется четкое понимание, что необходимо для проведения реконструктивных операций с прогнозируемым эффектом по замещению дефектов, устранению аномалий развития и полной комплексной реабилитации пациентов. Поэтому разработка и внедрение отечественного программного продукта, позволяющего планировать оперативные вмешательства, необходима и чрезвычайно актуальна.

Нашим коллективом (ПМГМУ и РУДН) совместно с российскими фирмами «Бонобайт» и «Эндопринт» создается программа для челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии, включающая все аспекты как хирургической стоматологии, так и челюстно-лицевой хирургии, состоящая из трех модулей:

- 1) имплантология, стоматология;
- 2) ортогнатическая хирургия;
- 3) реконструктивно-пластика хирургия.

Основой для такого начинания стал опыт оказания плановой помощи в условиях поликлиники и стационара, а также колossalный опыт, накопленный нашими сотрудниками при лечении пациентов, получивших

ранения в ходе боевых действий, на этапах оказания медицинской помощи в госпиталях 4-го и 5-го уровня в Ираке и в России.

Платформой стали результаты научно-исследовательских разработок этих вузов и уже созданные, зарегистрированные и широко применяемые отечественные продукты, такие как имплантационная система «ИРИС», программа «Vi-surgery».

Для стандартизации и унификации лечения пациентов отрабатывается алгоритм взаимодействия и создания медицинского сервиса. При этом врач не должен сам от начала и до конца планировать, компьютерно (виртуально) воссоздавать клиническую ситуацию, заниматься организацией 3D-печати шаблонов и пластин. Но понимание и знание каждого этапа необходимо для практикующего врача. Логика заключается в следующем:

- 1-й этап (врачебный). Врач проводит полную диагностику, используя основные и дополнительные методы, составляет план лечения и планируемый конечный результат. Это так называемое техническое задание (ТЗ).
- 2-й этап (технический). ТЗ передается на фирму (в нашем случае «Бонобайт» или «Эндопринт»), где медицинский инженер осуществляет виртуальное воплощение плана врача — архитектурную разработку (АР) с использование компьютерных программ и имеющейся анатомической библиотеки. АР согласовывается с лечащим врачом и утверждается.
- 3-й этап (изготовление). Фирма осуществляет печать (изготовление) из медицинского полимера или титана хирургических шаблонов и реконструктивных пластин, эндопротезов. Стерилизация и упаковка изделия, передача в клинику.
- 4-й этап (клинический). Реализация плана хирургического лечения, проведение оперативных вмешательств, анализ полученного результата, сопоставление соответствуя виртуальному плану лечения. Аналитическая часть позволяет совершенствовать каждый вышеназванный этап.

Такова предлагаемая нами логика и путь развития, которому следует наш научный коллектив.

ВЫВОДЫ

Российские программы, такие как Avantis3D, Эндопринт и Bonabyte, обладают функциональными возможностями, сопоставимыми с зарубежными аналогами, что делает их перспективными для широкого применения в челюстно-лицевой хирургии и стоматологии.

Благодаря своему удобному интерфейсу программа Bonabyte позволяет врачам активно участвовать в планировании операций, ускоряя процесс подготовки и делая его более гибким.

Технологии дополненной реальности, представленные в программе Medgital Vision, имеют высокий потенциал для интраоперационной навигации, но требуют дальнейшего изучения.

Недостаток отечественных решений заключается в отсутствии технологий биопринтеринга, что остается важным направлением для дальнейших разработок.

В условиях санкций российские программы могут стать полноценной заменой зарубежным продуктам, но для этого необходимо их развивать дальше, внедряя новые технологии, таких как биопринтинг и роботизация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES:

1. Hassfeld S., Mühling J. Computer assisted oral and maxillofacial surgery — a review and an assessment of technology. — *Int J Oral Maxillofac Surg.* — 2001; 30 (1): 2—13. [PMID: 11289616](#)
2. Li M., Shen S., Zhao Z., Wang B., Yu H. The application of a fully digital approach in the treatment of skeletal class III malocclusion: a preliminary study. — *BMC Oral Health.* — 2023; 23 (1): 237. [PMID: 37095513](#)
3. Spille J., Helmstetter E., Kübel P., Weitkamp J.T., Wagner J., Wicker H., Naujokat H., Flörke C., Wiltfang J., Gülses A. Learning curve and comparison of dynamic implant placement accuracy using a navigation system in young professionals. — *Dent J (Basel).* — 2022; 10 (10): 187. [PMID: 36285997](#)
4. Bhalerao A., Ayoub A., Marimuthu M., Wahab A., Kumar V. Cost-effectiveness of the flapless insertion of zygomatic implants using dynamic navigation — A Retrospective Study. — *Ann Maxillofac Surg.* — 2023; 13 (2): 211—215. [PMID: 38405562](#)
5. Sozzi D., Filippi A., Canzi G., De Ponti E., Bozzetti A., Novelli G. Surgical navigation in mandibular reconstruction: Accuracy evaluation of an innovative protocol. — *J Clin Med.* — 2022; 11 (7): 2060. [PMID: 35407667](#)
6. Czako L., Sufliarsky B., Simko K., Sovis M., Vidova I., Farska J., Lifková M., Hamar T., Galis B. Exploring the practical applications of artificial intelligence, deep learning, and machine learning in maxillofacial surgery: A comprehensive analysis of published works. — *Bioengineering (Basel).* — 2024; 11 (7): 679. [PMID: 39061761](#)